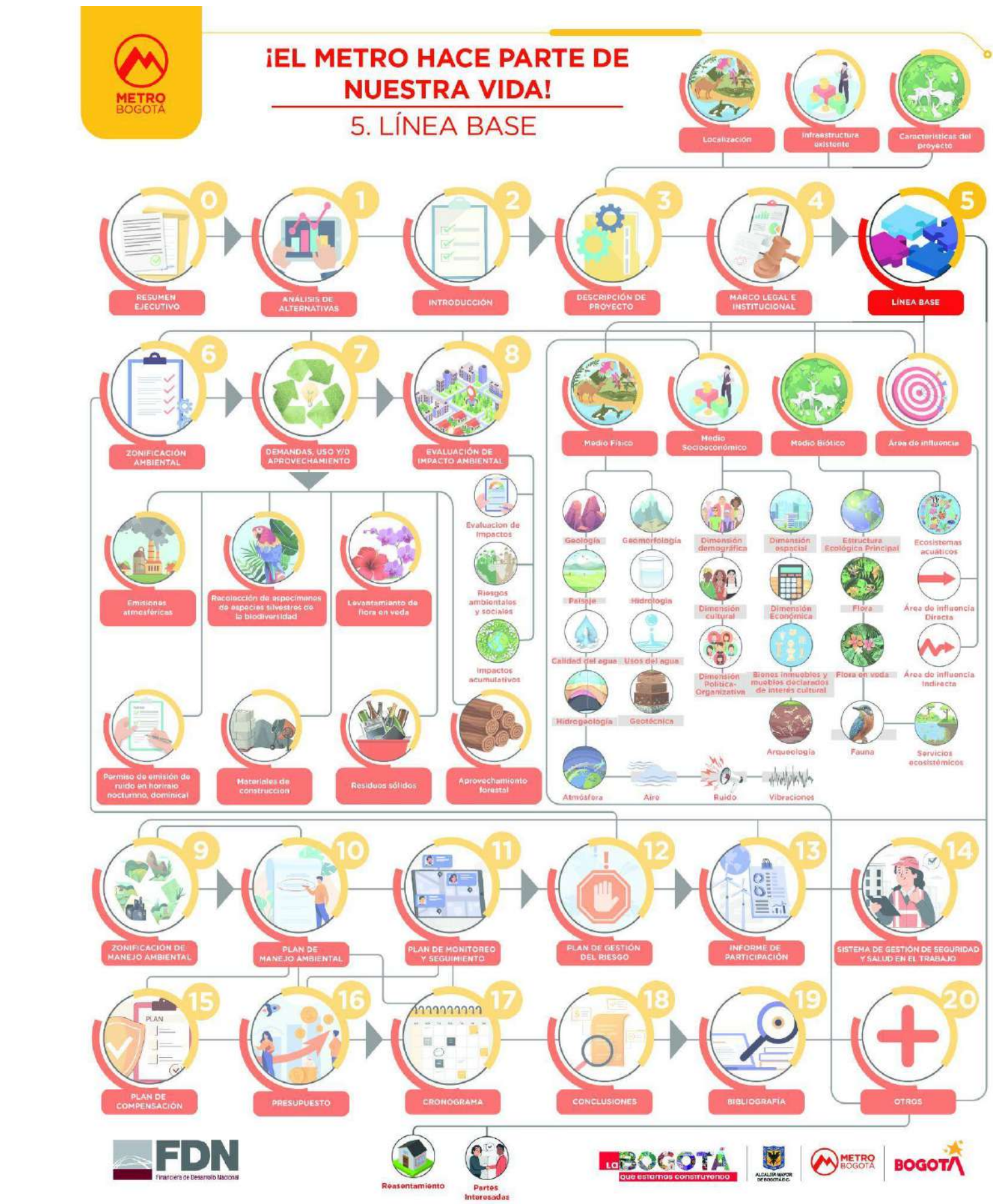
METRO BOGOTÁ

¡EL METRO HACE PARTE DE NUESTRA VIDA!

5. LÍNEA BASE



FDN Financiera de Desarrollo Nacional

La BOGOTÁ que estamos construyendo

METRO BOGOTÁ

Contrato interadministrativo 136 de 2021
Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legales, de riesgos, técnico y financiero

Capítulo 5.2 Línea Base
Medio Abiótico
Parte 1

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-IN-001-VD

Elaborado por:

Financiera de Desarrollo Nacional

U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

Rev. D 10-02-2023

LISTA DE TÍTULOS

5.2. CARACTERIZACIÓN MEDIO ABIÓTICO

5.2.1. Componente Geosférico.

5.2.1.1. Geología.

5.2.1.1.1. Caracterización Área de Influencia Indirecta.

5.2.1.1.1.1. Estratigrafía.

5.2.1.1.1.2. Geología Estructural

5.2.1.1.1.3. Amenazas Naturales

5.2.1.1.2. Caracterización Área de Influencia Directa

5.2.1.1.2.1. Metodología

5.2.1.1.2.2. Campaña de exploraciones del subsuelo

5.2.1.1.2.3. Condiciones geológicas locales

5.2.1.2. Geomorfología

5.2.1.2.1. Unidades morfogenéticas del área de estudio

5.2.1.2.2. Morfoestructura

5.2.1.2.3. Provincia morfológica

5.2.1.2.4. Región geomorfológica

5.2.1.2.5. Morfogénesis

5.2.1.2.5.1. Paisaje de Montaña: Geoformas de origen morfoestructural denudativo

5.2.1.2.5.2. Paisaje colinado: Geoformas de origen denudativo

5.2.1.2.5.3. Paisaje de Planicie: Geoformas de origen fluvial y lagunar

5.2.1.2.5.4. Paisaje modelado por procesos antrópicos (Ant)

5.2.1.2.6. Morfometría

5.2.1.2.7. Morfodinámica

5.2.1.2.8. Análisis multitemporal

5.2.1.2.9. Zonificación Ocurrencia de procesos erosivos y de remoción en masa

5.2.1.2.9.1. Caracterización geoambiental

5.2.1.2.9.2. Análisis de la susceptibilidad

5.2.1.2.9.3. Resultados

5.2.1.3. Paisaje

5.2.1.3.1. Caracterización

5.2.1.3.2. Aspectos metodológicos de la caracterización del paisaje

5.2.1.3.2.1. Elementos o atributos del paisaje

5.2.1.3.2.2. Unidades de paisaje local

5.2.1.3.2.3. Sitios de interés paisajístico.

5.2.1.3.3. Resultados

5.2.1.3.3.1. Elementos o atributos que componen el paisaje

5.2.1.3.4. Unidades de paisaje

5.2.1.3.4.1. Calidad visual

5.2.1.3.4.2. Fragilidad visual

5.2.1.3.4.3. Belleza paisajística

5.2.1.3.4.4. Resultados de unidades de paisaje

5.2.1.3.4.5. Visibilidad

5.2.1.3.4.6. Tamaño de la discordancia

5.2.1.3.4.7. Sitios de interés paisajístico

5.2.1.3.4.8. Percepción de las comunidades como referente de su entorno físico en términos culturales

5.2.1.3.5. Descripción del proyecto dentro del componente paisajístico de la zona

5.2.1.3.5.1. Evaluación de vegetación urbana frente al paisaje

5.2.1.3.6. Acciones de mitigación de impacto paisajístico

5.2.1.4. Suelos

5.2.1.4.1. Unidades de suelos

5.2.1.4.1.1. Unidad RaL02

5.2.1.4.2. Clasificación agrológica y uso potencial.

5.2.1.4.2.1. Tierras Clase 7 (VII)

5.2.1.4.4. Conflictos del uso del suelo.

5.2.1.4.5. Vulnerabilidad a la contaminación de los suelos

5.2.1.4.5.1. Localización de los puntos de muestreo

5.2.1.4.5.2. Determinación de sustancias objeto de análisis de laboratorio

5.2.1.4.5.3. Resultados de laboratorio

5.2.1.4.5.4. Análisis de resultados

5.2.1.4.6. Usos históricos del suelo

5.2.2. Componente Hidrosférico.

5.2.2.1. Hidrología

5.2.2.1.1. Localización y selección de las estaciones hidroclimatológicas

5.2.2.1.2. Caracterización de datos hidroclimáticos

5.2.2.1.2.1. Pruebas de normalidad de las series

5.2.2.1.2.2. Pruebas de consistencia y homogeneidad

5.2.2.1.2.3. Identificación de datos anómalos (outliers)

5.2.2.1.2.4. Curvas de doble masa

5.2.2.1.2.5. Correlación con indicadores de fenómenos macro climáticos ONI, SOI, y SST3-4

5.2.2.1.3. Complementación de vacíos de series de precipitación total

5.2.2.1.4. Distribución temporal de la precipitación total

5.2.2.1.5. Distribución temporal de la evaporación total diaria

5.2.2.1.6. Distribución temporal de la temperatura

5.2.2.1.6.1. Variación anual de la temperatura media

5.2.2.1.6.2. Distribución temporal de la temperatura media

5.2.2.1.6.3. Distribución temporal de la temperatura máxima diaria

5.2.2.1.6.4. Distribución temporal de la temperatura mínima diaria

5.2.2.1.7. Distribución espacial de precipitación

5.2.2.1.8. Representación espacial de la temperatura

5.2.2.1.9. Representación espacial de la evaporación

5.2.2.1.10. Localización del proyecto en zonificación nacional

5.2.2.1.11. Identificación de sistemas lenticos y loticos

5.2.2.1.11.1. Sistemas Lóticos

5.2.2.1.11.2. Sistemas Lénticos

5.2.2.1.12. Características morfométricas de las subcuencas analizadas

5.2.2.1.12.1. Área de drenaje

5.2.2.1.12.2. Perímetro

5.2.2.1.12.3. Longitud del cauce principal

5.2.2.1.12.4. Factor de forma

5.2.2.1.12.5. Índice de compacidad

5.2.2.1.12.6. Pendiente del cauce (S)

5.2.2.1.12.7. Tiempo de concentración

5.2.2.1.12.8. Índice de sinuosidad

5.2.2.1.12.9. Densidad de drenaje

5.2.2.1.12.10. Patrones de drenaje

5.2.2.1.13. Zonas de recarga

5.2.2.1.14. Tasa de cambio

5.2.2.1.14.1. Precipitación

5.2.2.1.14.2. Temperatura

5.2.2.1.14.3. Caudal

5.2.2.1.15. Caracterización hidrológica

5.2.2.1.15.1. Caudales medios

5.2.2.1.15.2. Distribuciones temporales

5.2.2.1.15.3. Curvas de duración de caudales medios

5.2.2.1.15.4. Diagramas Boxplots

5.2.2.1.15.5. Análisis Patios y Talleres

5.2.2.1.15.6. Caudales máximos

5.2.2.1.15.7. Caudales mínimos

5.2.2.1.15.8. Caudal ambiental

5.2.2.1.16. Oferta hídrica

5.2.2.1.17. Dinámica fluvial

5.2.2.1.17.1. Caracterización morfológica

5.2.2.1.17.2. Análisis multitemporal (forma en planta)

5.2.2.1.17.3. Conclusiones

5.2.2.1.18. Índice de uso del agua

5.2.2.1.19. Índice de regulación hídrica

5.2.2.1.20. Índice de vulnerabilidad hídrica

5.2.2.1.21. Índice de aridez

5.2.2.1.21.1. Evapotranspiración potencial

5.2.2.1.21.2. Evapotranspiración real

5.2.2.1.21.3. Cálculo del índice de aridez

5.2.2.1.22. Balance hídrico

5.2.2.1.22.1. Precipitación (P)

5.2.2.1.22.2. Evapotranspiración (ETP)

5.2.2.1.22.3. Caudal de salida (Qs)

5.2.2.1.22.4. Almacenamiento (S)

5.2.2.1.22.5. Percolación (Gs)

5.2.2.1.22.6. Déficit (D)

5.2.2.1.22.7. Excesos (E)

5.2.2.1.22.8. Evapotranspiración Real (ETR)

5.2.2.1.22.9. Resultado del balance hídrico

5.2.2.1.23. Susceptibilidad por inundaciones

5.2.2.1.24. Susceptibilidad por avenidas torrenciales

5.2.2.2. Calidad del Agua

5.2.2.2.1. Marco normativo

5.2.2.2.2. Metodología

5.2.2.2.2.1. Metodología De Un Muestreo Puntual

5.2.2.2.2.2. Medición De Caudal

5.2.2.2.2.3. Medición De Parámetros En Campo In-Situ

5.2.2.2.2.4. Preservación De Las Muestras Y Fase De Laboratorio

5.2.2.2.2.5. Cadena De Custodia

5.2.2.2.3. Puntos de monitoreo

5.2.2.2.3.1. Descripción puntos de monitoreo

5.2.2.2.3.2. Resultados de laboratorio

5.2.2.2.4. Análisis de variables fisicoquímicos y microbiológicos

5.2.2.2.4.1. Generales

5.2.2.2.4.2. Iones y Sales disueltas

5.2.2.2.4.3. Sólidos

5.2.2.2.4.4. Turbidez y color

5.2.2.2.4.5. Oxígeno disuelto y demanda de oxígeno

5.2.2.2.4.6. Compuesto de nitrógeno

5.2.2.2.4.7. Compuesto de fósforo

5.2.2.2.4.8. Microbiológicos

5.2.2.2.4.9. Metales

5.2.2.2.4.10. Hidrocarburos, tóxicos orgánicos y otros

5.2.2.3. Análisis Índices de calidad del agua

5.2.2.3.0.1. Índice de calidad del agua ICA

5.2.2.3.0.2. Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua - IACAL

5.2.2.3.0.3. Índice de Langelier

5.2.2.3.0.4. Índice Capacidad Buffer

5.2.2.3.0.5. Índices de contaminación ICOs

5.2.2.3.1. Información secundaria

5.2.2.3.1.1. Índice de Calidad del Agua (ICA)

5.2.2.3.1.2. Resultados históricos del Índice de Calidad del Agua (ICA)

5.2.2.4. Usos del agua

5.2.2.4.1. Consumo de agua subterránea

5.2.2.5. Hidrogeología

5.2.2.5.1. Condiciones geológicas

5.2.2.5.1.1. Geología regional

5.2.2.5.2. Estratigrafía

5.2.2.5.2.1. Cretácico

5.2.2.5.2.2. Terciario

5.2.2.5.2.3. Cuaternario

5.2.2.5.3. Geología estructural

5.2.2.5.3.1. Fallas

5.2.2.5.3.2. Pliegues

5.2.2.5.4. Marco geológico local

5.2.2.5.4.1. Zonas homogéneas

5.2.2.5.5. Hidrología y balance hídrico superficial - BHS

5.2.2.5.5.1. Localización y selección de las estaciones hidroclimatológicas

5.2.2.5.5.2. Localización del proyecto zonificación nacional

5.2.2.5.5.3. Sistemas lóticos y lénticos

5.2.2.5.6. Balance hídrico superficial - BHS

5.2.2.5.6.1. Precipitación (P)

5.2.2.5.6.2. Evapotranspiración (ETP)

5.2.2.5.6.3. Caudal de salida (Qs)

5.2.2.5.6.4. Percolación (Gs)

5.2.2.5.6.5. Déficit (D)

5.2.2.5.6.6. Excesos (E)

5.2.2.5.6.7. Evapotranspiración Real (ETR)

5.2.2.5.6.8. Resultado del balance hídrico

5.2.2.5.7. Unidades hidrogeológicas

5.2.2.5.7.1. Unidad sin interés hidrogeológico

5.2.2.5.7.2. Acuíferos pobres o de baja productividad (A-Qlla y A-Qdp) o con niveles impermeables (A-Tpc)

5.2.2.5.7.3. Acuitardos en depósitos cuaternarios (Ac-Qta y Ac-Qcc) y en rocas pre-cuaternarias (Ac-Tpb, Ac-Ktg y Ac-Ksgp)

5.2.2.5.7.4. Sectorización hidrogeológica y geometría de los acuíferos identificados

5.2.2.5.8. Parámetros hidráulicos

5.2.2.5.8.1. Permeabilidad

5.2.2.5.8.2. Régimen subsuperficial

5.2.2.5.8.3. Puntos de agua

5.2.2.5.9. Condiciones de flujo subterráneo

5.2.2.5.10. Nivel freático

5.2.2.5.11. Modelo hidrogeológico conceptual

5.2.2.5.12. Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

5.2.2.5.13. Modelo hidrogeológico numérico (MHN)

5.2.2.5.13.1. Zona Humedal Juan Amarillo

5.2.2.5.13.2. Zona Calle 72

5.2.2.5.13.3. Conclusiones generales de la modelación

5.2.2.5.14. Modelo Hidroquímico - Calidad del agua subterránea

5.2.2.5.14.1. Descripción y Ubicación de puntos de muestreo

5.2.2.5.14.2. Resultados

5.2.2.5.14.3. Balance iónico

5.2.2.5.14.4. Análisis de resultados físico químicos

5.2.2.5.14.5. Análisis hidroquímico

5.2.2.6. Geotecnia

5.2.2.6.1. Localización de exploraciones geotécnicas

5.2.2.6.2. Metodología de caracterización y zonificación geotécnica

5.2.2.6.3. Definición y sectorización por Tramos con Zonas Homogéneas

5.2.2.6.3.1. Zona Homogénea 1

5.2.2.6.3.2. Zona Homogénea 2

5.2.2.6.3.3. Zona Homogénea 3

5.2.2.6.3.4. Zona Homogénea 4

5.2.2.6.4. .Descripción geotécnica del proyecto

5.2.2.6.4.1. Caracterización geotécnica para las estaciones subterráneas

5.2.2.6.4.2. Caracterización geotécnica tramo elevado

5.2.2.6.4.3. Análisis espectros sísmicos de diseños

5.2.2.6.4.4 Análisis de Subsidencia

5.2.3. Componente Atmósfera

5.2.3.1. Meteorología

5.2.3.1.1. Definición de período común

5.2.3.1.2. Distribución temporal de la precipitación total

5.2.3.1.3. Distribución temporal de la evaporación total diaria

5.2.3.1.4. Distribución temporal de la temperatura

5.2.3.1.4.1. Variación anual de la temperatura media

5.2.3.1.4.2. Distribución temporal de la temperatura media

5.2.3.1.4.3. Distribución temporal de la temperatura máxima diaria

5.2.3.1.4.4. Distribución temporal de la temperatura mínima diaria

5.2.3.1.5. Distribución espacial de precipitación

5.2.3.1.6. Representación espacial de la temperatura

5.2.3.1.7. Representación espacial de la evaporación

5.2.3.1.8. Distribución temporal del brillo solar

5.2.3.1.9. Distribución temporal de la radiación solar

5.2.3.1.10. Distribución temporal de la humedad relativa media diaria

5.2.3.1.11. Distribución temporal de la humedad relativa mínima diaria

5.2.3.1.12. Distribución temporal de la humedad relativa máxima diaria

5.2.3.1.13. Distribución temporal de la presión atmosférica

5.2.3.1.14. Distribución temporal de la nubosidad

5.2.3.1.15. Distribución temporal de la velocidad del viento

5.2.3.1.16. Rosa de vientos

5.2.3.1.17. Clasificación climática

5.2.3.2. Identificación de fuentes de emisiones

5.2.3.2.1. Inventario de emisiones de entidades oficiales

5.2.3.2.2. Inventario de emisiones atmosféricas de la visita técnica

5.2.3.2.3. Inventario de fuentes móviles (aforos vehiculares)

5.2.3.2.4. Inventario de receptores sensibles

5.2.3.2.5. Gases Efecto Invernadero (GEI)

5.2.3.3. Calidad del Aire

5.2.3.3.1. Marco Normativo

5.2.3.3.2. Análisis calidad del aire - Información secundaria

5.2.3.3.2.1. Material con tamaño inferior o igual a 10 micras PM10

5.2.3.3.2.2. Material particulado PM2.5

5.2.3.3.2.3. Dióxido de nitrógeno NO2

5.2.3.3.2.4. Dióxido de azufre SO2

5.2.3.3.2.5. Ozono O3

5.2.3.3.2.6. Monóxido de carbono CO

5.2.3.3.2.7. Índice Bogotano de Calidad del Aire y Riesgo en Salud - IBOCA

5.2.3.3.3. Análisis calidad del aire - Monitoreos

5.2.3.3.3.1. Descripción de los puntos de Monitoreo.

5.2.3.3.3.2. Resultados

5.2.3.3.4. Modelo de dispersión de contaminantes

5.2.3.3.4.1. Elección del software para el modelo de dispersión

5.2.3.3.4.2. Descripción del modelo de dispersión

5.2.3.3.4.3. Definición de los escenarios de modelación

5.2.3.3.4.4. Procesos de generación de emisiones atmosféricas en el área de estudio del proyecto

5.2.3.3.4.5. Parámetros analizados en las simulaciones

5.2.3.3.4.6. Dominio de modelación

5.2.3.3.4.7. Incertidumbre del modelo

5.2.3.3.4.8. Inventario de receptores sensibles

5.2.3.3.4.9. Topografía y relieve del dominio de modelación

5.2.3.3.4.10. Meteorología en el área de influencia del proyecto

5.2.3.3.4.11. Factores de emisión

5.2.3.3.4.12. Resultados de la modelación con AERMOD View

5.2.3.3.4.13. Análisis de resultados con respecto a los valores guía de la IFC

5.2.3.3.4.14. Conclusiones

5.2.3.4. Ruido

5.2.3.4.1. Monitoreo de ruido

5.2.3.4.1.1. Objetivo general

5.2.3.4.1.2. Objetivos específicos

5.2.3.4.1.3. Normatividad

5.2.3.4.1.4. Coordenadas de los puntos de monitoreo

5.2.3.4.1.5. Descripción y localización de los puntos de monitoreo

5.2.3.4.1.6. Tiempos de medición

5.2.3.4.1.7. Equipos utilizados para la medición

5.2.3.4.1.8. Procedimiento de medición de ruido ambiental

5.2.3.4.1.9. Meteorología

5.2.3.4.1.10. Resultados de los monitoreo de ruido

5.2.3.4.1.11. Análisis de los resultado del monitoreo de ruido

5.2.3.4.1.12. Conclusiones

5.2.3.4.2. Modelos de ruido

5.2.3.4.2.1. Inventario de fuentes de emisión de ruido de la visita técnica

5.2.3.4.2.2. Inventario de edificaciones

5.2.3.4.2.3. Aforos Vehiculares

5.2.3.4.2.4. Inventario de receptores sensibles

5.2.3.4.2.5. Metodología

5.2.3.4.2.6. Normatividad

5.2.3.4.2.7. Características generales

5.2.3.4.2.8. Escenario de línea base día hábil y no hábil para el periodo diurno y nocturno

5.2.3.4.2.9. Escenario de Construcción

5.2.3.4.2.10. Escenario de Operación

5.2.3.5. Vibración y ruido estructural

5.2.3.5.1. Monitoreo y puntos de medición de vibraciones y ruido estructural

5.2.3.5.1.1. Objetivos del monitoreo y puntos de medición

5.2.3.5.1.2. Plan de trabajo implementado

5.2.3.5.2. Umbrales de percepción humana, de fauna y afectación a estructuras

5.2.3.5.3. Fuentes de vibración - Inventario malla vial

5.2.3.5.4. Registro de niveles de vibración para la condición sin proyecto

5.2.3.5.4.1. Registro de niveles de vibración para la condición sin proyecto

5.2.3.5.4.2. Análisis de resultados

5.2.3.5.5. Predicción de los niveles de vibraciones

5.2.3.5.6. Identificación de estructuras vulnerables a lo largo del trazado

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Geología regional.Trazo en tono magenta muestra la implantación del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá sobre los depósitos cuaternarios de la Sabana de Bogotá.

Figura 2. Rasgos estructurales regionales en la Sabana de Bogotá y la localización del proyecto (linea en negro).

Figura 3. Mapa Normativo de Amenaza por Movimientos en Masa para el Suelo Urbano y de Expansión Urbana – Decreto 555 de 2021

Figura 4. Espectros de diseño sísmico para la ciudad de Bogotá (Decreto 523 de 2010) en la zona de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Figura 5. Mapa de respuesta sísmica para el área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.
Fuente: IDIGER. Adaptado y modificado por UT MOVIUS 2022

Figura 6. Mapa con la distribución de eventos sísmicos y su tipología según la profundidad registrada

Figura 7. Trazado y estaciones de la L2MB

Figura 8. Mapa geológico entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 9. Mapa geológico entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 10. Mapa geológico entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 11. Mapa geológico entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes - río Bogotá. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 12. Unidad fisiográfica de la Sabana de Bogotá delimitada en línea trazo blanco, mostrando los dos paisajes morfológicos dominantes del área de estudio, sobre el mapa de sombras con elevaciones.

Figura 13. Mapa geomorfológico entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra las perforaciones y los cuerpos de agua superficial

Figura 14. Mapa geomorfológico entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra los cuerpos de agua

Figura 15. Mapa geomorfológico entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes.

Figura 16. Mapa geomorfológico entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes - río Bogotá.

Figura 17. Morfometría del terreno entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3.

Figura 18. Morfometría del terreno entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra los cuerpos de agua

Figura 19. Morfometría del terreno entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes.

Figura 20. Mapa de pendientes del área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.

Figura 21. Análisis multitemporal de las coberturas de tierras Año 2021. Pozo de salida - Estación 1 - estación 3.

Figura 22. Análisis multitemporal de las coberturas de tierras Año 2021. Pozo de salida - Estación 3 - estación 6.

Figura 23. Análisis multitemporal de las coberturas de tierras Año 2021. Pozo de salida - Estación 7 - estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo.

Figura 24. Análisis multitemporal de las coberturas de tierras Año 2021. Pozo de entrada - Estación 11 - patio taller. Sector Humedal La Conejera.

Figura 25. Distribución espacial en porcentaje de los resultados de la zonificación de susceptibilidad a la ocurrencia de procesos de remoción en masa en el área de influencia indirecta del proyecto

Figura 26. Zonificación susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra las perforaciones y los cuerpos de agua superficial

Figura 27. Zonificación susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra los cuerpos de agua

Figura 28. Zonificación susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes.

Figura 29. Zonificación susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - río Bogotá.

Figura 30. Área de influencia de paisaje (AIPa).

Figura 31. Distribución de la pendiente en el área de influencia

Figura 32. Localización de los cuerpos de agua lóticos identificados

Figura 33. Localización de los cuerpos de agua lénticos identificados

Figura 34. Superficie ocupada por cada uno de los elementos del paisaje para estimar la calidad visual.

Figura 35. Distribución de la calidad de paisaje en el área de influencia

Figura 36. Proporción de la fragilidad visual en el área de influencia

Figura 37. Distribución de la fragilidad del paisaje en el área de influencia de paisaje

Figura 38. Proporción de la belleza paisajística para el área de influencia

Figura 39. Distribución de la belleza del paisaje en el área de influencia

Figura 40. Distribución de las unidades de paisaje en el área de influencia

Figura 41. Visibilidad del paisaje en el área de influencia

Figura 42. Áreas tradicionales de esparcimiento urbano que se encuentran dentro del área de influencia, (Plaza de mercado 12 de octubre, izquierda e Iglesia La Porciúncula, derecha).

Figura 43. Localidad de procedencia de los encuestados.

Figura 44. Preferencia de coberturas de paisaje de la comunidad.

Figura 45. Elementos interesantes del paisaje para la comunidad.

Figura 46. Preferencia de estaciones de metro por la comunidad.

Figura 47. Localización de los puntos de muestreo de suelos

Figura 48. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 1.

Figura 49. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 2.

Figura 50. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 3.

Figura 51. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 4.

Figura 52. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 5.

Figura 53. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 6.

Figura 54. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 7.

Figura 55. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 8.

Figura 56. Estaciones de servicio asociadas al área de influencia de la Línea 2 del Metro.

Figura 57. Resultados Hidrocarburos Totales C10-C28 Estaciones 1 a 6

Figura 58. Resultados Hidrocarburos Totales C10-C28 Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 59. Resultados Hidrocarburos Totales C28-C40 Estaciones de Servicio 1 a 6

Figura 60. Resultados Hidrocarburos Totales C28-C40 Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 61. Compilado resultados Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)

Figura 62. Resultados Benzo (a) antraceno

Figura 63. Resultados Benzo (b) fluoranteno

Figura 64. Resultados Benzo (k) fluoranteno Estaciones de Servicio 1 a 6

Figura 65. Resultados Benzo (k) fluoranteno Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 66. Criseno Estaciones de Servicio 1 a 6

Figura 67. Criseno Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 68. Resultados Dibenzo (a,h) antraceno

Figura 69. Resultados Indeno (1,2,3-cd) pireno

Figura 70. Resultados Naftaleno Estaciones de Servicio 1 a 6

Figura 71. Resultados Naftaleno Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 72. Resultados m,p-Xileno Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 73. Resultados Tolueno Estaciones de Servicio 1 a 6

Figura 74. Resultados Tolueno Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 75. Usos del suelo por lotes Proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá

Figura 76. Usos del suelo por lotes año 2021.

Figura 77. Usos del suelo por lotes año 2020.

Figura 78. Usos del suelo por lotes año 2019.

Figura 79. Usos del suelo por lotes año 2018.

Figura 80. Usos del suelo por lotes año 2017.

Figura 81. Usos del suelo por lotes año 2016.

Figura 82. Usos del suelo por lotes año 2015

Figura 83. Usos del suelo por lotes año 2014.

Figura 84. Usos del suelo por lotes año 2013.

Figura 85. Usos del suelo por lotes año 2012.

Figura 86. Localización espacial de las estaciones de todas las entidades disponibles en la zona.

Figura 87. Periodos de registros para las estaciones identificadas según la entidad operadora.

Figura 88. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por entidad operadora.

Figura 89. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por categoría.

Figura 90. Análisis de Dobles Masas - Estaciones de Caracterización - Temperatura.

Figura 91. Análisis de Dobles Masas - Estaciones Complementarias - Temperatura.

Figura 92. Análisis de Dobles Masas - Precipitación.

Figura 93. Correlogramas entre Índices ONI, SOI, SST3.4 y Precipitación en la Estación San Diego 1987-2021.

Figura 94. Correlogramas entre Índices ONI, SOI, SST3.4 y Precipitación Estación San Diego 1947-2021.

Figura 95. Correlogramas entre Índices ONI, SOI, SST3.4 y Caudales de la Estación Parque Nacional - Río Arzobispo 1992-2021.

Figura 96. Localización de las estaciones de precipitación.

Figura 97. Distribución temporal precipitación total estación San Diego. Periodo 1987 - 2021.

Figura 98. Distribución temporal precipitación total estación Cerro de Suba. Periodo 1987 - 2021.

Figura 99. Distribución temporal precipitación total estación El Granizo. Periodo 1987 - 2021.

Figura 100. Distribución temporal precipitación total estación 2120040 San Luis. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 101. Distribución temporal precipitación total estación 2120196 Casa de Bombas Salitre. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 102. Distribución temporal precipitación total estación 20207 Saucedal II. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 103. Distribución temporal precipitación total estación 2120547 Fontibón. El Periodo 1987 - 2021

Figura 104. Distribución temporal precipitación total estación 2120569 Camavieja. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 105. Distribución temporal precipitación total estación 2120642 Planta Wiesner. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 106. Distribución temporal precipitación total estación 21205791 Apto. El Dorado Auto. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 107. Distribución temporal precipitación total estación 2120112 La Casita. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 108. Distribución temporal precipitación total estación 2120516 La Ramada. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 109. Distribución temporal precipitación total estación 2120136 Santa Inés. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 110. Distribución temporal precipitación total estación 2120559 Apto. Guaymaral - Usta. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 111. Distribución temporal precipitación total estación 21201210 El Hato. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 112. Variación anual y tendencia de la precipitación total de las estaciones base.

Figura 113. Localización de las estaciones analizadas con registros de evaporación.

Figura 114. Distribución temporal de la evaporación total diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1991 - 2019

Figura 115. Distribución temporal evaporación total diaria estación La Ramada. Periodo 1991 - 2019.

Figura 116. Localización de las estaciones de temperatura.

Figura 117. Distribución temporal temperatura media diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019.

Figura 118. Distribución temporal temperatura media diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019.

Figura 119. Distribución temporal temperatura media diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019.

Figura 120. Distribución temporal temperatura media diaria estación Carvajal-Sevillana. Periodo 2010-2021.

Figura 121. Distribución temporal temperatura media diaria estación Centro de Alto Rendimiento. Periodo 2010-2021.

Figura 122. Distribución temporal temperatura media diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021.

Figura 123. Distribución temporal temperatura media diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.

Figura 124. Distribución temporal temperatura media diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021.

Figura 125. Distribución temporal temperatura media diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021.

Figura 126. Distribución temporal temperatura media diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021.

Figura 127. Distribución temporal temperatura media diaria estación Suba. Periodo 2010-2021.

Figura 128. Distribución temporal temperatura media diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.

Figura 129. Variación anual y tendencia de la temperatura media de las estaciones base. Periodo 1998-2019.

Figura 130. Variación anual y tendencia de la temperatura media de las estaciones complementarias. Periodo 2010-2021.

Figura 131. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019.

Figura 132. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019.

Figura 133. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019.

Figura 134. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Carvajal Sevillana. Periodo 2010-2021.

Figura 135. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Centro de alto rendimiento. Periodo 2010-2021.

Figura 136. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021.

Figura 137. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.

Figura 138. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021.

Figura 139. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021.

Figura 140. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021.

Figura 141. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Suba. Periodo 2010-2021.

Figura 142. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.

Figura 143. Variación anual y tendencia de la temperatura máxima. Estaciones base (Periodo 1998-2019) y Estaciones complementarias (2010-2021).

Figura 144. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019.

Figura 145. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019.

Figura 146. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019.

Figura 147. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Carvajal - Sevillana. Periodo 2010-2021.

Figura 148. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Centro de Alto Rendimiento. Periodo 2010-2021.

Figura 149. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021.

Figura 150. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.

Figura 151. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021.

Figura 152. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021.

Figura 153. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021.

Figura 154. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Suba. Periodo 2010-2021.

Figura 155. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.

Figura 156. Variación anual y tendencia de la temperatura mínima. Estaciones base (Periodo 1998-2019) y Estaciones complementarias (2010-2021).

Figura 157. Comportamiento espacial de la precipitación total media multianual (mm) - Periodo común 1987-2021 .

Figura 158. Comportamiento espacial de la precipitación total media multianual (mm) - Periodo histórico 1947-2021.

Figura 159. Relaciones Elevación - Temperatura mínima, media y máxima anual para estaciones base.

Figura 160. Comportamiento espacial de la temperatura mínima anual para estaciones base (°C).

Figura 161. Comportamiento espacial de la temperatura media anual para estaciones base (°C).

Figura 162. Comportamiento espacial de la temperatura máxima anual para estaciones base (°C).

Figura 163. Relaciones Elevación - Temperatura mínima, media y máxima anual para estaciones complementarias.

Figura 164. Comportamiento espacial de la temperatura mínima anual (°C) - Estaciones complementarias.

Figura 165. Comportamiento espacial de la temperatura media anual (°C) - Estaciones complementarias.

Figura 166. Comportamiento espacial de la temperatura máxima anual (°C) - Estaciones complementarias.

Figura 167. Relación Elevación - Evaporación.

Figura 168. Comportamiento espacial de la evaporación anual (mm).

Figura 169. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, subzona hidrográfica.

Figura 170. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, unidad hidrológica nivel I.

Figura 171. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, unidad hidrológica nivel II

Figura 172. Ubicación de los sistemas lóticos que cruzan con el proyecto.

Figura 173. Quebrada La Vieja.

Figura 174. Canal Salitre.

Figura 175. Canal Cafam - Paso con Canal

Figura 176. Canal Cafam - Paso con Box Culvert.

Figura 177. Río Bogotá

Figura 178. Brazo del humedal Juan Amarillo.

Figura 179. Ubicación de los sistemas lénticos que cruzan con el proyecto.

Figura 180. Lago Club los Lagartos

Figura 181. Lago Club Los Lagartos ubicación

Figura 182. Humedal Juan Amarillo.

Figura 183. Humedal Juan Amarillo ubicación.

Figura 184. Humedal La Conejera.

Figura 185. Ubicación Humedal La Conejera.

Figura 186. Localización de las subcuencas delimitadas para la línea 2 del metro.

Figura 187. Patrones de drenaje de tipo Erosional

Figura 188. Zonas de recarga 1/2.

Figura 189. Zonas de recarga 2/2.

Figura 190. Tasa de cambio climático de la precipitación 2011-2040.

Figura 191. Tasa de cambio climático de la precipitación 2041-2070.

Figura 192. Tasa de cambio climático de la temperatura 2041-2070.

Figura 193. Ronda hidráulica y ZMPA en el Río Bogotá

Figura 194. Localización de ZMPA y línea 2 del metro

Figura 195. Localización de Ronda Hidráulica y línea 2 del metro

Figura 196. Cobertura de las subcuencas 1/2.

Figura 197. Cobertura de las subcuencas 2/2.

Figura 198. Rendimiento hídrico total año medio.

Figura 199. Distribución temporal de caudales medios en el Humedal La Conejera.

Figura 200. Distribución temporal de caudales medios en el Canal Cafam.

Figura 201. Distribución temporal de caudales medios en Cuenca 1.

Figura 202. Distribución temporal de caudales medios en el Humedal Juan Amarillo.

Figura 203. Distribución temporal de caudales medios en Cuenca 2.

Figura 204. Distribución temporal de caudales medios en el Canal Salitre B.

Figura 205. Distribución temporal de caudales medios en el Canal Salitre Completo.

Figura 206. Localización de las áreas de drenaje de las estaciones de caudal

Figura 207. Curva de Duración de Caudales subcuenca Humedal La Conejera.

Figura 208. Curva de Duración de Caudales subcuenca Canal Cafam.

Figura 209. Curva de Duración de Caudales subcuenca Cuenca 1.

Figura 210. Curva de Duración de Caudales subcuenca Humedal Juan Amarillo.

Figura 211. Curva de Duración de Caudales subcuenca Cuenca 2.

Figura 212. Curva de Duración de Caudales subcuenca Canal Salitre B

Figura 213. Curva de Duración de Caudales subcuenca Canal Salitre Completo.

Figura 214. Diagrama boxplot para el Humedal La Conejera (m³/s).

Figura 215. Diagrama boxplot para el Canal Cafam (m³/s).

Figura 216. Diagrama boxplot para la Cuenca 1 (m³/s).

Figura 217. Diagrama boxplot del Humedal La Conejera (m³/s).

Figura 218. Diagrama boxplot para la Cuenca 2 (m³/s).

Figura 219. Diagrama boxplot para el Canal Salitre B (m³/s).

Figura 220. Diagrama boxplot para el Canal Salitre Completo (m³/s).

Figura 221. Localización de la estación Puente La Virgen.

Figura 222. Ajuste de caudales máximos instantáneos.

Figura 223. Nivel del agua para un periodo de retorno de 1000 años, con el modelo digital HEC-RAS de la CAR.

Figura 224. Sección Típica Adecuación Hidráulica del río Bogotá.

Figura 225. Figura 3. Nivel del agua para un periodo de retorno de 1000 años Y 100 años para la sección dragada.

Figura 226. Modelo Digital del Terreno, 2022.

Figura 227. Nivel del agua y del Jarillón.

Figura 228. Distribución de probabilidad para precipitaciones máximas en 24 horas estación Cerro de Suba (20031).

Figura 229. Isomáximas 2,33 años de periodo de retorno (mm).

Figura 230. Isomáximas 5 años de periodo de retorno (mm).

Figura 231. Isomáximas 10 años de periodo de retorno (mm).

Figura 232. Isomáximas 15 años de periodo de retorno (mm).

Figura 233. Isomáximas 25 años de periodo de retorno (mm).

Figura 234. Isomáximas 50 años de periodo de retorno (mm).

Figura 235. Isomáximas 100 años de periodo de retorno (mm).

Figura 236. Distribución temporal de las tormentas.

Figura 237. Distribución temporal de las tormentas - Duración 3 horas.

Figura 238. Hidrograma adimensional del Soil Conservation Service (SCS)

Figura 239. Análisis de frecuencias de caudales mínimos de la estación de Parque Nacional - Río Arzobispo (20951).

Figura 240. Análisis de frecuencias de caudales mínimos de la estación de Ventana-Captación - QDA. La Vieja (20949).

Figura 241. Sistema de clasificación de Rosgen, nivel I.

Figura 242. Variación multitemporal de la subcuenca Humedal La Conejera.

Figura 243. Variación multitemporal de la subcuenca Canal Cafam.

Figura 244. Variación multitemporal de la Cuenca 1.

Figura 245. Variación multitemporal de la subcuenca Humedal Juan Amarillo.

Figura 246. Variación multitemporal de la Cuenca 2.

Figura 247. Variación multitemporal de la subcuenca Canal Salitre.

Figura 248. Mapa del índice del uso del agua de Colombia.

Figura 249. Mapa nacional multianual del índice de regulación hídrica.

Figura 250. Índice de vulnerabilidad hídrica al desabastecimiento para condiciones hidrológicas promedio y de año seco.

Figura 251. Cálculo de la evapotranspiración con el software CROPWAT 8.0

Figura 252. Balance hídrico del proyecto.

Figura 253. Diagrama de flujo del cálculo del almacenamiento (Si).

Figura 254. Diagrama de flujo del cálculo del uso del almacenamiento (SUi).

Figura 255. Diagrama de flujo del cálculo de la percolación (Gsi).

Figura 256. Diagrama de flujo del cálculo del déficit (Di).

Figura 257. Diagrama de flujo del cálculo del exceso (Ei).

Figura 258. Balance hídrico del Humedal La Conejera en (mm).

Figura 259. Balance hídrico del Canal Cafam en (mm).

Figura 260. Balance hídrico de la Cuenca 1 en (mm).

Figura 261. Balance hídrico del Humedal Juan Amarillo en (mm).

Figura 262. Balance hídrico de la Cuenca 2 en (mm).

Figura 263. Balance hídrico del Canal Salitre B en (mm).

Figura 264. Balance hídrico del Canal Salitre Completo en (mm).

Figura 265. Subcuencas de análisis para estimación de recarga del acuífero en la zona de calle 72

Figura 266. Balance hídrico subcuenca rural (cerros orientales) (mm).

Figura 267. Balance hídrico subcuenca urbana zona calle 72 (mm).

Figura 268. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por inundaciones fluviales lentas

Figura 269. Susceptibilidad por inundaciones por la zona del proyecto.

Figura 270. Amenaza por inundación por rompimiento del jarillón.

Figura 271. Amenaza de inundación por desbordamiento.

Figura 272. Amenaza por encharcamiento

Figura 273. Diagrama de flujo para evaluación de susceptibilidad por avenidas torrenciales.

Figura 274. Susceptibilidad por avenidas torrenciales en la zona del proyecto.

Figura 275. Amenaza por avenidas torrenciales y/o crecientes súbitas.

Figura 276. Ubicación de los cuerpos de agua a monitorear

Figura 277. Comportamiento temperatura

Figura 278. Comportamiento de pH

Figura 279. Comportamiento Acidez Total

Figura 280. Comportamiento Alcalinidad Total

Figura 281. comportamiento Dureza Cálcica

Figura 282. comportamiento Dureza Total

Figura 283. Comportamiento Conductividad Eléctrica

Figura 284. comportamiento Sólidos Totales Disueltos

Figura 285. Comportamiento Sólidos Sedimentables

Figura 286. Comportamiento Sólidos suspendidos totales

Figura 287. Comportamiento de la turbidez

Figura 288. Comportamiento Color - Periodo Húmedo

Figura 289. Comportamiento Color - Periodo Seco

Figura 290. Comportamiento Oxígeno Disuelto

Figura 291. Comportamiento DBO5

Figura 292. Comportamiento DQO

Figura 293. Comportamiento Nitrógeno Total

Figura 294. Comportamiento Fósforo Total

Figura 295. Comportamiento Coliformes Totales

Figura 296. Comportamiento Coliformes Fecales

Figura 297. Comportamiento Arsénico

Figura 298. Comportamiento Bario

Figura 299. Comportamiento Cadmio

Figura 300. Comportamiento Cobre

Figura 301. Comportamiento Mercurio

Figura 302. Comportamiento Níquel

Figura 303. Comportamiento Plata

Figura 304. Comportamiento Plomo

Figura 305. Comportamiento Selenio

Figura 306. Comportamiento Zinc

Figura 307. Comportamiento Aceites y Grasas

Figura 308. Comportamiento Hidrocarburos Totales

Figura 309. Comportamiento SAAM

Figura 310. Comportamiento Fenoles

Figura 311. Resultados Índice ICA

Figura 312. Resultados Índice IACAL

Figura 313. Resultados Índice de Langelier

Figura 314. Resultados Capacidad Buffer

Figura 315. Resultados Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Figura 316. Resultados Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Figura 317. Resultados Índice de contaminación por sólidos suspendidos totales (ICOSUS)

Figura 318. Resultados Índice de contaminación por pH (ICOpH)

Figura 319. Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del agua con respecto al área de influencia del proyecto

Figura 320. Tendencia histórica de los resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA) para la estación LM vuelta grande

Figura 321. Contexto Geología regional.

Figura 322. Correlación regional de las unidades del cretácico al neógeno en área del proyecto

Figura 323. Rasgos estructurales regionales en la Sabana de Bogotá.

Figura 324. Zona homogénea 1 y 2 entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra el trazado, estaciones,

obras anexas y los cuerpos de agua superficial

Figura 325. Zona homogénea 2 y 3 entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial

Figura 326. Zona homogénea 3 entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial

Figura 327. Zona homogénea 3 y 4, entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - río Bogotá.

Figura 328. Mapa geológico de la ZH1 y ZH2, entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 329. Mapa geológico de la ZH2 y ZH3, entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 330. Mapa geológico de la ZH3, entre la estación 7 y la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 331. Mapa geológico del final de la ZH3 y ZH4, entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes - río Bogotá. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 332. Localización espacial de las estaciones de todas las entidades disponibles en la zona.

Figura 333. Periodos de registros para las estaciones identificadas según la entidad operadora.

Figura 334. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por entidad operadora.

Figura 335. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, subzona hidrográfica.

Figura 336. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, unidad hidrológica nivel I.

Figura 337. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, unidad hidrológica nivel II

Figura 338. Ubicación de los sistemas lóticos que cruzan con el proyecto

Figura 339. Ubicación de los sistemas lénticos que cruzan con el proyecto.

Figura 340. Representación de la columna de suelo. Adaptado de (Eagleson, 1978)

Figura 341. Balance hídrico superficial

Figura 342. Cobertura de las subcuencas.

Figura 343. Rendimiento hídrico total año medio.

Figura 344. Diagrama de flujo del cálculo del almacenamiento (Si).

Figura 345. Diagrama de flujo del cálculo del uso del almacenamiento (SUi).

Figura 346. Diagrama de flujo del cálculo del déficit (Di).

Figura 347. Diagrama de flujo del cálculo del exceso (Ei).

Figura 348. Balance hídrico del Humedal La Conejera en (mm).

Figura 349. Balance hídrico del Canal Cafam en (mm).

Figura 350. Balance hídrico de la Cuenca 1 en (mm).

Figura 351. Balance hídrico del Humedal Juan Amarillo en (mm)

Figura 352. Balance hídrico de la Cuenca 2 en (mm).

Figura 353. Balance hídrico del Canal Salitre B en (mm)

Figura 354. Distribución superficial de las unidades hidrogeológicas entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial

Figura 355. Distribución superficial de las unidades hidrogeológicas entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial

Figura 356. Distribución superficial de las unidades hidrogeológicas, zonas de recarga y descarga con la dirección del flujo subterráneo entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial

Figura 357. Distribución superficial de las unidades hidrogeológicas, zonas de recarga y descarga con la dirección del flujo subterráneo entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - río Bogotá.

Figura 358. L2MB. Sección B-B'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 359. L2MB. Sección C-C'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 360. L2MB. Sección D-D'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 361. L2MB. Sección E-E'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 362. L2MB. Sección F-F'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 363. L2MB. Sección G-G'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 364. L2MB. Sección H-H'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 365. L2MB. Sección I-I'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 366. L2MB. Sección J-J'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 367. Mapa de Isopiezas Subsuperficiales en el Distrito Capital y el trazado del proyecto (en negro)

Figura 368. Perfil sentido Sur-Norte. Canal Jaboque y Humedal Juan Amarillo

Figura 369. L2MB. Formato Funias soporte de la evaluación de pozos de agua subterránea a lo largo del corredor

Figura 370. L2MB. Formato Funias soporte de la evaluación de aljibes a lo largo del corredor

Figura 371. Mapa de isopiezas acuifero somero, direcciones de flujo subterráneo respecto al trazado de la L2MB (línea en negro)

Figura 372. L2MB. Localización general Puntos de Agua e Investigaciones del subsuelo

Figura 373. L2MB- Zonas Homogéneas. Variación de nivel freático en profundidad

Figura 374. Flujograma utilizado para la Elaboración del Modelo Hidrogeológico Conceptual.

Figura 375. Metodología GOD Para Evaluar el Índice de Vulnerabilidad de Contaminación de los Acuíferos

Figura 376. Variables temáticas involucradas en el geoprocesamiento metodológico GOD para el área de la modelación

Figura 377. Mapa de isopiezas de niveles freáticos

Figura 378. Mapa de zonificación de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, Estación 1 - Estación 3 del proyecto L2MB

Figura 379. Mapa de zonificación de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, Estación 3 - Estación 6 del proyecto L2MB

Figura 380. Mapa de zonificación de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, Estación 7 - Estación 9 del proyecto L2MB

Figura 381. Mapa de zonificación de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, Estación 9 - Patio Taller del proyecto L2MB

Figura 382. Software utilizado

Figura 383. Esquema de discretización espacial de un sistema acuífero

Figura 384. Sistema de celda de bloque centrado

Figura 385. Flujo Entrando a la Celda i, j, k desde la Celda i, j-1, k

Figura 386. Celda i, j, k e Índices Utilizados para sus seis celdas vecinas

Figura 387. Dominio computacional del modelo.

Figura 388. Unidades hidrogeológicas - Zona de modelación.

Figura 389. Discretización seleccionada para la modelación - Mallado de 10X10 m.

Figura 390. Perfil longitudinal (sentido O-E) - discretización vertical (7 capas) - Fila 250 del modelo numérico.

Figura 391. Condiciones de borde del esquema de modelación.

Figura 392. Unidades hidrogeológicas de la zona de interés

Figura 393. Corte longitudinal (Sentido O-E) - Unidades hidrogeológicas de la zona de interés - Fila 250 del modelo numérico.

Figura 394. Ubicación de puntos de observación.

Figura 395. Serie piezométrica en los puntos de observación.

Figura 396. Resultado de la calibración niveles observados vs. calculados - Condición estacionaria.

Figura 397. Superficie freática lograda tras la calibración en condición estacionaria.

Figura 398. Análisis de sensibilidad - conductividad hidráulica (MAE/MAE DE CALIBRACIÓN)

Figura 399. Sección transversal - Sector Cerros de Suba - escenario actual, Fila 252 del modelo.

Figura 400. Sección transversal - Sector Cerros de Suba - escenario de operación (con proyecto), fila 252 del modelo.

Figura 401. Ubicación en planta sección transversal - Sector Cerros de Suba , fila 252 del modelo.

Figura 402. Direcciones de flujo en planta (condicion actual y de operación) - Zona humedal Juan Amarillo.

Figura 403. Software utilizado.

Figura 404. Esquema de discretización espacial de un sistema acuífero

Figura 405. Sistema de celda de bloque centrado

Figura 406. Flujo Entrando a la Celda i, j, k desde la Celda i, j-1, k

Figura 407. Celda i, j, k e Índices Utilizados para sus seis celdas vecinas

Figura 408. Dominio computacional del modelo.

Figura 409. Unidades hidrogeológicas - Zona de modelación.

Figura 410. Discretización seleccionada para la modelación - Mallado de 10X10 m.

Figura 411. Perfil longitudinal (sentido SE-NW) - discretización vertical (15 capas) - Columna 110 del modelo numérico (Exageración vertical: 5).

Figura 412. Condiciones de borde del esquema de modelación.

Figura 413. Unidades hidrogeológicas de la zona de interés

Figura 414. Corte longitudinal (Sentido SE-NW) - unidades geológicas de la zona de interés - Columna 110 del modelo numérico.

Figura 415. Ubicación de puntos de observación.

Figura 416. Serie piezométrica en los puntos de observación.

Figura 417. Resultado de la calibración niveles observados vs. calculados - Condición estacionaria.

Figura 418. Superficie freática lograda tras la calibración en condición estacionaria.

Figura 419. Análisis de sensibilidad - conductividad hidráulica (MAE/MAE DE CALIBRACIÓN)

Figura 420. Sección Longitudinal - escenario actual, Columna 70 del modelo.

Figura 421. Sección longitudinal - escenario de operación (con proyecto), Columna 70 del modelo.

Figura 422. Ubicación en planta sección longitudinal - Sector Calle 72 , Columna 70 del modelo.

Figura 423. Direcciones de flujo en planta (condición actual y de operación) - Zona Calle 72.

Figura 424. Ubicación de puntos de monitoreo de aguas subterráneas.

Figura 425. Comportamiento del pH (Parte 1).

Figura 426. Comportamiento del pH (Parte 2).

Figura 427. Comportamiento de la conductividad eléctrica (Parte 1)

Figura 428. Comportamiento de la conductividad eléctrica (Parte 2)

Figura 429. Comportamiento de la temperatura (Parte 1)

Figura 430. Comportamiento de la temperatura (Parte 2)

Figura 431. Comportamiento del potencial REDOX (Parte 1)

Figura 432. Comportamiento del potencial REDOX (Parte 2)

Figura 433. Comportamiento de la acidez (Parte 1)

Figura 434. Comportamiento de la acidez (Parte 2)

Figura 435. Comportamiento de la alcalinidad (Parte 1)

Figura 436. Comportamiento de la alcalinidad (Parte 2)

Figura 437. Comportamiento de los bicarbonatos (Parte 1)

Figura 438. Comportamiento de los bicarbonatos (Parte 2)

Figura 439. Comportamiento de los carbonatos (Parte 1)

Figura 440. Comportamiento de los carbonatos (Parte 2)

Figura 441. Comportamiento de la DBO5 (Parte 1)

Figura 442. Comportamiento de la DBO5 (Parte 2)

Figura 443. Comportamiento de la DQO (Parte 1)

Figura 444. Comportamiento de la DQO (Parte 2)

Figura 445. Comportamiento del oxígeno disuelto (Parte 1)

Figura 446. Comportamiento del oxígeno disuelto (Parte 2)

Figura 447. Comportamiento de la dureza cálcica (Parte 1)

Figura 448. Comportamiento de la dureza cálcica (Parte 2)

Figura 449. Comportamiento de la dureza total (Parte 1)

Figura 450. Comportamiento de la dureza total (Parte 2)

Figura 451. Comportamiento de los sólidos disueltos totales (Parte 1)

Figura 452. Comportamiento de los sólidos disueltos totales (Parte 2)

Figura 453. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales (Parte 1)

Figura 454. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales (Parte 2)

Figura 455. Comportamiento de los cloruros (Parte 1)

Figura 456. Comportamiento de los cloruros (Parte 2)

Figura 457. Comportamiento del fósforo total (Parte 1)

Figura 458. Comportamiento del fósforo total (Parte 2)

Figura 459. Comportamiento de los nitratos (Parte 1)

Figura 460. Comportamiento de los nitratos (Parte 2)

Figura 461. Comportamiento del nitrógeno total (Parte 1)

Figura 462. Comportamiento del nitrógeno total (Parte 2)

Figura 463. Comportamiento de los sulfatos (Parte 1)

Figura 464. Comportamiento de los sulfatos (Parte 2)

Figura 465. Comportamiento del calcio total (Parte 1)

Figura 466. Comportamiento del calcio total (Parte 2)

Figura 467. Comportamiento del hierro total (Parte 1)

Figura 468. Comportamiento del hierro total (Parte 2)

Figura 469. Comportamiento del magnesio total (Parte 1)

Figura 470. Comportamiento del magnesio total (Parte 2)

Figura 471. Comportamiento del potasio total (Parte 1)

Figura 472. Comportamiento del potasio total (Parte 2)

Figura 473. Comportamiento del sodio total (Parte 1)

Figura 474. Comportamiento del sodio total (Parte 2)

Figura 475. Comportamiento de las grasas y aceites (Parte 1)

Figura 476. Comportamiento de las grasas y aceites (Parte 2)

Figura 477. Comportamiento de los hidrocarburos totales (Parte 1)

Figura 478. Comportamiento de los hidrocarburos totales (Parte 2)

Figura 479. Comportamiento de las coliformes totales (Parte 1)

Figura 480. Comportamiento de las coliformes totales (Parte 2)

Figura 481. Comportamiento de las coliformes fecales o termotolerantes (Parte 1)

Figura 482. Comportamiento de las coliformes fecales o termotolerantes (Parte 2)

Figura 483. Comportamiento de la Escherichia coli

Figura 484. Comportamiento de la Escherichia coli

Figura 485. Diagramas de Stiff (Parte 1).

Figura 486. Diagramas de Stiff (Parte 2).

Figura 487. Diagramas de Stiff (Parte 3).

Figura 488. Configuración del diagrama de Piper

Figura 489. Diagrama de Piper (Parte 1)

Figura 490. Diagrama de Piper (Parte 2)

Figura 491. Diagrama de Piper (Parte 3)

Figura 492. Distribución porcentual de los tipos de suelo para la Zona Homogénea 1

Figura 493. Parámetros resumen de la zona homogénea 1

Figura 494. Distribución porcentual de los tipos de suelo para la Zona Homogénea 2

Figura 495. Parámetros resumen de la zona homogénea 2

Figura 496. Distribución porcentual de los tipos de suelo para la Zona Homogénea 3

Figura 497. Parámetros resumen de la zona homogénea 3

Figura 498. Distribución porcentual de los tipos de suelo para la Zona Homogénea 4

Figura 499. Parámetros resumen de la zona homogénea 4

Figura 500. Columnas estratigráficas estación 1

Figura 501. Columna estratigráfica típica, estaciones 2 a 10

Figura 502. Trazado de la L2MB sobre el mapa de zonas de respuesta sísmica de la MZSB.

Figura 503. Exploraciones usadas para la caracterización geotécnica.

Figura 504. Discretización de zonas para caracterización geotécnica.

Figura 505. Análisis de granulometrías, humedad y plasticidad de las muestras extraídas.

Figura 506. Distribución de clasificación USCS.

Figura 507. Discretización de zonas para caracterización geotécnica.

Figura 508. Resumen de parámetros zonas 1 y 3.

Figura 509. Resumen de parámetros zona 2 - Capa arena - arcilla primeros 10 metros.

Figura 510. Resultados de ensayos de caracterización física y mecánica Patio Taller

Figura 511. Trazado L2MB en zonas respuestas sísmicas microzonificación sísmica de Bogotá. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Figura 512. Zona Piedemonte B. Espectros de respuesta para las señales seleccionadas y envolvente para 1000 años de periodo de retorno. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Figura 513. Zona Aluvial 100. Espectros de respuesta para las señales seleccionadas y envolvente para 1000 años de

periodo de retorno. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Figura 514. Zona Lacustre 200. Espectros de respuesta para las señales seleccionadas y envolvente para 1000 años de periodo de retorno. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Figura 515. Zona Lacustre 100. Parámetros utilizados para la modelación del espectro de respuesta sísmica

Figura 516. Zona Lacustre 300. Parámetros utilizados para la modelación del espectro de respuesta sísmica. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Figura 517. Zona Lacustre 500. Parámetros utilizados para la modelación del espectro de respuesta sísmica. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Figura 518. Zona Lacustre 100. Espectros de respuesta para las señales seleccionadas y envolvente para 1000 años de periodo de retorno.Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Figura 519. Zona Lacustre 300. Espectros de respuesta para las señales seleccionadas y envolvente para 1000 años de periodo de retorno.Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Figura 520. Zona Lacustre 500. Espectros de respuesta para las señales seleccionadas y envolvente para 1000 años de periodo de retorno. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Figura 521. Espectros de respuesta microzonificación sísmica de Bogotá corredor L2MB

Figura 522. Localización espacial de las estaciones de todas las entidades disponibles en la zona.

Figura 523. Periodos de registros para las estaciones identificadas según la entidad operadora.

Figura 524. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por entidad operadora.

Figura 525. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por categoría.

Figura 526. Localización de las estaciones de precipitación.

Figura 527. Distribución temporal precipitación total estación San Diego. Periodo 1987 - 2021.

Figura 528. Distribución temporal precipitación total estación Cerro de Suba. Periodo 1987 - 2021.

Figura 529. Distribución temporal precipitación total estación El Granizo. Periodo 1987 - 2021.

Figura 530. Distribución temporal precipitación total estación 2120040 San Luis. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 531. Distribución temporal precipitación total estación 2120196 Casa de Bombas Salitre. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 532. Distribución temporal precipitación total estación 20207 Saucedal II. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 533. Distribución temporal precipitación total estación 2120547 Fontibón. El Periodo 1987 - 2021

Figura 534. Distribución temporal precipitación total estación 2120569 Camavieja. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 535. Distribución temporal precipitación total estación 2120642 Planta Wiesner. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 536. Distribución temporal precipitación total estación 21205791 Apto. El Dorado Auto. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 537. Distribución temporal precipitación total estación 2120112 La Casita. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 538. Distribución temporal precipitación total estación 2120516 La Ramada. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 539. Distribución temporal precipitación total estación 2120136 Santa Inés. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 540. Distribución temporal precipitación total estación 2120559 Apto. Guaymaral - Usta. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 541. Distribución temporal precipitación total estación 21201210 El Hato. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 542. Variación anual y tendencia de la precipitación total de las estaciones base.

Figura 543. Localización de las estaciones analizadas con registros de evaporación.

Figura 544. Distribución temporal de la evaporación total diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1991 - 2019

Figura 545. Distribución temporal evaporación total diaria estación La Ramada. Periodo 1991 - 2019.

Figura 546. Localización de las estaciones de temperatura.

Figura 547. Distribución temporal temperatura media diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019.

Figura 548. Distribución temporal temperatura media diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019.

Figura 549. Distribución temporal temperatura media diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019.

Figura 550. Distribución temporal temperatura media diaria estación Carvajal-Sevillana. Periodo 2010-2021.

Figura 551. Distribución temporal temperatura media diaria estación Centro de Alto Rendimiento. Periodo 2010-2021.

Figura 552. Distribución temporal temperatura media diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021.

Figura 553. Distribución temporal temperatura media diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.

Figura 554. Distribución temporal temperatura media diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021.

Figura 555. Distribución temporal temperatura media diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021.

Figura 556. Distribución temporal temperatura media diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021.

Figura 557. Distribución temporal temperatura media diaria estación Suba. Periodo 2010-2021.

Figura 558. Distribución temporal temperatura media diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.

Figura 559. Variación anual y tendencia de la temperatura media de las estaciones base. Periodo 1998-2019.

Figura 560. Variación anual y tendencia de la temperatura media de las estaciones complementarias. Periodo 2010-2021.

Figura 561. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019.

Figura 562. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019.

Figura 563. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019.

Figura 564. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Carvajal Sevillana. Periodo 2010-2021.

Figura 565. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Centro de alto rendimiento. Periodo 2010-2021.

Figura 566. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021.

Figura 567. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.

Figura 568. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021.

Figura 569. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021.

Figura 570. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021.

Figura 571. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Suba. Periodo 2010-2021.

Figura 572. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.

Figura 573. Variación anual y tendencia de la temperatura máxima. Estaciones base (Periodo 1998-2019) y Estaciones complementarias (2010-2021).

Figura 574. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019.

Figura 575. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019.

Figura 576. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019.

Figura 577. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Carvajal - Sevillana. Periodo 2010-2021.

Figura 578. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Centro de Alto Rendimiento. Periodo 2010-2021.

Figura 579. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021.

Figura 580. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.

Figura 581. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021.

Figura 582. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021.

Figura 583. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021.

Figura 584. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Suba. Periodo 2010-2021.

Figura 585. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.

Figura 586. Variación anual y tendencia de la temperatura mínima. Estaciones base (Periodo 1998-2019) y Estaciones complementarias (2010-2021).

Figura 587. Comportamiento espacial de la precipitación total media multianual (mm) - Periodo común 1987-2021 .

Figura 588. Comportamiento espacial de la precipitación total media multianual (mm) - Periodo histórico 1947-2021.

Figura 589. Relaciones Elevación - Temperatura mínima, media y máxima anual para estaciones base.

Figura 590. Comportamiento espacial de la temperatura mínima anual para estaciones base (°C).

Figura 591. Comportamiento espacial de la temperatura media anual para estaciones base (°C).

Figura 592. Comportamiento espacial de la temperatura máxima anual para estaciones base (°C).

Figura 593. Relaciones Elevación - Temperatura mínima, media y máxima anual para estaciones complementarias.

Figura 594. Comportamiento espacial de la temperatura mínima anual (°C) - Estaciones complementarias.

Figura 595. Comportamiento espacial de la temperatura media anual (°C) - Estaciones complementarias.

Figura 596. Comportamiento espacial de la temperatura máxima anual (°C) - Estaciones complementarias.

Figura 597. Relación Elevación - Evaporación.

Figura 598. Comportamiento espacial de la evaporación anual (mm).

Figura 599. Localización de las estaciones de brillo solar.

Figura 600. Distribución temporal brillo solar estación 20642 Planta Wiesner. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 601. Localización de las estaciones de radiación solar.

Figura 602. Distribución temporal radiación solar estación Centro de Alto Rendimiento. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 603. Distribución temporal radiación solar estación Guaymaral. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 604. Distribución temporal radiación solar estación Kennedy. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 605. Distribución temporal radiación solar estación Móvil 7ma. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 606. Distribución temporal radiación solar estación San Cristóbal. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 607. Distribución temporal radiación solar estación Tunal. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 608. Localización de las estaciones de humedad relativa.

Figura 609. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación 20642 Planta Wiesner. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 610. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación 2120516 La Ramada. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 611. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación 21205791 El Dorado Catam. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 612. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Centro de Alto Rendimiento. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 613. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Guaymaral. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 614. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Kennedy. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 615. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Las Ferias. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 616. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Móvil Séptima. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 617. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación San Cristóbal. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 618. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Tunal . El Periodo 2010 - 2021.

Figura 619. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Universidad Nacional . El Periodo 2010 - 2021.

Figura 620. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación IDEAM Bogotá . El Periodo 2010 - 2021.

Figura 621. Distribución temporal humedad relativa mínima diaria estación La Ramada . El Periodo 1991-2019.

Figura 622. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación Planta Wiesner. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 623. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación La Ramada. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 624. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación El Dorado Catam. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 625. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación Centro de Alto Rendimiento. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 626. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación Guaymaral. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 627. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación Kennedy. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 628. Localización de las estaciones de nubosidad.

Figura 629. Distribución temporal de la nubosidad estación El Dorado. El Periodo 1998-2016.

Figura 630. Distribución temporal de la nubosidad estación INEM Kennedy. El Periodo 1998-2016.

Figura 631. Localización de las estaciones de velocidad del viento.

Figura 632. Distribución temporal precipitación total estación Carvajal - Sevillana. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 633. Distribución temporal precipitación total estación Centro de Alto Rendimiento. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 634. Distribución temporal precipitación total estación Guaymaral. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 635. Distribución temporal precipitación total estación Kennedy. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 636. Distribución temporal precipitación total estación 21205791 El Dorado Catam. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 637. Distribución temporal velocidad estación Las Ferias. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 638. Distribución temporal velocidad estación Secretaría Distrital De Ambiente. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 639. Distribución temporal velocidad estación Móvil Séptima. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 640. Distribución temporal velocidad estación Puente Aranda. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 641. Distribución temporal velocidad estación San Cristóbal. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 642. Distribución temporal velocidad estación Suba. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 643. Distribución temporal velocidad estación Tunal. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 644. Distribución temporal velocidad estación Usaquén. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 645. Rosa de vientos diurno anual de la estación 21205791 El Dorado Catam, 2010-2021.

Figura 646. Rosa de vientos diurna mensual de la estación 21205791 El Dorado Catam, 2010-2021.

Figura 647. Rosa de vientos nocturno anual de la estación 21205791 El Dorado Catam, 2010-2021.

Figura 648. Rosa de vientos nocturna mensual de la estación 21205791 El Dorado Catam, 2010-2021.

Figura 649. Clasificación climática en la zona de estudio

Figura 650. Ubicación de las fuentes de emisión atmosférica. Tramo 1.

Figura 651. Ubicación de las fuentes de emisión atmosférica. Tramo 2.

Figura 652. Ubicación de las fuentes de emisión atmosférica. Tramo 3.

Figura 653. Ubicación de las fuentes de emisión atmosférica. Tramo 4.

Figura 654. Ubicación de las fuentes de emisión atmosférica. Tramo 5.

Figura 655. Localización estaciones maestras.

Figura 656. Localización de estaciones intermedias o secundarias.

Figura 657. Localización de estaciones complementarias propuestas.

Figura 658. Distribución porcentual de las emisiones GEI por subsector

Figura 659. Emisiones por subsector y por alcance

Figura 660. Participación en emisión de combustión de contaminantes criterio por categoría vehicular

Figura 661. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de PM2.5 para Fuentes Móviles.

Figura 662. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de PM10 para Fuentes Móviles.

Figura 663. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de CO para Fuentes Móviles.

Figura 664. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de NOX para Fuentes Móviles.

Figura 665. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de SO2 para Fuentes Móviles.

Figura 666. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de COV para Fuentes Móviles.

Figura 667. Participación por localidad en las emisiones de fuentes móviles en carretera

Figura 668. Tendencia de emisiones de GEI estimadas para la primera línea del metro de Bogotá con y sin proyecto

Figura 669. Localización de las estaciones de monitoreo de Calidad del Aire de la RMCAB.

Figura 670. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación 7ma móvil. Año 2020

Figura 671. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación 7ma Móvil. Año 2021

Figura 672. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 673. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación CDAR. Año 2021

Figura 674. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Las Ferias. Año 2020

Figura 675. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Las Ferias. Año 2021

Figura 676. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Suba. Año 2020

Figura 677. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Suba. Año 2021

Figura 678. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Bolivia. Año 2020

Figura 679. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Bolivia Año 2021

Figura 680. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Colina. Año 2021

Figura 681. Promedio anual PM10

Figura 682. Concentraciones promedio mensuales de PM2.5. Estación 7ma Móvil. Año 2020

Figura 683. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación 7ma Móvil. Año 2021

Figura 684. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Bolivia. Año 2020.

Figura 685. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Bolivia. Año 2021.

Figura 686. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 687. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 688. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Colina. Año 2021.

Figura 689. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Las Ferias. Año 2020.

Figura 690. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Las Ferias. Año 2021.

Figura 691. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Suba. Año 2020.

Figura 692. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Suba. Año 2021.

Figura 693. Promedio anual PM2.5

Figura 694. Concentración horaria para NO2. Estación 7ma Móvil. Año 2020.

Figura 695. Concentración horaria para NO2. Estación 7ma Móvil. Año 2021.

Figura 696. Concentración horaria para NO2. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 697. Concentración horaria para NO2. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 698. Concentración horaria para NO2. Estación Las Ferias. Año 2020.

Figura 699. Concentración horaria para NO2. Estación Las Ferias. Año 2021.

Figura 700. Concentración horaria para NO2. Estación Suba. Año 2020.

Figura 701. Concentración horaria para NO2. Estación Suba. Año 2021.

Figura 702. Concentración horaria para NO2. Estación Bolivia. Año 2020.

Figura 703. Concentración horaria para NO2. Estación Bolivia. Año 2021.

Figura 704. Concentración horaria para NO2. Estación Colina. Año 2021.

Figura 705. Promedio anual NO2

Figura 706. Concentración horaria para SO2.. Estación Bolivia. Año 2020.

Figura 707. Concentración promedio de 24 horas para SO2. mensuales, Estación Bolivia. Año 2020.

Figura 708. Concentración horaria para SO2. Estación Bolivia. Año 2021

Figura 709. Concentración promedio de 24 horas para SO2. mensuales, Estación Bolivia. Año 2021.

Figura 710. Concentración horaria para SO2. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 711. Concentración promedio de 24 horas para SO2. mensuales. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 712. Concentración horaria para SO2.. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 713. Concentración promedio de 24 horas para SO2. mensuales. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 714. Concentración horaria para SO2. Estación Suba. Año 2020

Figura 715. Concentración promedio de 24 horas para SO2 mensuales, Estación Suba. Año 2020.

Figura 716. Concentración horaria para SO2. Estación Suba. Año 2021

Figura 717. Concentración promedio de 24 horas para SO2 mensuales, Estación Suba. Año 2021.

Figura 718. Concentraciones octohorarias para O3. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 719. Concentraciones octohorarias para O3. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 720. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Las Ferias. Año 2020.

Figura 721. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Las Ferias. Año 2021.

Figura 722. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Suba. Año 2020.

Figura 723. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Suba. Año 2021.

Figura 724. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Bolivia. Año 2021.

Figura 725. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Colina. Año 2021.

Figura 726. Concentración horaria para CO. Estación 7ma Móvil. Año 2020.

Figura 727. Concentración octohoraria para CO. Estación 7ma Móvil. Año 2020.

Figura 728. Concentración horaria para CO. Estación 7ma Móvil. Año 2021.

Figura 729. Concentración octohoraria para CO. Estación 7ma Móvil. Año 2021.

Figura 730. Concentración horaria para CO. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 731. Concentración octohoraria para CO. Estación CDAR. Año 2020..

Figura 732. Concentración horaria para CO. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 733. Concentración octohoraria para CO. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 734. Concentración horaria para CO. Estación Las Ferias. Año 2020.

Figura 735. Concentración octohoraria para CO. Estación Las Ferias. Año 2020.

Figura 736. Concentración horaria para CO. Estación Las Ferias. Año 2021.

Figura 737. Concentración octohoraria para CO. Estación Las Ferias. Año 2021.

Figura 738. Concentración horaria para CO. Estación Suba. Año 2020.

Figura 739. Concentración octohoraria para CO. Estación Suba. Año 2020.

Figura 740. Concentración horaria para CO. Estación Suba. Año 2021.

Figura 741. Concentración octohoraria para CO. Estación Suba. Año 2021.

Figura 742. Concentración horaria para CO. Estación Bolivia. Año 2020.

Figura 743. Concentración octohoraria para CO. Estación Bolivia. Año 2020.

Figura 744. Concentración horaria para CO. Estación Bolivia. Año 2021.

Figura 745. Concentración octohoraria para CO. Estación Bolivia. Año 2021.

Figura 746. Concentración horaria para CO. Estación Colina. Año 2021.

Figura 747. Concentración octohoraria para CO. Estación Colina. Año 2021.

Figura 748. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación Móvil 7ma

Figura 749. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Móvil 7ma

Figura 750. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación CDAR

Figura 751. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación CDAR

Figura 752. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación Las Ferias

Figura 753. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Las Ferias

Figura 754. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación Suba

Figura 755. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Suba

Figura 756. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación Bolivia

Figura 757. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Bolivia

Figura 758. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Colina

Figura 759. Puntos de Monitoreo de calidad de Aire.

Figura 760. Concentraciones diarias de PM10 – CA 1. Gimnasio Moderno

Figura 761. Concentraciones diarias de PM10 – CA 2. Casa Jose Galo

Figura 762. Concentraciones diarias de PM10 – CA 3. Colegio San Felipe Neri

Figura 763. Concentraciones diarias de PM10 – CA 4. Colegio Liceo Val

Figura 764. Concentraciones diarias de PM10 – CA 5. Casa Luis Yomayusa

Figura 765. Concentraciones diarias de PM10 – CA 6. Ofidrogas

Figura 766. Concentraciones diarias de PM10 – CA 7. Casa Edilberto

Figura 767. Concentraciones diarias de PM10 – CA 8. Bomberos

Figura 768. Concentraciones diarias de PM10 – CA 9. Casa Luz Dary

Figura 769. Concentraciones diarias de PM10 – CA 10. Universidad Pedagógica

Figura 770. Concentraciones diarias de PM10 – CA 11. Sala de negocios

Figura 771. Concentraciones diarias de PM10 – CA 12. Salón comunal Almería

Figura 772. Concentraciones diarias de PM10 – CA 13. Casa Paulina Garcia

Figura 773. Concentraciones diarias de PM10 – CA 14. Casa Yeison Chitiva

Figura 774. Concentraciones diarias de PM10 – CA 15. Uniminuto

Figura 775. Concentraciones diarias de PM10 – CA 16. Punta del Este

Figura 776. Concentraciones diarias de PM10 – CA 17. Casa Hilvar

Figura 777. Concentraciones diarias de PM10 – CA 18. Casa Graciela

Figura 778. Concentraciones diarias de PM10 – CA 19. Fama

Figura 779. Concentraciones diarias de PM10 – CA 20. Conjunto Tibabuyes

Figura 780. Concentraciones diarias de PM10 – CA 21. Conjunto Yaití

Figura 781. Concentraciones diarias de PM10 – CA 22. Conjunto Alicante

Figura 782. Concentraciones diarias de PM10 – CA 23. Quintas de Santa Rita III

Figura 783. Concentraciones diarias de PM10 – CA 24. Quintas de Santa Rita II

Figura 784. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 1. Gimnasio Moderno

Figura 785. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 2. Casa Jose Galo

Figura 786. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 3. Colegio San Felipe Neri

Figura 787. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 4. Colegio Liceo Val

Figura 788. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 5. Casa Luis Yomayusa

Figura 789. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 6. Ofidrogas

Figura 790. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 7. Casa Edilberto

Figura 791. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 8. Bomberos

Figura 792. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 9. Casa Luz Dary

Figura 793. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 10. Universidad Pedagógica

Figura 794. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 11. Sala de negocios

Figura 795. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 12. Salón comunal armería

Figura 796. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 13. Casa Paulina Garcia

Figura 797. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 14. Casa Yeison Chitiva

Figura 798. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 15. Uniminuto

Figura 799. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 16. Punta del Este

Figura 800. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 17. Casa Hilvar

Figura 801. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 18. Casa Graciela

Figura 802. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 19. Fama

Figura 803. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 20. Conjunto Tibabuyes

Figura 804. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 21. Conjunto Yaití

Figura 805. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 22. Conjunto Alicante

Figura 806. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 23. Quintas de Santa Rita III

Figura 807. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 24. Quintas de Santa Rita II

Figura 808. Concentraciones diarias de SO2 – CA 1. Gimnasio Moderno

Figura 809. Concentraciones diarias de SO2 – CA 2. Casa Jose Galo

Figura 810. Concentraciones diarias de SO2 – CA 3. Colegio San Felipe Neri

Figura 811. Concentraciones diarias de SO2 – CA 4. Colegio Liceo Val

Figura 812. Concentraciones diarias de SO2 – CA 5. Casa Luis Yomayusa

Figura 813. Concentraciones diarias de SO2 – CA 6. Ofidrogras

Figura 814. Concentraciones diarias de SO2 – CA 7. Casa Edilberto

Figura 815. Concentraciones diarias de SO2 – CA 8. Bomberos

Figura 816. Concentraciones diarias de SO2 – CA 9. Casa Luz Dary

Figura 817. Concentraciones diarias de SO2 – CA 10. Universidad Pedagógica

Figura 818. Concentraciones diarias de SO2 – CA 11. Sala de Negocios

Figura 819. Concentraciones diarias de SO2 – CA 12. Salón comunal Almería

Figura 820. Concentraciones diarias de SO2 – CA 13. Casa Paulina Garcia

Figura 821. Concentraciones diarias de SO2 – CA 14. Casa Yeison Chitiva.

Figura 822. Concentraciones diarias de SO2 – CA 15. Uniminuto

Figura 823. Concentraciones diarias de SO2 – CA 16. Punta del Este

Figura 824. Concentraciones diarias de SO2 – CA 17. Casa Hilvar.

Figura 825. Concentraciones diarias de SO2 – CA 18. Casa Graciela

Figura 826. Concentraciones diarias de SO2 – CA 19. Fama

Figura 827. Concentraciones diarias de SO2 – CA 20. Conjunto Tibabuyes

Figura 828. Concentraciones diarias de SO2 – CA 21. Conjunto Yaití

Figura 829. Concentraciones diarias de SO2 – CA 22. Conjunto Alicante

Figura 830. Concentraciones diarias de SO2 – CA 23. Quintas de Santa Rita III

Figura 831. Concentraciones diarias de SO2 – CA 24. Quintas de Santa Rita II

Figura 832. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 1. Gimnasio Moderno

Figura 833. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 2. Casa Jose Galo

Figura 834. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 3. Colegio San Felipe Neri

Figura 835. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 4. Colegio Liceo Val

Figura 836. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 5. Casa Luis Yomayusa

Figura 837. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 6. Ofidrogas

Figura 838. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 7. Casa Edilberto

Figura 839. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 8. Bomberos

Figura 840. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 9. Casa Luz Dary

Figura 841. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 10. Universidad Pedagógica

Figura 842. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 11. Sala de negocios

Figura 843. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 12. Salón comunal Almería

Figura 844. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 13. Casa Paulina Garcia

Figura 845. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 14. Casa Yeison Chitiva

Figura 846. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 15. Uniminuto

Figura 847. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 16. Punta del Este

Figura 848. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 17. Casa Hilvar

Figura 849. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 18. Casa Graciela

Figura 850. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 19. Fama

Figura 851. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 20. Conjunto Tibabuyes

Figura 852. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 21. Conjunto Yaití

Figura 853. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 22. Conjunto Alicante

Figura 854. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 23. Quintas de Santa Rita III

Figura 855. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 24. Quintas de Santa Rita II

Figura 856. Concentraciones horarias de NO2 – CA 1. Gimnasio Moderno.

Figura 857. Concentraciones horarias de NO2 – CA 2. Casa Jose Galo.

Figura 858. Concentraciones horarias de NO2 – CA 3. Colegio San Felipe Neri

Figura 859. Concentraciones horarias de NO2 – CA 4. Colegio Liceo Val.

Figura 860. Concentraciones horarias de NO2 – CA 5. Casa Luis Yomayusa

Figura 861. Concentraciones horarias de NO2 – CA 6. Ofidrogas

Figura 862. Concentraciones horarias de NO2 – CA 7. Casa Edilberto.

Figura 863. Concentraciones horarias de NO2 – CA 8. Bomberos.

Figura 864. Concentraciones horarias de NO2 – CA 9. Casa Luz Dary.

Figura 865. Concentraciones horarias de NO2 – CA 10. Universidad Pedagógica

Figura 866. Concentraciones horarias de NO2 – CA 11. Sala de negocios

Figura 867. Concentraciones horarias de NO2 – CA 12. Salón Comunal Almería

Figura 868. Concentraciones horarias de NO2 – CA 13. Casa Paulina Garcia.

Figura 869. Concentraciones horarias de NO2 – CA 14. Casa Yeison Chitiva

Figura 870. Concentraciones horarias de NO2 – CA 15. Uniminuto

Figura 871. Concentraciones horarias de NO2 – CA 16. Punta del Este

Figura 872. Concentraciones horarias de NO2 – CA 17. Casa Hilvar

Figura 873. Concentraciones horarias de NO2 – CA 18. Casa Graciela

Figura 874. Concentraciones horarias de NO2 – CA 19. Fama

Figura 875. Concentraciones horarias de NO2 – CA 20. Conjunto Tibabuyes

Figura 876. Concentraciones horarias de NO2 – CA 21. Conjunto Yaití.

Figura 877. Concentraciones horarias de NO2 – CA 22. Conjunto Alicante

Figura 878. Concentraciones horarias de NO2 – CA 23. Quintas de Santa Rita III

Figura 879. Concentraciones horarias de NO2 – CA 24. Quintas de Santa Rita II

Figura 880. Esquema del sistema de modelación del software AERMOD View.

Figura 881. Receptores determinados a partir de la cuadrícula generada.

Figura 882. Esquema del procedimiento para la calibración del modelo.

Figura 883. Ubicación de los potenciales receptores sensibles de interés. Tramo 1.

Figura 884. Ubicación de los potenciales receptores sensibles de interés. Tramo 2.

Figura 885. Ubicación de los potenciales receptores sensibles de interés. Tramo 3.

Figura 886. Ubicación de los potenciales receptores sensibles de interés. Tramo 4.

Figura 887. Ubicación de los potenciales receptores sensibles de interés. Tramo 5.

Figura 888. Relieve topográfico de la zona de estudio.

Figura 889. Climograma de Gaussen.

Figura 890. Promedio horario de temperatura en la zona de estudio.

Figura 891. Intensidad horaria de precipitación en la zona de estudio.

Figura 892. Rosa de los vientos en la zona de estudio.

Figura 893. Velocidad del viento promedio horario en la zona de estudio.

Figura 894. Nubosidad promedio horaria en la zona de estudio.

Figura 895. Humedad relativa promedio horaria en la zona de estudio.

Figura 896. Presión barométrica promedio horaria en la zona de estudio.

Figura 897. Altura de la capa de mezcla (convectiva y mecánica) promedio horaria en la zona de estudio.

Figura 898. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 2.5 micras (PM2.5). Promedio anual. Línea base.

Figura 899. Isopletas de concentración. Material Particulado menor a 2.5 micras (PM2.5). Máximo diario. Línea base.

Figura 900. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 10 micras (PM10). Promedio anual. Línea base.

Figura 901. Isopletas de concentración. Material Particulado menor a 10 micras (PM10). Máximo diario. Línea base.

Figura 902. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 2.5 micras (PM2.5). Promedio anual. Construcción.

Figura 903. Isopletas de concentración. Material Particulado menor a 2.5 micras (PM2.5). Máximo diario. Construcción.

Figura 904. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 10 micras (PM10). Promedio anual. Construcción.

Figura 905. Isopletas de concentración. Material Particulado menor a 10 micras (PM10). Máximo diario. Construcción.

Figura 906. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 2.5 micras (PM2.5). Promedio anual.

Escenario de operación y mantenimiento, tomado de línea base.

Figura 907. Ubicación de los puntos de monitoreo

Figura 908. Datos procesados en la estación reportada

Figura 909. Temperatura promedio C°

Figura 910. Humedad promedio (%)

Figura 911. Nivel de ruido ambiental – Jornada diurna – Día hábil

Figura 912. Nivel de ruido ambiental – Jornada diurna – Día no hábil

Figura 913. Nivel de ruido ambiental – Jornada nocturna – Día hábil

Figura 914. Nivel de ruido ambiental – Jornada nocturna – Día no hábil

Figura 915. Ubicación de las fuentes emisión de ruido tramo 1

Figura 916. Ubicación de las fuentes emisión de ruido tramo 2

Figura 917. Ubicación de las fuentes emisión de ruido tramo 3

Figura 918. Ubicación de las fuentes emisión de ruido tramo 4

Figura 919. Localización estaciones maestras.

Figura 920. Localización de estaciones intermedias o secundarias.

Figura 921. Localización de estaciones complementarias propuestas.

Figura 922. Ubicación de los receptores sensibles Pozo de salida - Estación 2

Figura 923. Ubicación de los receptores sensibles Estación 3 - Estación 4

Figura 924. Ubicación de los receptores sensibles Estación 5 - Estación 7

Figura 925. Ubicación de los receptores sensibles Estación 8 - Estación 10

Figura 926. Ubicación de los receptores sensibles Estación 10 - Patio Taller

Figura 927. SOUNDPLAN® 8.1.

Figura 928. Planteamiento del escenario de Línea base dentro del modelo

Figura 929. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día hábil tramo 1

Figura 930. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día hábil tramo 2

Figura 931. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día hábil tramo 3

Figura 932. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día hábil tramo 4

Figura 933. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día NO hábil tramo 1

Figura 934. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día NO hábil tramo 2

Figura 935. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día NO hábil tramo 3

Figura 936. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día NO hábil tramo 4

Figura 937. Mapa estratégico de ruido periodo nocturno día hábil tramo 1

Figura 938. Mapa estratégico de ruido periodo diurno nocturno día hábil tramo 2

Figura 939. Mapa estratégico de ruido periodo diurno nocturno día hábil tramo 3

Figura 940. Mapa estratégico de ruido periodo nocturno día hábil tramo 4

Figura 941. Mapa estratégico de ruido periodo nocturno día no hábil tramo 1

Figura 942. Mapa estratégico de ruido periodo diurno nocturno día no hábil tramo 2

Figura 943. Mapa estratégico de ruido periodo diurno nocturno día no hábil tramo 3

Figura 944. Mapa estratégico de ruido periodo nocturno día no hábil tramo 4 desde calle 132 hasta Patio Taller

Figura 945. Mapa de ruido escenario de Línea base periodo diurno en vista 3D para el cálculo de fachadas

Figura 946. Procesos constructivos de las estaciones L2MB

Figura 947. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento con Línea base periodo diurno tramo 1

Figura 948. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento con Línea base periodo diurno tramo 2

Figura 949. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento con Línea base periodo diurno tramo 3

Figura 950. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento con Línea base periodo diurno tramo 4

Figura 951. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 1

Figura 952. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 2

Figura 953. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 3

Figura 954. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 4

Figura 955. Mapa de ruido Escenario de Construcción segundo momento con Línea base periodo diurno tramo 1

Figura 956. Mapa de ruido Escenario de Construcción segundo momento con Línea base periodo diurno tramo 2

Figura 957. Mapa de ruido Escenario de Construcción segundo momento con Línea base periodo diurno tramo 3

Figura 958. Mapa de ruido Escenario de Construcción segundo momento con Línea base periodo diurno tramo 4

Figura 959. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 1

Figura 960. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 2

Figura 961. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 3

Figura 962. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 4

Figura 963. Proyección de la operación del metro en el modelo

Figura 964. Sentidos de circulación de los trenes

Figura 965. Diseños de la Trinchera de transición.

Figura 966. Tablero sistema metro elevado.

Figura 967. Mapa de ruido escenario de operación con Línea base periodo diurno

Figura 968. Mapa de ruido escenario de operación con Línea base periodo nocturno

Figura 969. Mapa de ruido escenario de operación sin Línea base periodo diurno

Figura 970. Mapa de ruido escenario de operación sin Línea base periodo nocturno

Figura 971. Esquema de medición de vibraciones propuesto

Figura 972. Registro típico de niveles de vibración

Figura 973. Análisis de Nakamura en el programa de computador DEGTRA A4

Figura 974. Registro de vibraciones

Figura 975. Puntos de monitoreo de vibraciones para la condición de línea base

Figura 976. Límites asociados con confort en función de la frecuencia del registro

Figura 977. Niveles máximos de vibraciones para evitar daños estructurales según EUROCODE 3 (estándar europeo)

Figura 978. Niveles de vibración para el punto de registro 1 (Punto de entrada de la máquina)

Figura 979. Niveles de vibración para el punto de registro 2: Estación 1.

Figura 980. Niveles de vibración para el punto de registro 3: Estación 2.

Figura 981. Niveles de vibración para el punto de registro 4: Estación 3.

Figura 982. Niveles de vibración para el punto de registro 5: Estación 4.

Figura 983. Niveles de vibración para el punto de registro 6: Estación 5.

Figura 984. Niveles de vibración para el punto de registro 7: Estación 6.

Figura 985. Niveles de vibración para el punto de registro 8: Estación 7.

Figura 986. Niveles de vibración para el punto de registro 9: Estación 8.

Figura 987. Niveles de vibración para el punto de registro 10: Cruce Juan Amarillo.

Figura 988. Niveles de vibración para el punto de registro 11: Estación 9.

Figura 989. Niveles de vibración para el punto de registro 12: Estación 10.

Figura 990. Niveles de vibración para el punto de registro 13: Salida de la máquina.

Figura 991. Niveles de vibración para el punto de registro 14: Estación 11.

Figura 992. Niveles de vibración para el punto de registro 15: Patio Taller.

Figura 993. Velocidad de partícula máxima

Figura 994. Porcentaje aceleración máxima (PGA por sus siglas en inglés)

Figura 995. Frecuencia dominante característica de los registros de vibración.

Figura 996. Periodo dominante de respuesta del subsuelo calculado utilizando el método de Nakamura.

Figura 997. Relación velocidad de partícula y VdB

Figura 998. Curva base estimación de niveles de vibración

Figura 999. Curva de estimación de niveles de vibración ajustada

Figura 1000. Zona trinchera, estructuras ubicadas en el límite del Área de Influencia de vibraciones.

Figura 1001. Comparación de cubeta de asientos entre Loganathan y Poulos versus Taylor y Grand.

Figura 1002. Análisis de subsidencias asentamientos y desplazamientos horizontales - Sección 24 - Zona canal Arzobispo

Figura 1003. Análisis de subsidencias asentamientos y desplazamientos horizontales - Seccion 5 - Zona Brazo humedal Juan Amarillo.

Figura 1004. Dimensiones generales del modelo de diferencias finitas para la estimación de asentamientos

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Columna estratigráfica generalizada del área de influencia regional que abarca el proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.

Tabla 2. Descripción de las zonas de respuesta sísmica, tomado del Decreto 523 de 2010. El contorno en tono verde muestra las zonas de respuesta sísmica donde se ubica el área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.

Tabla 3. Distancias por tipología constructiva

Tabla 4. Estaciones de la L2MB

Tabla 5. Características de las estaciones subterráneas

Tabla 6. Resumen de sondeos mecánicos realizados.

Tabla 7. Resumen de resultados de sondeos de redes húmedas.

Tabla 8. Resumen de resultados instalación de piezómetros.

Tabla 9. Ensayos CPTu hasta 30 m Ejecutados - Estaciones, túnel, deprimido, patio taller y elevación.

Tabla 10. Ensayos SCPTu ejecutados

Tabla 11. Resumen de ensayo de Permeabilidad tipo Lefranc

Tabla 12. Resumen de los ensayos de downhole realizados.

Tabla 13. Resumen de resultados de los ensayos MASW Y MAM.

Tabla 14. Sectorización litológica corredor Línea 2 del Metro de Bogotá.

Tabla 15. Unidades geomorfológicas.

Tabla 16. Categorías de los rangos de pendientes para el área de influencia del Proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá

Tabla 17. L2MB- Análisis Multitemporal. Período 1967-2017

Tabla 18. L2MB- Observaciones en los sectores de humedales. Período 1967-2017

Tabla 19. Clasificación de las pendientes utilizada en la descripción de elementos del paisaje de acuerdo a GDB.

Tabla 20. Unidades de paisaje definidas para el área de Influencia del paisaje

Tabla 21. Atributos evaluados para cada uno de los parámetros de acuerdo con los elementos del Paisaje

Tabla 22. Valoración de los elementos del paisaje para estimar la calidad visual

Tabla 23. Valoración de la Calidad Visual Total

Tabla 24. Valoración para los elementos del paisaje desde la fragilidad visual

Tabla 25. Clasificación de la capacidad de absorción visual y la fragilidad visual

Tabla 26. Clasificación del Tamaño de la Discordancia

Tabla 27. Clasificación de los atributos del índice de belleza paisajística

Tabla 28. Clasificación del Índice de Belleza

Tabla 29. Pendiente en el área de influencia de paisaje

Tabla 30. Localización del proyecto en la zonificación hidrográfica Nacional.

Tabla 31. Superficie ocupada por cada una de las coberturas de la tierra en el área de influencia de paisaje

Tabla 32. Superficie ocupada por cada uno de los elementos del paisaje para estimar la calidad visual

Tabla 33. Superficie ocupada por cada uno de los elementos del paisaje para estimar la fragilidad visual.

Tabla 34. Superficie ocupada por cada uno de los elementos del paisaje para estimar la belleza paisajística

Tabla 35. Superficie ocupada por cada una de las unidades de paisaje presentes en el área de influencia

Tabla 36. Visibilidad de las unidades en el área de influencia

Tabla 37. Tamaño de la discordancia por unidad de paisaje para el área de influencia

Tabla 38. Sitios de interés paisajístico identificados en el área de influencia de paisaje.

Tabla 39. Coordenadas y número de perfiles de los puntos de monitoreo de suelos.

Tabla 40. Leyenda de suelos en el área de influencia edafológica

Tabla 41. Morfología del Perfil LC-196 Typic Halaquepts, familia fina, isomésica.

Tabla 42. Descripción de las características generales del perfil P1

Tabla 43. Descripción de los horizontes del Perfil P1

Tabla 44. Parámetros físico-químicos del Perfil 1

Tabla 45. Contenido de metales pesados del perfil 1

Tabla 46. Descripción de las características generales del perfil P2

Tabla 47. Descripción de los horizontes del Perfil P2

Tabla 48. Parámetros físico-químicos del Perfil 2

Tabla 49. Contenido de metales pesados del perfil 2

Tabla 50. Descripción de las características generales del perfil P3

Tabla 51. Descripción de los horizontes del Perfil P3

Tabla 52. Parámetros físico-químicos del Perfil 3

Tabla 53. Contenido de metales pesados del perfil 3

Tabla 54. Descripción de las características generales del perfil P4

Tabla 55. Descripción de los horizontes del Perfil P4

Tabla 56. Parámetros físico-químicos del Perfil 4

Tabla 57. Contenido de metales pesados del perfil 4

Tabla 58. Descripción de las características generales del perfil P5

Tabla 59. Parámetros físico-químicos del Perfil 5

Tabla 60. Contenido de metales pesados del perfil 5

Tabla 61. Descripción de las características generales del perfil P6

Tabla 62. Descripción de los horizontes del Perfil P6

Tabla 63. Parámetros físico-químicos del Perfil 6

Tabla 64. Contenido de metales pesados del perfil 6

Tabla 65. Descripción de las características generales del perfil P7

Tabla 66. Descripción de los horizontes del Perfil P7

Tabla 67. Parámetros físico-químicos del Perfil 7

Tabla 68. Contenido de metales pesados del perfil 7

Tabla 69. Descripción de las características generales del perfil P8

Tabla 70. Descripción de los horizontes del Perfil P8

Tabla 71. Parámetros físico-químicos del Perfil 8

Tabla 72. Contenido de metales pesados del perfil 8

Tabla 73. Clasificación por capacidad de uso de tierras

Tabla 74. Tipos de conflictos de uso del suelo y símbolo utilizado

Tabla 75. Descripción estaciones de servicio

Tabla 76. Estaciones de servicio asociadas al área de influencia del Proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá

Tabla 77. Límites máximos LGBRs

Tabla 78. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)

Tabla 79. Periodo común de los parámetros climáticos a analizar.

Tabla 80. Características de las estaciones climatológicas del IDEAM cercanas a la zona de estudio.

Tabla 81. Características de las estaciones climatológicas de la CAR cercanas a la zona de estudio.

Tabla 82. Características de las estaciones climatológicas de la EAAB cercanas a la zona de estudio.

Tabla 83. Características de las estaciones climatológicas de la Secretaría Distrital de Ambiente cercanas a la zona de estudio.

Tabla 84. Periodos de registros de temperatura y evaporación para cada estación.

Tabla 85. Periodos de registros de precipitación recopilados.

Tabla 86. Resultados de las pruebas de normalidad para series de precipitación.

Tabla 87. Resultados de las pruebas de normalidad para series de caudal.

Tabla 88. Resultados de las pruebas de normalidad para series de temperatura máxima.

Tabla 89. Resultados de las pruebas de normalidad para series de temperatura media.

Tabla 90. Resultados de las pruebas de normalidad para series de temperatura mínima.

Tabla 91. Resultados de las pruebas de normalidad para series de evaporación.

Tabla 92. Resultados de las pruebas de consistencia y homogeneidad de series de precipitación.

Tabla 93. Resultados de las pruebas de consistencia y homogeneidad de series de caudal.

Tabla 94. Resultados de las pruebas de consistencia y homogeneidad de series de temperatura máxima.

Tabla 95. Resultados de las pruebas de consistencia y homogeneidad de series de temperatura media.

Tabla 96. Resultados de las pruebas de consistencia y homogeneidad de series de temperatura mínima.

Tabla 97. Resultados de las pruebas de consistencia y homogeneidad de series de evaporación.

Tabla 98. Porcentaje de vacíos en estaciones analizadas - Periodo 1987-2021.

Tabla 99. Comparación de parámetros estadísticos para datos complementados y sin complementar en las estaciones analizadas - Precipitación diaria, periodo 1987-2021.

Tabla 100. Valores anuales de temperatura media para estaciones base para caracterización.

Tabla 101. Valores anuales de temperatura media para estaciones base para caracterización.

Tabla 102. Localización del proyecto en la zonificación Nacional.

Tabla 103. Área de drenaje de las subcuencas.

Tabla 104. Perímetro de las subcuencas.

Tabla 105. Longitud del cauce principal.

Tabla 106. Clasificación del factor de forma de la cuenca.

Tabla 107. Factor de forma de las subcuencas.

Tabla 108. Clasificación del índice de compacidad de la cuenca.

Tabla 109. Índice de compacidad de las subcuencas.

Tabla 110. Pendientes de las subcuencas.

Tabla 111. Formulaciones empíricas para el cálculo del tiempo de concentración.

Tabla 112. Tiempos de concentración de las subcuencas.

Tabla 113. Clasificación del índice de sinuosidad de la subcuenca.

Tabla 114. Índice de sinuosidad de las subcuencas.

Tabla 115. Densidad de drenaje de las subcuencas.

Tabla 116. Tasa de cambio de la precipitación.

Tabla 117. Tasa de cambio de la temperatura.

Tabla 118. Tasa de cambio de los caudales.

Tabla 119. Estaciones de caudal.

Tabla 120. Resultados de la precipitación media mensual por el método de las isoyetas.

Tabla 121. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas urbanas y rurales.

Tabla 122. Coeficientes de escorrentía para cada subcuenca.

Tabla 123. Cálculo del porcentaje de error del coeficiente de escorrentía.

Tabla 124. Caudal medio mensual multianual y medio multianual.

Tabla 125. Resultados del rendimiento hídrico de cada subcuenca.

Tabla 126. Resultados del rendimiento hídrico de las subcuencas río Bogotá.

Tabla 127. Caudales característicos (m³/s) de subcuencas en estudio.

Tabla 128. Valores de CN II para las subcuencas analizadas.

Tabla 129. Precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno estaciones zona de proyecto (mm).

Tabla 130. Precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno de las subcuencas (mm).

Tabla 131. Cálculo del factor de reducción por área por diferentes métodos.

Tabla 132. Precipitación máxima con factor de reducción de cada subcuenca para diferentes periodos de retorno (mm).

Tabla 133. Distribución temporal de la precipitación - Duración 3 horas.

Tabla 134. Caudales máximos en las subcuencas en estudio para diferentes periodos de retorno (m³/s).

Tabla 135. Tiempo de ocurrencia del caudal pico.

Tabla 136. Caudales mínimos (m³/s) para diferentes periodos de retorno de las estaciones dentro de la zona de estudio.

Tabla 137. Caudal ambiental para cada subcuenca en estudio.

Tabla 138. Oferta hídrica de cada subcuenca.

Tabla 139. Características hidráulicas Nivel I de los cruces.

Tabla 140. Rangos y categorías del índice del uso del agua.

Tabla 141. Categorías del índice de regulación hídrica.

Tabla 142. Índice de regulación hídrica.

Tabla 143. Relación IRH - IUA

Tabla 144. Evapotranspiración potencial con el método de Thornthwaite.

Tabla 145. Evapotranspiración potencial con el método de Penman Monteith.

Tabla 146. Evapotranspiración potencial con el método del Tanque evaporímetro.

Tabla 147. Comparación de los resultados de evapotranspiración potencial.

Tabla 148. Evapotranspiración real con el método de Turc.

Tabla 149. Categorías del índice de aridez.

Tabla 150. Índice de aridez

Tabla 151. Caudal de salida/Escurrimiento (Qs) de cada subcuenca (mm).

Tabla 152. Capacidades máximas de cada subcuenca.

Tabla 153. Balance hídrico del Humedal La Conejera en (mm).

Tabla 154. Balance hídrico del Canal Cafam en (mm).

Tabla 155. Balance hídrico de la Cuenca 1 en (mm).

Tabla 156. Balance hídrico del Humedal Juan Amarillo en (mm).

Tabla 157. Balance hídrico de la Cuenca 2 en (mm).

Tabla 158. Balance hídrico del Canal Salitre B en (mm).

Tabla 159. Balance hídrico del Canal Salitre Completo en (mm).

Tabla 160. Balance hídrico de subcuenca rural (cerros orientales) (mm).

Tabla 161. Balance hídrico de subcuenca urbana zona calle 72 (mm).

Tabla 162. Clasificación de agua tipo IV (riego agrícola con restricción para riego de frutas que se consumen sin retirar la cáscara y hortalizas y uso para actividades pecuarias).

Tabla 163. Límites máximos permisibles en diferentes usos del recurso hídrico

Tabla 164. Parámetros medidos in-situ

Tabla 165. Metodología de preservación y técnica analítica

Tabla 166. Descripción de los puntos monitoreados

Tabla 167. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos - Período Húmedo

Tabla 168. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos - Período Seco

Tabla 169. Caudales en m3/s

Tabla 170. Rangos de alcalinidad

Tabla 171. Clasificación de los valores de dureza

Tabla 172. Grados de mineralización de acuerdo con la conductividad

Tabla 173. Ecuaciones para cálculo del índice ICA

Tabla 174. Variables y ponderación

Tabla 175. Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA

Tabla 176. Iacal DBO

Tabla 177. Iacal diferencia entre DBO y DQO

Tabla 178. Iacal sólidos suspendidos totales

Tabla 179. Iacal nitrógeno total

Tabla 180. Iacal fósforo total

Tabla 181. Variables Índice Langelier

Tabla 182. Clasificación del índice de Langelier

Tabla 183. Clasificación de los Cuerpos de Agua Según su Alcalinidad total

Tabla 184. Contaminación del agua según los valores de índices ICO

Tabla 185. Ecuaciones para el cálculo del ICOMO

Tabla 186. Ecuaciones para el cálculo del ICOMI

Tabla 187. Ecuaciones para el cálculo del ICOSUS

Tabla 188. Ecuaciones para el cálculo del ICOpH

Tabla 189. Clasificación de índice ICOTRO

Tabla 190. Resultados Índice ICOTRO

Tabla 191. Identificación de estaciones de monitoreo de calidad del agua cercanas o dentro del área de influencia del proyecto

Tabla 192. Ecuaciones para el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Tabla 193. Variables de cálculo y ponderación

Tabla 194. Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA

Tabla 195. Objetivos de Calidad (OC) para los tramos del canal Salitre

Tabla 196. Resultados históricos del Índice de Calidad del Agua (ICA) para la estación LM vuelta grande

Tabla 197. Resultados de cumplimiento de variables determinantes en el tramo III de la subcuenca del río Salitre

Tabla 198. Resultados de cumplimiento de variables determinantes en el tramo IV de la subcuenca del río Salitre

Tabla 199. Volumen de consumo de agua subterránea

Tabla 200. Inventario de puntos de agua subterránea en el área de influencia del proyecto

Tabla 201. Periodo común de los parámetros climáticos

Tabla 202. Características de las estaciones climatológicas del IDEAM cercanas a la zona de estudio.

Tabla 203. Características de las estaciones climatológicas de la CAR cercanas a la zona de estudio.

Tabla 204. Características de las estaciones climatológicas de la EAAB cercanas a la zona de estudio.

Tabla 205. Características de las estaciones climatológicas de la Secretaría Distrital de Ambiente cercanas a la zona de estudio.

Tabla 206. Periodos de registros de temperatura y evaporación para cada estación.

Tabla 207. Periodos de registros de precipitación recopilados.

Tabla 208. Localización del proyecto en la zonificación Nacional.

Tabla 209. Resultados de la precipitación media mensual por el método de las isoyetas.

Tabla 210. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas urbanas y rurales.

Tabla 211. Coeficientes de escorrentía para cada subcuenca.

Tabla 212. Cálculo del porcentaje de error del coeficiente de escorrentía.

Tabla 213. Caudal medio mensual multianual y medio multianual.

Tabla 214. Resultados del rendimiento hídrico de cada subcuenca.

Tabla 215. Resultados del rendimiento hídrico de las subcuencas río Bogotá.

Tabla 216. Evapotranspiración potencial con el método del Tanque evaporímetro.

Tabla 217. Comparación de los resultados de evapotranspiración potencial.

Tabla 218. Caudal de salida/Escurrimiento (Qs) de cada subcuenca (mm).

Tabla 219. Capacidades máximas de cada subcuenca.

Tabla 220. Balance hídrico del Humedal La Conejera en (mm).

Tabla 221. Balance hídrico del Canal Cafam en (mm).

Tabla 222. Balance hídrico de la Cuenca 1 en (mm).

Tabla 223. Balance hídrico del Humedal Juan Amarillo en (mm).

Tabla 224. Balance hídrico de la Cuenca 2 en (mm).

Tabla 225. Balance hídrico del Canal Salitre B en (mm).

Tabla 226. Unidades hidrogeológicas en la zona de influencia de la linea L2 del Metro de Bogotá

Tabla 227. Unidades hidrogeológicas definidas con base en la condición litológica para la zona L2 del Metro de Bogotá

Tabla 228. Relación entre los valores de permeabilidad y las clasificaciones geológicas e hidrogeológicas

Tabla 229. Relación entre permeabilidad, su clasificación y la posibilidad de acuífero

Tabla 230. Zonas Homogéneas. Valores de permeabilidad máximo y mínimo

Tabla 231. Zonas Homogéneas. Valores de permeabilidad Piezoconos (Fase 1 y 2)

Tabla 232. Zonas homogéneas - Permeabilidad piezoconos

Tabla 233. Pozos monitoreados SDA. 2017-2022

Tabla 234. Aljibes monitoreados SDA. 2017-2022

Tabla 235. L2MB. Piezómetros instalados 2021-2022

Tabla 236. L2MB - Zonas homogéneas. Niveles freáticos registrados en sondeos a lo largo del trazado

Tabla 237. Unidades hidrogeológicas en la zona de influencia de la linea L2 del Metro de Bogotá

Tabla 238. Coordenadas de los límites cardinales considerados para el área de modelación.

Tabla 239. Selección de la discretización de simulación

Tabla 240. Parámetros hidráulicos caracterizados en las diferentes unidades hidrogeológicas.

Tabla 241. Niveles piezométricos promedio en los puntos de observación.

Tabla 242. Conductividades hidráulicas calibradas (m/s).

Tabla 243. Resultado de la calibración niveles observados vs. calculados - Condición estacionaria.

Tabla 244. Escenarios de simulación propuestos.

Tabla 245. Intercambios para condición actual y de operación.

Tabla 246. Coordenadas de los límites cardinales considerados para el área de modelación.

Tabla 247. Selección de la discretización de simulación

Tabla 248. Parámetros hidráulicos caracterizados en las diferentes unidades hidrogeológicas.

Tabla 249. Niveles piezométricos promedio en los puntos de observación

Tabla 250. Conductividades hidráulicas calibradas (m/s).

Tabla 251. Resultado de la calibración niveles observados vs. calculados - Condición estacionaria

Tabla 252. Escenarios de simulación propuestos.

Tabla 253. Intercambios para condición actual y operación.

Tabla 254. Coordenadas de puntos de monitoreo

Tabla 255. Descripción de los puntos de monitoreo.

Tabla 256. Resultados monitoreo fisicoquímico en aguas subterráneas (Parte 1)

Tabla 257. Resultados monitoreo fisicoquímico en aguas subterráneas (Parte 2)

Tabla 258. Resultados monitoreo fisicoquímico en aguas subterráneas (Parte 3)

Tabla 259. Resultados monitoreo fisicoquímico en aguas subterráneas (Parte 4)

Tabla 260. Resultados monitoreo fisicoquímico en aguas subterráneas (Parte 5)

Tabla 261. Resultados monitoreo fisicoquímico en aguas subterráneas (Parte 6)

Tabla 262. Resultados de balance iónico

Tabla 263. Rangos de pH

Tabla 264. Grados de mineralización de acuerdo con la conductividad

Tabla 265. Rangos de alcalinidad

Tabla 266. Porcentaje de saturación de oxígeno vs normatividad

Tabla 267. Clasificación de los valores de dureza

Tabla 268. Clasificación de las muestras.

Tabla 269. Localización de perforaciones mecánicas

Tabla 270. Localización de perforaciones eléctricas

Tabla 271. Localización de apiques

Tabla 272. Tipos de Suelo en la Zona 1

Tabla 273. Parámetros geomecánicos adoptados para la zona homogénea 1

Tabla 274. Parámetros adoptados de ensayos edométricos y límites como representativos

Tabla 275. Parámetros para el modelo de Plastic Hardening / Hardening Soil

Tabla 276. Tipos de Suelo en la Zona 2

Tabla 277. Parámetros geomecánicos adoptados para la zona homogénea 2

Tabla 278. Parámetros adoptados de ensayos edométricos y límites como representativos

Tabla 279. Parámetros para el modelo de Plastic Hardening / Hardening Soil

Tabla 280. Tipos de Suelo en la Zona 3

Tabla 281. Parámetros geomecánicos adoptados para la zona homogénea 3

Tabla 282. Parámetros adoptados de ensayos edométricos y límites como representativos

Tabla 283. Parámetros para el modelo de Plastic Hardening / Hardening Soil

Tabla 284. Tipos de Suelo en la Zona 4

Tabla 285. Parámetros geomecánicos adoptados para la zona homogénea 4

Tabla 286. Parámetros adoptados de ensayos edométricos y límites como representativos

Tabla 287. Parámetros para el modelo de Plastic Hardening / Hardening Soil

Tabla 288. Periodo común de los parámetros climáticos a analizar.

Tabla 289. Características de las estaciones climatológicas del IDEAM cercanas a la zona de estudio.

Tabla 290. Características de las estaciones climatológicas de la CAR cercanas a la zona de estudio.

Tabla 291. Características de las estaciones climatológicas de la EAAB cercanas a la zona de estudio.

Tabla 292. Características de las estaciones climatológicas de la Secretaría Distrital de Ambiente cercanas a la zona de estudio.

Tabla 293. Periodos de registros de los parámetros recopilados.

Tabla 294. Periodo común de los parámetros climáticos.

Tabla 295. Presión atmosférica mensual. Estación INEM Kennedy.

Tabla 296. Presión atmosférica mensual. Estación La Ramada.

Tabla 297. Presión atmosférica mensual. Estación Planta Wiesner.

Tabla 298. Presión atmosférica mensual. Estación Carvajal - Sevillana.

Tabla 299. Presión atmosférica mensual. Estación Centro de Alto Rendimiento.

Tabla 300. Presión atmosférica mensual. Estación Guaymaral.

Tabla 301. Presión atmosférica mensual. Estación Kennedy.

Tabla 302. Presión atmosférica mensual. Estación Las Ferias.

Tabla 303. Presión atmosférica mensual. Estación Móvil Séptima.

Tabla 304. Presión atmosférica mensual. Estación Puente Aranda.

Tabla 305. Presión atmosférica mensual. Estación San Cristóbal.

Tabla 306. Presión atmosférica mensual. Estación Suba.

Tabla 307. Presión atmosférica mensual. Estación Usaquén.

Tabla 308. Variabilidad de la velocidad del viento diurno anual.

Tabla 309. Variabilidad de la velocidad del viento nocturno anual

Tabla 310. Zonas climáticas de acuerdo con clasificación de Caldas – Lang

Tabla 311. Inventario de emisiones atmosféricas de la SDA

Tabla 312. Inventario de fuentes de emisión visita técnica

Tabla 313. Estaciones maestras de aforo para estudio de movilidad L2MB

Tabla 314. Estaciones intermedias de aforo para estudio de movilidad L2MB

Tabla 315. Estaciones complementarias de aforo para estudio de movilidad L2MB

Tabla 316. Inventario de receptores sensibles

Tabla 317. Marco normativo calidad del aire

Tabla 318. Guías de calidad del aire ambiente de la OMS

Tabla 319. Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire RMCAB

Tabla 320. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación 7ma móvil. Año 2020.

Tabla 321. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación 7ma móvil. Año 2021.

Tabla 322. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del

límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales. Estación CDAR. Año 2020.

Tabla 323. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación CDAR. Año 2021.

Tabla 324. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Las Ferias. Año 2020.

Tabla 325. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Las Ferias. Año 2021.

Tabla 326. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Suba. Año 2020.

Tabla 327. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Suba. Año 2021.

Tabla 328. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Bolivia. Año 2020.

Tabla 329. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Bolivia. Año 2021.

Tabla 330. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Colina. Año 2021.

Tabla 331. Representatividad temporal, concentraciones promedio anuales y número de excedencias a la norma de PM10.

Tabla 332. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación 7ma Móvil. Año 2020.

Tabla 333. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación 7ma Móvil. Año 2021.

Tabla 334. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Bolivia. Año 2020.

Tabla 335. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Bolivia. Año 2021.

Tabla 336. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación CDAR. Año 2020.

Tabla 337. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación CDAR. Año 2021.

Tabla 338. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Colina. Año 2021.

Tabla 339. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Las Ferias. Año 2020

Tabla 340. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Las Ferias. Año 2021.

Tabla 341. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Suba. Año 2020.

Tabla 342. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Suba. Año 2021.

Tabla 343. Representatividad temporal, concentraciones promedio anuales y número de excedencias a la norma de PM2.5.

Tabla 344. Representatividad temporal, concentraciones promedio anuales y número de excedencias a la norma de NO2.

Tabla 345. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para SO2. mensuales, Estación Bolivia. Año 2020.

Tabla 346. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para SO2. mensuales, Estación Bolivia. Año 2021.

Tabla 347. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para SO2 mensuales, Estación CDAR. Año 2020.

Tabla 348. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para SO2. mensuales, Estación CDAR. Año 2021.

Tabla 349. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para SO2 mensuales, Estación Suba. Año 2020.

Tabla 350. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para SO2 mensuales. Estación Suba. Año 2021.

Tabla 351. Intervalos de concentración de contaminantes para calcular el IBOCA

Tabla 352. Descripción de puntos de monitoreo.

Tabla 353. Descripción de puntos de monitoreo.

Tabla 354. Descripción de puntos de monitoreo.

Tabla 355. Descripción de puntos de monitoreo.

Tabla 356. Descripción de puntos de monitoreo.

Tabla 357. Descripción de puntos de monitoreo.

Tabla 358. Descripción de puntos de monitoreo.

Tabla 359. Descripción de puntos de monitoreo.

Tabla 360. Resultados de las concentraciones diarias de PM10 - Parte 1

Tabla 361. Resultados de las concentraciones diarias de PM10 - Parte 2

Tabla 362. Resultados de las concentraciones diarias de PM10 - Parte 3

Tabla 363. Análisis estadístico - Concentraciones PM10 (µg/m3) - Parte 1

Tabla 364. Análisis estadístico - Concentraciones PM10 (µg/m3) - Parte 2

Tabla 365. Análisis estadístico - Concentraciones PM10 (µg/m3) - Parte 3

Tabla 366. Resultados de las concentraciones diarias de PM2.5 - Parte 1

Tabla 367. Resultados de las concentraciones diarias de PM2.5 - Parte 2

Tabla 368. Resultados de las concentraciones diarias de PM2.5 - Parte 3

Tabla 369. Análisis estadístico - Concentraciones PM2.5 (µg/m3) - Parte 1

Tabla 370. Análisis estadístico - Concentraciones PM2.5 (µg/m3) - Parte 2

Tabla 371. Análisis estadístico - Concentraciones PM2.5 (µg/m3) - Parte 3

Tabla 372. Resultados de las concentraciones diarias de SO2 - Parte 1

Tabla 373. Resultados de las concentraciones diarias de SO2 - Parte 2

Tabla 374. Resultados de las concentraciones diarias de SO2 - Parte 3

Tabla 375. Análisis estadístico - Concentraciones SO2 - Parte 1

Tabla 376. Análisis estadístico - Concentraciones SO2 - Parte 2

Tabla 377. Análisis estadístico - Concentraciones SO2 - Parte 3

Tabla 378. Análisis estadístico - Concentraciones CO - Parte 1

Tabla 379. Análisis estadístico - Concentraciones CO - Parte 2

Tabla 380. Análisis estadístico - Concentraciones CO - Parte 3

Tabla 381. Resultados de las concentraciones de CO

Tabla 382. Análisis estadístico - Concentraciones NO2 - Parte 1

Tabla 383. Análisis estadístico - Concentraciones NO2 - Parte 2

Tabla 384. Análisis estadístico - Concentraciones NO2 - Parte 3

Tabla 385. Concentraciones máximas horarias de NO2.

Tabla 386. Comparación entre softwares de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos.

Tabla 387. Inventario de fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos asociados con las fases del proyecto.

Tabla 388. Cuadrícula establecida para la grilla de modelación.

Tabla 389. Parametrización en AERMET

Tabla 390. Factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones

Tabla 391. Resultados de material particulado (PM2.5) promedio anual y máximo diario - escenario de línea base.

Tabla 392. Resultados de material particulado (PM10) promedio anual y máximo diario - escenario de línea base.

Tabla 393. Resultados de material particulado (PM2.5) promedio anual y máximo diario - escenario de construcción.

Tabla 394. Resultados de material particulado (PM10) promedio anual y máximo diario - escenario de construcción.

Tabla 395. Comparación de los resultados del escenario de línea base y su cumplimiento normativo en áreas de excedencia.

Tabla 396. Límites máximos permisibles de ruido ambiental

Tabla 397. Coordenadas de los puntos de monitoreo

Tabla 398. Descripción de los punto de monitoreo

Tabla 399. Fecha y hora de medición – Jornada diurna día hábil – Ruido Ambiental

Tabla 400. Fecha y hora de medición – Jornada diurna día no hábil – Ruido Ambiental

Tabla 401. Fecha y hora de medición – Jornada nocturna día hábil – Ruido Ambiental

Tabla 402. Fecha y hora de medición – Jornada nocturna día no hábil – Ruido Ambiental

Tabla 403. Especificaciones anemómetro

Tabla 404. Resultados mediciones de meteorología L2MB

Tabla 405. Porcentaje de procedencia del viento

Tabla 406. clasificación de las velocidades según Beaufort

Tabla 407. Resultados jornada diurno hábil

Tabla 408. Resultados Jornada diurno no hábil

Tabla 409. Resultados jornada nocturna hábil

Tabla 410. Resultados jornada nocturno no hábil

Tabla 411. Inventario de fuentes de emisión visita técnica

Tabla 412. Estaciones maestras de aforo para estudio de movilidad L2MB

Tabla 413. Estaciones intermedias de aforo para estudio de movilidad L2MB

Tabla 414. Estaciones complementarias de aforo para estudio de movilidad L2MB

Tabla 415. Inventario de receptores sensibles

Tabla 416. Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006 del MADS.

Tabla 417. Guías de nivel de ruido

Tabla 418. Cálculo de emisión Media debido al Componente Rodadura.

Tabla 419. Ecuaciones utilizadas en el cálculo de dispersión

Tabla 420. Condiciones de atenuación del sonido en el espacio libre ISO 9613-2

Tabla 421. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 1

Tabla 422. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 2

Tabla 423. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 3

Tabla 424. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 4

Tabla 425. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 1

Tabla 426. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 2

Tabla 427. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 3

Tabla 428. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 4

Tabla 429. Homologación de la maquinaria escenario de construcción

Tabla 430. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 1.

Tabla 431. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 1.

Tabla 432. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 2.

Tabla 433. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 2.

Tabla 434. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 3.

Tabla 435. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 3.

Tabla 436. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 4.

Tabla 437. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 4.

Tabla 438. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 1.

Tabla 439. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 1.

Tabla 440. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 2.

Tabla 441. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 2.

Tabla 442. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 3.

Tabla 443. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 3.

Tabla 444. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 4.

Tabla 445. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 4.

Tabla 446. Parámetros del método del tren

Tabla 447. Comparación de los resultados entre el escenario de operación con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 4.

Tabla 448. Comparación de los resultados entre el escenario de operación con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 4.

Tabla 449. Comparación de los resultados entre el escenario de operación con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 4 (Guías de niveles de ruido-IFC)

Tabla 450. Comparación de los resultados entre el escenario de operación con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 4 (Guías de niveles de ruido-IFC)

Tabla 451. Localización (Coordenadas) puntos de monitoreo de vibraciones

Tabla 452. Valores Máximos de Velocidad de partícula (mm/s) para evitar daños

Tabla 453. Valores Máximos de Velocidad de partícula establecidos en la referencia

Tabla 454. Valores de intensidad máximos y frecuencias representativas de los registros de vibración para la línea base de la L2MB

Tabla 455. Maquinaria escenario de construcción

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Geología regional.Trazo en tono magenta muestra la implantación del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá sobre los depósitos cuaternarios de la Sabana de Bogotá.

Figura 2. Rasgos estructurales regionales en la Sabana de Bogotá y la localización del proyecto (linea en negro).

Figura 3. Mapa Normativo de Amenaza por Movimientos en Masa para el Suelo Urbano y de Expansión Urbana – Decreto 555 de 2021

Figura 4. Espectros de diseño sísmico para la ciudad de Bogotá (Decreto 523 de 2010) en la zona de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Figura 5. Mapa de respuesta sísmica para el área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá. Fuente: IDIGER. Adaptado y modificado por UT MOVIUS 2022

Figura 6. Mapa con la distribución de eventos sísmicos y su tipología según la profundidad registrada

Figura 7. Trazado y estaciones de la L2MB

Figura 8. Mapa geológico entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 9. Mapa geológico entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 10. Mapa geológico entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 11. Mapa geológico entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes - río Bogotá. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 12. Unidad fisiográfica de la Sabana de Bogotá delimitada en línea trazo blanco, mostrando los dos paisajes morfológicos dominantes del área de estudio, sobre el mapa de sombras con elevaciones.

Figura 13. Mapa geomorfológico entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra las perforaciones y los cuerpos de agua superficial

Figura 14. Mapa geomorfológico entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra los cuerpos de agua

Figura 15. Mapa geomorfológico entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes.

Figura 16. Mapa geomorfológico entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes - río Bogotá.

Figura 17. Morfometría del terreno entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3.

Figura 18. Morfometría del terreno entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra los cuerpos de agua

Figura 19. Morfometría del terreno entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes.

Figura 20. Mapa de pendientes del área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.

Figura 21. Análisis multitemporal de las coberturas de tierras Año 2021. Pozo de salida - Estación 1 - estación 3.

Figura 22. Análisis multitemporal de las coberturas de tierras Año 2021. Pozo de salida - Estación 3 - estación 6.

Figura 23. Análisis multitemporal de las coberturas de tierras Año 2021. Pozo de salida - Estación 7 - estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo.

Figura 24. Análisis multitemporal de las coberturas de tierras Año 2021. Pozo de entrada - Estación 11 - patio taller. Sector Humedal La Conejera.

Figura 25. Distribución espacial en porcentaje de los resultados de la zonificación de susceptibilidad a la ocurrencia de procesos de remoción en masa en el área de influencia indirecta del proyecto

Figura 26. Zonificación susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra las perforaciones y los cuerpos de agua superficial

Figura 27. Zonificación susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra los cuerpos de agua

Figura 28. Zonificación susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes.

Figura 29. Zonificación susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - río Bogotá.

Figura 30. Área de influencia de paisaje (AIPa).

Figura 31. Distribución de la pendiente en el área de influencia

Figura 32. Localización de los cuerpos de agua lóticos identificados

Figura 33. Localización de los cuerpos de agua lénticos identificados

Figura 34. Superficie ocupada por cada uno de los elementos del paisaje para estimar la calidad visual.

Figura 35. Distribución de la calidad de paisaje en el área de influencia

Figura 36. Proporción de la fragilidad visual en el área de influencia

Figura 37. Distribución de la fragilidad del paisaje en el área de influencia de paisaje

Figura 38. Proporción de la belleza paisajística para el área de influencia

Figura 39. Distribución de la belleza del paisaje en el área de influencia

Figura 40. Distribución de las unidades de paisaje en el área de influencia

Figura 41. Visibilidad del paisaje en el área de influencia

Figura 42. Áreas tradicionales de esparcimiento urbano que se encuentran dentro del área de influencia, (Plaza de mercado 12 de octubre, izquierda e Iglesia La Porciúncula, derecha).

Figura 43. Localidad de procedencia de los encuestados.

Figura 44. Preferencia de coberturas de paisaje de la comunidad.

Figura 45. Elementos interesantes del paisaje para la comunidad.

Figura 46. Preferencia de estaciones de metro por la comunidad.

Figura 47. Localización de los puntos de muestreo de suelos

Figura 48. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 1.

Figura 49. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 2.

Figura 50. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 3.

Figura 51. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 5.

Figura 52. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 6.

Figura 53. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 7.

Figura 54. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 8.

Figura 55. Estaciones de servicio asociadas al área de influencia de la Línea 2 del Metro.

Figura 56. Resultados Hidrocarburos Totales C10-C28 Estaciones 1 a 6

Figura 57. Resultados Hidrocarburos Totales C10-C28 Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 58. Resultados Hidrocarburos Totales C28-C40 Estaciones de Servicio 1 a 6

Figura 59. Resultados Hidrocarburos Totales C28-C40 Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 60. Compilado resultados Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)

Figura 61. Resultados Benzo (a) antraceno

Figura 62. Resultados Benzo (b) fluoranteno

Figura 63. Resultados Benzo (k) fluoranteno Estaciones de Servicio 1 a 6

Figura 64. Resultados Benzo (k) fluoranteno Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 65. Criseno Estaciones de Servicio 1 a 6

Figura 66. Criseno Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 67. Resultados Dibenzo (a,h) antraceno

Figura 68. Resultados Indeno (1,2,3-cd) pireno

Figura 69. Resultados Naftaleno Estaciones de Servicio 1 a 6

Figura 70. Resultados Naftaleno Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 71. Resultados m,p-Xileno Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 72. Resultados Tolueno Estaciones de Servicio 1 a 6

Figura 73. Resultados Tolueno Estaciones de Servicio 7 a 12

Figura 74. Usos del suelo por lotes Proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá

Figura 75. Usos del suelo por lotes año 2021.

Figura 76. Usos del suelo por lotes año 2020.

Figura 77. Usos del suelo por lotes año 2019.

Figura 78. Usos del suelo por lotes año 2018.

Figura 79. Usos del suelo por lotes año 2017.

Figura 80. Usos del suelo por lotes año 2016.

Figura 81. Usos del suelo por lotes año 2015

Figura 82. Usos del suelo por lotes año 2014.

Figura 83. Usos del suelo por lotes año 2013.

Figura 84. Usos del suelo por lotes año 2012.

Figura 85. Localización espacial de las estaciones de todas las entidades disponibles en la zona.

Figura 86. Periodos de registros para las estaciones identificadas según la entidad operadora.

Figura 87. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por entidad operadora.

Figura 88. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por categoría.

Figura 89. Análisis de Dobles Masas - Estaciones de Caracterización - Temperatura.

Figura 90. Análisis de Dobles Masas - Estaciones Complementarias - Temperatura.

Figura 91. Análisis de Dobles Masas - Precipitación.

Figura 92. Correlogramas entre Índices ONI, SOI, SST3.4 y Precipitación en la Estación San Diego 1987-2021.

Figura 93. Correlogramas entre Índices ONI, SOI, SST3.4 y Precipitación Estación San Diego 1947-2021.

Figura 94. Correlogramas entre Índices ONI, SOI, SST3.4 y Caudales de la Estación Parque Nacional - Río Arzobispo 1992-2021.

Figura 95. Localización de las estaciones de precipitación.

Figura 96. Distribución temporal precipitación total estación San Diego. Periodo 1987 - 2021.

Figura 97. Distribución temporal precipitación total estación Cerro de Suba. Periodo 1987 - 2021.

Figura 98. Distribución temporal precipitación total estación El Granizo. Periodo 1987 - 2021.

Figura 99. Distribución temporal precipitación total estación 2120040 San Luis. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 100. Distribución temporal precipitación total estación 2120196 Casa de Bombas Salitre. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 101. Distribución temporal precipitación total estación 20207 Saucedal II. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 102. Distribución temporal precipitación total estación 2120547 Fontibón. El Periodo 1987 - 2021

Figura 103. Distribución temporal precipitación total estación 2120569 Camavieja. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 104. Distribución temporal precipitación total estación 2120642 Planta Wiesner. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 105. Distribución temporal precipitación total estación 21205791 Apto. El Dorado Auto. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 106. Distribución temporal precipitación total estación 2120112 La Casita. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 107. Distribución temporal precipitación total estación 2120516 La Ramada. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 108. Distribución temporal precipitación total estación 2120136 Santa Inés. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 109. Distribución temporal precipitación total estación 2120559 Apto. Guaymaral - Usta. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 110. Distribución temporal precipitación total estación 21201210 El Hato. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 111. Variación anual y tendencia de la precipitación total de las estaciones base.

Figura 112. Localización de las estaciones analizadas con registros de evaporación.

Figura 113. Distribución temporal de la evaporación total diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1991 - 2019

Figura 114. Distribución temporal evaporación total diaria estación La Ramada. Periodo 1991 - 2019.

Figura 115. Localización de las estaciones de temperatura.

Figura 116. Distribución temporal temperatura media diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019.

Figura 117. Distribución temporal temperatura media diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019.

Figura 118. Distribución temporal temperatura media diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019.

Figura 119. Distribución temporal temperatura media diaria estación Carvajal-Sevillana. Periodo 2010-2021.

Figura 120. Distribución temporal temperatura media diaria estación Centro de Alto Rendimiento. Periodo 2010-2021.

Figura 121. Distribución temporal temperatura media diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021.

Figura 122. Distribución temporal temperatura media diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.

Figura 123. Distribución temporal temperatura media diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021.

Figura 124. Distribución temporal temperatura media diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021.

Figura 125. Distribución temporal temperatura media diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021.

Figura 126. Distribución temporal temperatura media diaria estación Suba. Periodo 2010-2021.

Figura 127. Distribución temporal temperatura media diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.

Figura 128. Variación anual y tendencia de la temperatura media de las estaciones base. Periodo 1998-2019.

Figura 129. Variación anual y tendencia de la temperatura media de las estaciones complementarias. Periodo 2010-2021.

Figura 130. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019.

Figura 131. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019.

Figura 132. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019.

Figura 133. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Carvajal Sevillana. Periodo 2010-2021.

Figura 134. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Centro de alto rendimiento. Periodo 2010-2021.

Figura 135. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021.

Figura 136. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.

Figura 137. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021.

Figura 138. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021.

Figura 139. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021.

Figura 140. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Suba. Periodo 2010-2021.

Figura 141. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.

Figura 142. Variación anual y tendencia de la temperatura máxima. Estaciones base (Periodo 1998-2019) y Estaciones complementarias (2010-2021).

Figura 143. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019.

Figura 144. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019.

Figura 145. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019.

Figura 146. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Carvajal - Sevillana. Periodo 2010-2021.

Figura 147. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Centro de Alto Rendimiento. Periodo 2010-2021.

Figura 148. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021.

Figura 149. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.

Figura 150. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021.

Figura 151. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021.

Figura 152. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021.

Figura 153. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Suba. Periodo 2010-2021.

Figura 154. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.

Figura 155. Variación anual y tendencia de la temperatura mínima. Estaciones base (Periodo 1998-2019) y Estaciones complementarias (2010-2021).

Figura 156. Comportamiento espacial de la precipitación total media multianual (mm) - Periodo común 1987-2021 .

Figura 157. Comportamiento espacial de la precipitación total media multianual (mm) - Periodo histórico 1947-2021.

Figura 158. Relaciones Elevación - Temperatura mínima, media y máxima anual para estaciones base.

Figura 159. Comportamiento espacial de la temperatura mínima anual para estaciones base (°C).

Figura 160. Comportamiento espacial de la temperatura media anual para estaciones base (°C).

Figura 161. Comportamiento espacial de la temperatura máxima anual para estaciones base (°C).

Figura 162. Relaciones Elevación - Temperatura mínima, media y máxima anual para estaciones complementarias.

Figura 163. Comportamiento espacial de la temperatura mínima anual (°C) - Estaciones complementarias.

Figura 164. Comportamiento espacial de la temperatura media anual (°C) - Estaciones complementarias.

Figura 165. Comportamiento espacial de la temperatura máxima anual (°C) - Estaciones complementarias.

Figura 166. Relación Elevación - Evaporación.

Figura 167. Comportamiento espacial de la evaporación anual (mm).

Figura 168. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, subzona hidrográfica.

Figura 169. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, unidad hidrológica nivel I.

Figura 170. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, unidad hidrológica nivel II

Figura 171. Ubicación de los sistemas lóticos que cruzan con el proyecto.

Figura 172. Quebrada La Vieja.

Figura 173. Canal Salitre.

Figura 174. Canal Cafam - Paso con Canal

Figura 175. Canal Cafam - Paso con Box Culvert.

Figura 176. Río Bogotá

Figura 177. Brazo del humedal Juan Amarillo.

Figura 178. Ubicación de los sistemas lénticos que cruzan con el proyecto.

Figura 179. Lago Club los Lagartos

Figura 180. Lago Club Los Lagartos ubicación

Figura 181. Humedal Juan Amarillo.

Figura 182. Humedal Juan Amarillo ubicación.

Figura 183. Humedal La Conejera.

Figura 184. Ubicación Humedal La Conejera.

Figura 185. Localización de las subcuencas delimitadas para la línea 2 del metro.

Figura 186. Patrones de drenaje de tipo Erosional

Figura 187. Zonas de recarga 1/2.

Figura 188. Zonas de recarga 2/2.

Figura 189. Tasa de cambio climático de la precipitación 2011-2040.

Figura 190. Tasa de cambio climático de la precipitación 2041-2070.

Figura 191. Tasa de cambio climático de la temperatura 2041-2070.

Figura 192. Ronda hidráulica y ZMPA en el Río Bogotá

Figura 193. Localización de ZMPA y línea 2 del metro

Figura 194. Localización de Ronda Hidráulica y línea 2 del metro

Figura 195. Cobertura de las subcuencas 1/2.

Figura 196. Cobertura de las subcuencas 2/2.

Figura 197. Rendimiento hídrico total año medio.

Figura 198. Distribución temporal de caudales medios en el Humedal La Conejera.

Figura 199. Distribución temporal de caudales medios en el Canal Cafam.

Figura 200. Distribución temporal de caudales medios en Cuenca 1.

Figura 201. Distribución temporal de caudales medios en el Humedal Juan Amarillo.

Figura 202. Distribución temporal de caudales medios en Cuenca 2.

Figura 203. Distribución temporal de caudales medios en el Canal Salitre B.

Figura 204. Distribución temporal de caudales medios en el Canal Salitre Completo.

Figura 205. Localización de las áreas de drenaje de las estaciones de caudal

Figura 206. Curva de Duración de Caudales subcuenca Humedal La Conejera.

Figura 207. Curva de Duración de Caudales subcuenca Canal Cafam.

Figura 208. Curva de Duración de Caudales subcuenca Cuenca 1.

Figura 209. Curva de Duración de Caudales subcuenca Humedal Juan Amarillo.

Figura 210. Curva de Duración de Caudales subcuenca Cuenca 2.

Figura 211. Curva de Duración de Caudales subcuenca Canal Salitre B

Figura 212. Curva de Duración de Caudales subcuenca Canal Salitre Completo.

Figura 213. Diagrama boxplot para el Humedal La Conejera (m^3/s).

Figura 214. Diagrama boxplot para el Canal Cafam (m^3/s).

Figura 215. Diagrama boxplot para la Cuenca 1 (m^3/s).

Figura 216. Diagrama boxplot del Humedal La Conejera (m^3/s).

Figura 217. Diagrama boxplot para la Cuenca 2 (m^3/s).

Figura 218. Diagrama boxplot para el Canal Salitre B (m^3/s).

Figura 219. Diagrama boxplot para el Canal Salitre Completo (m^3/s).

Figura 220. Localización de la estación Puente La Virgen.

Figura 221. Ajuste de caudales máximos instantáneos.

Figura 222. Nivel del agua para un periodo de retorno de 1000 años, con el modelo digital HEC-RAS de la CAR.

Figura 223. Sección Típica Adecuación Hidráulica del río Bogotá.

Figura 224. Figura 3. Nivel del agua para un periodo de retorno de 1000 años Y 100 años para la sección dragada.

Figura 225. Modelo Digital del Terreno, 2022.

Figura 226. Nivel del agua y del Jarillón.

Figura 227. Distribución de probabilidad para precipitaciones máximas en 24 horas estación Cerro de Suba (20031).

Figura 228. Isomáximas 2,33 años de periodo de retorno (mm).

Figura 229. Isomáximas 5 años de periodo de retorno (mm).

Figura 230. Isomáximas 10 años de periodo de retorno (mm).

Figura 231. Isomáximas 15 años de periodo de retorno (mm).

Figura 232. Isomáximas 25 años de periodo de retorno (mm).

Figura 233. Isomáximas 50 años de periodo de retorno (mm).

Figura 234. Isomáximas 100 años de periodo de retorno (mm).

Figura 235. Distribución temporal de las tormentas.

Figura 236. Distribución temporal de las tormentas - Duración 3 horas.

Figura 237. Hidrograma adimensional del Soil Conservation Service (SCS)

Figura 238. Análisis de frecuencias de caudales mínimos de la estación de Parque Nacional - Río Arzobispo (20951).

Figura 239. Análisis de frecuencias de caudales mínimos de la estación de Ventana-Captación - QDA. La Vieja (20949).

Figura 240. Sistema de clasificación de Rosgen, nivel I.

Figura 241. Variación multitemporal de la subcuenca Humedal La Conejera.

Figura 242. Variación multitemporal de la subcuenca Canal Cafam.

Figura 243. Variación multitemporal de la Cuenca 1.

Figura 244. Variación multitemporal de la subcuenca Humedal Juan Amarillo.

Figura 245. Variación multitemporal de la Cuenca 2.

Figura 246. Variación multitemporal de la subcuenca Canal Salitre.

Figura 247. Mapa del índice del uso del agua de Colombia.

Figura 248. Mapa nacional multianual del índice de regulación hídrica.

Figura 249. Índice de vulnerabilidad hídrica al desabastecimiento para condiciones hidrológicas promedio y de año seco.

Figura 250. Cálculo de la evapotranspiración con el software CROPWAT 8.0

Figura 251. Balance hídrico del proyecto.

Figura 252. Diagrama de flujo del cálculo del almacenamiento (Si).

Figura 253. Diagrama de flujo del cálculo del uso del almacenamiento (SUi).

Figura 254. Diagrama de flujo del cálculo de la percolación (Gsi).

Figura 255. Diagrama de flujo del cálculo del déficit (Di).

Figura 256. Diagrama de flujo del cálculo del exceso (Ei).

Figura 257. Balance hídrico del Humedal La Conejera en (mm).

Figura 258. Balance hídrico del Canal Cafam en (mm).

Figura 259. Balance hídrico de la Cuenca 1 en (mm).

Figura 260. Balance hídrico del Humedal Juan Amarillo en (mm).

Figura 261. Balance hídrico de la Cuenca 2 en (mm).

Figura 262. Balance hídrico del Canal Salitre B en (mm).

Figura 263. Balance hídrico del Canal Salitre Completo en (mm).

Figura 264. Subcuencas de análisis para estimación de recarga del acuífero en la zona de calle 72

Figura 265. Balance hídrico subcuenca rural (cerros orientales) (mm).

Figura 266. Balance hídrico subcuenca urbana zona calle 72 (mm).

Figura 267. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por inundaciones fluviales lentas

Figura 268. Susceptibilidad por inundaciones por la zona del proyecto.

Figura 269. Diagrama de flujo para evaluación de susceptibilidad por avenidas torrenciales.

Figura 270. Susceptibilidad por avenidas torrenciales en la zona del proyecto.

Figura 271. Ubicación de los cuerpos de agua a monitorear

Figura 272. Comportamiento temperatura

Figura 273. Comportamiento de pH

Figura 274. Comportamiento Acidez Total

Figura 275. Comportamiento Alcalinidad Total

Figura 276. comportamiento Dureza Cálcica

Figura 277. comportamiento Dureza Total

Figura 278. Comportamiento Conductividad Eléctrica

Figura 279. comportamiento Sólidos Totales Disueltos

Figura 280. Comportamiento Sólidos Sedimentables

Figura 281. Comportamiento Sólidos suspendidos totales

Figura 282. Comportamiento de la turbidez

Figura 283. Comportamiento Color - Periodo Húmedo

Figura 284. Comportamiento Color - Periodo Seco

Figura 285. Comportamiento Oxígeno Disuelto

Figura 286. Comportamiento DBO5

Figura 287. Comportamiento DQO

Figura 288. Comportamiento Nitrógeno Total

Figura 289. Comportamiento Fósforo Total

Figura 290. Comportamiento Coliformes Totales

Figura 291. Comportamiento Coliformes Fecales

Figura 292. Comportamiento Arsénico

Figura 293. Comportamiento Bario

Figura 294. Comportamiento Cadmio

Figura 295. Comportamiento Cobre

Figura 296. Comportamiento Mercurio

Figura 297. Comportamiento Níquel

Figura 298. Comportamiento Plata

Figura 299. Comportamiento Plomo

Figura 300. Comportamiento Selenio

Figura 301. Comportamiento Zinc

Figura 302. Comportamiento Aceites y Grasas

Figura 303. Comportamiento Hidrocarburos Totales

Figura 304. Comportamiento SAAM

Figura 305. Comportamiento Fenoles

Figura 306. Resultados Índice ICA

Figura 307. Resultados Índice IACAL

Figura 308. Resultados Índice de Langelier

Figura 309. Resultados Capacidad Buffer

Figura 310. Resultados Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Figura 311. Resultados Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Figura 312. Resultados Índice de contaminación por sólidos suspendidos totales (ICOSUS)

Figura 313. Resultados Índice de contaminación por pH (ICOpH)

Figura 314. Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del agua con respecto al área de influencia del proyecto

Figura 315. Tendencia histórica de los resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA) para la estación LM vuelta grande

Figura 316. Contexto Geología regional.

Figura 317. Correlación regional de las unidades del cretácico al neógeno en área del proyecto

Figura 318. Rasgos estructurales regionales en la Sabana de Bogotá.

Figura 319. Zona homogénea 1 y 2 entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial

Figura 320. Zona homogénea 2 y 3 entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial

Figura 321. Zona homogénea 3 entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial

Figura 322. Zona homogénea 3 y 4, entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - río Bogotá.

Figura 323. Mapa geológico de la ZH1 y ZH2, entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 324. Mapa geológico de la ZH2 y ZH3, entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 325. Mapa geológico de la ZH3, entre la estación 7 y la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 326. Mapa geológico del final de la ZH3 y ZH4, entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes - río Bogotá. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)

Figura 327. Localización espacial de las estaciones de todas las entidades disponibles en la zona.

Figura 328. Periodos de registros para las estaciones identificadas según la entidad operadora.

Figura 329. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por entidad operadora.

Figura 330. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, subzona hidrográfica.

Figura 331. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, unidad hidrológica nivel I.

Figura 332. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, unidad hidrológica nivel II

Figura 333. Ubicación de los sistemas lóticos que cruzan con el proyecto

Figura 334. Ubicación de los sistemas lénticos que cruzan con el proyecto.

Figura 335. Representación de la columna de suelo. Adaptado de (Eagleson, 1978)

Figura 336. Balance hídrico superficial

Figura 337. Cobertura de las subcuencas.

Figura 338. Rendimiento hídrico total año medio.

Figura 339. Diagrama de flujo del cálculo del almacenamiento (Si).

Figura 340. Diagrama de flujo del cálculo del uso del almacenamiento (SUi).

Figura 341. Diagrama de flujo del cálculo del déficit (Di).

Figura 342. Diagrama de flujo del cálculo del exceso (Ei).

Figura 343. Balance hídrico del Humedal La Conejera en (mm).

Figura 344. Balance hídrico del Canal Cafam en (mm).

Figura 345. Balance hídrico de la Cuenca 1 en (mm).

Figura 346. Balance hídrico del Humedal Juan Amarillo en (mm)

Figura 347. Balance hídrico de la Cuenca 2 en (mm).

Figura 348. Balance hídrico del Canal Salitre B en (mm)

Figura 349. Distribución superficial de las unidades hidrogeológicas entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial

Figura 350. Distribución superficial de las unidades hidrogeológicas entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial

Figura 351. Distribución superficial de las unidades hidrogeológicas entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial

Figura 352. Distribución superficial de las unidades hidrogeológicas entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - río Bogotá.

Figura 353. L2MB. Sección B-B'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 354. L2MB. Sección C-C'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 355. L2MB. Sección D-D'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 356. L2MB. Sección E-E'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 357. L2MB. Sección F-F'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 358. L2MB. Sección G-G'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 359. L2MB. Sección H-H'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 360. L2MB. Sección I-I'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 361. L2MB. Sección J-J'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad

Figura 362. Mapa de Isopiezas Subsuperficiales en el Distrito Capital y el trazado del proyecto (en negro)

Figura 363. Perfil sentido Sur-Norte. Canal Jaboque y Humedal Juan Amarillo

Figura 364. L2MB. Formato Funias soporte de la evaluación de pozos de agua subterránea a lo largo del corredor

Figura 365. L2MB. Formato Funias soporte de la evaluación de aljibes a lo largo del corredor

Figura 366. Mapa de isopiezas acuifero somero, direcciones de flujo subterráneo respecto al trazado de la L2MB (línea en negro)

Figura 367. L2MB. Localización general Puntos de Agua e Investigaciones del subsuelo

Figura 368. L2MB- Zonas Homogéneas. Variación de nivel freático en profundidad

Figura 369. Flujograma utilizado para la Elaboración del Modelo Hidrogeológico Conceptual.

Figura 370. Metodología GOD Para Evaluar el Índice de Vulnerabilidad de Contaminación de los Acuíferos

Figura 371. Variables temáticas involucradas en el geoprocesamiento metodológico GOD para el área de la modelación

Figura 372. Mapa de isopiezas de niveles freáticos

Figura 373. Mapa de zonificación de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, Estación 1 - Estación 3 del proyecto L2MB

Figura 374. Mapa de zonificación de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, Estación 3 - Estación 6 del proyecto L2MB

Figura 375. Mapa de zonificación de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, Estación 7 - Estación 9 del proyecto L2MB

Figura 376. Mapa de zonificación de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, Estación 9 - Patio Taller del proyecto L2MB

Figura 377. Software utilizado

Figura 378. Esquema de discretización espacial de un sistema acuífero

Figura 379. Sistema de celda de bloque centrado

Figura 380. Flujo Entrando a la Celda i, j, k desde la Celda i, j-1, k

Figura 381. Celda i, j, k e Índices Utilizados para sus seis celdas vecinas

Figura 382. Dominio computacional del modelo.

Figura 383. Unidades hidrogeológicas - Zona de modelación.

Figura 384. Discretización seleccionada para la modelación - Mallado de 10X10 m.

Figura 385. Perfil longitudinal (sentido O-E) - discretización vertical (7 capas) - Fila 250 del modelo numérico.

Figura 386. Condiciones de borde del esquema de modelación.

Figura 387. Unidades hidrogeológicas de la zona de interés

Figura 388. Corte longitudinal (Sentido O-E) - Unidades hidrogeológicas de la zona de interés - Fila 250 del modelo numérico.

Figura 389. Ubicación de puntos de observación.

Figura 390. Serie piezométrica en los puntos de observación.

Figura 391. Resultado de la calibración niveles observados vs. calculados - Condición estacionaria.

Figura 392. Superficie freática lograda tras la calibración en condición estacionaria.

Figura 393. Análisis de sensibilidad - conductividad hidráulica (MAE/MAE DE CALIBRACIÓN)

Figura 394. Sección transversal - Sector Cerros de Suba - escenario actual, Fila 252 del modelo.

Figura 395. Sección transversal - Sector Cerros de Suba - escenario de operación (con proyecto), fila 252 del modelo.

Figura 396. Ubicación en planta sección transversal - Sector Cerros de Suba , fila 252 del modelo.

Figura 397. Direcciones de flujo en planta (condicion actual y de operación) - Zona humedal Juan Amarillo.

Figura 398. Software utilizado.

Figura 399. Esquema de discretización espacial de un sistema acuífero

Figura 400. Sistema de celda de bloque centrado

Figura 401. Flujo Entrando a la Celda i, j, k desde la Celda i, j-1, k

Figura 402. Celda i, j, k e Índices Utilizados para sus seis celdas vecinas

Figura 403. Dominio computacional del modelo.

Figura 404. Unidades hidrogeológicas - Zona de modelación.

Figura 405. Discretización seleccionada para la modelación - Mallado de 10X10 m.

Figura 406. Perfil longitudinal (sentido SE-NW) - discretización vertical (15 capas) - Columna 110 del modelo numérico (Exageración vertical: 5).

Figura 407. Condiciones de borde del esquema de modelación.

Figura 408. Unidades hidrogeológicas de la zona de interés

Figura 409. Corte longitudinal (Sentido SE-NW) - unidades geológicas de la zona de interés - Columna 110 del modelo numérico.

Figura 410. Ubicación de puntos de observación.

Figura 411. Serie piezométrica en los puntos de observación.

Figura 412. Resultado de la calibración niveles observados vs. calculados - Condición estacionaria.

Figura 413. Superficie freática lograda tras la calibración en condición estacionaria.

Figura 414. Análisis de sensibilidad - conductividad hidráulica (MAE/MAE DE CALIBRACIÓN)

Figura 415. Sección Longitudinal - escenario actual, Columna 70 del modelo.

Figura 416. Sección longitudinal - escenario de operación (con proyecto), Columna 70 del modelo.

Figura 417. Ubicación en planta sección longitudinal - Sector Calle 72 , Columna 70 del modelo.

Figura 418. Direcciones de flujo en planta (condición actual y de operación) - Zona Calle 72.

Figura 419. Ubicación de puntos de monitoreo de aguas subterráneas.

Figura 420. Comportamiento del pH (Parte 1).

Figura 421. Comportamiento del pH (Parte 2).

Figura 422. Comportamiento de la conductividad eléctrica (Parte 1)

Figura 423. Comportamiento de la conductividad eléctrica (Parte 2)

Figura 424. Comportamiento de la temperatura (Parte 1)

Figura 425. Comportamiento de la temperatura (Parte 2)

Figura 426. Comportamiento del potencial REDOX (Parte 1)

Figura 427. Comportamiento del potencial REDOX (Parte 2)

Figura 428. Comportamiento de la acidez (Parte 1)

Figura 429. Comportamiento de la acidez (Parte 2)

Figura 430. Comportamiento de la alcalinidad (Parte 1)

Figura 431. Comportamiento de la alcalinidad (Parte 2)

Figura 432. Comportamiento de los bicarbonatos (Parte 1)

Figura 433. Comportamiento de los bicarbonatos (Parte 2)

Figura 434. Comportamiento de los carbonatos (Parte 1)

Figura 435. Comportamiento de los carbonatos (Parte 2)

Figura 436. Comportamiento de la DBO5 (Parte 1)

Figura 437. Comportamiento de la DBO5 (Parte 2)

Figura 438. Comportamiento de la DQO (Parte 1)

Figura 439. Comportamiento de la DQO (Parte 2)

Figura 440. Comportamiento del oxígeno disuelto (Parte 1)

Figura 441. Comportamiento del oxígeno disuelto (Parte 2)

Figura 442. Comportamiento de la dureza cálcica (Parte 1)

Figura 443. Comportamiento de la dureza cálcica (Parte 2)

Figura 444. Comportamiento de la dureza total (Parte 1)

Figura 445. Comportamiento de la dureza total (Parte 2)

Figura 446. Comportamiento de los sólidos disueltos totales (Parte 1)

Figura 447. Comportamiento de los sólidos disueltos totales (Parte 2)

Figura 448. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales (Parte 1)

Figura 449. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales (Parte 2)

Figura 450. Comportamiento de los cloruros (Parte 1)

Figura 451. Comportamiento de los cloruros (Parte 2)

Figura 452. Comportamiento del fósforo total (Parte 1)

Figura 453. Comportamiento del fósforo total (Parte 2)

Figura 454. Comportamiento de los nitratos (Parte 1)

Figura 455. Comportamiento de los nitratos (Parte 2)

Figura 456. Comportamiento del nitrógeno total (Parte 1)

Figura 457. Comportamiento del nitrógeno total (Parte 2)

Figura 458. Comportamiento de los sulfatos (Parte 1)

Figura 459. Comportamiento de los sulfatos (Parte 2)

Figura 460. Comportamiento del calcio total (Parte 1)

Figura 461. Comportamiento del calcio total (Parte 2)

Figura 462. Comportamiento del hierro total (Parte 1)

Figura 463. Comportamiento del hierro total (Parte 2)

Figura 464. Comportamiento del magnesio total (Parte 1)

Figura 465. Comportamiento del magnesio total (Parte 2)

Figura 466. Comportamiento del potasio total (Parte 1)

Figura 467. Comportamiento del potasio total (Parte 2)

Figura 468. Comportamiento del sodio total (Parte 1)

Figura 469. Comportamiento del sodio total (Parte 2)

Figura 470. Comportamiento de las grasas y aceites (Parte 1)

Figura 471. Comportamiento de las grasas y aceites (Parte 2)

Figura 472. Comportamiento de los hidrocarburos totales (Parte 1)

Figura 473. Comportamiento de los hidrocarburos totales (Parte 2)

Figura 474. Comportamiento de las coliformes totales (Parte 1)

Figura 475. Comportamiento de las coliformes totales (Parte 2)

Figura 476. Comportamiento de las coliformes fecales o termotolerantes (Parte 1)

Figura 477. Comportamiento de las coliformes fecales o termotolerantes (Parte 2)

Figura 478. Comportamiento de la Escherichia coli

Figura 479. Comportamiento de la Escherichia coli

Figura 480. Diagramas de Stiff (Parte 1).

Figura 481. Diagramas de Stiff (Parte 2).

Figura 482. Diagramas de Stiff (Parte 3).

Figura 483. Configuración del diagrama de Piper

Figura 484. Diagrama de Piper (Parte 1)

Figura 485. Diagrama de Piper (Parte 2)

Figura 486. Diagrama de Piper (Parte 3)

Figura 487. Distribución porcentual de los tipos de suelo para la Zona Homogénea 1

Figura 488. Parámetros resumen de la zona homogénea 1

Figura 489. Distribución porcentual de los tipos de suelo para la Zona Homogénea 2

Figura 490. Parámetros resumen de la zona homogénea 2

Figura 491. Distribución porcentual de los tipos de suelo para la Zona Homogénea 3

Figura 492. Parámetros resumen de la zona homogénea 3

Figura 493. Distribución porcentual de los tipos de suelo para la Zona Homogénea 4

Figura 494. Parámetros resumen de la zona homogénea 4

Figura 495. Localización espacial de las estaciones de todas las entidades disponibles en la zona.

Figura 496. Periodos de registros para las estaciones identificadas según la entidad operadora.

Figura 497. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por entidad operadora.

Figura 498. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por categoría.

Figura 499. Localización de las estaciones de brillo solar.

Figura 500. Distribución temporal brillo solar estación 20642 Planta Wiesner. El Periodo 1987 - 2021.

Figura 501. Localización de las estaciones de radiación solar.

Figura 502. Distribución temporal radiación solar estación Centro de Alto Rendimiento. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 503. Distribución temporal radiación solar estación Guaymaral. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 504. Distribución temporal radiación solar estación Kennedy. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 505. Distribución temporal radiación solar estación Móvil 7ma. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 506. Distribución temporal radiación solar estación San Cristóbal. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 507. Distribución temporal radiación solar estación Tunal. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 508. Localización de las estaciones de humedad relativa.

Figura 509. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación 20642 Planta Wiesner. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 510. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación 2120516 La Ramada. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 511. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación 21205791 El Dorado Catam. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 512. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Centro de Alto Rendimiento. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 513. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Guaymaral. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 514. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Kennedy. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 515. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Las Ferias. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 516. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Móvil Séptima. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 517. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación San Cristóbal. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 518. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Tunal . El Periodo 2010 - 2021.

Figura 519. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Universidad Nacional . El Periodo 2010 - 2021.

Figura 520. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación IDEAM Bogotá . El Periodo 2010 - 2021.

Figura 521. Distribución temporal humedad relativa mínima diaria estación La Ramada . El Periodo 1991-2019.

Figura 522. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación Planta Wiesner. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 523. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación La Ramada. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 524. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación El Dorado Catam. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 525. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación Centro de Alto Rendimiento. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 526. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación Guaymaral. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 527. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación Kennedy. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 528. Localización de las estaciones de nubosidad.

Figura 529. Distribución temporal de la nubosidad estación El Dorado. El Periodo 1998-2016.

Figura 530. Distribución temporal de la nubosidad estación INEM Kennedy. El Periodo 1998-2016.

Figura 531. Localización de las estaciones de velocidad del viento.

Figura 532. Distribución temporal precipitación total estación Carvajal - Sevillana. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 533. Distribución temporal precipitación total estación Centro de Alto Rendimiento. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 534. Distribución temporal precipitación total estación Guaymaral. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 535. Distribución temporal precipitación total estación Kennedy. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 536. Distribución temporal precipitación total estación 21205791 El Dorado Catam. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 537. Distribución temporal velocidad estación Las Ferias. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 538. Distribución temporal velocidad estación Secretaría Distrital De Ambiente. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 539. Distribución temporal velocidad estación Móvil Séptima. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 540. Distribución temporal velocidad estación Puente Aranda. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 541. Distribución temporal velocidad estación San Cristóbal. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 542. Distribución temporal velocidad estación Suba. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 543. Distribución temporal velocidad estación Tunal. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 544. Distribución temporal velocidad estación Usaquén. El Periodo 2010 - 2021.

Figura 545. Rosa de vientos diurno anual de la estación 21205791 El Dorado Catam, 2010-2021.

Figura 546. Rosa de vientos diurna mensual de la estación 21205791 El Dorado Catam, 2010-2021.

Figura 547. Rosa de vientos nocturno anual de la estación 21205791 El Dorado Catam, 2010-2021.

Figura 548. Rosa de vientos nocturna mensual de la estación 21205791 El Dorado Catam, 2010-2021.

Figura 549. Clasificación climática en la zona de estudio

Figura 550. Localización estaciones maestras.

Figura 551. Localización de estaciones intermedias o secundarias.

Figura 552. Localización de estaciones complementarias propuestas.

Figura 553. Localización de las estaciones de monitoreo de Calidad del Aire de la RMCAB.

Figura 554. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación 7ma móvil. Año 2020

Figura 555. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación 7ma Móvil. Año 2021

Figura 556. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 557. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación CDAR. Año 2021

Figura 558. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Las Ferias. Año 2020

Figura 559. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Las Ferias. Año 2021

Figura 560. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Suba. Año 2020

Figura 561. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Suba. Año 2021

Figura 562. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Bolivia. Año 2020

Figura 563. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Bolivia Año 2021

Figura 564. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Colina. Año 2021

Figura 565. Promedio anual PM10

Figura 566. Concentraciones promedio mensuales de PM2.5. Estación 7ma Móvil. Año 2020

Figura 567. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación 7ma Móvil. Año 2021

Figura 568. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Bolivia. Año 2020.

Figura 569. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Bolivia. Año 2021.

Figura 570. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 571. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 572. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Colina. Año 2021.

Figura 573. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Las Ferias. Año 2020.

Figura 574. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Las Ferias. Año 2021.

Figura 575. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Suba. Año 2020.

Figura 576. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Suba. Año 2021.

Figura 577. Promedio anual PM2.5

Figura 578. Concentración horaria para NO2. Estación 7ma Móvil. Año 2020.

Figura 579. Concentración horaria para NO2. Estación 7ma Móvil. Año 2021.

Figura 580. Concentración horaria para NO2. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 581. Concentración horaria para NO2. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 582. Concentración horaria para NO2. Estación Las Ferias. Año 2020.

Figura 583. Concentración horaria para NO2. Estación Las Ferias. Año 2021.

Figura 584. Concentración horaria para NO2. Estación Suba. Año 2020.

Figura 585. Concentración horaria para NO2. Estación Suba. Año 2021.

Figura 586. Concentración horaria para NO2. Estación Bolivia. Año 2020.

Figura 587. Concentración horaria para NO2. Estación Bolivia. Año 2021.

Figura 588. Concentración horaria para NO2. Estación Colina. Año 2021.

Figura 589. Promedio anual NO2

Figura 590. Concentración horaria para SO2.. Estación Bolivia. Año 2020.

Figura 591. Concentración promedio de 24 horas para SO2. mensuales, Estación Bolivia. Año 2020.

Figura 592. Concentración horaria para SO2. Estación Bolivia. Año 2021

Figura 593. Concentración promedio de 24 horas para SO2. mensuales, Estación Bolivia. Año 2021.

Figura 594. Concentración horaria para SO2. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 595. Concentración promedio de 24 horas para SO2. mensuales. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 596. Concentración horaria para SO2.. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 597. Concentración promedio de 24 horas para SO2. mensuales. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 598. Concentración horaria para SO2. Estación Suba. Año 2020

Figura 599. Concentración promedio de 24 horas para SO2 mensuales, Estación Suba. Año 2020.

Figura 600. Concentración horaria para SO2. Estación Suba. Año 2021

Figura 601. Concentración promedio de 24 horas para SO2 mensuales, Estación Suba. Año 2021.

Figura 602. Concentraciones octohorarias para O3. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 603. Concentraciones octohorarias para O3. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 604. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Las Ferias. Año 2020.

Figura 605. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Las Ferias. Año 2021.

Figura 606. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Suba. Año 2020.

Figura 607. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Suba. Año 2021.

Figura 608. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Bolivia. Año 2021.

Figura 609. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Colina. Año 2021.

Figura 610. Concentración horaria para CO. Estación 7ma Móvil. Año 2020.

Figura 611. Concentración octohoraria para CO. Estación 7ma Móvil. Año 2020.

Figura 612. Concentración horaria para CO. Estación 7ma Móvil. Año 2021.

Figura 613. Concentración octohoraria para CO. Estación 7ma Móvil. Año 2021.

Figura 614. Concentración horaria para CO. Estación CDAR. Año 2020.

Figura 615. Concentración octohoraria para CO. Estación CDAR. Año 2020..

Figura 616. Concentración horaria para CO. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 617. Concentración octohoraria para CO. Estación CDAR. Año 2021.

Figura 618. Concentración horaria para CO. Estación Las Ferias. Año 2020.

Figura 619. Concentración octohoraria para CO. Estación Las Ferias. Año 2020.

Figura 620. Concentración horaria para CO. Estación Las Ferias. Año 2021.

Figura 621. Concentración octohoraria para CO. Estación Las Ferias. Año 2021.

Figura 622. Concentración horaria para CO. Estación Suba. Año 2020.

Figura 623. Concentración octohoraria para CO. Estación Suba. Año 2020.

Figura 624. Concentración horaria para CO. Estación Suba. Año 2021.

Figura 625. Concentración octohoraria para CO. Estación Suba. Año 2021.

Figura 626. Concentración horaria para CO. Estación Bolivia. Año 2020.

Figura 627. Concentración octohoraria para CO. Estación Bolivia. Año 2020.

Figura 628. Concentración horaria para CO. Estación Bolivia. Año 2021.

Figura 629. Concentración octohoraria para CO. Estación Bolivia. Año 2021.

Figura 630. Concentración horaria para CO. Estación Colina. Año 2021.

Figura 631. Concentración octohoraria para CO. Estación Colina. Año 2021.

Figura 632. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación Móvil 7ma

Figura 633. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Móvil 7ma

Figura 634. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación CDAR

Figura 635. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación CDAR

Figura 636. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación Las Ferias

Figura 637. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Las Ferias

Figura 638. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación Suba

Figura 639. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Suba

Figura 640. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación Bolivia

Figura 641. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Bolivia

Figura 642. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Colina

Figura 643. Puntos de Monitoreo de calidad de Aire.

Figura 644. Concentraciones diarias de PM10 – CA 1. Gimnasio Moderno

Figura 645. Concentraciones diarias de PM10 – CA 2. Casa Jose Galo

Figura 646. Concentraciones diarias de PM10 – CA 3. Colegio San Felipe Neri

Figura 647. Concentraciones diarias de PM10 – CA 4. Colegio Liceo Val

Figura 648. Concentraciones diarias de PM10 – CA 5. Casa Luis Yomayusa

Figura 649. Concentraciones diarias de PM10 – CA 6. Ofidrogas

Figura 650. Concentraciones diarias de PM10 – CA 7. Casa Edilberto

Figura 651. Concentraciones diarias de PM10 – CA 8. Bomberos

Figura 652. Concentraciones diarias de PM10 – CA 9. Casa Luz Dary

Figura 653. Concentraciones diarias de PM10 – CA 10. Universidad Pedagógica

Figura 654. Concentraciones diarias de PM10 – CA 11. Sala de negocios

Figura 655. Concentraciones diarias de PM10 – CA 12. Salón comunal Almería

Figura 656. Concentraciones diarias de PM10 – CA 13. Casa Paulina Garcia

Figura 657. Concentraciones diarias de PM10 – CA 14. Casa Yeison Chitiva

Figura 658. Concentraciones diarias de PM10 – CA 15. Uniminuto

Figura 659. Concentraciones diarias de PM10 – CA 16. Punta del Este

Figura 660. Concentraciones diarias de PM10 – CA 17. Casa Hilvar

Figura 661. Concentraciones diarias de PM10 – CA 18. Casa Graciela

Figura 662. Concentraciones diarias de PM10 – CA 19. Fama

Figura 663. Concentraciones diarias de PM10 – CA 20. Conjunto Tibabuyes

Figura 664. Concentraciones diarias de PM10 – CA 21. Conjunto Yaití

Figura 665. Concentraciones diarias de PM10 – CA 22. Conjunto Alicante

Figura 666. Concentraciones diarias de PM10 – CA 23. Quintas de Santa Rita III

Figura 667. Concentraciones diarias de PM10 – CA 24. Quintas de Santa Rita II

Figura 668. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 1. Gimnasio Moderno

Figura 669. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 2. Casa Jose Galo

Figura 670. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 3. Colegio San Felipe Neri

Figura 671. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 4. Colegio Liceo Val

Figura 672. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 5. Casa Luis Yomayusa

Figura 673. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 6. Ofidrogas

Figura 674. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 7. Casa Edilberto

Figura 675. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 8. Bomberos

Figura 676. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 9. Casa Luz Dary

Figura 677. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 10. Universidad Pedagógica

Figura 678. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 11. Sala de negocios

Figura 679. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 12. Salón comunal armería

Figura 680. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 13. Casa Paulina Garcia

Figura 681. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 14. Casa Yeison Chitiva

Figura 682. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 15. Uniminuto

Figura 683. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 16. Punta del Este

Figura 684. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 17. Casa Hilvar

Figura 685. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 18. Casa Graciela

Figura 686. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 19. Fama

Figura 687. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 20. Conjunto Tibabuyes

Figura 688. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 21. Conjunto Yaití

Figura 689. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 22. Conjunto Alicante

Figura 690. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 23. Quintas de Santa Rita III

Figura 691. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 24. Quintas de Santa Rita II

Figura 692. Concentraciones diarias de SO2 – CA 1. Gimnasio Moderno

Figura 693. Concentraciones diarias de SO2 – CA 2. Casa Jose Galo

Figura 694. Concentraciones diarias de SO2 – CA 3. Colegio San Felipe Neri

Figura 695. Concentraciones diarias de SO2 – CA 4. Colegio Liceo Val

Figura 696. Concentraciones diarias de SO2 – CA 5. Casa Luis Yomayusa

Figura 697. Concentraciones diarias de SO2 – CA 6. Ofidrogras

Figura 698. Concentraciones diarias de SO2 – CA 7. Casa Edilberto

Figura 699. Concentraciones diarias de SO2 – CA 8. Bomberos

Figura 700. Concentraciones diarias de SO2 – CA 9. Casa Luz Dary

Figura 701. Concentraciones diarias de SO2 – CA 10. Universidad Pedagógica

Figura 702. Concentraciones diarias de SO2 – CA 11. Sala de Negocios

Figura 703. Concentraciones diarias de SO2 – CA 12. Salón comunal Almería

Figura 704. Concentraciones diarias de SO2 – CA 13. Casa Paulina Garcia

Figura 705. Concentraciones diarias de SO2 – CA 14. Casa Yeison Chitiva.

Figura 706. Concentraciones diarias de SO2 – CA 15. Uniminuto

Figura 707. Concentraciones diarias de SO2 – CA 16. Punta del Este

Figura 708. Concentraciones diarias de SO2 – CA 17. Casa Hilvar.

Figura 709. Concentraciones diarias de SO2 – CA 18. Casa Graciela

Figura 710. Concentraciones diarias de SO2 – CA 19. Fama

Figura 711. Concentraciones diarias de SO2 – CA 20. Conjunto Tibabuyes

Figura 712. Concentraciones diarias de SO2 – CA 21. Conjunto Yaití

Figura 713. Concentraciones diarias de SO2 – CA 22. Conjunto Alicante

Figura 714. Concentraciones diarias de SO2 – CA 23. Quintas de Santa Rita III

Figura 715. Concentraciones diarias de SO2 – CA 24. Quintas de Santa Rita II

Figura 716. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 1. Gimnasio Moderno

Figura 717. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 2. Casa Jose Galo

Figura 718. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 3. Colegio San Felipe Neri

Figura 719. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 4. Colegio Liceo Val

Figura 720. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 5. Casa Luis Yomayusa

Figura 721. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 6. Ofidrogas

Figura 722. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 7. Casa Edilberto

Figura 723. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 8. Bomberos

Figura 724. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 9. Casa Luz Dary

Figura 725. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 10. Universidad Pedagógica

Figura 726. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 11. Sala de negocios

Figura 727. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 12. Salón comunal Almería

Figura 728. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 13. Casa Paulina Garcia

Figura 729. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 14. Casa Yeison Chitiva

Figura 730. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 15. Uniminuto

Figura 731. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 16. Punta del Este

Figura 732. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 17. Casa Hilvar

Figura 733. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 18. Casa Graciela

Figura 734. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 19. Fama

Figura 735. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 20. Conjunto Tibabuyes

Figura 736. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 21. Conjunto Yaití

Figura 737. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 22. Conjunto Alicante

Figura 738. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 23. Quintas de Santa Rita III

Figura 739. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 24. Quintas de Santa Rita II

Figura 740. Concentraciones horarias de NO2 – CA 1. Gimnasio Moderno.

Figura 741. Concentraciones horarias de NO2 – CA 2. Casa Jose Galo.

Figura 742. Concentraciones horarias de NO2 – CA 3. Colegio San Felipe Neri

Figura 743. Concentraciones horarias de NO2 – CA 4. Colegio Liceo Val.

Figura 744. Concentraciones horarias de NO2 – CA 5. Casa Luis Yomayusa

Figura 745. Concentraciones horarias de NO2 – CA 6. Ofidrogas

Figura 746. Concentraciones horarias de NO2 – CA 7. Casa Edilberto.

Figura 747. Concentraciones horarias de NO2 – CA 8. Bomberos.

Figura 748. Concentraciones horarias de NO2 – CA 9. Casa Luz Dary.

Figura 749. Concentraciones horarias de NO2 – CA 10. Universidad Pedagógica

Figura 750. Concentraciones horarias de NO2 – CA 11. Sala de negocios

Figura 751. Concentraciones horarias de NO2 – CA 12. Salón Comunal Almería

Figura 752. Concentraciones horarias de NO2 – CA 13. Casa Paulina Garcia.

Figura 753. Concentraciones horarias de NO2 – CA 14. Casa Yeison Chitiva

Figura 754. Concentraciones horarias de NO2 – CA 15. Uniminuto

Figura 755. Concentraciones horarias de NO2 – CA 16. Punta del Este

Figura 756. Concentraciones horarias de NO2 – CA 17. Casa Hilvar

Figura 757. Concentraciones horarias de NO2 – CA 18. Casa Graciela

Figura 758. Concentraciones horarias de NO2 – CA 19. Fama

Figura 759. Concentraciones horarias de NO2 – CA 20. Conjunto Tibabuyes

Figura 760. Concentraciones horarias de NO2 – CA 21. Conjunto Yaití.

Figura 761. Concentraciones horarias de NO2 – CA 22. Conjunto Alicante

Figura 762. Concentraciones horarias de NO2 – CA 23. Quintas de Santa Rita III

Figura 763. Concentraciones horarias de NO2 – CA 24. Quintas de Santa Rita II

Figura 764. Esquema del sistema de modelación del software AERMOD View.

Figura 765. Receptores determinados a partir de la cuadrícula generada.

Figura 766. Esquema del procedimiento para la calibración del modelo.

Figura 767. Relieve topográfico de la zona de estudio.

Figura 768. Climograma de Gaussen.

Figura 769. Promedio horario de temperatura en la zona de estudio.

Figura 770. Intensidad horaria de precipitación en la zona de estudio.

Figura 771. Rosa de los vientos en la zona de estudio.

Figura 772. Velocidad del viento promedio horario en la zona de estudio.

Figura 773. Nubosidad promedio horaria en la zona de estudio.

Figura 774. Humedad relativa promedio horaria en la zona de estudio.

Figura 775. Presión barométrica promedio horaria en la zona de estudio.

Figura 776. Altura de la capa de mezcla (convectiva y mecánica) promedio horaria en la zona de estudio.

Figura 777. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 2.5 micras (PM2.5). Promedio anual. Línea base.

Figura 778. Isopletas de concentración. Material Particulado menor a 2.5 micras (PM2.5). Máximo diario. Línea base.

Figura 779. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 10 micras (PM10). Promedio anual. Línea base.

Figura 780. Isopletas de concentración. Material Particulado menor a 10 micras (PM10). Máximo diario. Línea base.

Figura 781. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 2.5 micras (PM2.5). Promedio anual. Construcción.

Figura 782. Isopletas de concentración. Material Particulado menor a 2.5 micras (PM2.5). Máximo diario. Construcción.

Figura 783. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 10 micras (PM10). Promedio anual. Construcción.

Figura 784. Isopletas de concentración. Material Particulado menor a 10 micras (PM10). Máximo diario. Construcción.

Figura 785. Ubicación de los puntos de monitoreo

Figura 786. Datos procesados en la estación reportada

Figura 787. Temperatura promedio C°

Figura 788. Humedad promedio (%)

Figura 789. Nivel de ruido ambiental – Jornada diurna – Día hábil

Figura 790. Nivel de ruido ambiental – Jornada diurna – Día no hábil

Figura 791. Nivel de ruido ambiental – Jornada nocturna – Día hábil

Figura 792. Nivel de ruido ambiental – Jornada nocturna – Día no hábil

Figura 793. Ubicación de las fuentes emisión de ruido tramo 1

Figura 794. Ubicación de las fuentes emisión de ruido tramo 2

Figura 795. Ubicación de las fuentes emisión de ruido tramo 3

Figura 796. Ubicación de las fuentes emisión de ruido tramo 4

Figura 797. Localización estaciones maestras.

Figura 798. Localización de estaciones intermedias o secundarias.

Figura 799. Localización de estaciones complementarias propuestas.

Figura 800. SOUNDPLAN® 8.1.

Figura 801. Planteamiento del escenario de Línea base dentro del modelo

Figura 802. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día hábil tramo 1

Figura 803. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día hábil tramo 2

Figura 804. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día hábil tramo 3

Figura 805. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día hábil tramo 4

Figura 806. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día NO hábil tramo 1

Figura 807. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día NO hábil tramo 2

Figura 808. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día NO hábil tramo 3

Figura 809. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día NO hábil tramo 4

Figura 810. Mapa estratégico de ruido periodo nocturno día hábil tramo 1

Figura 811. Mapa estratégico de ruido periodo diurno nocturno día hábil tramo 2

Figura 812. Mapa estratégico de ruido periodo diurno nocturno día hábil tramo 3

Figura 813. Mapa estratégico de ruido periodo nocturno día hábil tramo 4

Figura 814. Mapa estratégico de ruido periodo nocturno día no hábil tramo 1

Figura 815. Mapa estratégico de ruido periodo diurno nocturno día no hábil tramo 2

Figura 816. Mapa estratégico de ruido periodo diurno nocturno día no hábil tramo 3

Figura 817. Mapa estratégico de ruido periodo nocturno día no hábil tramo 4 desde calle 132 hasta Patio Taller

Figura 818. Mapa de ruido escenario de Línea base periodo diurno en vista 3D para el cálculo de fachadas

Figura 819. Procesos constructivos de las estaciones L2MB

Figura 820. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento con Línea base periodo diurno tramo 1

Figura 821. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento con Línea base periodo diurno tramo 2

Figura 822. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento con Línea base periodo diurno tramo 3

Figura 823. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento con Línea base periodo diurno tramo 4

Figura 824. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 1

Figura 825. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 2

Figura 826. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 3

Figura 827. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 4

Figura 828. Mapa de ruido Escenario de Construcción segundo momento con Línea base periodo diurno tramo 1

Figura 829. Mapa de ruido Escenario de Construcción segundo momento con Línea base periodo diurno tramo 2

Figura 830. Mapa de ruido Escenario de Construcción segundo momento con Línea base periodo diurno tramo 3

Figura 831. Mapa de ruido Escenario de Construcción segundo momento con Línea base periodo diurno tramo 4

Figura 832. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 1

Figura 833. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 2

Figura 834. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 3

Figura 835. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 4

Figura 836. Proyección de la operación del metro en el modelo

Figura 837. Sentidos de circulación de los trenes

Figura 838. Diseños de la Trinchera de transición.

Figura 839. Tablero sistema metro elevado.

Figura 840. Mapa de ruido escenario de operación con Línea base periodo diurno

Figura 841. Mapa de ruido escenario de operación con Línea base periodo nocturno

Figura 842. Mapa de ruido escenario de operación sin Línea base periodo diurno

Figura 843. Mapa de ruido escenario de operación sin Línea base periodo nocturno

Figura 844. Esquema de medición de vibraciones propuesto

Figura 845. Registro típico de niveles de vibración

Figura 846. Análisis de Nakamura en el programa de computador DEGTRA A4

Figura 847. Registro de vibraciones

Figura 848. Puntos de monitoreo de vibraciones para la condición de línea base

Figura 849. Límites asociados con confort en función de la frecuencia del registro

Figura 850. Niveles máximos de vibraciones para evitar daños estructurales según EUROCODE 3 (estándar europeo)

Figura 851. Niveles de vibración para el punto de registro 1 (Punto de entrada de la máquina)

Figura 852. Niveles de vibración para el punto de registro 2: Estación 1.

Figura 853. Niveles de vibración para el punto de registro 3: Estación 2.

Figura 854. Niveles de vibración para el punto de registro 4: Estación 3.

Figura 855. Niveles de vibración para el punto de registro 5: Estación 4.

Figura 856. Niveles de vibración para el punto de registro 6: Estación 5.

Figura 857. Niveles de vibración para el punto de registro 7: Estación 6.

Figura 858. Niveles de vibración para el punto de registro 8: Estación 7.

Figura 859. Niveles de vibración para el punto de registro 9: Estación 8.

Figura 860. Niveles de vibración para el punto de registro 10: Cruce Juan Amarillo.

Figura 861. Niveles de vibración para el punto de registro 11: Estación 9.

Figura 862. Niveles de vibración para el punto de registro 12: Estación 10.

Figura 863. Niveles de vibración para el punto de registro 13: Salida de la máquina.

Figura 864. Niveles de vibración para el punto de registro 14: Estación 11.

Figura 865. Niveles de vibración para el punto de registro 15: Patio Taller.

Figura 866. Velocidad de partícula máxima

Figura 867. Porcentaje aceleración máxima (PGA por sus siglas en inglés)

Figura 868. Frecuencia dominante característica de los registros de vibración.

Figura 869. Periodo dominante de respuesta del subsuelo calculado utilizando el método de Nakamura.

Figura 870. Relación velocidad de partícula y VdB

Figura 871. Curva base estimación de niveles de vibración

Figura 872. Curva de estimación de niveles de vibración ajustada

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Vista al NE de morfologías montañosas asociadas a los cerros orientales de Bogotá, conformando rocas cretácicas del Grupo Guadalupe, sector Avenida Calle 72 con Avenida Caracas.

Fotografía 2. Vista al NE de morfologías de cerros relictos en rocas terciarias de la Formación Cacho (Tpc) asociados a los cerros de Suba, se observan capas medianas a gruesas de areniscas cuarzosas amarillentas de grano medio, sector Bosque de San Jorge, Suba.

Fotografía 3. Vista al SW de morfologías plana suavizada asociada a los depósitos cuaternarios de origen fluvio - lacustre de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana, sector canal Salitre, área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.

Fotografía 4. Vista al W de morfologías planas con disección por el curso del río Bogotá asociada a los depósitos cuaternarios de llanura aluvial (Qlla), sector canal Salitre, área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.

Fotografía 5. Vista al N de morfologías onduladas a colinadas en depósitos de coluvión (Qdp) cubriendo de manera discordante rocas terciarias de la Formación Cacho, sector San Jorge cerros de Suba, área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.

Fotografía 6. Vista al W sobre morfologías antrópicas asociadas a depósitos de relleno de conformación del jarillón que delimita el río Arzobispo adyacente al área del humedal Juan Amarillo - Tibabuyes, sector La Serena, Avenida Ciudad de Cali, área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.

Fotografía 7. Caja 1 de la perforación L2MB-TUN-PT-04, zona homogénea 1. Se observa relleno antrópico de escombros (Qant), heterométrico con gravas de areniscas, arenas y limos hasta 4 m

Fotografía 8. Caja 5 de la perforación L2MB-TUN-PT-04, zona homogénea 1. Diferencia textural del depósito coluvial (Qcc) matriz soportado entre el segmento de 18 m hasta los 21 m, seguido se presenta el depósito de textura clasto soportado hasta los 23,4 m de profundidad.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Fotografía 9. Caja 12 de la perforación L2MB-TUN-PT-04, zona homogénea 1. Presencia de arcillolitas abigarradas de tonalidades gris violáceo y óxidos ferruginosos superficialmente, característicos de rocas de la formación Bogotá (Tpb). área adyacente a la zona de piedemonte de los cerros orientales en el sector de estudio, segmento de 55,83 a 62,7 m de profundidad.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Fotografía 10. Caja 1 de la perforación L2MB-EST3-PT-02, zona homogénea 2. Se observa relleno antrópico de escombros (Qant), heterométrico con gravas de areniscas, arenas y limos y arcillas al final del segmento, hasta los 3,9 m

Fotografía 11. Caja 7 de la perforación L2MB-EST3-PT-02, zona homogénea 2. Detalle de los niveles arcillosos y limosos con materia orgánica y esporádicos segmentos lenticulares de arenas de granos fino asociados a los depósitos de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana entre los 28,45m y 32,7 m de profundidad del sondeo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Fotografía 12. Caja 1 de la perforación L2MB-TUN-PT-67, zona homogénea 3. Se observa relleno antrópico de escombros (Qant), heterométrico con gravas de areniscas, arenas, limos, arcillas y materia orgánica al final del segmento, hasta los 5,1 m de profundidad.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Fotografía 13. Caja 5 de la perforación L2MB-TUN-PT-67, zona homogénea 3. Detalle de los niveles arcillosos y limosos con materia orgánica, lentes de turba y arenas finas, asociados a los depósitos de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana entre los 20 m y 24 m de profundidad del sondeo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Fotografía 14. Caja 1 de la perforación L2MB-TUN-PT-84, zona homogénea 4. Inicio del sondeo y hasta 1 m se presenta relleno antrópico heterogéneo con fragmentos de liditas, areniscas, limolitas, pedazos de concreto y ladrillo, en una matriz de arenas, limos, arcillas raíces. Seguido se presentan niveles arcillo limosos de la terraza alta (Qta) de la Formación Sabana.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Fotografía 15. Caja 4 de la perforación L2MB-TUN-PT-84, zona homogénea 4. Detalle de los niveles arcillosos y limosos con materia orgánica, lentes milimétricos de cenizas volcánicas, asociados a los depósitos de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana entre los 17,2 m y 22,9 m de profundidad del sondeo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Fotografía 16. Línea 2 del Metro de Bogotá. Ortofotos base para Análisis Multitemporal.

Fotografía 17. Coberturas presentes en el AIPai destacables.

Fotografía 18. Fauna presente en el AIPa.

Fotografía 19. Vista panorámica del Humedal Juan Amarillo-Tibabuyes (izquierda) como sitio de interés paisajístico y su fauna (derecha)

Fotografía 20. Sitio del primer perfil

Fotografía 21. Sitio del segundo perfil.

Fotografía 22. Sitio del tercer perfil.

Fotografía 23. Sitio del cuarto perfil.

Fotografía 24. Sitio del quinto perfil.

Fotografía 25. Sitio del sexto perfil.

Fotografía 26. Sitio del séptimo perfil

Fotografía 27. Sitio del octavo perfil.

Fotografía 28. Punto de monitoreo Humedal La Conejera - Periodo Húmedo.

Fotografía 29. Punto de monitoreo Humedal La Conejera - Periodo Seco.

Fotografía 30. Punto de monitoreo Humedal Juan Amarillo aguas arriba - Periodo Húmedo.

Fotografía 31. Punto de monitoreo Humedal Juan Amarillo aguas arriba - Periodo Seco.

Fotografía 32. Punto de monitoreo Humedal Juan Amarillo aguas abajo - Periodo Húmedo.

Fotografía 33. Punto de monitoreo Humedal Juan Amarillo aguas abajo - Periodo Seco.

Fotografía 34. Punto de monitoreo Brazo humedal Juan Amarillo aguas arriba - Periodo Húmedo.

Fotografía 35. Punto de monitoreo Brazo humedal Juan Amarillo aguas arriba - Periodo Seco.

Fotografía 36. Punto de monitoreo Brazo humedal Juan Amarillo intersección - Periodo Húmedo.

Fotografía 37. Punto de monitoreo Brazo humedal Juan Amarillo interseccióna - Periodo Seco.

Fotografía 38. Punto de monitoreo Lago Club Los Lagartos - Periodo Húmedo.

Fotografía 39. Punto de monitoreo Lago Club Los Lagartos - Periodo Seco.

Fotografía 40. Punto de monitoreo Canal CAFAM aguas arriba - Periodo Húmedo.

Fotografía 41. Punto de monitoreo Canal CAFAM aguas arriba - Periodo Seco.

Fotografía 42. Punto de monitoreo Canal CAFAM aguas abajo - Periodo Húmedo.

Fotografía 43. Punto de monitoreo Canal CAFAM aguas abajo - Periodo Seco.

Fotografía 44. Punto de monitoreo Canal Salitre aguas arriba - Periodo Húmedo.

Fotografía 45. Punto de monitoreo Canal Salitre aguas arriba - Periodo Seco.

Fotografía 46. Punto de monitoreo Canal Salitre aguas abajo - Periodo Húmedo.

Fotografía 47. Punto de monitoreo Canal Salitre aguas abajo - Periodo Seco.

Fotografía 48. Punto de monitoreo Río Bogotá aguas arriba - Periodo Húmedo.

Fotografía 49. Punto de monitoreo Río Bogotá aguas arriba - Periodo Seco.

Fotografía 50. Punto de monitoreo Río Bogotá aguas abajo - Periodo Húmedo.

Fotografía 51. Punto de monitoreo Río Bogotá aguas abajo - Periodo Seco.

Fotografía 52. Punto de monitoreo Río Salitre aguas arriba - Periodo Húmedo.

Fotografía 53. Punto de monitoreo Río Salitre aguas arriba - Periodo Seco.

Fotografía 54. Punto de monitoreo Río Salitre aguas abajo - Periodo Húmedo.

Fotografía 55. Punto de monitoreo Río Salitre aguas abajo - Periodo Seco.

Fotografía 56. Afloramiento Areniscas de la Formación Arenisca Labor y Tierna. Avenida Carrera 7 en la Calle 183

Fotografía 57. Afloramiento Areniscas de la Formación Guaduas (Ktg). Sector Club Los Lagartos

Fotografía 58. Afloramiento Areniscas de la Formación Cacho (Tpc). Sector Club Los Lagartos

Fotografía 59. Afloramiento Complejo de Conos

Fotografía 60. Llanura de inundación. Río Arzobispo barrio Jaime Bermeo Suba - adyacente Avenida Ciudad de Cali

Fotografía 61. Detalle depósito de coluvión

Fotografía 62. Vista de la Quebrada La Vieja.

Fotografía 63. Canal Salitre.

Fotografía 64. Canal Cafam - Paso con Canal

Fotografía 65. Canal Cafam - Paso con Box Culvert.

Fotografía 66. Río Bogotá

Fotografía 67. Brazo del humedal Juan Amarillo.

Fotografía 68. Lago Club los Lagartos

Fotografía 69. Humedal Juan Amarillo.

Fotografía 70. Humedal La Conejera.

Fotografía 71. Pozo pz-11-0180. Depósitos de llanura de inundación (Qlla)

Fotografía 72. Aljibe aj-12-0015. Depósitos cuaternarios de terraza alta de la formación Sabana (Qta)

Fotografía 73. Configuración triaxial para el registro de vibraciones

Fotografía 74. Equipos propuestos para adelantar el monitoreo de vibraciones

Fotografía 75. Equipo de monitoreo de Vibraciones

Fotografía 76. Registro fotográfico mediciones de vibraciones para la definición de la línea base del proyecto.

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación amplitud para cálculo de calidad, fragilidad y belleza paisajística.

Ecuación 2. Capacidad de absorción visual

Ecuación 3. Parámetro C del test de Walsh

Ecuación 4. Parámetro k del test de Walsh

Ecuación 5. Parámetro b del test de Walsh

Ecuación 6. Nivel de significancia

Ecuación 7. Condición de los valores mínimos

Ecuación 8. Condición de los valores máximos

Ecuación 9. Método de la proporción media

Ecuación 10. Factor forma

Ecuación 11. Índice de compacidad

Ecuación 12. Pendiente del cauce

Ecuación 13. Índice de sinuosidad

Ecuación 14. Densidad de drenaje

Ecuación 15. Método de Isoyetas

Ecuación 16. Caudal medio

Ecuación 17. Caudales medios diarios

Ecuación 18. Caudal unitario pico

Ecuación 19. Tiempo de ocurrencia del caudal pico

Ecuación 20. Índice de uso del agua

Ecuación 21. Índice de regulación hídrica

Ecuación 22. Índice de aridez

Ecuación 23. Método de Thornthwaite

Ecuación 24. Coeficiente del tanque

Ecuación 25. Método del tanque evaporímetro

Ecuación 26. Método de Turc

Ecuación 27. Índice de aridez

Ecuación 28. Balance hídrico general

Ecuación 29. Balance hídrico del proyecto

Ecuación 30. Método adaptado de Thornthwaite y Matter

Ecuación 31. Capacidad máxima de almacenamiento

Ecuación 32. Evapotranspiración real

Ecuación 33. micromolinete Global Water

Ecuación 34. Ecuación del molinete

Ecuación 35. Índice de calidad del agua

Ecuación 36. Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua 1

Ecuación 37. Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua 2

Ecuación 38. Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua 3

Ecuación 39. Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua 4

Ecuación 40. Índice de Langelier

Ecuación 41. pH de saturación

Ecuación 42. Índice de Calidad del Agua (ICA)

Ecuación 43. Subíndice para la variable Oxígeno Disuelto (OD)

Ecuación 44. Subíndice para la variable Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Ecuación 45. Subíndice para la variable Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Ecuación 46. Subíndice para la variable Conductividad Eléctrica (CE)

Ecuación 47. Subíndice para la variable pH

Ecuación 48. Capacidad máxima de almacenamiento

Ecuación 49. Cálculo de la Percolación

Ecuación 50. Evapotranspiración real

Ecuación 51. Evaluación GOD

Ecuación 52. Ecuación general de flujo

Ecuación 53. Ecuación de flujo considerando densidad constante.

Ecuación 54. Ecuación general de flujo

Ecuación 55. Ecuación de flujo considerando densidad constante.

Ecuación 56. Balance iónico

Ecuación 57. Presión atmosférica

Ecuación 58. Cálculo del IBOCA

Ecuación 59. Emisiones atmosféricas de fuentes móviles

Ecuación 60. Emisiones atmosféricas para fuentes móviles fuera de ruta

Ecuación 61. Factor de Emisión ajustado para HC, CO y NOX

Ecuación 62. Factor de Ajuste Transitorio (FAT)

Ecuación 63. Factor de Deterioro (FD) del motor

Ecuación 64. Factor de edad

Ecuación 65. Horas acumuladas

Ecuación 66. Factor de Emisión ajustado para PM

Ecuación 67. Ajuste del factor de emisión por contenido de azufre

Ecuación 68. Consumo Específico de Combustible

Ecuación 69. Factor de Emisión para CO2

Ecuación 70. Factor de emisión ajustado para SO2

Ecuación 71. Nivel equivalente resultante de la medición

Ecuación 72. Nivel equivalente resultante de la medición

Ecuación 73. Nivel de presión sonora continuo equivalente corregido

Ecuación 74. Ajuste por impulsos

Ecuación 75. Tonalidades

Ecuación 76. Ruido vehículos ligeros

Ecuación 77. Ruido vehículos pesados

Ecuación 78. Propagación de ruido

Ecuación 79. Potencia acústica

Ecuación 80. Nivel de rugosidad

Ecuación 81. Nivel de rugosidad total

Ecuación 82. Potencia sonora 1

Ecuación 83. Potencia sonora 2

Ecuación 84. Potencia sonora 3

Ecuación 85. Nivel de velocidad

Ecuación 86. Proyección nivel de vibración

5.2. CARACTERIZACIÓN MEDIO ABIÓTICO

5.2.1. Componente Geosférico.

5.2.1.1. Geología.

La metodologías adoptadas para las cuatro temáticas que hacen parte del componente geosférico están orientadas a satisfacer los lineamientos y requerimientos de información consignada en las especificaciones y requerimientos de la ET-05 en la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Línea 2 del Metro de Bogotá.

La nomenclatura estratigráfica se basa principalmente en las cartografías geológicas del Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS), en especial la Plancha 227 - La Mesa (Ulloa et al, 1998) a escala 1:100000 y el Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá a escala 1:50000 del Proyecto Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá (INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997, Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) Río Bogotá (CAR, 2019), Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá a escala 1:100 000 (INGEOMINAS, 2005) y lo consignado respecto al modelo geológico en el Modelo Hidrogeológico Conceptual, Acuífero Subsuperficial en el Perímetro Urbano Distrito Capital (Convenio de asociación No SDA-CV 20161264. SDA. 2018).

La metodología involucra la interpretación de información de estudios anteriores y se complementa con los datos litológicos de exploración superficial así como los obtenidos del registro litológico de las perforaciones realizadas a lo largo del corredor de la línea L2MB, adicionalmente con los resultados del análisis de la información de ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas durante las fases 1 y 2, se estableció el cambio de las propiedades del suelo, y permitió realizar la diferenciación de zonas homogéneas. Anexo 5.2 -1.1 al Anexo 5.2 -1.4. Planos L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0008_V01 y L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0009_V01.

5.2.1.1.1. Caracterización Área de Influencia Indirecta.

5.2.1.1.1.1. Estratigrafía.

El proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, se desarrolla principalmente sobre los depósitos de la Formación Sabana (Qta) de origen lacustre los cuales conforman el relleno cuaternario de la Sabana de Bogotá localizada a una altitud de 2 600 msnm en la parte central de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos. Estos depósitos se encuentran interdigitados con los depósitos de pendiente (Qcc y Qdp) localizados en el piedemonte de los cerros orientales y en las laderas de los cerros de Suba. Asi mismo hacia el río Bogotá, los depósitos lacustres se encuentran cubiertos por la llanura de inundación del río Bogotá (Qlla) y de sus principales afluentes, el curso de agua que da origen al humedal Juan Amarillo.

El depósito lacustre de la Sabana de Bogotá alcanza en la parte central un espesor mayor a 320 m según datos y reporte en el pozo Funza - 2 (sensu Torres, 2006). La cobertura fluvio lacustre, se encuentra discordantemente sobre un basamento sedimentario representado por una secuencia de rocas de origen marino, transicional y continental con edades entre el Cretácico y el Terciario (Paleógeno y Neógeno). Estas rocas afloran tanto en los cerros que rodean la Sabana de Bogotá así como en los que se encuentran a su interior, encontrándose intensamente plegadas y falladas en un marco de esfuerzos compresivos (Figura 1).

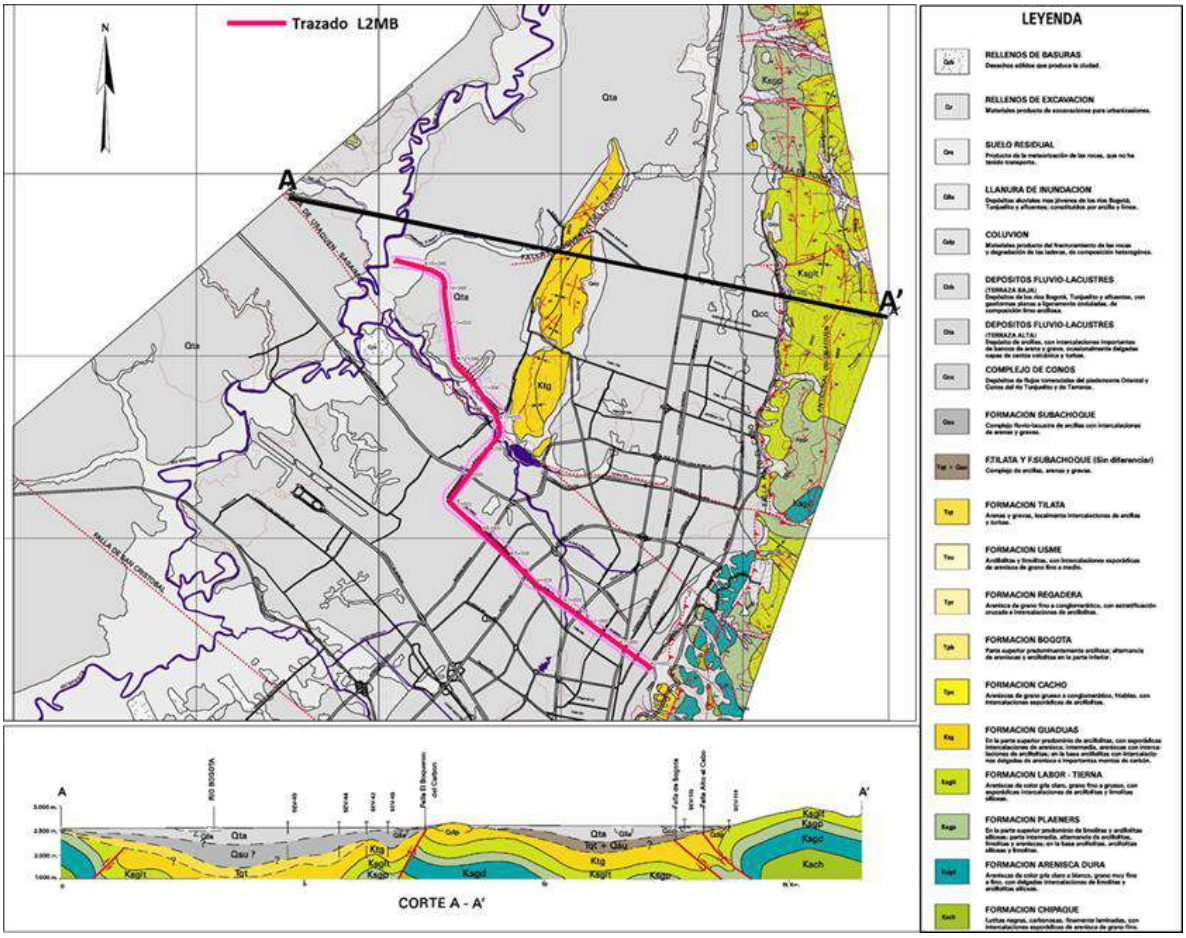


Figura 1.Geología regional.Trazo en tono magenta muestra la implantación del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá sobre los depósitos cuaternarios de la Sabana de Bogotá.
Fuente: Tomado de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá. Modificado UT MOVIUS 2022

Dentro de las fronteras geológicas, se presentan los cerros que bordean la Sabana de Bogotá; en estas zonas afloran rocas con edades del Cretácico superior, Paleógeno y Neógeno diferenciadas en las formaciones Arenisca Dura (Ksgd), Plaeners (Ksgp) y Labor-Tierna (Ksglt) del Grupo Guadalupe, así como las formaciones Guaduas (Ktg), Cacho (Tpc), Bogotá (Tpb), Regadera (Tpr) y Usme (Tsu). De estas unidades litológicas en el trazado del túnel de la L2MB, se identifican la Formación Guaduas en los cerros de Suba y la Formación Bogotá bajo el túnel al inicio del abscisado, cerca de la calle 72 en aproximaciones de la carrera 9 en dirección occidente, con 473 m de recta hacia el cruce con la Av. Caracas.

La nomenclatura estratigráfica usada en este estudio, proviene principalmente de las cartografías geológicas del Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS), en especial la Plancha 227 - La Mesa (Ulloa et al, 1998) a escala 1:100000 y el Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá a escala 1:50000 del Proyecto Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá (INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997), Tabla 1.

Tabla 1. Columna estratigráfica generalizada del área de influencia regional que abarca el proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.

PERIODO	UNIDAD		NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
Cuaternario	Depósitos de origen antrópico		Qant	Rellenos con materiales sobrantes de excavaciones o materiales de demolición de construcciones que fueron acumulados principalmente en zonas deprimidas y de humedal para la adecuación de terrenos en el desarrollo urbanístico, industrial y vial del distrito capital y de los municipios de la Sabana de Bogotá.
	Llanura de inundación		Qlla	Se presenta bordeando los cauces fluviales y se limita localmente por escarpes de terraza. Se constituye de 3 - 5 m de arcillas y limos producto de la sedimentación.
	Depósitos de coluvión		Qdp	Se presentan en los pies de las laderas, en especial en aquellas generadas por la Formación Guaduas (Ktg) y al norte de la ciudad por Usaquén. Corresponde a depósitos caóticos y de muy poca extensión; constituidos por material arcilloso casi exclusivamente o por bloques de areniscas en una matriz arenoso-arcillosa.
	Depósitos Lacustres de la Formación Sabana o Terraza Alta		Qta	Terrazas alomadas en forma de abanico ampliamente explayado, de formas cóncavas y convexas con pendientes suaves a inclinadas. Su origen está asociado con la existencia de abanicos y planicies aluviales antiguos muy disectados y localmente tectonizadas. Se constituyen de 20 - 300 m de gravas y arenas con interestratificaciones de arcillas y turbas.
	Complejo de conos		Qcc	Depósitos conglomeráticos matriz-soportados de cantos y bloques, moderadamente seleccionados y subredondeados, polimícticos.
Terciario	Formación Bogotá		Tpb	Constituida por arcillolitas de color gris oscuro y amarillo naranja, y areniscas cuarzosas de color gris verdoso, de grano fino hacia y grueso hacia el techo, friables con estratificación cruzada, en la parte superior, arcillolitas gris oscura, gris verdosa, y parda rojiza por meteorización.
	Formación Cacho		Tpc	Areniscas y areniscas conglomeráticas en capas gruesas de color amarillo rojizo, tabulares y cuneiformes con estratificación cruzada.
Terciario - Cretácico	Formación Guaduas		Ktg	La unidad consta en general de arcillolitas laminadas a no laminadas, gris claro a abigarradas, con intercalaciones de cuarzoarenitas grises, de grano medio a fino y algunas capas de carbón. Restos de hojas son comunes a lo largo de la secuencia, mientras que foraminíferos sólo se han hallado en su base.
Cretácico	Grupo Guadalupe	Formación Labor y Tierna	Ksglt	Intercalaciones de areniscas en capas medianas y gruesas con lodolitas en capas delgadas; hacia la parte superior, bancos gruesos de areniscas de grano fino y medio.
		Formación Plaeners	Ksgp	Intercalaciones de lodolitas y arcillolitas con gran abundancia de foraminíferos bentónicos en la parte inferior, en la parte media niveles de porcelanitas con partición prismática y hacia la parte superior intercalaciones de lodolitas y areniscas.
		Formación Arenisca Dura	Ksgd	Intercalaciones de capas muy gruesas de areniscas con capas delgadas de lodolitas grises y porcelanitas; en la parte inferior lodolitas silíceas con partición prismática, foraminíferos bentónicos.

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Cretácico
- Grupo Guadalupe

Formación Arenisca Dura (Ksgd)

La Formación Arenisca Dura, es la unidad litoestratigráfica inferior del Grupo Guadalupe. Su base está marcada por la aparición de potentes capas de cuarzoarenita, inmediatamente encima de las lodolitas y limolitas infrayacentes correlacionables con la Formación Conejo.

Esta unidad litológica consiste de cuarzoarenitas de grano fino, en capas que varían entre muy delgadas y muy gruesas, lenticular a plano paralelas. Intercaladas, ocurren limolitas de cuarzo, ligeramente silíceas, de estratificación delgada a muy delgada. La laminación es fundamentalmente ondulada, no paralela, a veces discontinua, afectada por bioturbación, rara vez cruzada. La redondez de los granos de cuarzo en las arenitas es buena, al igual que su selección textural y composicional.

Esta unidad litológica hace parte del contexto geológico regional conformando los cerros orientales de la Sabana de Bogotá (Fotografía 1), así como los cerros que limitan esta cuenca hacia el flanco occidental de la Cordillera Oriental, al occidente de los municipios de Facatativá, El Rosal y Subachoque.



Fotografía 1. Vista al NE de morfologías montañosas asociadas a los cerros orientales de Bogotá, conformando rocas cretácicas del Grupo Guadalupe, sector Avenida Calle 72 con Avenida Caracas.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Formación Plaeners (Ksgp)

Esta unidad se caracteriza por la presencia de liditas, con delgadas intercalaciones de lodolitas, arcillolitas y areniscas de grano muy fino laminadas, comúnmente silíceas. La estratificación es paralela en capas muy delgadas a delgadas. La roca fresca es gris, con abundantes foraminíferos y escasa bioturbación.

Como la Formación Plaeners se encuentra estratigráficamente por encima de la Formación Arenisca Dura, aflora de manera general en los mismos sectores, especialmente en los cerros orientales de la Sabana de Bogotá de los municipios de Bojacá, Facatativá, El Rosal y Subachoque, sin aflorar en superficie ni en profundidad en el área del trazado de la L2MB.

Formación Arenisca Labor y Tierna (Ksglt)

Se compone de areniscas de grano fino, arcillosas, compactas, separadas por capas finas de arcillolitas. En la parte inferior de la formación las areniscas son de grano fino, arcillosas, grisáceas variando a blancas. Ocurren en bancos gruesos, separados por finas capas de arcillolitas blancas. La parte intermedia de la formación consta de una intercalación de estratos de espesor aproximadamente igual entre areniscas, lodolitas y arcillolitas. Las areniscas son arcillosas, de grano fino a medio y aún grueso, de color blanco a pardo amarillento. En la parte superior de la formación, las areniscas son arcillosas, con estratificación gruesa y compactación variable. Son de color blanco a pardo amarillento, de grano medio a grueso. Se infiere que la Formación Tierna se encuentra separada de la Formación Labor por 19 m de lodolitas y arcillolitas.

Como las otras dos formaciones del Grupo Guadalupe, la Formación Labor y Tierna hace parte del contexto geológico regional conformando los cerros orientales de la Sabana de Bogotá, al este del proyecto L2MB, así como en algunos sectores de los municipios ubicados al suroccidente, occidente y norte del trazado, pero sin aflorar sobre éste.

- Formación Guaduas (Ktg)

La unidad consta en general de arcillolitas laminadas a no laminadas, de color gris claro a abigarradas, con intercalaciones de cuarzoarenitas grises, de grano medio a fino y algunas capas de carbón. Restos de hojas son comunes a lo largo de la secuencia, mientras que los foraminíferos sólo se han hallado en su base.

Esta unidad litológica hace parte del contexto geológico regional para el proyecto L2MB, conformando la base del piedemonte de los cerros orientales y los cerros de Suba en la ciudad de Bogotá.

- Terciario
- Formación Cacho (Tpc)

Unidad litológica constituida por areniscas friables de grano medio a conglomeráticas, en capas muy gruesas y bancos de areniscas de grano medio, de buena selección o en ocasiones conglomeráticas (hasta gránulo) que definen lentes; algunas capas son cuneiformes y pueden o no estar separadas por arcillolitas en capas de hasta 1 m. También se presentan capas muy gruesas de areniscas de grano medio con grano-decrecimiento que define la laminación inclinada; además de laminación cruzada asintótica. Finalmente, se presentan areniscas de grano medio con decrecimiento a fino, con cuarzo areniscas, friables, blanco amarillentas, con buena a mala selección.

Esta unidad litológica hace parte del contexto geológico regional conformando la base del piedemonte de los cerros orientales de Bogotá y la parte media y alta de los cerros de Suba (Fotografía 2), cubierta discordantemente por depósitos de coluvión (Qdp) y del complejo de conos (Qcc).



Fotografía 2. Vista al NE de morfologías de cerros relictos en rocas terciarias de la Formación Cacho (Tpc) asociados a los cerros de Suba, se observan capas medianas a gruesas de areniscas cuarzosas amarillentas de grano medio, sector Bosque de San Jorge, Suba.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Formación Bogotá (Tpb)

Unidad litológica constituida por tres conjuntos. El conjunto inferior es arenoso y arcilloso, el conjunto medio está conformado por arcillolitas abigarradas con intercalaciones de bancos gruesos de areniscas y areniscas arcillosas, y el conjunto superior está formado por bancos de areniscas de grano grueso, muy blandas que alternan con arcillolitas abigarradas.

Esta unidad se presenta cubierta de manera discordante por los depósitos del complejo de conos (Qcc) y depósitos de coluvión (Qdp) localizados en el piedemonte de los Cerros Orientales, al este de la L2MB, o incluso cubierta por los depósitos lacustres de la Formación Sabana.

- Cuaternario

Diferentes depósitos de edad Cuaternario se encuentran a lo largo de la L2MB, dentro de los cuales se identifican de oriente a occidente: Complejo de Conos (Qcc) y depósitos de coluvión (Qdp) hacia el piedemonte de los cerros orientales. La Formación Sabana (Qta) de origen lacustre y los depósitos de llanura de inundación (Qlla) del río Bogotá y de la zona del humedal Juan Amarillo localizados en la zona plana horizontal o de bajo gradiente hacia el río mencionado. Todas estas unidades se encuentran a su vez cubiertas por depósitos de origen antrópico (Qant).

- Complejo de conos (Qcc)

Corresponden a depósitos de gravas matriz-soportadas masivas, con fragmentos tamaño grava hasta bloque moderadamente seleccionados, subredondeados y polimícticos, los cuales se desprenden de los cerros orientales y en la parte baja de la ladera que conforman los Cerros de Suba, Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0006_V01. Incluyen depósitos de origen fluvio-torrencial, coluvial y fluviales cuya fuente está en los cerros orientales, . En la L2MB se pueden identificar este tipo de depósitos hasta la abscisa K2+800 aproximadamente, Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0006_V01. Anexo 5.2 -1.1.

Estos depósitos forman unidades de conos coluviales, conos de taludes, lóbulos de solifluxión y flujos torrenciales. Los conos coluviales son de variadas longitudes, tienen formas convexas e inclinaciones suaves o abruptas; constituyen acumulaciones sobre las laderas por procesos de escorrentía superficial, por flujo lento y viscoso de suelos saturados y

no saturados. Están conformados por bloques angulares a subangulares de diferentes tamaños embebidos en un material arcilloso.

- Depósitos Lacustres de la Formación Sabana o Terraza Alta (Qta)

Es la unidad litológica que se correlaciona con la Formación Sabana (Montoya & Reyes, 2005) y corresponde a los depósitos lacustres acumulados en la cuenca intramontana de la Sabana de Bogotá, cuya expresión morfológica permite definir el nivel de terraza alta, que es la zona donde se encuentra la ciudad de Bogotá (Fotografía 3). Está constituida por una secuencia de arcillas plásticas de color gris oscuro, en niveles de 0,4 m a 1,0 m de espesor, con intercalaciones de lentes de arena, grava y ceniza volcánica, éstas últimas siendo abundantes hacia la parte media del depósito. En las márgenes, se presentan arcillas orgánicas, arcillas arenosas y turba-lignito (Helmes & Van der Hammen, 1995 EN Montoya & Reyes, 2005). Los niveles arenosos y de grava son importantes para el almacenamiento de agua. El espesor total de la unidad lacustre alcanza los 320 m, según pudo verificarse en el pozo Funza II, sin embargo entre 320 m y 386 m de profundidad se presentan sedimentos con influencia fluvial y varias discontinuidades que evidencias el levantamiento de la Cordillera Oriental ; el pozo alcanza el basamento rocoso sedimentario a 386 m de profundidad (Helmes & Van der Hammen, 1995 EN Montoya & Reyes, 2005). Cerca del 75% del proyecto de túnel correspondiente a la L2MB, discurre entre esta unidad. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0006_V01. Anexo 5.2 -1.1.



Fotografía 3. Vista al SW de morfologías plana suavizada asociada a los depósitos cuaternarios de origen fluvio - lacustre de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana, sector canal Salitre, área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Para Carvajal (2005), este depósito es el resultado de la acumulación de sedimentos finos en un antiguo lago, con fluctuaciones en el nivel de agua. Está conformado principalmente arcillas lacustres, y hacia los bordes de la cuenca, arcillas orgánicas, turbas, arcillas arenosas y arenas arcillosas intercaladas. Este lago dejó planicies y deltas lacustres, los cuales son extensos, de aspecto aterrazado y con morfología ondulada suavemente inclinada y limitada hacia los cauces por escarpes.

Esta unidad se encuentra interdigitada con los sedimentos distales del complejo de conos y depósitos coluviales, así como con los depósitos de llanura aluvial del río Bogotá.

- Depósitos de llanura de inundación (Qlla)

Corresponde a depósitos aluviales recientes del río Bogotá (Fotografía 4), y de sus principales afluentes, que para la zona de la L2MB es el río Juan Amarillo y su correspondinete humedal. Son depósitos constituidos por arcillas, limos y arenas, depositados sobre la secuencia cuaternaria de la Formación Sabana.



Fotografía 4. Vista al W de morfologías planas con disección por el curso del río Bogotá asociada a los depósitos cuaternarios de llanura aluvial (Qlla), sector canal Salitre, área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá. Fuente: UT MOVIUS 2022

Esta unidad litológica será intervenida por el proyecto L2MB, en la zona del Patio -Taller, en la margen izquierda del río Bogotá y en el tramo elevado del metro cerca a esta zona. A nivel del metro subterráneol esta unidad no es cortada ni en la zona de la llanura de inundación del río Bogotá ni en la zona del humedal Juan Amarillo.

- Depósitos de coluvión (Qdp)

Depósitos producto de la meteorización y erosión de rocas en superficie cuyos fragmentos han sido transportados y removidos por el agua y la gravedad y se han acumulado en las laderas media e inferior de los cerros de la Cordillera Oriental. Están formados por bloques angulares a sub-angulares, embebidos en una matriz arcillosa o arcillo-arenosa (Carvajal, 2005), cuya morfología corresponde a conos coluviales observables al este del trazado del túnel, hacia los cerros orientales y en bordeando los cerros de Suba, Fotografía 5. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0006_V01. Anexo 5.2 -1.1.



Fotografía 5. Vista al N de morfologías onduladas a colinadas en depósitos de coluvión (Qdp) cubriendo de manera discordante rocas terciarias de la Formación Cacho, sector San Jorge cerros de Suba, área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Depósitos de origen antrópico (Qant)

Corresponde a los rellenos con materiales sobrantes de excavaciones o materiales de demolición de construcciones que fueron acumulados principalmente en zonas deprimidas y de humedal para la adecuación de terrenos en el desarrollo urbanístico (Fotografía 6), industrial y vial del distrito capital y de los municipios de la Sabana de Bogotá. De igual manera, comprende rellenos sanitarios y los materiales de base y sub-base de la red vial. Estas zonas de intervención antrópica constituyen una extensa cobertura y se identifican a lo largo de todo el trazado del proyecto L2MB.



Fotografía 6. Vista al W sobre morfologías antrópicas asociadas a depósitos de relleno de conformación del jarillón que delimita el río Arzobispo adyacente al área del humedal Juan Amarillo - Tibabuyes, sector La Serena, Avenida Ciudad de Cali, área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.1.1.2. Geología Estructural

La geometría de la cuenca de la Sabana de Bogotá en la Cordillera Oriental de Colombia corresponde a un sinclinorio producto de la deformación en un marco de esfuerzos compresivos de las rocas sedimentarias del Cretácico, Paleógeno y Neógeno que hacen parte del basamento sobre el cual se dispone discordantemente el relleno cuaternario lacustre de la Sabana. Esta deformación es notable por los cerros orientales de la ciudad de Bogotá así como por los cerros y cuchillas, igualmente de origen estructural, que sobresalen de la planicie lacustre o que se localizan hacia los bordes de la cuenca, en general siendo de menor altura y de orientación preferencial NE.

Las rocas sedimentarias Cretácicas y Cenozoicas se encuentran plegadas, formando anticlinales angostos y sinclinales amplios, cuyos ejes tienen dirección NE y NNE. Paralelamente a los plegamientos, se encuentran fallas longitudinales de cabalgamiento, con buzamiento y vergencia principalmente al oriente y al occidente, aunque también existen fallas de esta misma tendencia y cinemática pero con buzamientos y vergencias contrarias a las fallas principales que permiten la conformación de estructuras de relieve positivo o cerros. En términos generales estas fallas se interpretan como un sistema imbricado de cabalgamientos.

La mayoría de trabajos cartográficos de la parte central de la Cordillera Oriental y de la Sabana, han tenido en cuenta la dirección de fallamiento y plegamiento principal con tendencia NNE, pero algunos autores han involucrado como factor importante el fallamiento o lineamientos regionales observados también en sentido NW. También se reportan fallas de dirección NW como la Falla de Facatativá o la Falla de Usaquén - Sasaima. Son interpretadas como estructuras de desgarre o rampas laterales que pudieron haber desplazado horizontalmente los cabalgamientos.

Las diferentes estructuras que se identifican a nivel de la Sabana de Bogotá y del proyecto de L2MB, se pueden observar en la Figura 2.

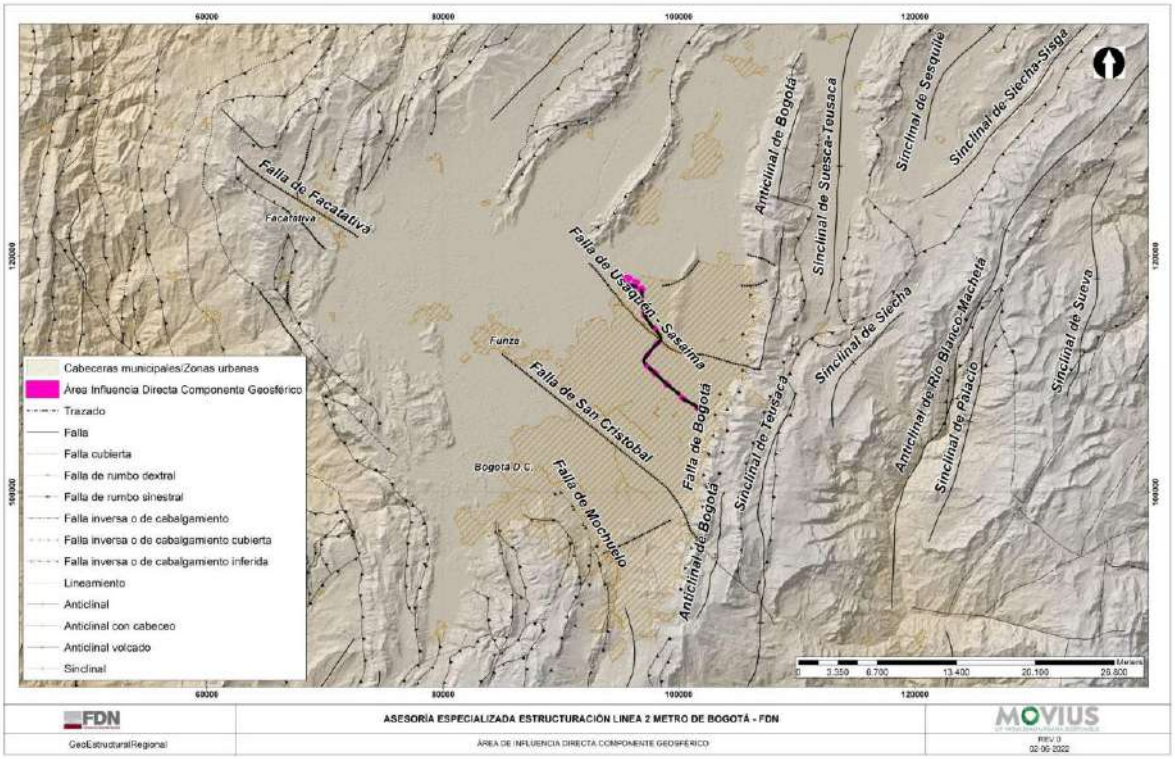


Figura 2. Rasgos estructurales regionales en la Sabana de Bogotá y la localización del proyecto (linea en negro). Fuente: UT MOVIUS 2022

- Fallas

- Falla de Bogotá

Esta falla se extiende desde el límite sur de la ciudad hasta aproximadamente el sector de Santa Ana oriental (Usaquén), y probablemente sigue hacia el norte cubierta por coluviones y sedimentos lacustres del Cuaternario (Figura 2). Se trata de una falla inversa con rumbo general N10ºE con buzamiento hacia el Este con una longitud aproximada de 54 km y es el límite estructural más sobresaliente que bordea la Sabana de Bogotá por el costado oriental. Pone en contacto en la mayor parte de su recorrido rocas de la Formación Arenisca Labor y Tierna con rocas del conjunto superior de la Formación Guaduas, como ocurre en el sector de Los Rosales de la localidad de Chapinero.

- Falla de Alto El Cabo

Esta falla inversa se localiza al oriente de la Falla de Bogotá. Presenta dirección nor noreste y buzamiento hacia el Este. Corta y deforma rocas sedimentarias del Cretácico del Grupo Guadalupe según se observa en el mapa de microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá (INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997 - Figura 2).

- Falla de Usaquén - Sasaima

La Falla Usaquén - Sasaima está reportada en el mapa de la Microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá (INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997) y en el texto correspondiente se describe como la Falla Usaquén. Para otros autores como Velandia & De Bermoudes (2002) y Lobo-Guerrero (1994), esta estructura se denomina Falla del

Río Juan Amarillo y Falla de Los Lagartos respectivamente. Esta falla no es indicada en las cartografías geológicas del SGC a escala 100K, específicamente el Mapa Geológico de La Sabana de Bogotá (Montoya & Reyes, 2005) y Plancha geológica No. 227 - La Mesa (Ulloa et al, 1998).

Teniendo en cuenta que los rasgos principalmente morfológicos relacionados al alinemiento del río Juan Amarillo y a la terminación de cerros al norte de la estructura indicada, las fallas Usaquén - Sasaima, Usaquén, del Río Amarillo y Los Lagartos, son la misma estructura pero con denominaciones diferentes según el estudio como se indicó.

La traza de esta falla presenta orientación N50ºW y genera un alineamiento en la parte sur de los cerros de Suba, Cota-Chía y Tabio-Tenjo, continúa al sureste controlando el curso del río Juan Amarillo y parece prolongarse al sureste por varias decenas de kilómetros. Esta estructura interrumpe la continuidad de los cerros orientales hacia el norte caracterizada por un aumento en la altura de los cerros Guadalupe y Monserrate. Se encuentra cubierta por los sedimentos lacustres de la Formación Sabana de edad Cuaternario, como se en el mapa de microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá (INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997 -Figura 2). Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0006_V01. Anexo 5.2 -1.1.

Como la información base para la cartografia geológica parte de los resultados consignados en la Microzonificación Sísmica de Santa Fé de Bogotá (INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997), se adopta para la estructura la denominación Falla Usaquén - Sasaima, haciendo referencia a aquella posible estructura que ejerce un control sobre el río Juan Amarillo.

Puede ser la misma falla conocida como de Usaquén propuesta por Caro y otros (1996), la cual se encuentra cubierta por los depósitos fluvio lacustres de la Formación Sabana. Esta estructura registra varias denominaciones en la cartografía de la Sabana, también se conoce como la Falla Río Amarillo (Gómez, 1985[1]), denomina esta estructura como Falla Transversal del Norte. Su trazo no coincide en la longitud y continuidad que estos autores le atribuyen hacia el NW, limitando en forma neta los cerros de Cota y Tabio-Tenjo.

- Pliegues

Estas estructuras geológicas hacen parte del contexto estructural de la Sabana de Bogotá. Tienen rumbo NE a NNE y afectan principalmente rocas sedimentarias del Cretácico Superior y del Terciario. En general, los ejes de los sinclinales albergan unidades terciarias y coinciden con bajos topográficos por los que corren drenajes principales. En los ejes de los anticlinales afloran las rocas cretácicas y forman altos topográficos. Los cerros de Suba corresponden al plegamiento de rocas cretáceo-terciarias de la Formación Guaduas (Figura 2), el cual es descrito a continuación.

- Anticlinal - Sinclinal de Suba

Corresponde a la principal estructura geológica que conforma los Cerros de Suba, compuesta por rocas sedimentarias cretácico-terciarias de la Formación Guaduas. Presenta buzamientos suaves (entre 0 – 25°) a cada lado de la estructura. Es una estructura mixta y asimétrica dentro de la cual se tiene un sinclinal al sur y un anticlinal al norte.

5.2.1.1.1.3. Amenazas Naturales

Por estar ubicada la ciudad de Bogotá en el Altiplano Cundiboyacense, en la parte central de la Cordillera Oriental, presenta diferentes amenazas naturales que se refieren específicamente a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos que, por su ubicación, severidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, a

[1] Gómez, H. Principales rasgos estructurales al suroccidente de la Sabana de Bogotá. Revista CIAF,Vol. 10, Bogotá, 1985.

sus estructuras y a sus actividades. A continuación, se describen las amenazas naturales que pueden afectar el proyecto L2MB, relacionadas con terremotos, inundaciones y procesos de remoción en masa.

El Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) cuenta con un registro de 10 501 eventos desde primer semestre de 2002 al segundo semestre de 2013, de los cuales el 50,4% corresponde a inundaciones y el restante 49,6% a procesos de remoción en masa, ocurridos estos últimos durante las temporadas de lluvias. La Secretaría Distrital de Planeación (2013) registra que durante el periodo comprendido entre el 2002 y el 2012, se presentaron en Bogotá aproximadamente 4169 procesos de remoción en masa.

- Amenaza por remoción en masa

Teniendo en cuenta que la morfología del área sobre el cual se desarrolla el trazo del alineamiento del túnel de la L2MB, corresponde a relieves de llanuras y planicies, no existen zonas de pendientes que representen riesgos por fenómenos de remoción en masa. En la Figura 3, se presenta el trazado del alineamiento del túnel sobre el mapa de amenaza por remoción en masa, elaborado por el IDIGER - Bogotá Decreto 555 de 2021.

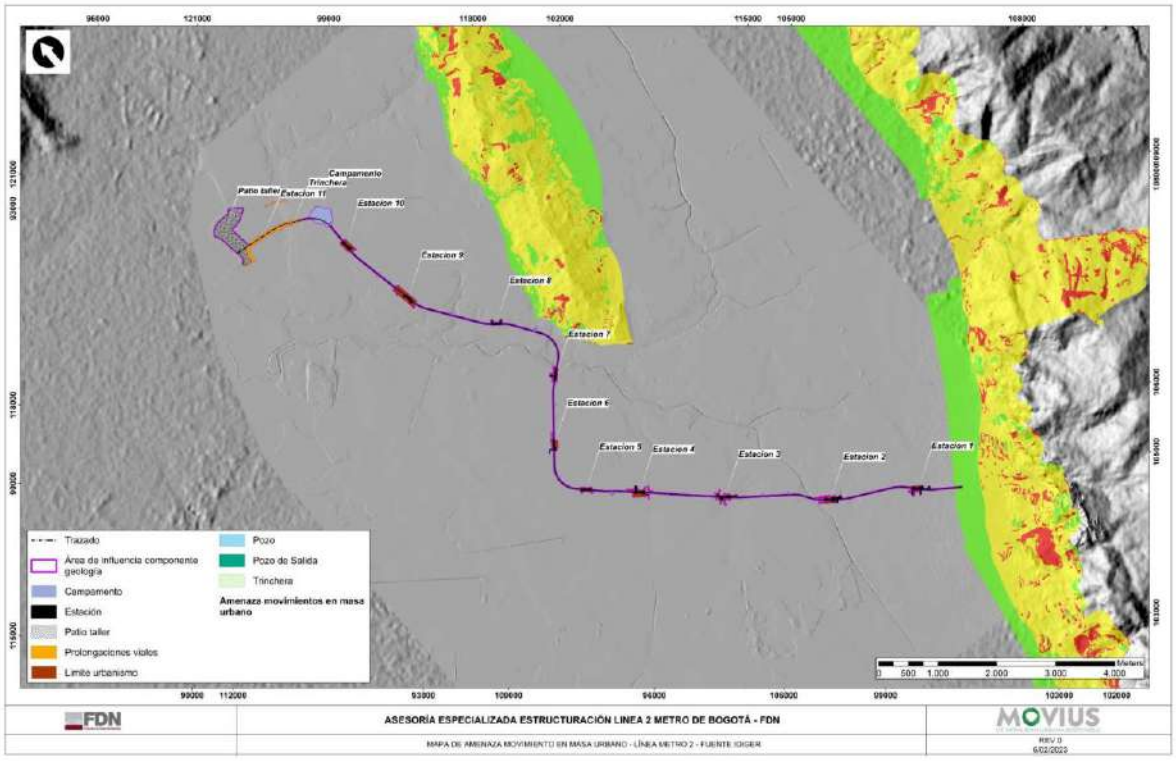


Figura 3. Mapa Normativo de Amenaza por Movimientos en Masa para el Suelo Urbano y de Expansión Urbana – Decreto 555 de 2021
Fuente: Adaptado de IDIGER – Secretaría Distrital de Planeación. Modificado UT MOVIUS 2022

- Amenaza de inundación por desbordamiento

La ciudad de Bogotá se localiza en gran parte sobre la superficie plana de la Sabana de Bogotá, donde se pueden diferenciar una zona baja e inundable correspondiente a la llanura de inundación de los ríos Bogotá, Tunjuelo, Fucha y Torca, y la zona de terrazas alta y baja. La zona correspondiente a la llanura de inundación de los ríos que la drenan es susceptible a inundaciones durante las temporadas de lluvias fuertes y prolongadas. La zona de terrazas, por su morfología

plana y un poco más alta con relación a la llanura de inundación, es susceptible a inundaciones y encharcamientos por aguaceros torrenciales.

El mapa de isoyetas de la Sabana muestra que al occidente de la ciudad de Bogotá el promedio anual de lluvias es de aproximadamente 800 mm/año, pasando a 950 mm/año en el centro de la ciudad y ascendiendo a 1 150 mm/año en la zona de los cerros orientales. Esto indica que, en la zona oriental de la ciudad, son comunes los fuertes y prolongados aguaceros durante las temporadas de lluvias, produciendo encharcamientos e inundaciones frecuentemente. Contribuyen a este fenómeno, el cambio climático puesto de manifiesto por los fenómenos de La Niña y El Niño, y las deficiencias del sistema de alcantarillado.

Periódicamente, durante las temporadas de lluvias, que involucran los meses de marzo a mayo y de octubre a noviembre con niveles máximos, se presentan encharcamiento e inundaciones en Bogotá. Durante los últimos años, dos eventos de inundación por desbordamiento de grandes proporciones han ocurrido en la ciudad, el primero acaecido en el 2002, por desbordamiento del río Tunjuelo y el segundo en diciembre de 2011, por desbordamiento del río Fucha. El desbordamiento del río Tunjuelo causó la inundación de las partes más bajas de las Unidades de Planeación Local - UPL de Kennedy y Bosa, en tanto que el desborde del río Fucha produjo inundaciones en la UPL de Fontibón.

Las Unidades de Planeación Local con afectación directa por inundaciones debidas al desbordamiento de los ríos que drenan la ciudad corresponden a UPL de Suba, Engativá, Fontibón, Kennedy, Bosa, Tunjuelito, Ciudad Bolívar, Usme, Rafael Uribe y Usaquén, localizadas al occidente, sur y nororiente de la ciudad.

Con base en caudales de creciente de tres periodos de retorno, se han establecido para Bogotá, tres zonas de amenaza por inundación, alta, media y baja, que se muestran en el Mapa de Amenazas por Inundaciones de IDIGER del 2004, con las siguientes características:

- La zona de amenaza alta, delimitada por la proyección de la línea de inundación producida por el desborde de una corriente de agua, calculado para el caudal creciente de un periodo de retorno menor o igual a 10 años, sea por causas naturales o intervención no intencional por el hombre, no aptas para el desarrollo de zonas urbanas, restringidas para la construcción hasta tanto no se adelanten las obras de protección.

- La zona de amenaza media, delimitada por la proyección de la línea de inundación con caudal de creciente de periodos de retorno entre 10 y 100 años, con probabilidad del el 10% al 65% durante la vida útil de las estructuras de protección (jarillones). Para estos sectores no hay restricción; sin embargo, es importante el manejo adecuado para evitar que se generen situaciones de riesgo alto.

- La zona de amenaza baja, delimitada por la línea de inundación producida por el desborde de la corriente de agua, calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno mayor o igual a 100 años, sea por causas naturales o por intervención no intencional del hombre; con una profundidad de lámina de agua con efectos leves potencialmente dañinos. Esta franja tiene una probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada 100 años durante la vida útil de las estructuras de protección (jarillones) y probabilidad de ocurrencia menor al 10%. Para estos sectores no hay ningún tipo de restricción, ni tratamiento especial.

El trazado del alineamiento sobre el mapa de amenaza por inundación elaborado por el IDIGER - Bogotá Decreto 190 de 2004, se puede establecer que el proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, se encuentra en gran proporción, localizado bajo las áreas urbanas con amenaza por inundación medio y bajo por cursos de agua, Capítulo 5.2 numeral 5.2.2.1.9 Caracterización de datos hidroclimáticos.

Adicionalmente, se realizó revisión de los estudios presentados en el decreto 555 del POT de Bogotá del 2021 y se encontró mapas de amenaza de inundación por desbordamiento en donde aplican una clasificación de amenaza muy alta, alta, media, baja y muy baja. En el área de estudio presenta amenazas altas a lo largo del humedal Juan Amarillo y el canal Salitre. En el Numeral 5.2.2.1.23. en la Figura 271, se presenta la huella asociada a la amenaza de inundación por desbordamiento, esta corresponde a la estimación presentada en POT del año 2021.

- Amenaza Sísmica

Teniendo en cuenta lo consignado en el Decreto 523 de 2010, el trazado de la Línea 2 del Metro de Bogotá, objeto del presente estudio, se encuentra localizado sobre zona de piedemonte B, depósitos Aluviales 100 al inicio del lineamiento , y de los depósitos Lacustre 100, 200, 300 y 500 finalizando en el patio taller sector Fontanar Suba, adyacente al curso del río Bogotá en la localidad de Suba. En la Tabla 2 se presenta la localización del alineamiento analizado en el mapa de zonificación sísmica de Bogotá.

Tabla 2. Descripción de las zonas de respuesta sísmica, tomado del Decreto 523 de 2010. El contorno en tono verde muestra las zonas de respuesta sísmica donde se ubica el área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.

Zona	Espesor del depósito (m)	Periodo fundamental del suelo (s)	Descripción Geotécnica General	Velocidad onda promedio 50 m Vs (m/s)	Humedad Promedio 50 m (%)	Efectos de sitio relacionados
Piedemonte B	<50	0.3 -. 0.6	Suelo coluvial y aluvial con espesor superior a 12m: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o areno arcillosa	300 - 750	10 - 30	Topográfico, amplificación
Lacustre - 100	50-100	1.5-2.5	Suelo lacustre blando: Arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba	< 175	>80	Amplificación
Lacustre - 200	100-200	2.5-3.5				
Lacustre - 300	200-300	3.5-4.5				
Lacustre - 500	300-500	4.5-0.5				
Aluvial - 100	50-100	0.8-1.2	Sucio aluvial duro: Arcillas limosas o arenas arcillosos o limos arenosos, en algunos sectores se encuentran lentes de arenas limpias	175 - 300	25 - 50	Amplificación, licuación

Fuente: Decreto 523 de 2010, Microzonificación Sísmica de Bogotá.

En la Figura 5, se presenta la descripción general de las zonas de respuesta sísmica, definidas para la ciudad de Bogotá como parte del estudio de Microzonificación Sísmica, por las cuales se desarrollará el alineamiento de la Línea 2 del Metro de Bogotá, ubicándose entre las zonas de Piedemonte B, Aluvial 100, Lacustre 100, Lacustre 200, Lacustre 300 y Lacustre 500. Para las estructuras localizadas sobre depósitos aluviales, a lo largo del tramo de la Calle 72 entre las carreras 11 a 14, si los materiales encontrados cumplen con las características necesarias se debe evaluar el potencial de licuación del subsuelo, de acuerdo con lo estipulado en el numeral 5.9 del Decreto 523 de 2010, siguiendo lo estipulado en el Título H, Sección H.7.4, del reglamento NSR-10.

La Figura 4, presenta los espectros de respuesta para las zonas en donde se encuentra el área de intervención de la Línea 2 del Metro de Bogotá o zonas cercanas a la zona de estudio según lo definido en el Decreto 523 de 2010, estos espectros consideran un factor de importancia I = 1,0. Se puede observar cómo las mayores aceleraciones espectrales de diseño, con valores de 0,45 g, corresponden a la zona Aluvial 100 y Lacustre 200 para períodos menores entre 1,2 seg y 1,8 seg respectivamente, mientras que la zona de Lacustre 500 con valor de aceleración de 0,36 g para periodos menores a

1,8 seg. La Línea 2 del Metro de Bogotá se presenta en las zonas de Piedemonte B, Aluvial 100, Lacustre 100, Lacustre 200, Lacustre 300 y Lacustre 500 con valores entre 0,36 g a 0,45 g (Figura 4).

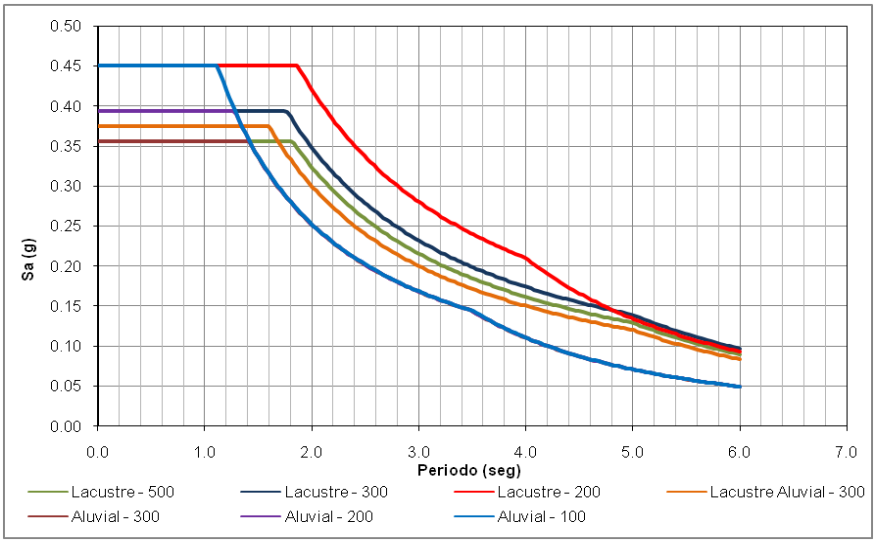


Figura 4. Espectros de diseño sísmico para la ciudad de Bogotá (Decreto 523 de 2010) en la zona de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.
Fuente: UT MOVIUS 2022

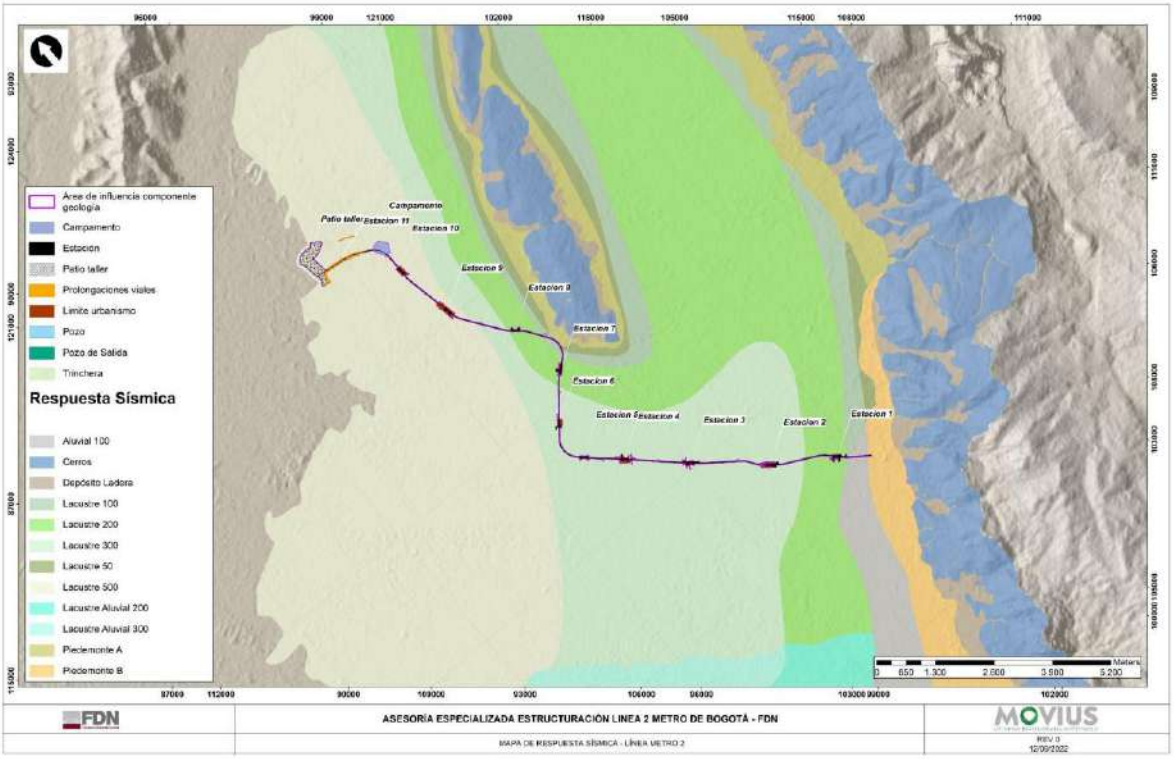


Figura 5. Mapa de respuesta sísmica para el área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.
Fuente: IDIGER. Adaptado y modificado por UT MOVIUS 2022

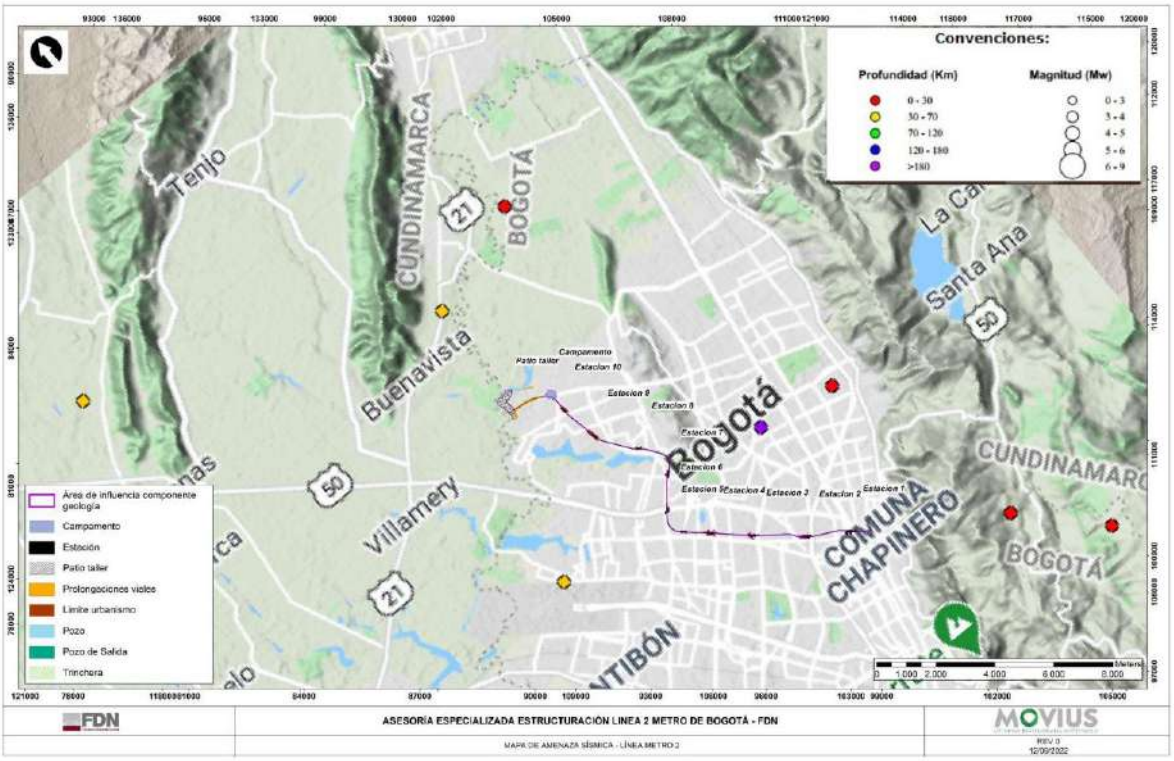


Figura 6. Mapa con la distribución de eventos sísmicos y su tipología según la profundidad registrada
Fuente: Registros de la RSN, 2022. MOVIUS, 2022.

5.2.1.1.2. Caracterización Área de Influencia Directa

Con el propósito de precisar la cartografía geológica de superficie y del subsuelo del Área de Influencia, se recopilaron los resultados de las campañas exploratorias ejecutadas al 2021, los resultados de los estudios y diseños a nivel de detalle (Fase III) del proyecto y una campaña de campo en el marco del estudio ambiental por parte de un profesional en geología, a lo largo de todo el trazado, para el reconocimiento del terreno en esta zona, la verificación de las unidades litológicas y condición del terreno, procesos morfodinámicos sobre la huella de intervención y características geomorfológicas del área de influencia. Anexo 5.2 -1.1 al Anexo 5.2 -1.4. Planos L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0008_V01 y L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0009_V01.

De acuerdo con lo anterior y con la exploración geológico-geotécnica ejecutada en el marco de los estudios de ingeniería, se analizó y estructuró la información técnica del proyecto y se ajusta la base cartográfica a nivel de la geología de superficie y del subsuelo para los sitios de obras proyectadas.

Se adoptó información sobre la planimetría y topografía de detalle para obtener el Modelo Elevación Digital - DEM del área de influencia y las secciones de análisis transversales (9) y la sección longitudinal a lo largo de todo el trazado, sobre las cuales se plasma la información relacionada con las variaciones verticales y laterales de las unidades aflorantes en el área de influencia a nivel de superficie y a nivel vertical hasta el cubrimiento espacial del alineamiento de las obras subterráneas (estaciones, pozos y el túnel),, correlacionando los resultados de las investigaciones geotécnicas.

Se generaron secciones geológicas transversales a lo largo de las obras proyectadas que incluyen las estructuras subterráneas y elevadas (viaducto y patio taller), los ejes corresponden a perfiles que cubren la implantación proyectada

a nivel vertical, de manera que ilustran las variaciones litológicas verticales y laterales de la cimentación profunda y más representativas en cada sitio. Esta información se consigna en el Anexo 5.2 -1.1 al Anexo 5.2 -1.4.

El área de influencia se compone de la envolvente del límite de intervención que incluye las tres secciones tipo, siendo el tramo en trinchera aquel donde se hace la transición entre el túnel y el viaducto, véase Capítulo 5.1 numeral 5.1.6.1.1. Geología. La tipología y relación de las estaciones se describen a continuación:

Tabla 3. Distancias por tipología constructiva

Tramo	Extensión (m)
Tramo en túnel (entre E1 y E10)	14 700
Trinchera (al Norte de E10, zona de transición)	300
Elevado (E11 y acceso al patio-taller)	710

Fuente: UT MOVIUS, 2022

Tabla 4. Estaciones de la L2MB

ID	Ubicación	Tipo	Integración
E1	Calle 72	Subterránea	Línea 1 + Transmilenio
E2	Av. NQS	Subterránea	Transmilenio + Regiotram
E3	Av. 68	Subterránea	Transmilenio
E4	Av. Boyacá	Subterránea	Transmilenio
E5	Av. Cali	Subterránea	
E6	Calle 80	Subterránea	Transmilenio
E7	Carrera 91	Subterránea	
E8	Humedal	Subterránea	
E9	ALO Sur	Subterránea	
E10	ALO Norte	Subterránea	
E11	Fontanar	Elevada	

Fuente: UT MOVIUS, 2022

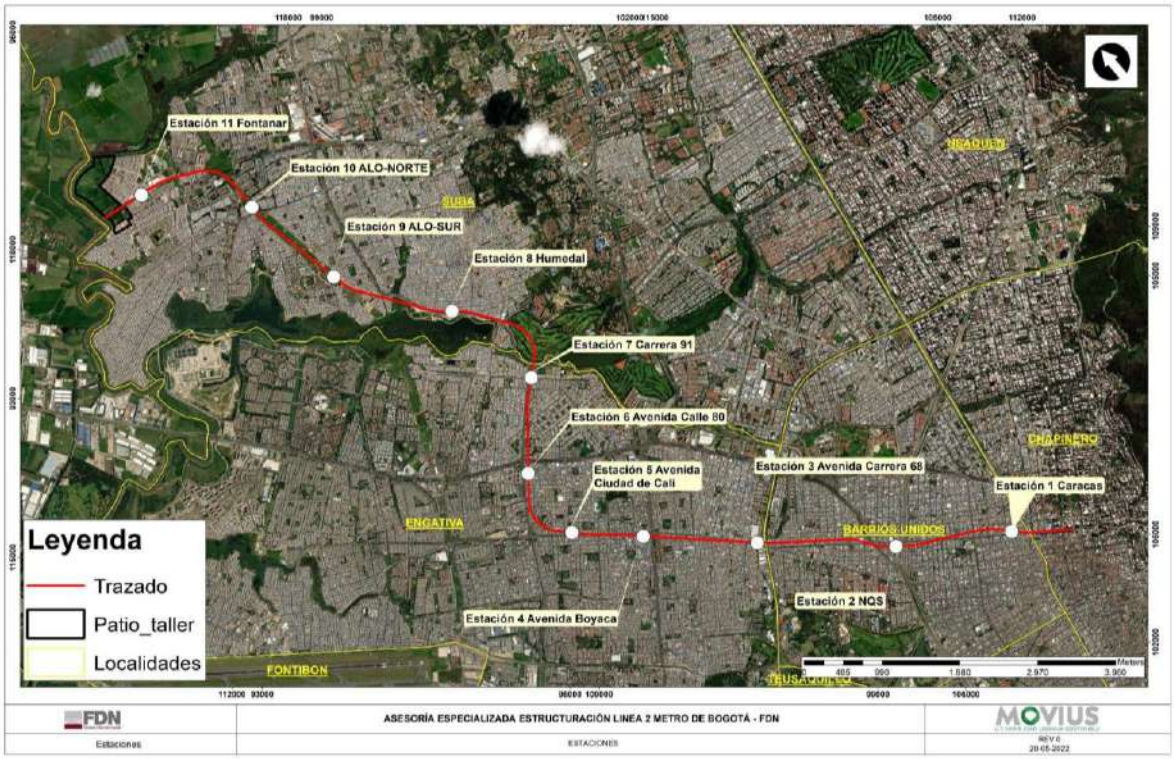


Figura 7. Trazado y estaciones de la L2MB
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Tabla 5. Características de las estaciones subterráneas

Estación subterránea		Abscisas		Cota a riel (msnm)	Profundidad media a riel (m)	Ancho útil (m)	Longitud útil (m)
		Inicial	Final				
1	Caracas	K0+685,0	K0+845,0	2526,88	-30,74	31,8	160,0
2	NQS	K2+189,5	K2+349,5	2516,03	-30,81	23,20	160,0
3	Av. 68	K3+960,0	K4+120,0	2516,40	-31,06	23,20	160,0
4	Av. Boyacá	K5+415,0	K5+575,0	2520,80	-30,77	23,20	160,0
5	Av. C. de Cali	K6+330,0	K6+490,0	2520,77	-30,51	23,20	160,0
6	Av. Calle 80	K7+432,0	K7+592,0	2521,25	-30,44	23,20	160,0
7	Carrera 91	K8+670,0	K8+830,0	2518,25	-31,58	23,20	160,0
8	Humedal	K10+250,0	K10+410,0	2516,39	-31,82	23,20	160,0

Estación subterránea		Abscisas		Cota a riel (msnm)	Profundidad media a riel (m)	Ancho útil (m)	Longitud útil (m)
		Inicial	Final				
9	Alo sur	K11+840,0	K12+000,0	2520,03	-30,84	23,20	160,0
10	Alo norte	K13+210	K13+370,0	2519,90	-31,13	23,20	160,0

Fuente: UT MOVIUS, 2022

De acuerdo con el mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá y la cartografía geológica del área de influencia, las unidades a intervenir corresponden a Llanura de inundación (Qlli), Formación Sabana Terraza Alta (Qta), Depósitos de Coluvión (Qc) y Rellenos antrópicos de escombros (Qre), Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0006_V01. Anexo 5.2 -1.1.

5.2.1.1.2.1. Metodología

La información geológica ha sido compilada de los trabajos regionales elaborados por el Servicio Geológico Colombiano y de la información proveniente de los estudios técnicos elaborados por UT MOVIUS. El análisis de la información disponible para la definición de las unidades litoestratigráficas está referenciado a los siguientes informes:

- Informes geológicos regionales presentados por el Servicio Geológico Colombiano, especialmente al Mapa Geológico de Santafé de Bogotá a escala 1:50.000.
- Proyecto de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá, 1997.
- Memorias de los estudios “Geología de la Plancha 227 La Mesa” a escala 1:100.000, 2001, “Geología de la Plancha 246 Fusagasugá” a escala 1:100.000, 1998, “Geología de la Sabana de Bogotá” 2005, “Geología de la plancha 228 Bogotá Noreste a escala 1:100.000, 2015”, elaborados por el Servicio Geológico Colombiano.

El trazado de la Línea 2 del Metro de Bogotá a nivel subterráneo presenta una longitud aproximada de 15,5 km, la cual se divide en cuatro zonas homogéneas, todas sobre unidades de morfología plana a ligeramente inclinadas asociadas a los depósitos cuaternarios del Complejo de Conos, depósitos aluviales de llanura de inundación, depósitos de coluvión y depósitos de morfología de terraza alta de la Formación Sabana.

Los aspectos estratigráficos, estructurales y geomorfológicos para la Línea 2 del Metro de Bogotá contó con el análisis e interpretación del mapa de sombras a partir del Modelo Digital de Elevación Alos Palsar con 12,5 m de resolución espacial; así mismo, del análisis e interpretación de los ensayos en los sondeos geotécnicos ejecutados en el área de estudio hasta la fecha y del reconocimiento de labores de campo a lo largo del trazado de dicha línea.

5.2.1.1.2.2. Campaña de exploraciones del subsuelo

Se involucra e incluye en la caracterización geológica, el análisis detallado de los registros y anexo fotográfico de las exploraciones (perforaciones), ensayos mecánicos y ensayos geofísicos, ejecutados en los estudios del INFORME DE FACTIBILIDAD ET10 - GEOTECNIA Y PAVIMENTOS – L2MB-L02-IFU-M-0001_RA para la Línea 2 del Metro de Bogotá, Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0006_V01. Anexo 5.2 -1.1.

Dentro de la información de los estudios de ingeniería del proyecto, se incluyen los resultados contenidos en registros de perforación localizados a lo largo del área de influencia. Posteriormente, se realiza una diferenciación geomecánica de los materiales asociados a sedimentos cuaternarios, obteniéndose información complementaria relacionada con las características litológicas, condición geomecánica de los suelos, niveles freáticos enfocado a los sitios de intervención directa por las obras superficiales proyectadas.

- Sondeos mecánicos

Durante el desarrollo de las perforaciones mecánicas se extrajeron muestras alteradas e inalteradas de los perfiles de suelo para realizar la caracterización de los mismos. La ejecución de estas actividades se realizó bajo los lineamientos establecidos en el procedimiento de calidad del Departamento de Investigaciones Geotécnicas de INGETEC. Los trabajos de exploración mecánica de suelo se adelantaron con seis equipos de perforación por rotación , alcanzando profundidades de exploración de hasta 75 m. Anexo 5.2 -1.4.

En estas perforaciones se efectuaron ensayos de penetración estándar (SPT) de acuerdo con el tipo de material, también se extrajeron muestras inalteradas en tubo Shelby y posteriormente se realizaron ensayos de corte con veleta de campo y/o de mano con el objeto de determinar parámetros de resistencia..

El proyecto se realizó en dos fases, donde se ejecutaron en total 4702,5 m de perforación, distribuidos en 107 puntos a lo largo del trazado. De las perforaciones realizadas en 56 puntos se instalaron piezómetros. La Tabla 6 muestra la ubicación geoespacial de las perforaciones ejecutadas.

Tabla 6. Resumen de sondeos mecánicos realizados.

Nombre de la Perforación	Coordenadas de Ejecución		Longitud ejecutada
	E	N	
L2MB-EST9-PT-02	997.019,90	1.015.365,60	63,5
L2MB-EST10-PT-01	996.826,00	1.016.791,50	48,5
L2MB-EST11-PT-02	995.735,30	1.017.557,90	58,5
L2MB-PT-PT-03	995.611,40	1.018.108,30	58,5
L2MB-TUN-PT-82	996.950,90	1.015.794,00	28,5
L2MB-TUN-PT-84	996.888,90	1.016.123,40	28,5
L2MB-TUN-PT-85	996.852,90	1.016.343,70	29
L2MB-TUN-PT-88	996.433,00	1.017.381,80	29,25
L2MB-DEP-PT-01	1.001.921,70	1.006.852,50	63,5
L2MB-DEP-PT-02	1.001.757,00	1.006.992,30	63,45
L2MB-DEP-PT-03	1.001.659,00	1.007.041,20	43,5

L2MB-DEP-PT-04	1.001.627,70	1.007.063,50	63,45
L2MB-EST1-PT-01	1.002.127,40	1.006.712,20	58,45
L2MB-EST1-PT-02	1.001.994,90	1.006.800,30	58,55
L2MB-EST2-PT-03	1.000.427,60	1.007.943,00	48,8
L2MB-EST3-PT-01	999.062,70	1.008.956,10	68,7
L2MB-EST3-PT-02	999.044,20	1.008.970,60	48,45
L2MB-EST4-PT-01	998.014,90	1.010.089,90	68,7
L2MB-EST4-PT-03	997.955,70	1.010.136,00	48,45
L2MB-EST5-PT-01	997.150,10	1.010.783,20	48,5
L2MB-EST5-PT-03	997.053,40	1.010.859,50	63,45
L2MB-EST6-PT-01	997.389,50	1.011.735,40	48,5
L2MB-EST6-PT-03	997.471,70	1.011.812,60	63,45
L2MB-EST7-PT-01	998.021,10	1.012.475,10	48,45
L2MB-EST7-PT-03	998.149,00	1.012.596,60	63,45
L2MB-EST8-PT-01	998.211,00	1.013.558,80	48,5
L2MB-EST8-PT-02	998.133,40	1.013.650,40	63,45
L2MB-EST9-PT-01	997.043,00	1.015.220,60	48,5
L2MB-EST10-PT-02	996.834,20	1.016.928,20	63,45
L2MB-EST11-PT-01	995.878,30	1.017.538,60	58,45
L2MB-TUN-PT-04	1.002.222,00	1.006.643,50	63,5
L2MB-TUN-PT-06	1.001.486,70	1.007.159,30	28,45
L2MB-TUN-PT-08	1.001.358,50	1.007.245,20	48,45
L2MB-TUN-PT-09	1.001.237,50	1.007.328,30	28,5
L2MB-TUN-PT-10	1.001.113,80	1.007.411,10	53,5
L2MB-TUN-PT-13	1.000.758,90	1.007.684,50	28,5
L2MB-TUN-PT-16	1.000.141,00	1.008.129,20	53,7
L2MB-TUN-PT-17	1.000.099,10	1.008.209,10	68,45
L2MB-TUN-PT-19	999.887,00	1.008.337,00	38,8
L2MB-TUN-PT-20	999.770,70	1.008.433,00	38,7

L2MB-TUN-PT-21	999.611,30	1.008.554,40	38,8
L2MB-TUN-PT-22	999.509,10	1.008.635,70	39,25
L2MB-TUN-PT-23	999.339,80	1.008.751,90	39,1
L2MB-TUN-PT-26	998.941,90	1.009.125,30	38,7
L2MB-TUN-PT-28	998.772,80	1.009.344,60	28,45
L2MB-TUN-PT-29	998.703,10	1.009.416,60	28,5
L2MB-TUN-PT-32	998.406,00	1.009.735,40	28,5
L2MB-TUN-PT-35	998.214,90	1.009.897,90	53,95
L2MB-TUN-PT-41	997.652,80	1.010.364,20	38,5
L2MB-TUN-PT-42	997.575,70	1.010.432,40	38,7
L2MB-TUN-PT-43	997.452,60	1.010.546,50	38,7
L2MB-TUN-PT-46	996.934,70	1.010.972,50	28,75
L2MB-TUN-PT-54	997.552,30	1.011.927,30	28,45
L2MB-TUN-PT-61	998.223,90	1.012.656,30	38,7
L2MB-TUN-PT-63	998.295,70	1.013.195,10	28,45
L2MB-TUN-PT-64	998.336,10	1.013.293,70	53,5
L2MB-TUN-PT-67	998.058,40	1.013.727,10	38,5
L2MB-TUN-PT-68	997.978,00	1.013.795,30	38,7
L2MB-TUN-PT-69	997.822,20	1.013.924,80	38,5
L2MB-TUN-PT-70	997.747,90	1.014.024,90	38,6
L2MB-TUN-PT-72	997.661,20	1.014.176,60	38,6
L2MB-TUN-PT-73	997.621,20	1.014.284,20	38,5
L2MB-TUN-PT-74	997.590,60	1.014.378,40	58,5
L2MB-TUN-PT-75	997.434,40	1.014.454,00	68,65
L2MB-ELE-PT-01	996.141,70	1.017.479,60	58,5
L2MB-ELE-PT-02	996.049,60	1.017.507,60	58,45
L2MB-TUN-PT-62	998.330,50	1.013.231,40	28,45
L2MB-TUN-PT-65	998.310,20	1.013.408,00	38,5
L2MB-TUN-PT-87	996.598,40	1.017.299,90	33,45

L2MB-TUN-PT-89	996.386,10	1.017.400,30	28,5
L2MB-TUN-PT-02	1.000.334,50	1.007.981,60	58,5
L2MB-TUN-PT-05	1.001.919,70	1.006.874,80	73,8
L2MB-TUN-PT-07	1.001.453,90	1.007.275,90	63,5
L2MB-TUN-PT-11	1.000.985,20	1.007.565,40	58,5
L2MB-EST2-PT-01	1.000.395,70	1.007.905,70	68,55
L2MB-TUN-PT-31	998.516,00	1.009.603,50	28,45
L2MB-TUN-PT-33	998.241,30	1.009.853,30	28,5
L2MB-TUN-PT-34	998.172,00	1.009.870,20	28,45
L2MB-TUN-PT-39	997.832,60	1.010.219,10	28,45
L2MB-TUN-PT-40	997.762,50	1.010.280,40	28,5
L2MB-TUN-PT-45	997.251,50	1.010.763,40	28,5
L2MB-TUN-PT-47	997.062,60	1.011.027,90	38,85
L2MB-TUN-PT-48	997.055,10	1.011.123,60	38,75
L2MB-TUN-PT-49	997.056,70	1.011.215,40	38,7
L2MB-TUN-PT-50	997.073,20	1.011.317,40	28,5
L2MB-TUN-PT-51	997.133,70	1.011.426,50	28,5
L2MB-TUN-PT-52	997.335,60	1.011.615,30	58,45
L2MB-TUN-PT-55	997.601,20	1.012.008,00	28,5
L2MB-TUN-PT-56	997.757,20	1.012.142,60	38,7
L2MB-TUN-PT-58	997.771,10	1.012.228,70	28,45
L2MB-TUN-PT-59	997.836,40	1.012.305,90	28,5
L2MB-TUN-PT-60	997.955,70	1.012.418,00	38,7
L2MB-TUN-PT-66	998.240,70	1.013.471,00	38,75
L2MB-TUN-PT-71	997.727,10	1.014.051,30	28,5
L2MB-TUN-PT-76	997.309,90	1.014.612,70	28,45
L2MB-TUN-PT-77	997.183,80	1.014.782,00	28,5
L2MB-TUN-PT-78	997.171,00	1.014.836,50	28,5
L2MB-TUN-PT-79	997.058,00	1.015.070,90	38,7

L2MB-TUN-PT-80	996.986,90	1.015.478,10	38,7
L2MB-TUN-PT-81	996.974,70	1.015.567,60	28,45
L2MB-TUN-PT-83	996.899,40	1.015.990,60	28,45
L2MB-TUN-PT-86	996.831,50	1.016.498,30	28,45
L2MB-PT-PT-02	995.528,20	1.017.869,80	58,45
L2MB-TUN-PT-01	1.002.184,80	1.006.671,80	63,45
L2MB-EST7-PT-02	998.176,00	1.012.625,50	53,65
L2MB-TUN-PT-57	998.720,60	1.013.086,80	19,35
L2MB-EST8-PT-03	997.918,60	1.013.845,60	63,5
L2MB-PT-PT-01	995.531,70	1.017.968,80	198,5
L2MB-PT-PT-04	995.768,60	1.018.024,30	58,45
TOTAL (m)			**4.959,45**

Fuente: Informe de Factibilidad ET10 - Geotecnia y Pavimentos Rev. H – L2MB-I02-IFU-M-0001_RA. UT MOVIUS, 2022.

- Sondeos de redes húmedas

Los sondeos de redes húmedas manejan la misma metodología de los sondeos mecánicos, se realizaron 152,90 m de sondeo, con la única particularidad que sus profundidades máximas fueron de 10 m, a continuación se expone el cuadro resumen de los sondeos de redes húmedas realizados Tabla 7.

Tabla 7. Resumen de resultados de sondeos de redes húmedas.

Nombre de la Perforación	Coordenadas de Ejecución		Longitud Ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-REDES-PT-01	1.002.100,1	1.006.753,7	6,50
L2MB-REDES-PT-02	1.001.983,5	1.006.835,3	7,40
L2MB-REDES-PT-03	1.001.915,2	1.006.891,1	4,40
L2MB-REDES-PT-04	1.001.713,1	1.006.955,0	4,45
L2MB-REDES-PT-05	1.001.662,9	1.007.024,7	4,40
L2MB-REDES-PT-06	1.001.636,6	1.007.142,6	4,70

Nombre de la Perforación	Coordenadas de Ejecución		Longitud Ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-REDES-PT-07	1.000.382,1	1.007.875,2	4,80
L2MB-REDES-PT-08	1.000.313,0	1.008.036,9	4,50
L2MB-REDES-PT-09	999.507,8	1.008.718,9	4,70
L2MB-REDES-PT-10	999.100,2	1.009.056,6	4,40
L2MB-REDES-PT-11	998.975,7	1.009.146,4	8,75
L2MB-REDES-PT-12	998.858,9	1.009.162,8	4,70
L2MB-REDES-PT-13	998.045,4	1.010.054,2	4,70
L2MB-REDES-PT-14	997.926,0	1.010.193,4	4,65
L2MB-REDES-PT-15	997.323,9	1.011.627,0	4,85
L2MB-REDES-PT-16	997.393,1	1.011.694,5	6,65
L2MB-REDES-PT-17	997.980,5	1.012.525,7	4,70
L2MB-REDES-PT-18	998.138,5	1.012.540,7	6,65
L2MB-REDES-PT-19	998.214,7	1.012.677,1	5,45
L2MB-REDES-PT-20	998.334,4	1.013.302,9	4,75
L2MB-REDES-PT-21	998.028,3	1.013.765,6	4,80
L2MB-REDES-PT-22	997.908,3	1.013.889,7	4,70
L2MB-REDES-PT-23	996.524,0	1.017.323,4	4,65
L2MB-REDES-PT-24	996.334,2	1.017.387,4	4,50
L2MB-REDES-PT-25	996.426,0	1.017.481,6	4,70
L2MB-REDES-PT-26	996.251,2	1.017.473,1	4,50
L2MB-REDES-PT-27	995.947,8	1.017.540,9	4,70
L2MB-REDES-PT-28	995.775,7	1.017.528,9	4,45
L2MB-REDES-PT-29	995.603,1	1.017.547,6	4,70
L2MB-REDES-PT-30	998.506,1	1.009.614,2	4,70

Nombre de la Perforación	Coordenadas de Ejecución		Longitud Ejecutada (m)
	Este	Norte	
TOTAL (m)			152,50

Fuente: Informe de Factibilidad ET10 - Geotecnia y Pavimentos – L2MB-I02-IFU-M-0001_RA. UT MOVIUS, 2022.

- Piezómetros

Se expone el resumen de la instalación de los piezómetros tanto de casagrande como de hilo vibrátil en la Tabla 8.

Tabla 8. Resumen de resultados instalación de piezómetros.

EXPLORACIÓN	COORDENADAS DE EJECUCIÓN		TIPO DE PIEZÓMETRO	PROFUNDIDAD
	NORTE	ESTE		
L2MB-TUN-PT-04	1006622,589	1002235,688	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST1-PT-01	1006703,399	1002958,031	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST1-PT-02	1006774,94	1002032,576	Piez. Hilo Vibrátil 3 profundidades	20-35-55
L2MB-TUN-PT-01	1002173,53	1006679,68	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-05	1001914,342	1006868,139	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-DEP-PT-01	1006887,054	1001868,607	Piez. Hilo Vibrátil 3 profundidades	20-40-60
L2MB-DEP-PT-03	1007041,249	1001659,024	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-06	1007149,062	1001481,187	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-08	1007245,205	1001358,52	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-10	1007411,38	1001113,495	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-11	1000932,444	1007596,835	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-02	1007970,509	1000310,782	Piez. Hilo Vibrátil 3 profundidades	10-25-50
L2MB-TUN-PT-16	1008163,942	1000182,101	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-20	1008433,331	999770,653	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-22	1008621,321	999525,943	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST3-PT-01	1008949,384	999060,566	Piezometro de Casagrande	35

EXPLORACIÓN	COORDENADAS DE EJECUCIÓN		TIPO DE PIEZÓMETRO	PROFUNDIDAD
	NORTE	ESTE		
L2MB-TUN-PT-29	1009416,904	998703,065	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-31	1009602,59	998520,42	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-33	1009828,96	998232,09	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-35	1009898,251	998214,585	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST4-PT-01	1010073,038	997963,411	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-39	1010221,2	997840,08	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-40	997762,51	1010280,45	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-42	1010364,245	997652,761	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-43	1010554,699	997420,698	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-45	1010763,431	997251,473	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-EST5-PT-01	1010767,885	997160,592	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-47	1011027,876	997062,565	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-49	1011221,18	997034,23	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-51	1011410,458	997140,429	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-52	1011588,438	997279,737	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST6-PT-03	1011814,72	997470,666	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-55	1012010,91	997616,26	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-58	1012209,67	997773,02	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-59	1012305,932	997836,436	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-57	998698,64	1013083,66	Piezometro de Casagrande	20,9
L2MB-TUN-PT-62	1013071,638	998304,647	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-64	1013293,722	998336,086	Piezometro de Casagrande	55
L2MB-TUN-PT-66	998240,690	1013471,01	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST8-PT-01	1013559,43	998208,197	Piezometro de Casagrande	50
L2MB-EST8-PT-02	1013652,81	998129,922	Piez. Hilo Vibrátil 3 profundidades	15-30-40

EXPLORACIÓN	COORDENADAS DE EJECUCIÓN		TIPO DE PIEZÓMETRO	PROFUNDIDAD
	NORTE	ESTE		
L2MB-TUN-PT-68	1013795,342	997977,993	Piezometro de Casagrande	40
L2MB-TUN-PT-70	1014016,819	997769,979	Piezometro de Casagrande	40
L2MB-TUN-PT-72	1014176,551	997661,197	Piezometro de Casagrande	40,10
L2MB-TUN-PT-74	1014378,365	997590,631	Piezometro de Casagrande	60
L2MB-TUN-PT-76	1014613,791	997316,393	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-78	1014854,835	997140,649	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-79	1015070,904	997058,025	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST9-PT-01	1015224,028	997041,185	Piez. Hilo Vibrátil 3 profundidades	15-30-40
L2MB-TUN-PT-81	1015567,603	996974,725	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-83	1015990,608	996899,365	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-85	1016340,913	996851,088	Piezómetro de Casagrande.	30
L2MB-TUN-PT-87	1017299,914	996598,432	Piezómetro de Casagrande.	35
L2MB-TUN-PT-88	1017378,558	996431,41	Piezómetro de Casagrande	30
L2MB-ELE-PT-02	1017507,589	996049,601	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-PT-PT-02	995528,209	1017869,773	Piez. Hilo Vibrátil 3 profundidades	15-35-55
TOTAL PIEZÓMETROS DE TUBO ABIERTO (m)				1716
TOTAL PIEZÓMETROS DE HILO VIBRÁTIL (und)				6

Fuente: Informe de Factibilidad ET10 - Geotecnia y Pavimentos – L2MB-I02-IFU-M-0001_RA. UT MOVIUS, 2022.

- Ensayos de penetración CPTu

Como parte del plan de investigaciones geotécnicas, se ejecutaron pruebas de Penetración de Piezocono (CPTU) con la AMS Power Probe 9700-VTR. En la Tabla 9 se presentan las profundidades de las pruebas ejecutadas.

Tabla 9. Ensayos CPTu hasta 30 m Ejecutados - Estaciones, túnel, deprimido, patio taller y elevación.

Descripción	Coordenadas		Fecha de ejecución	Profundidad (m)
	Este	Norte		
L2MB-ELE-CPT-01	96238,328	117461,630	12/10/2021	54,60

Descripción	Coordenadas		Fecha de ejecución	Profundidad (m)
	Este	Norte		
L2MB-TUN-CPT-75	97053,955	115125,293	23/10/2021	30,42
L2MB-TUN-CPT-77	96987,634	115618,502	20/10/2021	50,31
L2MB-TUN-CPT-79	96923,483	115953,146	19/10/2021	50,30
L2MB-TUN-CPT-81	96862,105	116299,159	16/10/2021	50,17
L2MB-TUN-CPT-83	96830,333	116559,439	14/10/2021	50,00
L2MB-TUN-CPT-86	96650,234	117283,421	13/10/2021	30,29
L2MB-TUN-CPT-72	97273,195	114734,118	26/10/2021	50,30
L2MB-TUN-CPT-66	997893,246	1013868,451	15/11/2021	53,97
L2MB-TUN-CPT-55	997806,602	1012268,704	03/12/2021	49,24
L2MB-TUN-CPT-63	998284,315	1013443,009	21/11/2021	29,55
L2MB-TUN-CPT-39	997798,841	1010252,738	07/12/2021	38,41
L2MB-TUN-CPT-40	997723,335	1010311,410	07/12/2021	52,40
L2MB-TUN-CPT-48	996939,636	1011178,582	10/12/2021	29,73
L2MB-TUN-CPT-49	997029,632	1011302,983	11/12/2021	54,31
L2MB-TUN-CPT-05	1001948,126	1006825,621	27/12/2021	11,98
L2MB-TUN-CPT-11	1000965,864	1007522,882	29/12/2021	28,24
L2MB-TUN-CPT-14	1000649,645	1007763,701	29/12/2021	53,93
L2MB-TUN-CPT-19	999912,425	1008313,841	04/01/2022	53,22
L2MB-TUN-CPT-32	998568,385	1009553,905	09/01/2022	38,66
L2MB-TUN-CPT-35	998292,865	1009845,109	09/01/2022	40,37
L2MB-TUN-CPT-85	996836,939	1017003,790	12/12/2021	31,19
L2MB-TUN-CPT-59	998283,381	1013009,897	16/12/2021	50,10
L2MB-TUN-CPT-61	998319,749	1013137,065	01/03/2022	40,98
L2MB-TUN-CPT-62	998330,537	1013231,367	18/12/2021	31,31
L2MB-TUN-CPT-73	997098,070	1014919,700	23/02/2022	30,97

Descripción	Coordenadas		Fecha de ejecución	Profundidad (m)
	Este	Norte		
L2MB-TUN-CPT-76	997001,160	1015398,040	24/02/2022	30,36
L2MB-TUN-CPT-78	996916,890	1015886,850	22/02/2022	41,22
L2MB-TUN-CPT-80	996867,510	1016174,920	22/02/2022	30,32
L2MB-TUN-CPT-82	996820,140	1016396,710	22/02/2022	41,62
L2MB-TUN-CPT-84	996824,230	1016668,850	22/02/2022	31,06
L2MB-TUN-CPT-87	996556,120	1017317,330	22/02/2022	30,79
L2MB-TUN-CPT-88	996468,570	1017356,260	22/02/2022	30,58
L2MB-TUN-CPT-58	997771,130	1012228,710	08/03/2022	31,27
L2MB-TUN-CPT-64	998019,750	1013768,900	09/03/2022	32,02
L2MB-TUN-CPT-65	997957,500	1013818,510	08/03/2022	32,45
L2MB-TUN-CPT-67	997794,780	1013908,000	07/03/2022	31,51
L2MB-TUN-CPT-68	997680,400	1014131,300	24/02/2022	32,41
L2MB-TUN-CPT-69	997598,300	1014226,840	20/02/2022	32,46
L2MB-TUN-CPT-70	997438,670	1014451,570	23/02/2022	31,21
L2MB-TUN-CPT-71	997373,310	1014541,450	24/02/2022	31,70
L2MB-TUN-CPT-27	999013,00	1009103,00	29/03/2022	31,87
L2MB-TUN-CPT-28	998866,00	1009256,00	25/04/2022	32,97
L2MB-TUN-CPT-30	998741,00	1009373,00	25/03/2022	42,80
L2MB-TUN-CPT-31	998654,00	1009440,00	24/03/2022	31,97
L2MB-TUN-CPT-34	998416,00	1009679,00	23/03/2022	32,76
L2MB-TUN-CPT-36	998125,00	1009933,00	22/03/2022	33,07
L2MB-TUN-CPT-38	998060,00	1010024,00	21/03/2022	32,19
L2MB-TUN-CPT-41	997547,00	1010480,00	18/03/2022	32,00
L2MB-TUN-CPT-42	997472,00	1010541,00	18/03/2022	32,70
L2MB-TUN-CPT-43	997388,00	1010609,00	18/03/2022	32,65

Descripción	Coordenadas		Fecha de ejecución	Profundidad (m)
	Este	Norte		
L2MB-TUN-CPT-44	997318,00	1010666,00	18/03/2022	32,88
L2MB-TUN-CPT-46	997098,83	1010926,58	17/03/2022	32,05
L2MB-TUN-CPT-47	997018,16	1011058,03	14/03/2022	32,14
L2MB-TUN-CPT-52	997515,50	1011864,65	14/03/2022	31,33
L2MB-TUN-CPT-53	997575,07	1011965,22	07/02/2022	41,94
L2MB-TUN-CPT-54	997693,44	1012080,27	09/03/2022	31,35
L2MB-TUN-CPT-56	997688,04	1012150,74	08/0/2022	41,27
L2MB-TUN-CPT-57	997996,97	1012458,96	08/03/2022	32,34
L2MB-TUN-CPT-21	999759,26	1008530,69	04/04/2022	32,90
L2MB-TUN-CPT-22	999687,00	1008573,00	02/04/2022	51,98
L2MB-TUN-CPT-24	999402,00	1008793,00	01/04/2022	31,53
L2MB-TUN-CPT-23	949462,00	1008747,00	01/04/2022	31,97
L2MB-TUN-CPT-26	999180,00	1008957,00	29/03/2022	31,87
TOTAL				2366,47

Fuente: Informe de Factibilidad ET10 - Geotecnia y Pavimentos – L2MB-I02-IFU-M-0001_RA. UT MOVIUS, 2022.

- Ensayo de penetración dinámico SCPTu

Actualmente se tienen para este proyecto 2164,29 m de piezocono sísmico (SCPTu - Seismic Cone Penetration Test with pore pressure measurements. Estos ensayos fueron realizados de igual manera que el CPTu, sin embargo en este caso la punta estuvo acompañada del módulo sísmico el cual está equipado con un acelerómetro triaxial para registrar las ondas generadas en superficie en la dirección x, y, z. La técnica es aplicable para materiales de diferente consistencia y compacidad, que pueden ser identificados en la zona de estudio. Puede ser aplicado para la caracterización desde materiales cohesivos blandos hasta arenas densas.

En la Tabla 10 se presentan las profundidades y la fecha de las pruebas ejecutadas.

Tabla 10. Ensayos SCPTu ejecutados

Descripción	Coordenadas		Fecha de ejecución	Profundidad (m)
	Este	Norte		
L2MB-EST9-SCPT-01	97035,137	115275,254	22/10/2021	50,30
L2MB-EST10-SCPT-01	96829,696	116863,049	15/10/2021	48,99
L2MB-EST11-SCPT-01	95778,333	117554,101	30/10/2021	51,82
L2MB-TUN-SCPT-43	97186,553	114815,239	24/10/2021	30,29
L2MB-TUN-SCPT-46	97003,056	115519,553	21/10/2021	30,13
L2MB-TUN-SCPT-49	96838,972	116450,656	16/10/2021	30,28
L2MB-TUN-SCPT-44	997090,175	1014969,688	06/12/2021	50,68
L2MB-TUN-SCPT-52	996507,833	1017341,079	12/11/2021	50,96
L2MB-EST8-SCPT-01	998148,104	1013631,001	18/11/2021	48,77
L2MB-TUN-SCPT-35	997913,237	1012378,668	16/11/2021	29,78
L2MB-TUN-SCPT-40	997698,792	1014093,921	14/11/2021	52,60
L2MB-TUN-SCPT-42	997390,940	1014610,594	18/11/2021	32,73
L2MB-EST5-SCPT-01	997081,389	1010830,551	03/12/2021	49,25
L2MB-TUN-SCPT-26	997334,715	1010623,201	04/12/2021	38,51
L2MB-TUN-SCPT-34	997705,515	1012167,033	25/11/2021	30,64
L2MB-TUN-SCPT-33	997611,823	1012064,748	27/11/2021	49,83
L2MB-TUN-SCPT-25	997494,046	1010506,471	07/12/2021	53,42
L2MB-EST4-SCPT-01	997995,77	1010036,791	12/12/2021	47,26
L2MB-EST6-SCPT-01	997440,77	1011739,766	13/12/2021	48,58
L2MB-TUN-SCPT-22	997880,818	1010189,151	08/12/2021	38,66
L2MB-TUN-SCPT-29	997095,895	1011370,865	15/12/2021	38,07
L2MB-TUN-SCPT-30	997222,873	1011502,944	12/12/2021	48,01
L2MB-TUN-SCPT-31	997327,045	1011620,894	11/12/2021	30,12
L2MB-EST1-SCPT-01	1002075,418	1006727,637	29/12/2021	4,19
L2MB-EST2-SCPT-01	1000476,126	1007939,094	30/12/2021	48,10
L2MB-TUN-SCPT-08	1000886,038	1007589,844	21/02/2022	54,44

Descripción	Coordenadas		Fecha de ejecución	Profundidad (m)
	Este	Norte		
L2MB-EST3-SCPT-01	998999,502	1008949,02	06/01/2022	29,39
L2MB-EST7-SCPT-01	998078,442	1012463,492	12/01/2022	49,25
L2MB-TUN-SCPT-10	1000308,772	1008063,19	10/01/2022	38,75
L2MB-TUN-SCPT-13	999685,59	1008492,001	05/01/2022	53,82
L2MB-TUN-SCPT-15	999446,737	1008687,671	06/01/2022	49,12
L2MB-TUN-SCPT-16	999147,463	1008781,646	07/01/2022	52,86
L2MB-TUN-SCPT-18	998813,397	1009283,59	08/01/2022	53,28
L2MB-TUN-SCPT-19	998631,256	1009483,869	08/01/2022	52,86
L2MB-TUN-SCPT-20	998470,381	1009674,318	10/01/2022	47,74
L2MB-TUN-SCPT-36	998328,383	1013347,17	18/12/2021	30,87
L2MB-TUN-SCPT-51	996698,583	1017244,312	18/12/2021	35,21
L2MB-TUN-SCPT-53	996335,573	1017420,031	23/12/2021	31,93
L2MB-ELE-SCPT-01	995604,616	1017572,119	01/03/2022	55,67
L2MB-TUN-SCPT-47	996945,01	1015722,79	24/02/2022	32,77
L2MB-TUN-SCPT-48	996889,23	1016048,38	23/02/2022	41,61
L2MB-TUN-SCPT-50	996822,85	1016735,32	01/03/2022	42,06
L2MB-TUN-SCPT-17	998910	1009200	27/04/2022	32,39
L2MB-TUN-SCPT-21	998359	1009766	23/04/2022	43,09
L2MB-TUN-SCPT-23	999462	1008747	20/04/2022	32,83
L2MB-TUN-SCPT-24	997630	1010408	20/03/2022	32,57
L2MB-TUN-SCPT-27	997069,32	1010988,17	16/03/2022	42,96
L2MB-TUN-SCPT-28	997036,74	1011160,05	14/03/2022	31,84
L2MB-TUN-SCPT-37	998212	1013512,25	16/03/2022	30,72
L2MB-TUN-SCPT-38	998092,91	1013689,09	21/04/2022	31,09
L2MB-TUN-SCPT-39	997860,67	1013894,65	16/04/2022	30,40
L2MB-TUN-SCPT-41	997541,72	1014313	14/03/2022	31,53

Descripción	Coordenadas		Fecha de ejecución	Profundidad (m)
	Este	Norte		
L2MB-TUN-SCPT-45	997541,72	1014313	11/03/2022	41,27
TOTAL				2164,29

Fuente: Informe de Factibilidad ET10 - Geotecnia y Pavimentos – L2MB-I02-IFU-M-0001_RA. UT MOVIUS, 2022.

- Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc

Durante los avances de las perforaciones se realizaron 231 ensayos de permeabilidad tipo Lefranc de fondo con un solo sello en el frente de la perforación. El ensayo Lefranc permite determinar la permeabilidad de los suelos en el interior de sondeos, ya sea durante la ejecución del mismo o una vez finalizada la perforación. Están especialmente indicados para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos permeables o semipermeables como suelos arenosos, limosos o rocas muy fracturadas por debajo del nivel freático aunque también pueden utilizarse en gravas o suelos arcillosos. Son un tipo de ensayo muy práctico y fácil de realizar en campo, el cual nos dará una idea de la permeabilidad de un nivel o estrato en concreto ya que tiene la ventaja de que se puede ejecutar a la profundidad que se desee y con el espesor que se considere más idóneo. El procedimiento consiste en medir la velocidad de descenso del nivel de agua en el interior del sondeo. La Tabla 11 muestra el resumen de ubicación de los ensayos tipo Lefranc ejecutados en el área de estudio.

Tabla 11. Resumen de ensayo de Permeabilidad tipo Lefranc

Descripción	Coordenadas		Fecha de Ejecución	No. de Elementos
	Norte	Este		
L2MB-EST9-PT-02	97019,099	115366,213	30/10/2021	2
L2MB-EST10-PT-01	96825,075	116792,062	19/10/2021	3
L2MB-EST11-PT-02	95734,246	117558,401	19/10/2021	5
L2MB-TUN-PT-84	96888,015	116124,001	26/10/2021	3
L2MB-TUN-PT-85	96851,929	116344,332	15/10/2021	3
L2MB-EST8-PT-01	99821,.97	1013558,81	18/11/2021	5
L2MB-TUN-PT-73	997637,779	1014282,833	13/11/2021	5
L2MB-TUN-PT-54	997548,024	1011913,314	28/11/2021	5
L2MB-TUN-PT-61	998223,894	1012656,344	23/11/2021	5
L2MB-TUN-PT-63	998295,712	1013195,121	28/11/2021	5
L2MB-TUN-PT-69	997843,015	1013945,860	26/11/2021	5
L2MB-EST5-PT-01	997044,00	1010854,00	04/12/2021	5

Descripción	Coordenadas		Fecha de Ejecución	No. de Elementos
	Norte	Este		
L2MB-EST5-PT-03	997058,270	1010852,670	04/12/2021	5
L2MB-TUN-PT-67	998058,426	1013727,148	01/12/2021	5
L2MB-TUN-PT-42	997575,715	1010432,440	10/12/2021	5
L2MB-TUN-PT-04	1002236,00	1006622,28	22/12/2021	5
L2MB-TUN-PT-09	1001235,545	1007324,146	29/12/2021	5
L2MB-TUN-PT-29	998703,064	1009416,597	28/12/2021	5
L2MB-DEP-PT-02	1001757,960	1006964,765	14/01/2022	5
L2MB-DEP-PT-04	1001612,176	1007072,886	03/01/2022	5
L2MB-EST3-PT-01	999060,566	1008949,384	11/01/2022	5
L2MB-TUN-PT-13	1000763,064	1007672,779	07/01/2022	5
L2MB-TUN-PT-20	999770,653	1008433,024	04/01/2022	5
L2MB-TUN-PT-22	999509,604	1008637,033	08/01/2022	5
L2MB-TUN-PT-35	998214,893	1009897,944	16/01/2022	5
L2MB-TUN-PT-75	997478,460	1014538,098	21/01/2022	9
L2MB-TUN-PT-16	1000182,101	1008163,635	19/01/2022	5
L2MB-TUN-PT-87	996598,432	1017299,914	16/12/2021	5
L2MB-ELE-PT-01	996141,741	1017479,632	13/12/2021	3
L2MB-TUN-PT-79	997058,025	1015070,904	19/02/2022	5
L2MB-TUN-PT-81	996974,725	1015567,603	13/02/2022	5
L2MB-TUN-PT-83	996899,365	1015990,608	15/02/2022	5
L2MB-PT-PT-02	995528,209	1017869,773	15/02/2022	5
L2MB-TUN-PT-77	997183,791	1014782,016	22/02/2022	5
L2MB-TUN-PT-71	997727,112	1014051,315	25/02/2022	5
L2MB-TUN-PT-60	997955,711	1012418,007	21/02/2022	5
L2MB-TUN-PT-49	997036,632	1011160,045	25/02/2022	5

Descripción	Coordenadas		Fecha de Ejecución	No. de Elementos
	Norte	Este		
L2MB-TUN-PT-40	997762,506	1010280,446	03/02/2022	5
L2MB-TUN-PT-47	997062,565	1011027,876	14/03/2022	4
L2MB-TUN-PT-51	997140,429	1011410,458	09/03/2022	5
L2MB-TUN-PT-56	997757,172	1012142,598	07/03/2022	5
L2MB-TUN-PT-11	1000932,444	1007596,835	09/03/2022	5
L2MB-TUN-PT-31	998542,035	1009593,039	09/03/2022	4
L2MB-TUN-PT-01	1002173,53	1006679,68	28/03/2022	4
L2MB-TUN-PT-57	998698,64	1013083,66	02/04/2022	1
L2MB-TUN-PT-02	1000310,782	1007970,509	19/03/2022	5
L2MB-TUN-PT-05	1001914,342	1006868,139	03/03/2022	7
L2MB-TUN-PT-07	1007274,030	1001459,610	25/03/2022	8
TOTAL				231

Fuente: Informe de Factibilidad ET10 - Geotecnia y Pavimentos – L2MB-I02-IFU-M-0001_RA. UT MOVIUS, 2022.

Los resultados de los ensayos Lefranc se consignan en el Anexo 5.2 - 8.3.

- Ensayo de Downhole

Durante los avances de las perforaciones se realizaron 9 ensayos de downhole (Tabla 12). El método utilizado para la ejecución de los ensayos se basó en la norma ASTM D-7400 (Standard Test Methods for Down-Hole Seismic Testing). Este ensayo permite obtener las velocidades de propagación de las ondas de compresión (P) y cortante (S) para determinar las propiedades dinámicas del suelo a bajas deformaciones. El ensayo consiste en registrar el tiempo de viaje de una onda sísmica entre un punto en superficie y el geófono ubicado a una profundidad dada dentro de la perforación.

Tabla 12. Resumen de los ensayos de downhole realizados.

Descripción	Fecha de ejecución	Coordenadas		Longitud ejecutada (m)
		Este	Norte	
L2MB-EST2-PT-03	26-01-22	1007981,2	1000422,8	49,0
L2MB-EST3-PT-03	25-01-22	1009020,0	998991,5	50,0
L2MB-EST4-PT-03	25-01-22	997940,9	1010115,1	48,0

L2MB-EST5-PT-03	24-01-22	1010852,7	997058,3	65,0
L2MB-EST7-PT-03	21-01-22	1012582,3	998143,8	65,0
L2MB-EST8-PT-02	24-01-22	1013652,8	998129,9	60,0
L2MB-EST9-PT-02	19-01-22	1015348,4	997011,3	65,0
L2MB-EST10-PT-01	18-01-22	1016788,5	996824,3	50,0
L2MB-EST11-PT-02	17-01-22	1017554,6	995734,0	59,0
Total				576,0

Fuente: Informe de Factibilidad ET10 - Geotecnia y Pavimentos – L2MB-I02-IFU-M-0001_RA. UT MOVIUS 2022.

- Ensayo sísmico MASW

En el avance del proyecto se realizaron 28 líneas sísmicas, de cada una se obtuvo un resultado de MASW. Los ensayos Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW), evalúan la respuesta de la propagación de ondas superficiales Rayleigh y las relaciona para efectos geotécnicos, con las velocidades de corte Vs de los diferentes materiales involucrados. En éste método se miden los tiempos de llegada de las ondas Rayleigh generadas por un golpe seco de un mazo sobre una placa de acero. Posteriormente, se analiza la propagación de estas ondas y su cambio de velocidad de fase con la frecuencia, con el objetivo de obtener un modelo de propagación de velocidades de onda de corte. La velocidad de onda de corte (Vs) es una de las constantes elásticas de los geomateriales y está relacionada con los módulos de elasticidad, módulo de corte, módulo de compresibilidad y el coeficiente de poisson. El valor Vs es un indicador directo de la rigidez del suelo a bajas deformaciones y por lo tanto, es utilizado para diversos cálculos geotécnicos. En la Tabla 13 se presenta el resumen de la localización de los ensayos sísmicos MASW ejecutados en el área de estudio.

- Ensayo sísmico MAM

En el desarrollo del proyecto se realizaron 28 líneas sísmicas de las que se obtuvieron 28 resultados del ensayo Microtremor Array Measurement (MAM). El ensayo MAM evalúa la respuesta de la propagación de ondas superficiales Rayleigh. Este es realizado con el mismo arreglo del ensayo MASW, usa el sismógrafo de marca Geometrics de referencia Geode, con 24 geófonos de 4,5 Hz espaciados a una distancia suficiente para cubrir la longitud solicitada. Sin embargo, en el ensayo MAM no se genera la onda sísmica que es registrada por los geófonos, en este ensayo se captan señales del ambiente por un tiempo determinado, el origen puede ser antropogénico o natural. Para cada línea sísmica en este proyecto se registran 30 mediciones de 30 segundos. En la Tabla 13 se presenta el resumen de la localización de los ensayos sísmicos MAM ejecutados en el área de estudio.

Tabla 13. Resumen de resultados de los ensayos MASW Y MAM.

Ensayo realizado	Descripción	Fecha de ejecución	Coordenadas iniciales		Coordenadas finales		Longitud ejecutada (m)
			Este	Norte	Este	Norte	
MASW y MAM	L2MB-LS-02	17/01/2022	1006675,4	1002157,7	1006616,1	1002238,2	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-03	27/01/2022	1007186,8	1001423,6	1007143,8	1001489,2	80,5
MASW y MAM	L2MB-LS-04	30/01/2022	1007450,4	1001049,1	1007390,5	1001131,4	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-05	13/02/2022	1007778,8	1000626,2	1007717,9	1000712,5	105,8
MASW y MAM	L2MB-LS-06	12/02/2022	1007871,5	1000376,0	1007943,4	1000445,0	103,5

Ensayo realizado	Descripción	Fecha de ejecución	Coordenadas iniciales		Coordenadas finales		Longitud ejecutada (m)
			Este	Norte	Este	Norte	
MASW y MAM	L2MB-LS-07	12/02/2022	1008449,0	999863,4	1008388,8	999940,8	98,9
MASW y MAM	L2MB-LS-08	12/02/2022	1008732,5	999486,8	1008670,8	999570,9	105,8
MASW y MAM	L2MB-LS-09	13/02/2022	1009215,4	998883,0	1009294,3	998802,3	115,0
MASW y MAM	L2MB-LS-10	13/02/2022	1009529,3	998623,9	1009452,8	998693,8	105,8
MASW y MAM	L2MB-LS-11	11/02/2022	1009794,7	998349,6	1009724,1	998423,2	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-12	11/02/2022	1010025,7	998065,7	1009972,6	998144,0	96,6
MASW y MAM	L2MB-LS-13	11/02/2022	1010333,2	997693,4	1010275,2	997771,7	98,9
MASW y MAM	L2MB-LS-14	10/02/2022	1010727,6	997221,9	1010666,5	997301,1	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-15	9/02/2022	1011094,4	996916,2	1011087,7	997021,6	108,1
MASW y MAM	L2MB-LS-16	9/02/2022	1011566,2	997219,8	1011508,2	997292,2	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-17	3/02/2022	1012022,4	997590,6	1011947,4	997523,1	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-18	4/02/2022	1012304,6	997841,4	1012235,2	997772,1	99,0
MASW y MAM	L2MB-LS-19	4/02/2022	1012681,5	998248,2	1012609,4	998178,9	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-20	7/02/2022	1013343,5	998333,6	1013243,7	998338,9	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-21	7/02/2022	1013770,2	998014,4	1013706,0	998089,2	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-22	8/02/2022	1014138,2	997675,7	1014049,7	997722,2	107,5
MASW y MAM	L2MB-LS-23	2/02/2022	1014726,4	997227,3	1014707,1	997321,0	96,6
MASW y MAM	L2MB-LS-24	3/02/2022	1015171,5	997044,3	1015072,9	997061,8	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-25	10/02/2022	1015664,5	996978,0	1015565,9	996995,6	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-26	20/01/2021	1016344,9	996852,6	1016246,3	996870,2	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-27	10/02/2022	1017053,3	996828,3	1016954,6	996845,9	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-28	1/02/2022	1017390,5	996383,3	1017348,8	996476,1	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-29	18/01/2022	1017530,0	995991,7	1017505,4	996091,2	103,5
Total (Und)							28

Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.1.2.3. Condiciones geológicas locales

Se definieron cuatro zonas homogéneas a lo largo del trazado de la L2MB a nivel superficial, teniendo en cuenta la base cartográfica geológica del Mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá (1997). La distribución espacial de estos depósitos permite la identificación de al menos cuatro zonas homogéneas, siendo el depósito Qta el de mayor extensión a lo largo de la línea del metro, como se puede observar en la Figura 11.

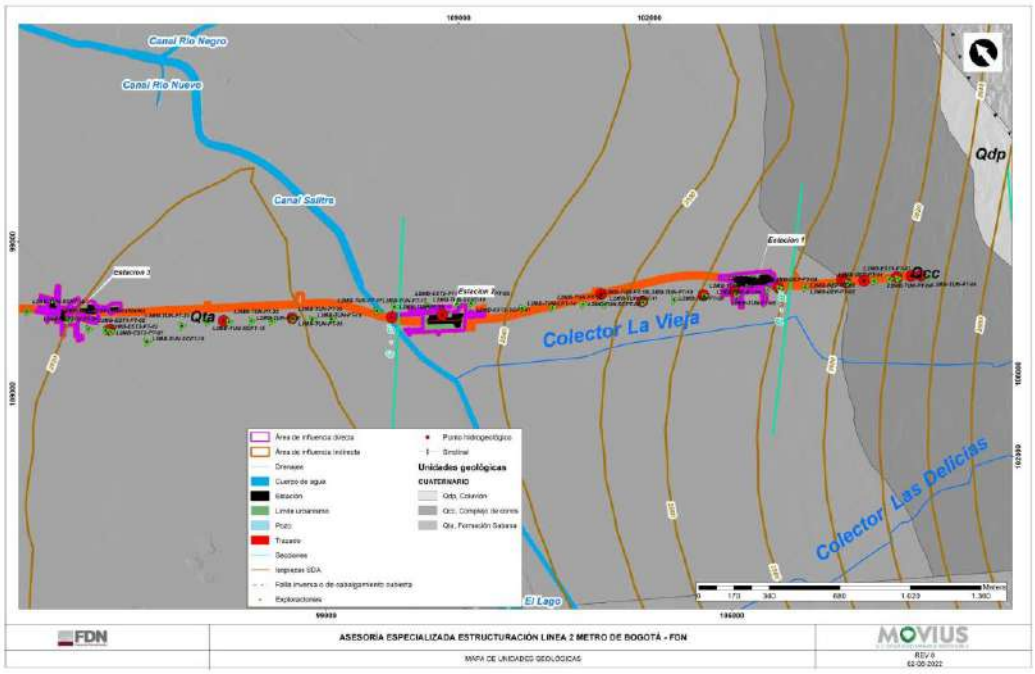


Figura 8. Mapa geológico entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)
Fuente: UT MOVIUS 2022

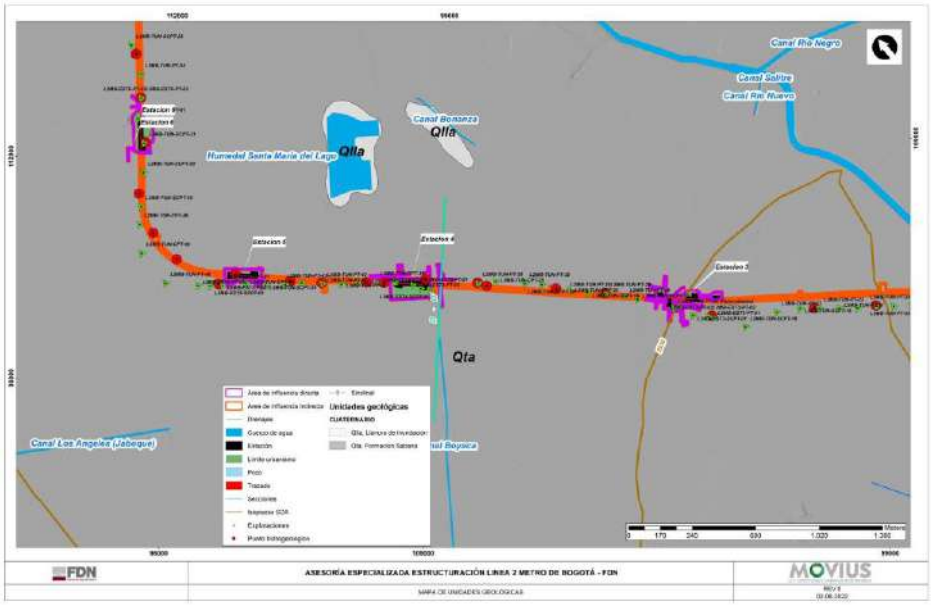


Figura 9. Mapa geológico entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)
Fuente: UT MOVIUS 2022

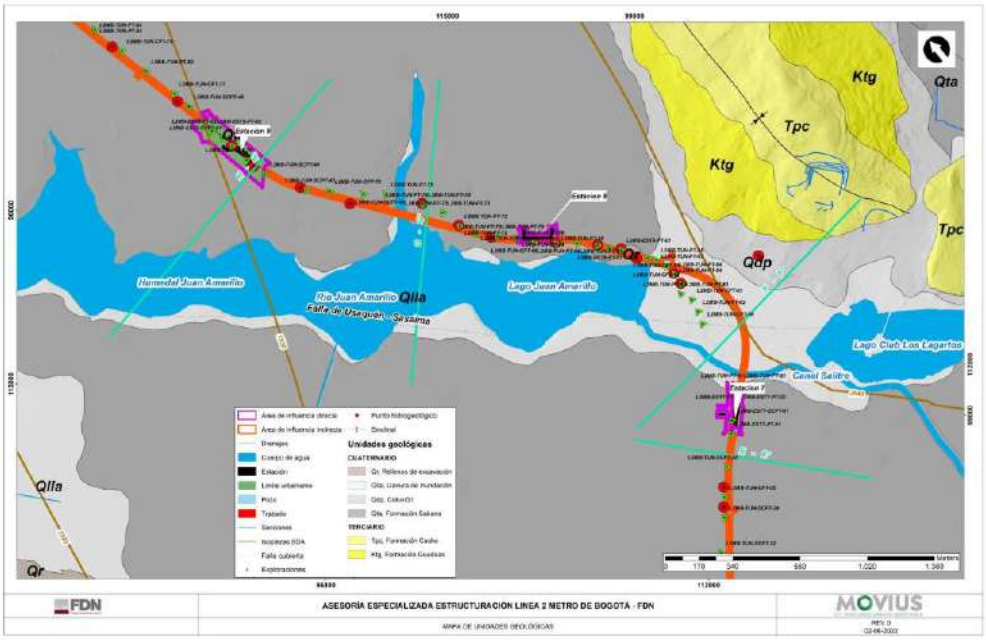


Figura 10. Mapa geológico entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)
Fuente: UT MOVIUS 2022

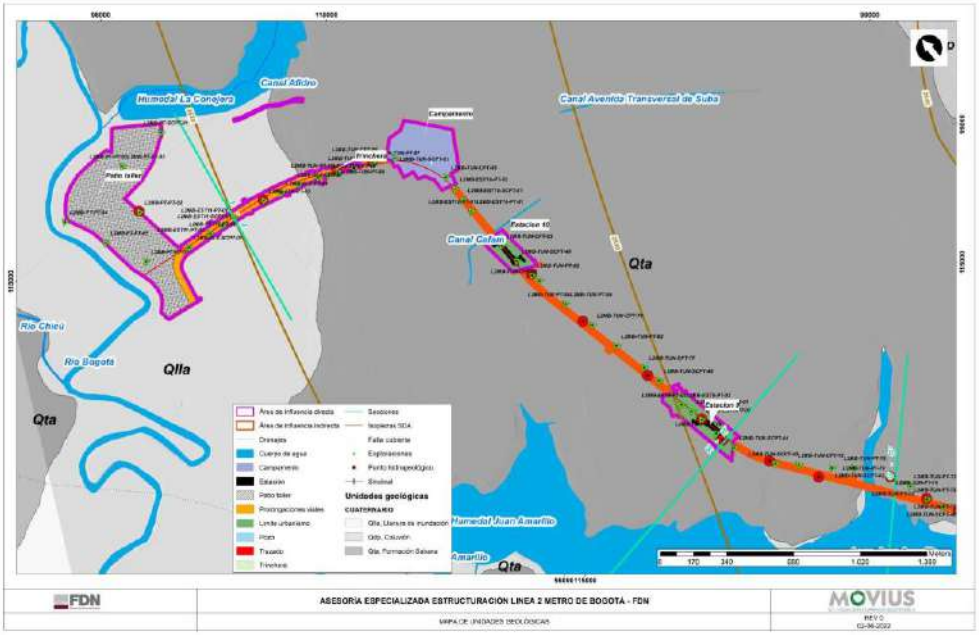


Figura 11. Mapa geológico entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes - río Bogotá. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)
Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Tabla 14, se presenta el resumen de la sectorización por zonas homogéneas de las unidades litológicas aflorantes en el área de estudio del proyecto L2MB.

Tabla 14. Sectorización litológica corredor Línea 2 del Metro de Bogotá.

Zonas Homogéneas	Litología	Unidad Geológica
Zona Homogénea 1 K0+000 hasta la abscisa K2+840	Depósitos de coluvión K0+000 - K1+340 y del K1+680 a K2+840	Depósitos del Complejo de conos (Qcc): depósitos de gravas matriz-soportadas masivas, con fragmentos tamaño grava hasta bloque.
	Depósitos fluvio lagunares K1 + 340 - K1 +680	Depósitos de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana: Está constituida por una secuencia de arcillas plásticas de color gris oscuro, en niveles de 0,4 m a 1,0 m de espesor, con intercalaciones de lentes de arena, grava y ceniza volcánica.
Zona Homogénea 2 K2+840 hasta la abscisa K8+880	Depósitos fluvio lagunares K2 + 840 - K8+880	Depósitos de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana: está constituida por una secuencia de arcillas plásticas de color gris oscuro, en niveles de 0,4 m a 1,0 m de espesor, con intercalaciones de lentes de arena, grava y ceniza volcánica.

Zonas Homogéneas	Litología	Unidad Geológica
Zona Homogénea 3 K8+880 hasta la abscisa K11+060	Depósitos de origen aluvial K8+880 a K9+280, entre la abscisa K9+420 a K9+775 y entre la abscisa K10+995 a K11+062	Depósitos de llanura de inundación (Qlla): depósitos aluviales recientes del río Bogotá, y de sus principales afluentes, (río Juan Amarillo y su correspondinete humedal). Son depósitos constituidos por arcillas, limos y arenas.
	Depósitos de coluvión K9+280 - K9+775	Depósitos de coluvión (Qdp): están formados por bloques angulares a sub-angulares, embebidos en una matriz arcillosa o arcillo-arenosa, cuya morfología corresponde a conos coluviales observables al este del trazado del túnel, hacia los cerros orientales y en bordeando los cerros de Suba.
	Depósitos de origen antrópico K9+775 a K9+900	Depósitos de relleno de excavaciones (Qr): materiales heterométricos en una matriz arcillosa, arenosa y fragmentos de todo tipo.
	Depósitos fluvio lagunares K9 + 900 - K10+995	Depósitos de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana: está constituida por una secuencia de arcillas plásticas de color gris oscuro, en niveles de 0,4 m a 1,0 m de espesor, con intercalaciones de lentes de arena, grava y ceniza volcánica.
Zona Homogénea 4 K11+060 hasta la abscisa K15+505	Depósitos fluvio lagunares K11 + 062 - K14+540	Depósitos de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana: está constituida por una secuencia de arcillas plásticas de color gris oscuro, en niveles de 0,4 m a 1,0 m de espesor, con intercalaciones de lentes de arena, grava y ceniza volcánica.
	Depósitos de origen aluvial K14+540 - K15+505	Depósitos de llanura de inundación (Qlla): depósitos aluviales recientes principalmente del río Bogotá, constituidos por arcillas, limos y arenas.

Fuente: UT MOVIUS 2022

Con base en la interpretación geológica de las perforaciones y como complemento se realizó un análisis de la información parcial obtenida con los ensayos de laboratorio de las fases 1 y 2, donde se pudo establecer un cambio en el depósito Qta Formación Sabana, que coincide con el contacto entre las zonas 3 y 4, Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0008_V01. El cambio de las propiedades del suelo es evidente, principalmente en el contenido de humedad de la arcilla (Qta-arc). Anexo 5.2 -1.1 a Anexo 5.2 -1.4.

- Zona Homogénea 1

La primera zona homogénea se encuentra entre la abscisa K0+000 hasta la abscisa K0+700 y coincide con el depósito de pendiente (Qdp); se caracteriza por ser la zona del proyecto donde se presenta la mayor variación de los tipos de suelo por su heterogeneidad. Esta zona presenta suelos granulares en su mayoría, tales como depósitos Aluviales (Qdp-Alu), depósitos de Ladera Arenoso y Gravoso (Qdp-are+gra), depósitos de Ladera Arenoso (Qdp-are), depósitos de Ladera Arenoso y Limoso (Qdp-are+lim), depósitos de Ladera Arenoso con Materia Orgánica (Qdp-are+mat). Esta primera zona también presenta suelos cohesivos conformando parte de la matriz de los depósitos Coluviales, y conformando principalmente lo que se ha denominado como depósitos de Ladera Arcillosos con contenido de arena (Qdp-arc+are), depósitos de Ladera Arcillosos (Qdp-arc) y depósitos de Ladera Arcilloso con Materia Orgánica o Turba (Qdp-mat). Adicionalmente, en la zona homogénea 1 también se presenta la roca de la Formación Bogotá (Tpb) subyaciendo los depósitos de suelo. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0008_V01. Anexo 5.2 -1.1 a Anexo 5.2 -1.4.

De acuerdo con las perforaciones ejecutadas en esta zona homogénea 1, como el caso del sondeo L2MB-TUN-PT-04 con una profundidad alcanzada de 65 m, muestra que desde los 0 hasta los 4,0 m se presenta depósito antrópico, conformado por material heterogéneo de tono café a marrón oscuro, compuesto por fragmentos de rocas sedimentarias (liditas, areniscas cuarzosas), fragmentos de concreto, ladrillo, raíces, materia orgánica; matriz heterogénea de arenas, arcillas, limos, algunos segmentos sueltos, otros densos; suelo seco y en los segmentos densos se presenta húmedo (Fotografía 7). PlanoL2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0008_V01. Anexo 5.2 -1.1 a Anexo 5.2 -1.4.



Fotografía 7. Caja 1 de la perforación L2MB-TUN-PT-04, zona homogénea 1. Se observa relleno antrópico de escombros (Qant), heterométrico con gravas de areniscas, arenas y limos hasta 4 m de profundidad.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Seguido de este depósito antrópico, se observa un depósito coluvial que varía de matriz soportado a clasto soportado alcanzando una profundidad de 50,5 m; los matriz soportados texturalmente son de tono gris pardo, matriz arcillo - arenosa de grano fino, ligeros limos, con pátinas de óxidos ferruginosos, que envuelven fragmentos de areniscas cuarzosas blanco amarillentas, con procesos de oxidación, con tamaños gránulos principalmente, de formas subangulares a subredondeados, donde la relación matriz - clastos es de 90%-10% respectivamente; con segmentos ligeramente densos, plasticidad moderada, con algunos segmentos blandos y humedad moderada. Los de carácter clasto soportado son de tono gris pardo, los clastos se componen de fragmentos irregulares de areniscas cuarzosas blanco amarillentas y liditas gris claro, con procesos de oxidación, con tamaños que van de guijarros hasta bloques, de formas subangulares a subredondeados; la matriz es arcillo-arenosa de grano fino, con óxidos ferruginosos, en una relación clastos - matriz de 80%-20% respectivamente; segmentos que tienden a ser sueltos, con esporádicos segmentos densos y plasticidad moderada de humedad baja (Fotografía 8). Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0008_V01. Anexo 5.2 -1.1 a Anexo 5.2 -1.4.



Fotografía 8. Caja 5 de la perforación L2MB-TUN-PT-04, zona homogénea 1. Diferencia textural del depósito coluvial (Qcc) matriz soportado entre el segmento de 18 m hasta los 21 m, seguido se presenta el depósito de textura clasto soportado hasta los 23,4 m de profundidad.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Finalmente y a una profundidad superior de 50,5 m hasta los 65 m se observa la presencia de arcillolitas de tonalidades gris violáceo, presencia de óxidos ferruginosos, de carácter abigarrado, con algunos segmentos arcillosos blandos por la alteración; fracturas mecánicas, densas, humedad baja, con diaclasamiento a 30°, diaclasa ondulada irregular y rugosa, seca, sin relleno, con desarrollo de un perfil IIB de rocas ligeramente meteorizadas (Deere & Patton, 1971), asociadas a rocas terciarias de la Formación Bogotá (Tpb), Fotografía 9.



Fotografía 9. Caja 12 de la perforación L2MB-TUN-PT-04, zona homogénea 1. Presencia de arcillolitas abigarradas de tonalidades gris violáceo y óxidos ferruginosos superficialmente, característicos de rocas de la formación Bogotá (Tpb). área adyacente a la zona de piedemonte de los cerros orientales en el sector de estudio, segmento de 55,83 a 62,7 m de profundidad.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Zona Homogénea 2

La zona homogénea 2 se encuentra localizada entre la abscisa K0+700 hasta la abscisa K4+400 y su inicio coincide con la finalización del depósito de pendiente (Qdp) y donde inicia el depósito correspondiente a la terraza alta (Qta). Esta zona presenta en su gran mayoría suelos cohesivos tales como depósitos de Terraza Arcilloso/Limoso de Alta Humedad (Qta-arc1), depósitos de Terraza Arcillosos con contenido de arena (Qta-arc+are) y depósitos de Terraza Arcilloso con materia orgánica o turba (Qta-mat). Esta zona también presenta suelos granulares como depósito de Terraza Arenoso (Qta-are).

De acuerdo con las perforaciones ejecutadas en esta zona homogénea 2, como el caso del sondeo L2MB-EST3-PT-02 con una profundidad alcanzada de 50 m, al inicio de la perforación y hasta los 3,9 m de profundidad se observa un depósito antrópico de color negro marrón a gris claro, compuesto por fragmentos de ladrillo, concreto, rocas sedimentarias y material plástico, embebidos en una matriz suelta de limos, arcillas con arenas, además de restos vegetales, raíces, madera orgánica y óxidos; materiales húmedos y ligeramente blando, Fotografía 10.



Fotografía 10. Caja 1 de la perforación L2MB-EST3-PT-02, zona homogénea 2. Se observa relleno antrópico de escombros (Qant), heterométrico con gravas de areniscas, arenas y limos y arcillas al final del segmento, hasta los 3,9 m de profundidad.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Seguido en profundidad y hasta los 50 m se presenta una alternancia de niveles arcillo-limosos de color gris verdoso a gris parduzco, con bajo contenido de materia orgánica. En general, estos niveles muestran una plasticidad moderada y humedad baja, con segmentos ligeramente arenosos y con cenizas volcánicas de color beige, tamaño arenas muy fina que logran un espesor de hasta 0,5 cm, los cuales se asocian a los depósitos fluvio lacustres de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana, Fotografía 11.



Fotografía 11. Caja 7 de la perforación L2MB-EST3-PT-02, zona homogénea 2. Detalle de los niveles arcillosos y limosos con materia orgánica y esporádicos segmentos lenticulares de arenas de granos fino asociados a los depósitos de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana entre los 28,45m y 32,7 m de profundidad del sondeo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Zona Homogénea 3

La zona homogénea 3 se encuentra localizada entre la abscisa K4+400 hasta la abscisa K14+600, y se diferencia de la zona 2 al identificar dos estratos de suelo arcilloso (Qta-arc2 y Qta-arc3) con variaciones en su humedad natural, lo que se presume y más adelante se presenta como un comportamiento diferente del suelo. Esta diferencia también se identifica en el estudio de microzonificación sísmica de Bogotá donde la “Zona 4” (definida en ese estudio) se asocia a un suelo superficial más blando con espesor variable entre 30 m y 50 m. Esta zona presenta en su gran mayoría suelos cohesivos tales como depósitos de Terraza Arcilloso/Limoso de Alta Humedad (Qta-arc2), Terraza Arcilloso/Limoso de Baja Humedad (Qta-arc3), depósitos de Terraza Arcilloso con Materia Orgánica o Turba (Qta-mat). Esta zona también presenta suelos granulares tales como depósitos de Terraza Arenoso (Qta-are).

De acuerdo con las perforaciones ejecutadas en esta zona homogénea 3, como el caso del sondeo L2MB-TUN-PT-67 con una profundidad alcanzada de 40 m, muestra que desde los 0 hasta los 9,25 m se observa un depósito antrópico de color negro marrón a gris medio, compuesto por fragmentos de ladrillo, concreto, recebo, rocas sedimentarias, embebidos en una matriz suelta de arenas y al final del segmento por arcillas, de carácter húmedo y ligeramentre plastico, Fotografía 12.



Fotografía 12. Caja 1 de la perforación L2MB-TUN-PT-67, zona homogénea 3. Se observa relleno antrópico de escombros (Qant), heterométrico con gravas de areniscas, arenas, limos, arcillas y materia orgánica al final del segmento, hasta los 5,1 m de profundidad.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Seguido y en profundidad hasta los 40 m se presenta una alternancia de segmentos arcillo limosos de tonalidades gris medio a oscuro y pardo, con buen contenido de materia orgánica, lentes de turba, algunos lentes de arenas finas y cenizas volcánicas de tonos beige amarillento y esporádicos minerales de tono azul intenso que se asocian a fosfatos, todos estos sedimentos se encuentran relacionados con los depósitos de terraza alta (Qta) de la formación Sabana, Fotografía 13.



Fotografía 13. Caja 5 de la perforación L2MB-TUN-PT-67, zona homogénea 3. Detalle de los niveles arcillosos y limosos con materia orgánica, lentes de turba y arenas finas, asociados a los depósitos de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana entre los 20 m y 24 m de profundidad del sondeo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Zona Homogénea 4

La zona homogénea 4 se encuentra localizada entre la abscisa K14+600 hasta la abscisa K15+000 y coincide con el contacto inferido entre el depósito de la terraza alta (Qta) y el depósito de la llanura de inundación del río Bogotá (Qlla), que fue definido con la identificación de un suelo arenoso. Esta zona presenta en su gran mayoría suelos cohesivos tales como depósitos de Llanura de inundación Arcilloso (Qlla-arc), depósitos de Llanura Aluvial Arcilloso con contenido de arena (Qlla-arc+are) y depósito de Llanura Arcilloso con Materia Orgánica o turba (Qlla-mat). Esta zona también presenta suelos granulares tales como depósitos de Llanura Aluvial Arenoso (Qlla-are).

A diferencia de las zonas homogéneas anteriores, en esta zona se presenta la mayor recuperación de suelo predominantemente arenoso.

De acuerdo con las perforaciones ejecutadas en esta zona homogénea 4, como el caso del sondeo L2MB-TUN-PT-84 con una profundidad alcanzada de 30 m, muestra que desde los 0 hasta 1 m se observa un depósito antrópico conformado por material heterogéneo de color marrón oscuro, matriz de arenas, limos y arcillas con fragmentos de rocas sedimentarias (liditas, areniscas cuarzosas, limolitas), concreto y ladrillo, además de materia orgánica diseminada en la matriz, con presencia de raíces; material suelto, Fotografía 14.



Fotografía 14. Caja 1 de la perforación L2MB-TUN-PT-84, zona homogénea 4. Inicio del sondeo y hasta 1 m se presenta relleno antrópico heterogéneo con fragmentos de liditas, areniscas, limolitas, pedazos de concreto y ladrillo, en una matriz de arenas, limos, arcillas raíces. Seguido se presentan niveles arcillo limosos de la terraza alta (Qta) de la Formación Sabana.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Seguido y hasta los 30 m del sondeo se observa un alternancia de niveles arcillo limosos de tonalidades gris medio con bajo contenido de materia orgánica, esporádicas arenas finas y lentes milimétricos de cenizas volcánicas tamaño de grano arena fina a muy fina beige amarillenta; además de restos vegetales y pátinas de óxidos; segmentos de humedad media a baja, ligeramente plásticos y blandos, Fotografía 15.



Fotografía 15. Caja 4 de la perforación L2MB-TUN-PT-84, zona homogénea 4. Detalle de los niveles arcillosos y limosos con materia orgánica, lentes milimétricos de cenizas volcánicas, asociados a los depósitos de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana entre los 17,2 m y 22,9 m de profundidad del sondeo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.2. Geomorfología

En el área de estudio se diferencian dos tipos de paisaje, originados en procesos geomorfológicos diferentes y que presentan geoformas características. El paisaje de montaña que está conformado por las rocas de la Formación Guaduas, cuyo ambiente morfogenético es de tipo Montañoso Estructural - Denudacional y el paisaje de planicie que incluye el relieve plano a levemente inclinado (paisaje que conforma toda el área del trazado del proyecto Línea 2 Metro de Bogotá), representado por los depósitos cuaternarios cuyo ambiente morfogenético corresponde a fluvio–lacustre donde las geoformas corresponden a llanuras de inundación, abanicos, terrazas aluviales y fluvio torrenciales, Figura 12. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0010_V01, Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0011_V01; Anexo 5.2 -2.1 al Anexo 5.2 -2.4.

Regionalmente se puede observar en la zona de estudio dos grandes regiones geomorfológicas que corresponden a Ambiente Fluvial y Lagunar (F) y Ambiente Morfoestructural (S). Cada uno de estos ambientes presenta geoformas individuales genéticamente homogéneas generadas por procesos geomorfológicos de depositación natural o antrópica y erosión, identificados como unidades y subunidades geomorfológicas que se muestran a lo largo del trazado del alineamiento túnel Línea 2 Metro de Bogotá, Figura 16.

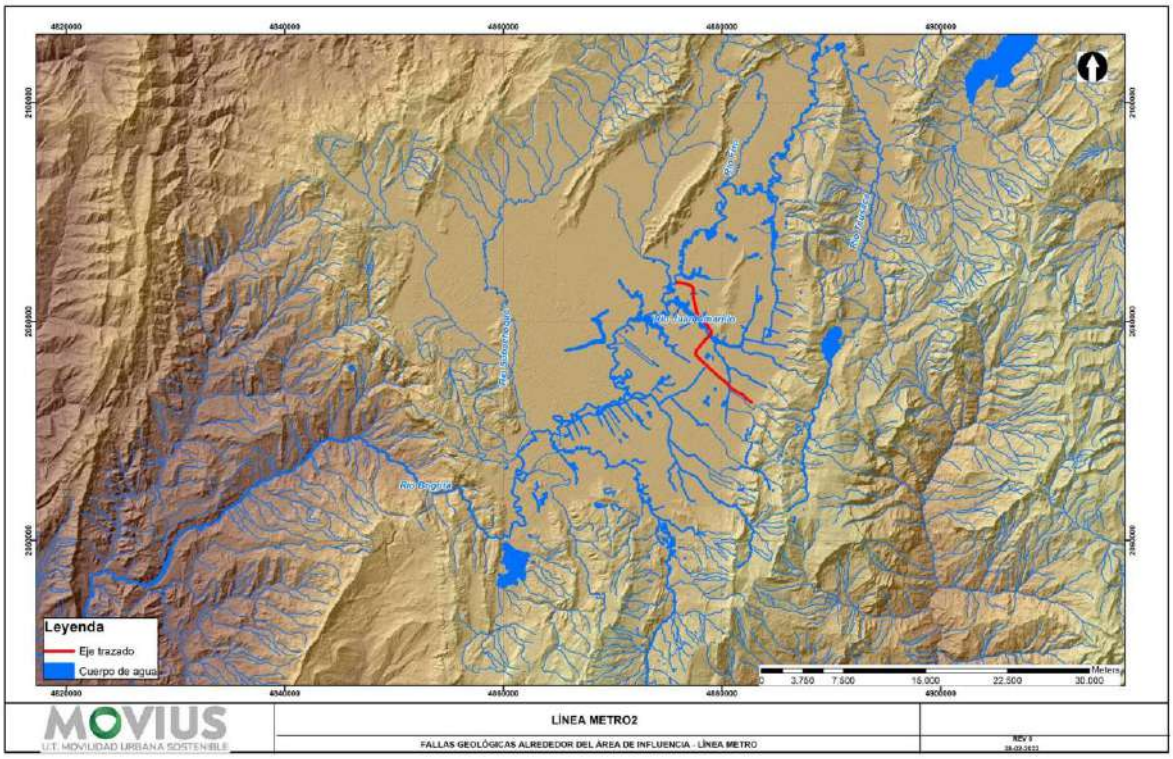


Figura 12. Unidad fisiográfica de la Sabana de Bogotá delimitada en línea trazo blanco, mostrando los dos paisajes morfológicos dominantes del área de estudio, sobre el mapa de sombras con elevaciones.
Fuente: UT MOVIUS 2022

El área de influencia del proyecto L2MB, se localiza en el sector nororiental de la Sabana de Bogotá, extendiéndose principalmente desde el piedemonte de los cerros orientales al oriente, pasando cerca a los cerros de Suba hasta la margen izquierda del río Bogotá. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0010_V01; Anexo 5.2 -2.1 al Anexo 5.2 -2.4.

Los cerros que bordean el área del proyecto L2MB hacen parte del paisaje de montaña. Este, está conformado por las rocas del Cretácico y del Terciario principalmente, cuyo ambiente morfogenético es de tipo Estructural – Denudacional. Contrastando con este paisaje montañoso, se tiene el paisaje de planicie que incluye el relieve plano a levemente inclinado, representado por los depósitos cuaternarios de la Sabana de Bogotá, cuyo ambiente morfogenético corresponde a Depositacional Lacustre. Este paisaje ha sido afectado por intervenciones antrópicas a lo largo de la L2MB, que corresponden a la extensa cobertura urbana del distrito capital y de los municipios aledaños.

Específicamente, la morfología del proyecto L2MB, está determinada por los depósitos diferenciados en la Formación Sabana y los depósitos de llanura de inundación del río Bogotá y principales afluentes, y dentro de estos últimos zonas de humedales como remanentes en general del lago antiguo en la cual se depositaron los sedimentos de la Sabana de Bogotá. Ambas formaciones son comúnmente afectadas por diversas actividades antrópicas que cambian su percepción morfológica y su estructura a nivel superficial.

5.2.1.2.1. Unidades morfogenéticas del área de estudio

De acuerdo a los lineamientos generales de la Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia (Carvajal, 2011, publicación del Servicio Geológico Colombiano), los cuales se siguen para la descripción de los aspectos geomorfológicos del área de influencia del proyecto, ésta se localiza en la morfo-estructura correspondiente a la Cordillera Oriental, en la provincia geomorfológica conocida como Altiplano Cundiboyacense, en la región de la Sabana de Bogotá (ver Tabla 15). Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0010_V01; Anexo 5.2 -2.1 al Anexo 5.2 -2.4.

Tabla 15. Unidades geomorfológicas.

Morfo-estructura	Provincia	Región	Relieve	Paisaje	Nomenclatura	Ambiente
Cordillera Oriental	Altiplano Cundi-boyacense	Sabana de Bogotá	Zona plana	Planicie lacustre	Fpla	Fluvial - lacustre
				Llanura de inundación aluvial	Fpi	
				Modelado de procesos antrópicos	Ant	Antrópico
			Zona Colinada	Conos y lóbulos coluvio-aluviales	Dco	Denudacional
			Zona montañosa	Sierra Anticlinal Denudada y Residual	Ssan	Estructural - Denudacional

Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.2.2. Morfoestructura

La Cordillera Oriental es uno de los tres ramales en que se divide el Sistema Cordillerano de Los Andes colombianos. Se extiende en dirección suroeste-noreste desde el Nudo de Almaguer o Macizo Colombiano en el departamento del Cauca, hasta la Serranía de Perijá en el departamento de La Guajira. Entre su relieve se destaca el Altiplano Cundiboyacense y la Sierra Nevada del Cocuy.

5.2.1.2.3. Provincia morfológica

El trazado de la Línea 2 del Metro de Bogotá se ubica en la provincia del Altiplano Cundiboyacense; es un espacio de tierras altas y planas localizadas en la parte central de la Cordillera Oriental de Colombia, entre los departamentos de

Cundinamarca y Boyacá. El altiplano comprende tres regiones planas bien diferenciadas: la Sabana de Bogotá, los valles de Ubaté y Chiquinquirá y los valles de Tunja, Duitama y Sogamoso.

5.2.1.2.4. Región geomorfológica

El trazado de la Línea 2 del Metro de Bogotá se ubica en la región de la Sabana de Bogotá, la cual posee una altura promedio de 2 600 msnm y corresponde a la parte sur del Altiplano Cundiboyacense, la altiplanicie más extensa de Los Andes colombianos. Está bordeada por cerros, dentro de los cuales se encuentran los cerros orientales y del sur de Bogotá. Adicionalmente, dentro de la sabana sobresalen algunos cerros como los de Suba, Cota-Chía y Tabio-Tenjo.

La Sabana de Bogotá posee un sistema de lagunas naturales y ciénagas o humedales que funcionan como reguladores de la humedad. Actuando como "esponjas" de los caudales del río Bogotá y sus afluentes, sirven como depósitos y reservorios naturales para la recolección de aguas pluviales y son un sistema natural de filtración y depuración del agua. Además, constituyen una destacada reserva de flora y fauna de la región. Se incluyen la ronda de ríos y humedales los cuales pertenecen a esta zona los cuerpos de agua de la ciudad, tales como: humedades, antiguos lagos y zonas de inundación. Para el alineamiento de la línea 2 del Metro de Bogotá se destacan los humedales de Juan Amarillo y La Conejera.

5.2.1.2.5. Morfogénesis

5.2.1.2.5.1. Paisaje de Montaña: Geoformas de origen morfoestructural denudativo

Se define como el paisaje de montaña a una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 m de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub-aguda, semiredondeada, redondeada o tabular, y laderas con formas regulares, irregulares o complejas con pendientes superiores al 15%. Dentro de este paisaje de montaña se encuentra el relieve estructural - denudacional de acuerdo a los procesos morfogenéticos que le dieron origen. Por su génesis las unidades geomorfológicas se clasifican como geoformas de origen denudacional. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0010_V01; Anexo 5.2 -2.1 al Anexo 5.2 -2.4.

Los procesos que dan origen a los relieves están determinados por la dinámica de la corteza terrestre y sus formas se deben al plegamiento, levantamiento y basculamiento de las rocas por acción tectónica, además de la acción de procesos exógenos degradacionales determinados por la lluvia – escorrentía, los glaciares y el agua del suelo, con una fuerte incidencia de la gravedad. Dentro de este tipo de relieve se encuentra la geoforma de espinazo estructural.

- Sierra Anticlinal Denudada y Residual (Ssan)

Sierra simétrica o ligeramente asimétrica, elongada, de morfología montañosa con cimas ligeramente agudas a semi redondeadas. Esta unidad está definida por una secuencia de estratos con buzamiento mayor a 35° debido a los efectos del plegamiento y al fallamiento inverso propio del ambiente compresivo de la Cordillera Oriental en Colombia. Las laderas son de tipo estructural, definidas por la inclinación de los estratos en favor de la pendiente, de longitudes cortas a moderadamente largas, de formas rectas a convexas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas; además laderas

en contrapendiente denudadas, definidas por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente, de longitudes moderadas a largas, de formas cóncavas a irregulares, escalonadas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas.

En general estas geoformas se presentan en rocas sedimentarias del Grupo Guadalupe (Arenisca Dura, Plaeners y Labor y Tierna), específicamente en el anticlinal de Bogotá en los cerros orientales de Bogotá, o en rocas sedimentarias del límite Cretácico - Terciarias correlacionables con la Formación Guaduas que forman estructuras plegadas (anticlinal y sinclinal) en el Cerro de Suba, Figura 16.

Asociado a las geoformas de sierra anticlinal, se presentan en los flancos del pliegue, geoformas de planchas estructurales denudadas identificables cuando la superficie estructural coincide con la superficie topográfica.

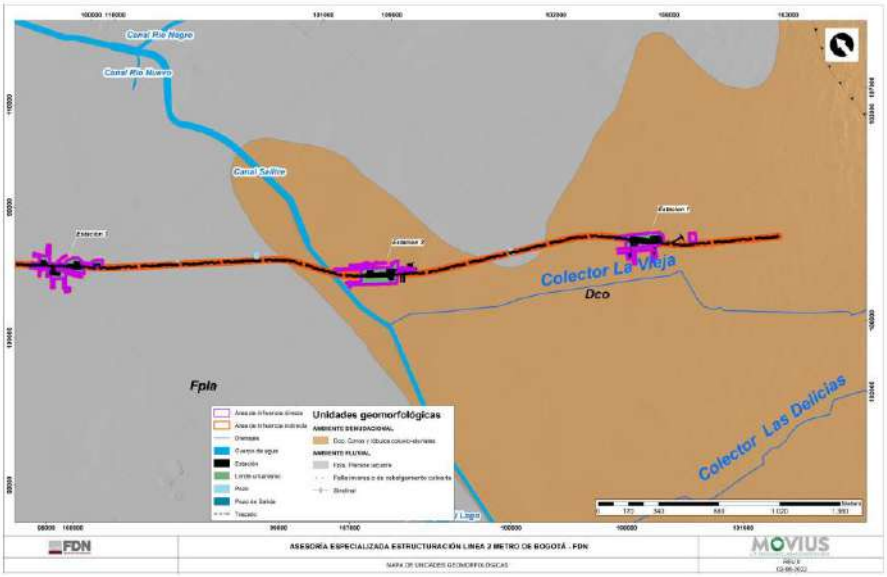


Figura 13. Mapa geomorfológico entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra las perforaciones y los cuerpos de agua superficial
Fuente: UT MOVIUS 2022

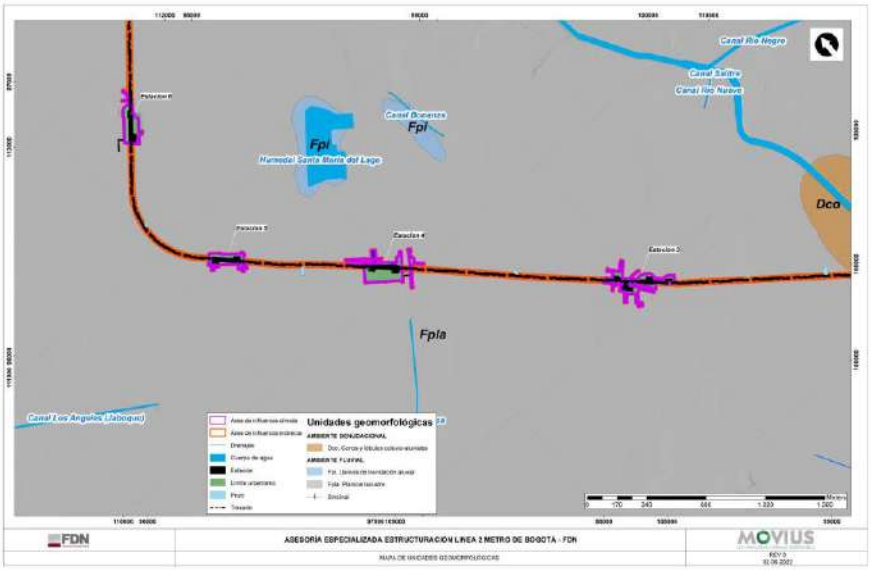


Figura 14. Mapa geomorfológico entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra los cuerpos de agua
Fuente: UT MOVIUS 2022

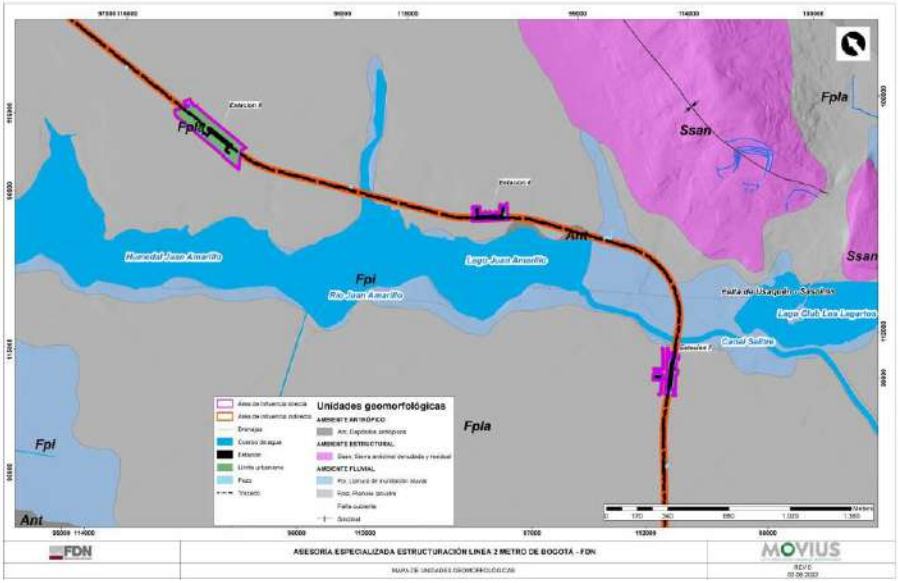


Figura 15. Mapa geomorfológico entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes.
Fuente: UT MOVIUS 2022

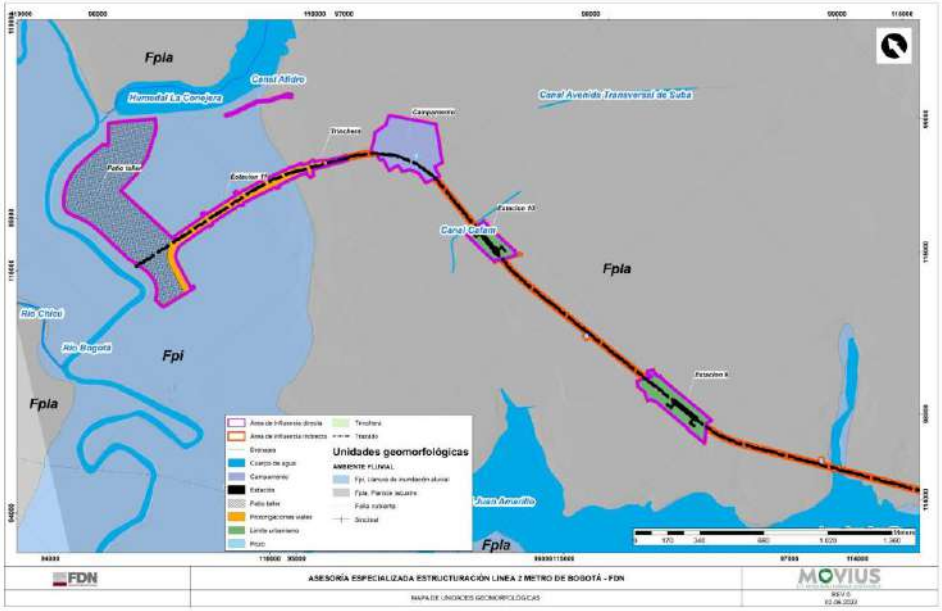


Figura 16. Mapa geomorfológico entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes - río Bogotá.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.2.5.2. Paisaje colinado: Geoformas de origen denudativo

Son geoformas específicas de zonas de piedemonte, localizadas entre la base de los cerros orientales de la ciudad de Bogotá y la zona de planicie o propiamente de la sabana de Bogotá. En la franja de piedemonte o de morfología intermedia entre la montaña y la zona plana, se da la acumulación de sedimentos producto de procesos de remoción en masa y de las aguas superficiales, incluyendo aquellas que han formado sus respectivos canales. Sin embargo también se presentan morfologías de laderas estructurales, denudadas y residuales, así como contrapendientes y formas suavizadas. Para el caso del proyecto, se tienen morfologías producto de conos y lóbulos coluvio - aluviales. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0010_V01; Anexo 5.2 -2.1 al Anexo 5.2 -2.4.

- Conos y lóbulos coluvio-aluviales (Dco)

Geoforma de cono o lóbulo de longitudes cortas a largas de formas convexas e inclinaciones entre 5° a 15° o incluso mayor. Se originan por la acumulación de materiales sobre las laderas tanto por procesos de escorrentía superficial como por flujo lento y viscoso de suelo saturado y no saturado. Este tipo de geoforma es de amplia distribución en la base de las laderas de las sierras anticlinales que atraviesan de Sur a Norte la Sabana de Bogotá. Incluye depósitos de flujos torrenciales, flujos de escombros, flujos de lodo, depósitos de talus, depósitos coluviales, entre otros.

En Bogotá, esta geoforma se presenta por lo general hasta la avenida Caracas y está asociada a las unidades geológicas de Coluviones (Qdp) y Complejo de Conos (Qcc), Figura 16. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0010_V01; Anexo 5.2 -2.1 al Anexo 5.2 -2.4.

5.2.1.2.5.3. Paisaje de Planicie: Geoformas de origen fluvial y lagunar

El paisaje de planicie es una geoforma de origen agradacional caracterizada por una zona amplia y plana, ligeramente ondulada, con pendientes menores al 7%; corresponde a los diferentes aportes de origen lacustre que rellenaron la cuenca de la Sabana de Bogotá. En este tipo de paisaje encontramos el relieve generado por los depósitos lacustres, fluvio - lacustres y los depósitos de llanura aluvial de inundación. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0010_V01; Anexo 5.2 -2.1 al Anexo 5.2 -2.4.

- Planicie Lacustre (Fpla)

Planicie extensa de aspecto aterrazado y morfología plana a levemente ondulada, con suave inclinación, la cual es limitada por cauces los escarpes de los drenajes principales. Esta geoforma es la de mayor extensión en la Sabana de Bogotá y es el producto de la acumulación de arcillas, arenas finas y delgados niveles de gravas y turbas en la cuenca ocupada por el antiguo lago de la Sabana de Bogotá.

Los depósitos lacustres de la Formación Sabana se caracterizan por presentar esta geoforma de planicie lacustre, que es donde se desarrolla al menos el 75% del proyecto L2MB, Figura 16. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0010_V01; Anexo 5.2 -2.1 al Anexo 5.2 -2.4.

- Llanura de inundación aluvial (Fpi)

Corresponde a una porción de espacio relativamente plano y alargado, intercalado entre dos áreas de relieve más alto que tiene como eje un curso de agua. El relieve encajante puede estar constituido por montañas, colinas, altiplanicies o piedemontes, dentro del cual se destacan las llanuras aluviales del río Bogotá y sus princpales fluentes, entre ellos el dreanje que da lugar al humedal Juan Amarillo.

En esta unidad geomorfológica se tiene el tramo elevado del proyecto y el Patio-Taller, localizado en la margen izquierda del río Bogotá, Figura 16. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0010_V01; Anexo 5.2 -2.1 al Anexo 5.2 -2.4.

5.2.1.2.5.4. Paisaje modelado por procesos antrópicos (Ant)

Son formas del terreno cuyo origen está ligado a las actividades humanas de explotación de recursos del subsuelo y al acondicionamiento del terreno tanto para la construcción de obras civiles y de centros poblados, así como para la disposición de desechos orgánicos e inorgánicos, Figura 16. La identificación y clasificación de las geoformas características de la superficie del proyecto, sigue los lineamientos metodológicos de la Zonificación Geomorfológica de la Sabana de Bogotá - Volumen I - Características Geomorfológicas del Servicio Geológico Colombiano (Carvajal, 2005).

5.2.1.2.6. Morfometría

En el análisis geomorfológico donde se desarrollará el proyecto L2MB, se incluye la morfometría; lo anterior, hace referencia al análisis de las formas de las laderas de la zona donde se localiza el proyecto, mediante la descripción cuantitativa de parámetros relacionados con la longitud, ángulo de inclinación y altura, determinados mediante la generación de un mapa de pendientes. Este mapa indica si las laderas son suaves, abruptas, escarpadas, cóncavas, convexas, etc.; Anexo 5.2 -2.1 al Anexo 5.2 -2.4.

Respecto al geoprocesamiento y modelaciones en el componente geomorfológico particularmente para el análisis de la morfometría del terreno, involucró las siguientes actividades particulares:

- Extracción del DEM del área de estudio: Contiene todos los pixeles que corresponden a las alturas definidas por una máscara (Área Influencia).
- Generación curvas detalladas de nivel cada 50 cm tomado como base el modelo digital de elevación (Análisis espacial, curvas por superficie): Se crea una entidad tipo línea de contorno (isolíneas) de la superficie con alturas sobre el nivel del mar en metros.
- Elaboración del Triangulated Irregular Network (TIN), (Herramientas de análisis 3D, TIN): Toma como base las curvas de nivel para realizar una triangulación de la superficie, el resultado es un modelo de terreno exacto que representa de forma eficiente y precisa la superficie.
- Conversión del TIN a formato raster (Herramientas de análisis 3D, conversión): Se realiza el cambio de formato TIN a RASTER pues la herramienta de pendientes requiere que la capa de entrada sea tipo RASTER, con base en el levantamiento topográfico de detalle para el área de influencia del componente.
- Generación de pendientes a partir del raster (Análisis espacial, superficie): Se identifica la pendiente (gradiente o cambio máxima en z) de cada pixel obteniendo como resultado un mapa raster que muestra dichos cambios en porcentajes o grados los cuales se pueden clasificar de forma manual, geométrica, por quantiles, desviación estándar, entre otros.

A partir del geoprocesamiento, se generaron pendientes por porcentajes y se aplicó el método de clasificación Natural Breaks Jenks, en donde el programa calcula las diferencias de valores entre los individuos estadísticos ordenados de forma creciente colocando un límite para separar los grupos que tienen diferencias de valores altas. Las categorías identificadas se obtuvieron teniendo en cuenta los parámetros específicos descritos y relacionados con la topografía del terreno, la litología, la morfogénesis, morfometría y las morfoestructuras asociadas.

El mapa de pendientes del área de influencia del proyecto, se generó a partir de las curvas de nivel utilizando el método de los intervalos móviles, (Dense, B. 1976). Para la elaboración del mapa de pendientes se tuvieron en cuenta los rangos indicados en la Tabla 16. Las variaciones en la morfometría del terreno se ilustran desde la Figura 17 a la Figura 20

claramente se exponen superficies hipsométricas que no superan el 12%, adicionalmente que constituyen relieves totalmente artificializados. Anexo 5.2 -2.1.

Tabla 16. Categorías de los rangos de pendientes para el área de influencia del Proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá

Id	Color	Pendiente (%)	Descripción
1		0 – 1	A nivel
2		1 – 3	Ligeramente plana
3		3 – 7	Ligeramente inclinada
4		7 – 12	Moderadamente inclinada
5		12 – 25	Fuertemente Inclinada
6		25 – 50	Ligeramente escarpada o ligeramente empinada
7		50 – 75	Moderadamente escarpada o moderadamente empinada
8		75 – 100	Fuertemente escarpada o fuertemente empinada
9		>100	Totalmente escarpada

Fuente: UT MOVIUS 2022

El mapa de pendientes indica, que, en general, la zona donde se proyecta el alineamiento L2MB es predominantemente plana, con pendientes ligeramente planas (de 3 al 5%) que corresponde a la llanura de inundación de los ríos Bogotá, Arzobispo y Juan Amarillo y los depositos lacustres de la Formación Sabana que involucran superficies moderadamente inclinadas (12%), Anexo 5.2 -2.1. La zona montañosa limita la zona plana (Cerros de Suba de Bogotá), presenta laderas de pendiente ligeramente a moderadamente empinadas (del 25 al 75%), como se muestra desde la Figura 17 a la Figura 20. Anexo 5.2 -2.1.

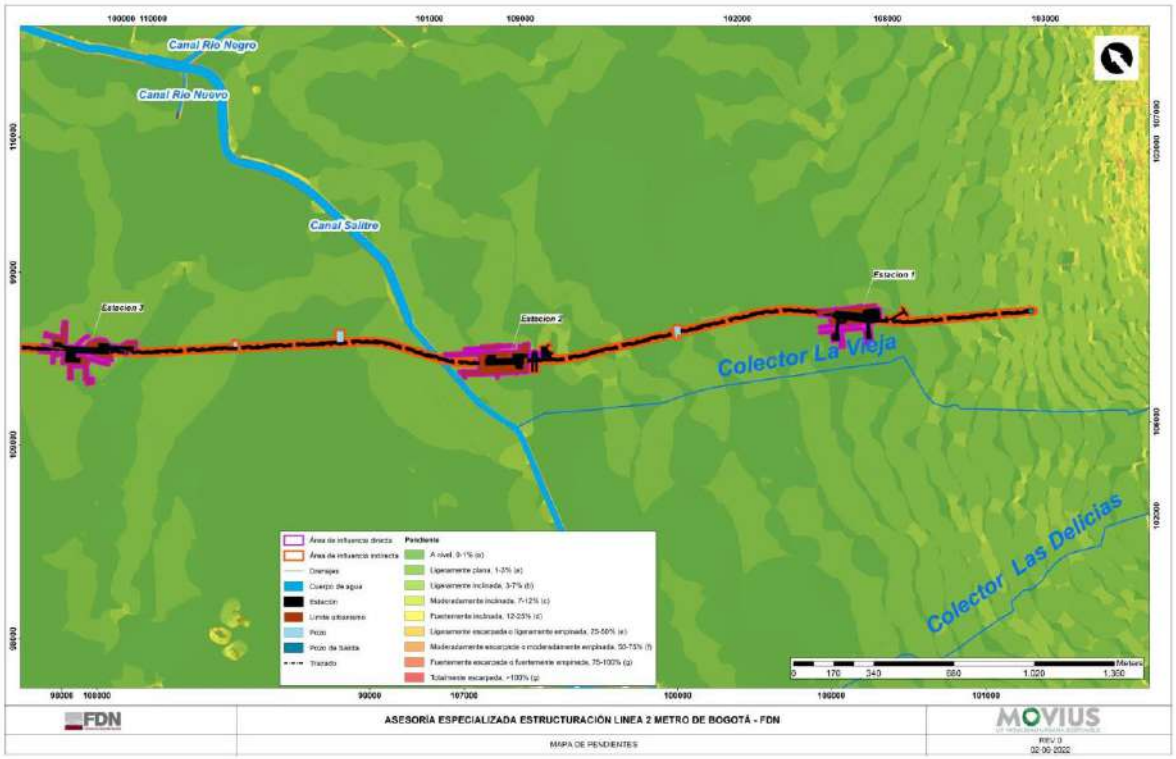


Figura 17. Morfometría del terreno entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3.
Fuente: UT MOVIUS 2022

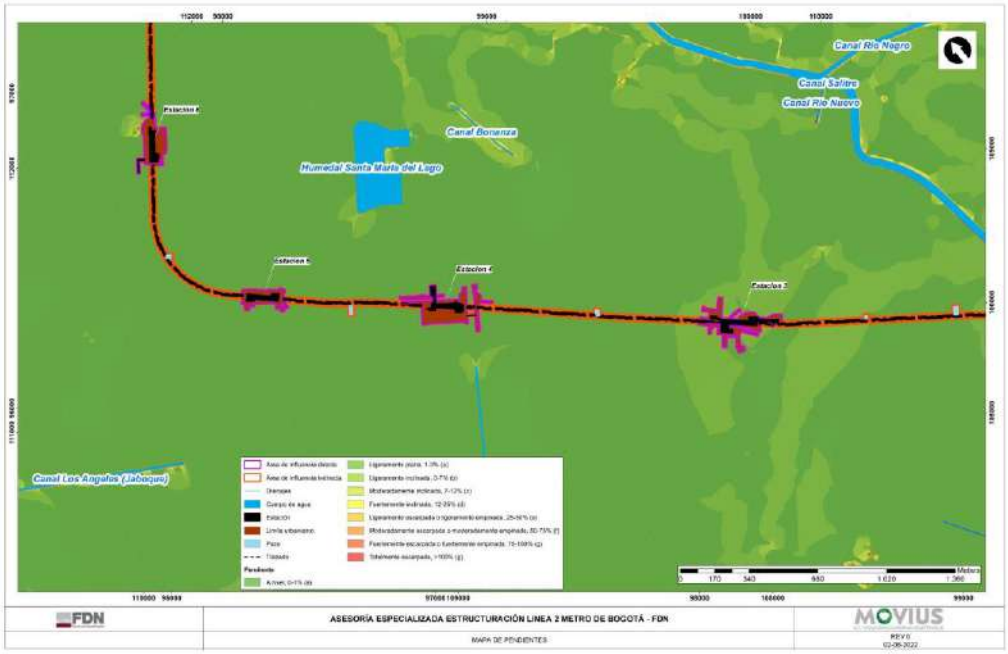


Figura 18. Morfometría del terreno entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra los cuerpos de agua
Fuente: UT MOVIUS 2022

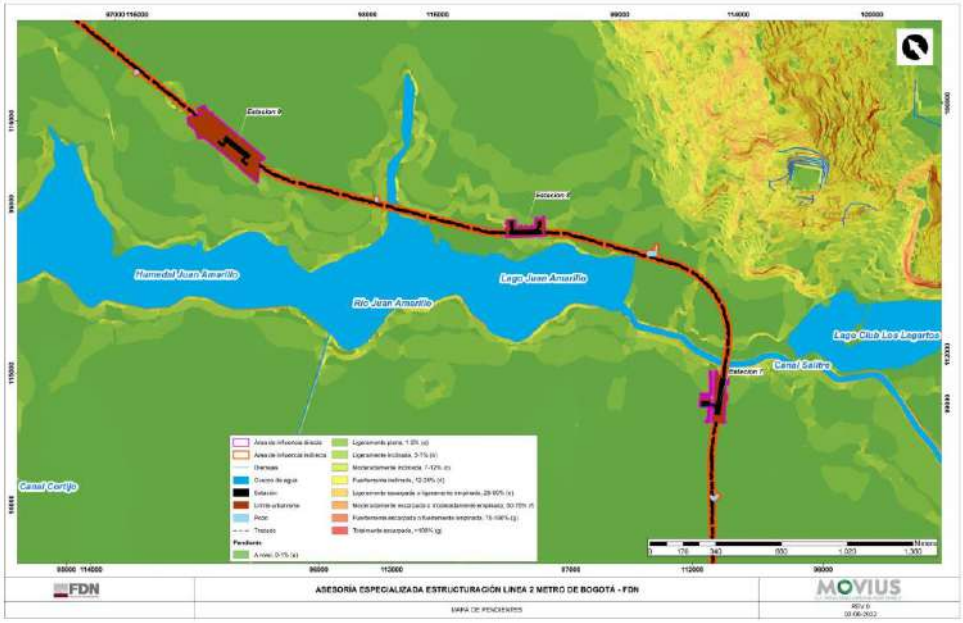


Figura 19. Morfometría del terreno entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes.
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 20. Mapa de pendientes del área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.
Fuente: UT MOVIUS 2022

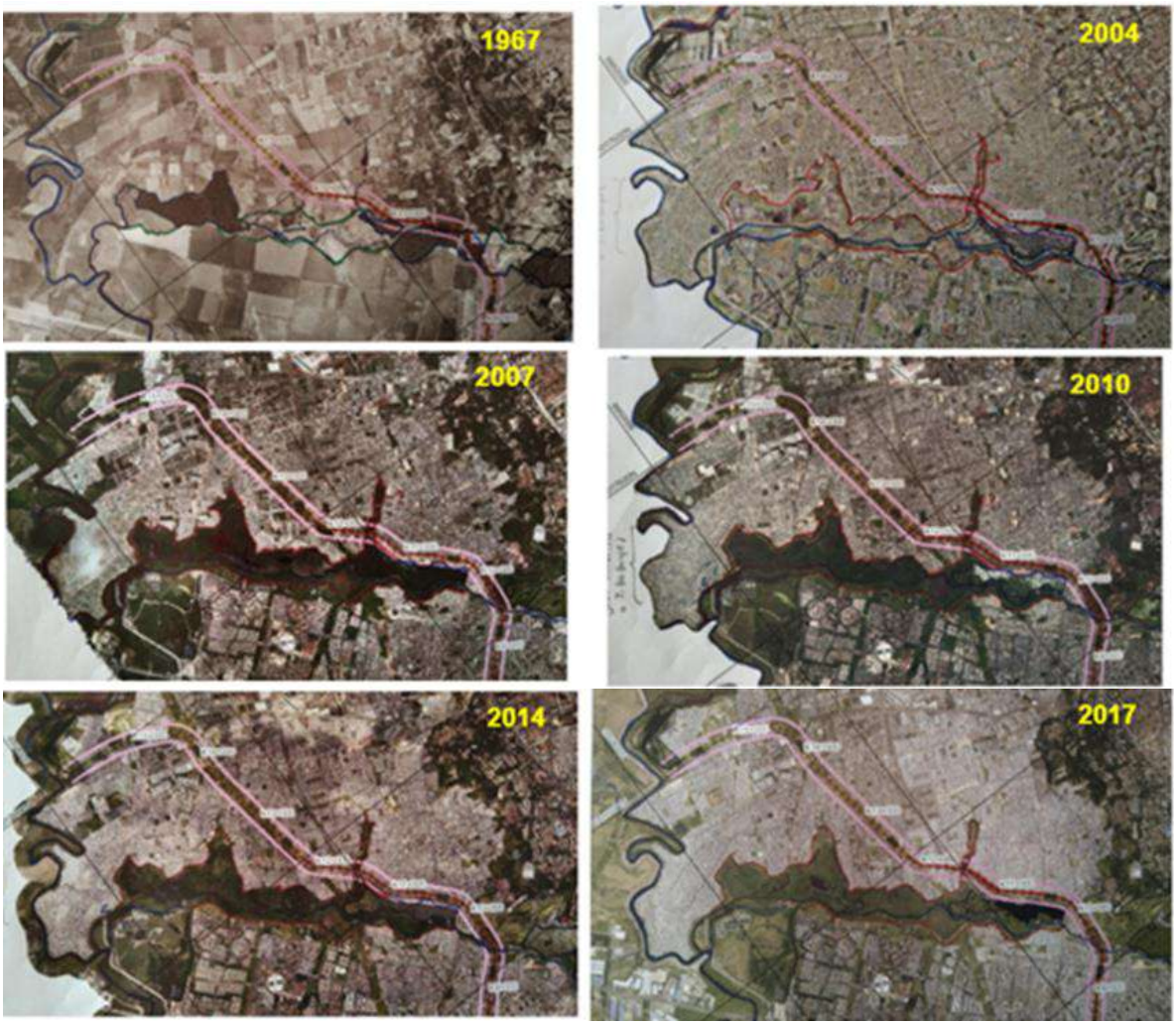
Los cambios a nivel de la hipsometría, la morfología y la configuración del terreno se muestran a continuación:

5.2.1.2.7. Morfodinámica

Dentro del área de influencia no se presentan procesos erosivos o de remoción en masa; sin embargo, en el numeral 5.2.1.1.1.3 Amenazas Naturales, se expone los resultados asociados a la zonificación de amenazas a nivel del Distrito de Bogotá, donde claramente se describe que las zonas catalogadas como de amenaza media y alta se concentran en la parte de la ladera media alta de los Cerros de Suba y los Cerros Orientales, Figura 3.

5.2.1.2.8. Análisis multitemporal

Se realizó el Análisis Multitemporal mediante fotointerpretación de ortofotos entre los años 1967 y 2017 a lo largo del trazado de la Línea 2 del Metro de Bogotá, con base en las imágenes evaluadas como se muestra en la Fotografía 16.



Fotografía 16. Línea 2 del Metro de Bogotá. Ortofotos base para Análisis Multitemporal.
Fuente: UT MOVIUS 2022

El Análisis Multitemporal se realiza a lo largo del trazado teniendo en cuenta los cambios en la morfología del terreno a través del tiempo y las afectaciones sobre las diferentes unidades geológicas. La sectorización muestra condiciones a saber:

K0+000 al K3+000 (Río Arzobispo): Zona con baja pendiente hacia el NW (en dirección al río Bogotá). Se asocia a los depósitos de piedemonte observados hasta la carrera séptima y a la interdigitación de éstos con depósitos fluvio-lacustres y lacustres.

K3+000 (Río Arzobispo) al K9+500 (Humedal Juan Amarillo o Tibabuyes): Zona con leve pendiente hacia el NW (en dirección al río Bogotá), asociada a los depósitos fluvio-lacustres y lacustres de la Sabana de Bogotá.

K9+500 (Humedal Juan Amarillo o Tibabuyes) al K15+900 (Inicio zona de patio - taller): Zona con leve pendiente hacia el NW (en dirección al río Bogotá), asociada a los depósitos fluvio-lacustres y lacustres de la Sabana de Bogotá.

Hacia el K9+500 se observa el humedal Juan Amarillo, en el cual se da la acumulación de materia orgánica. El final de este segmento está influenciado por el río Bogotá, que divaga por una topografía horizontal, formando meandros.

Zona de patio - taller en margen izquierda del Río Bogotá: El patio - taller se encuentra en el meandro del río Bogotá, específicamente en su curva interna, en la cual ha ocurrido la descarga de sedimentos traídos por la corriente. Hacia la curva externa del río en la margen derecha, se presenta la erosión lateral que no afecta la zona del patio taller.

Las variaciones evidenciadas en las ortofotos a través de diferentes épocas se describen en la Tabla 17.

Tabla 17. L2MB- Análisis Multitemporal. Período 1967-2017

Año Ortofoto	SECTOR EVALUACIÓN			
	K0+000 al K3+000 (Río Arzobispo)	**K3+000 (Río Arzobispo) al K9+500 (Humedal Juan Amarillo o Tibabuyes)**	**K9+500 (Humedal Juan Amarillo o Tibabuyes) al K15+900 (Inicio zona de patio - taller)**	**Zona de patio - taller en margen izquierda del Río Bogotá**
1967	El trazado del proyecto se localiza en una zona totalmente urbanizada para esta época. *El río Arzobispo corre por la zona urbana, por un canal ya intervenido.	El trazado de la L2MB se encuentra en una zona parcialmente urbanizada, que presenta mayor densidad de construcciones hasta la abscisa K7+000 aprox. Hacia la Abscisa K4+400 se nota un drenaje que desemboca al río Arzobispo, siguiendo el trazado de la futura carrera 68. Las laderas de este drenaje están parcialmente urbanizadas. El río Arzobispo en la abscisa K9+500 aprox, corre por su cauce natural, presentando algunas curvas suaves.	La máxima cercanía del trazado en superficie al humedal se da entre las abscisas K9+500 (río Arzobispo) y K11+300. En adelante el trazado en superficie atraviesa una topografía plana con uso del suelo rural, evidenciado por las parcelaciones notables en la imágen. Entre las abscisas K9+850 y K10+200 aprox de la L2MB se observa el contorno de un espejo de agua localizado en el humedal de Juan Amarillo. En la abscisa K11+500 se observa el curso de un drenaje que desemboca en el humedal. Éste es notable en un terreno con vocación agrícola.	Hacia la curva interna del meandro del río Bogotá en su margen izquierda, no se notan fenómenos erosivos. Hacia el NE del patio - taller es notable una zona oscura, asociada a mayor densidad de vegetación debido a la presencia del Humedal de La Conejera.

Año Ortofoto	SECTOR EVALUACIÓN			
	K0+000 al K3+000 (Río Arzobispo)	**K3+000 (Río Arzobispo) al K9+500 (Humedal Juan Amarillo o Tibabuyes)**	**K9+500 (Humedal Juan Amarillo o Tibabuyes) al K15+900 (Inicio zona de patio - taller)**	**Zona de patio - taller en margen izquierda del Río Bogotá**
2004	Condiciones similares al año anterior.	Todo el trazado entre estas abscisas se encuentra en una zona totalmente urbanizada. El drenaje que desembocaba al río Arzobispo identificado en el año anterior hacia la abscisa K4+400, ha desaparecido. Sobre ese trazado se conformó la carrera 68, en una zona que para el 2004 ya se encontraba totalmente urbanizada. El río Arzobispo en la abscisa K9+500 aprox, corre por un cauce ya intervenido (canalización).	Entre las abscisas K9+500 (río Arzobispo) y K10+200 el terreno presenta intervenciones antrópicas con desarrollo vial y urbanístico. *La máxima cercanía del trazado en superficie al humedal se da entre las abscisas K10+200 y K11+100. Entre las abscisas K10+200 y K12+100 el trazado en superficie atraviesa una zona plana con alta urbanización, sin embargo en la abscisa K11+500 se destaca una franja de vegetación asociada al curso de un drenaje que para 1967 desembocaba al humedal. Hoy en día éste constituye una zona de humedal que conecta con el humedal Juan Amarillo. De la abscisa K12+100 en adelante, el trazado en superficie de la L2MB atraviesa una topografía plana cubierta de pastos y con zonas parcialmente intervenidas con algunas construcciones y vías.	No se notan cambios en la curva del río Bogotá que afecten el terreno donde se localizará el patio - taller. Hay un aumento de la urbanización en la margen izquierda del Humedal de La Conejera. Este cambio en el uso del suelo no se identifica en la zona del patio - taller.
2007	Condiciones similares al año anterior.	Condiciones similares al año anterior.	Condiciones similares al año anterior, sin embargo es notable el aumento de la densidad de construcciones entre las abscisas K14+500 a K15+000 y K15+400 a K15+600 del trazado de la L2MB.	Hay un leve incremento de la urbanización en la margen izquierda del humedal de La Conejera, sin que afecte la zona del patio - taller.

Año Ortofoto	SECTOR EVALUACIÓN			
	K0+000 al K3+000 (Río Arzobispo)	**K3+000 (Río Arzobispo) al K9+500 (Humedal Juan Amarillo o Tibabuyes)**	**K9+500 (Humedal Juan Amarillo o Tibabuyes) al K15+900 (Inicio zona de patio - taller)**	**Zona de patio - taller en margen izquierda del Río Bogotá**
2010	Condiciones similares al año anterior.	Condiciones similares al año anterior.	Condiciones similares al año anterior.	Condiciones similares al año anterior.
2014	Condiciones similares al año anterior.	Condiciones similares al año anterior.	Condiciones similares al año anterior, sin embargo es notable el aumento de la densidad de construcciones entre las abscisas K15+400 a K15+800 del trazado de la L2MB.	Condiciones similares al año anterior.
2017	Condiciones similares al año anterior.	Condiciones similares al año anterior.	Condiciones similares al año anterior.	Hay un leve incremento de la urbanización en la margen izquierda del humedal de La Conejera, sin que afecte la zona del patio - taller.

Fuente: UT MOVIUS 2022

Complementariamente se realiza el análisis en los sectores de humedales Juan Amarillo o Tibabuyes, Córdoba y Niza, Santa Rosa del Lago y La Conejera, registrando las variaciones de extensión a través del tiempo como se resume en la Tabla 18.

Tabla 18. L2MB- Observaciones en los sectores de humedales. Período 1967-2017

Año Ortofoto	Humedal Juan Amarillo o Tibabuyes	Humedal Córdoba y Niza	Humedal Santa Rosa del Lago	Humedal La Conejera
1967	La zona de humedal se distingue por la presencia de tres grandes zonas húmedas o espejos de agua. El primero de ellos (cuerpo de agua 1, conformado por dos espejos de agua cercanos) es cruzado por el trazado en superficie entre las abscisas K9+500 y K10+200 aprox. El segundo (cuerpo de agua 2) se encuentra aguas arriba de las abscisas mencionadas hacia lo que actualmente se conoce como el club Los Lagartos. El tercer cuerpo de agua (cuerpo de agua 3), está más cercano al río Bogotá.	Color oscuro en la imagen que indica la alta concentración de vegetación y humedad del terreno, lo cual contrasta con los terrenos vecinos de color gris con parcelaciones y zonas parcialmente urbanizadas.	Humedal rodeado de terrenos parcialmente urbanizados.	Humedal rodeado de terrenos parcelados con dedicación a la agricultura y /o ganadería.
2004	El contorno del humedal es definido por el límite urbano. Es notable el aumento de la vegetación asociada a condiciones de mayor humedad. El tercer cuerpo de agua descrito en el año 1967 se recoge y es reemplazado por mayor densidad de vegetación. Los otros dos cuerpos de agua difieren en el contorno o límite de las aguas. Los dos espejos de agua que para el año 1967 conforman el cuerpo de agua 1, para este año aparecen como uno solo. Es notable la canalización del río Arzobispo, así como la densa urbanización de la margen derecha del humedal y la intervención antrópica de la margen izquierda.	La zona del humedal se encuentra rodeada de zonas urbanizadas. Los drenajes que alimentan el humedal también se encuentran rodeados de zonas urbanizadas con algunos polígonos verdes indicativos de parques.	Humedal rodeado de terrenos totalmente urbanizados. Cambio en la distribución de las zonas húmedas o espejos de agua.	La margen sur del humedal presenta desarrollo urbano parcial.

Año Ortofoto	Humedal Juan Amarillo o Tibabuyes	Humedal Córdoba y Niza	Humedal Santa Rosa del Lago	Humedal La Conejera
2007	Permanecen en condiciones similares los cuerpos de agua 1 y 2. En la zona del tercer cuerpo de agua aparece un espejo de agua.	El contorno del humedal no cambia, pero si la extensión y distribución de las zonas húmedas o espejos de agua.	Condiciones similares al año anterior.	Se evidencia el aumento del desarrollo urbano en la margen sur del humedal. *Respecto al año anterior se nota aumento en la densidad de vegetación del humedal.
2010	Se recoge el cuerpo de agua 1. El cuerpo de agua 2 permanece en condiciones similares. En la zona del cuerpo de agua 3, desaparece el espejo de agua.	Condiciones similares al año anterior.	*Condiciones similares al año anterior.	No se evidencia el aumento del desarrollo urbano en la margen sur del humedal. Respecto al año anterior, la densidad de vegetación del humedal permanece similar, sin embargo se notan cambios en la distribución de las zonas más húmedas o espejos de agua. El contorno del humedal es similar al del año anterior.
2014	Se recoge el cuerpo de agua 1. El cuerpo de agua 2 permanece en condiciones similares. La zona del cuerpo de agua 3, permanece en condiciones similares.	Condiciones similares al año anterior.	Condiciones similares al año anterior.	Condiciones similares al año anterior.
2017	Sigue la pérdida de área del cuerpo de agua 1. El cuerpo de agua 2 permanece en condiciones similares. En la zona del cuerpo de agua 3 se identifican nuevos espejos de agua.	Condiciones similares al año anterior.	Condiciones similares al año anterior.	Condiciones similares al año anterior.

Fuente: UT MOVIUS 2022

De las observaciones y análisis de imágenes satelitales en las áreas de los humedales se tienen los siguientes aspectos a resaltar:

- Humedal Juan Amarillo o Tibabuyes, las observaciones y análisis de imágenes satelitales entre 1967 y 2017, y la comparación entre una fotografía aérea de 1950 y la imagen actual disponible en Google Earth, se concluye que el

contorno del humedal Juan Amarillo no ha cambiado en 72 años y que las márgenes de dicho humedal han sido intensamente antropizadas entre los años 1967 y 2004. En ese sentido desde el punto de vista fotogeológico, el humedal es alimentado principalmente por la red de drenaje superficial, es decir por los ríos Arzobispo - Salitre y afluentes, además del drenaje que alimenta el humedal de Córdoba, los cuales fueron canalizados antes y después de 1967 respectivamente conforme al crecimiento urbanístico de Bogotá. Otra recarga continua del humedal es la precipitación directa de lluvias que sumada a la recarga superficial de los tributarios mantiene el espejo de agua en las mismas condiciones durante los últimos 72 años.

- Con y sin cobertura antrópica el humedal Juan Amarillo permanece en condiciones similares durante los últimos 72 años. Por lo anterior se plantea que las condiciones estables del humedal no dependen de la dinámica del agua subterránea en las arcillas que conforman la Formación Sabana como unidad hidrogeológica de baja productividad, sino de la dinámica del agua superficial, en especial de las aguas drenadas por río Arzobispo - Salitre, y por el drenaje que alimenta el humedal Córdoba.

- Humedal Córdoba y Niza. Entre los años 1967 y 2004, es notoria la concentración de vegetación y humedad del terreno con zonas parcialmente urbanizadas y a través del tiempo los drenajes que alimentan el humedal muestran algún grado de intervención por efecto de la urbanización. Hacia el año 2007 el contorno del humedal no varía aunque se nota el incremento en la extensión y distribución de los espejos de agua. Para el período 2010 – 2017 las imágenes no muestran variación de las condiciones.

- Humedal Santa Rosa del Lago. Para el año 1967 el humedal se encuentra rodeado de terrenos parcialmente urbanizado. Hacia el año 2004 existe un cambio en la distribución de las zonas húmedas o espejos de agua. Para el período 2007-2017 las imágenes no muestran variación de las condiciones.

- Humedal La Conejera. La imagen del año 1967, muestra el humedal rodeado de terrenos parcelados con dedicación a la agricultura y/o ganadería con leve desarrollo urbano hacia la parte sur del humedal incrementándose entre los años 2004 - 2007 con un aumento en la densidad de vegetación del humedal. En el año 2010, el cambio se refiere a la distribución de las zonas más húmedas o espejos de agua condiciones que se mantienen hasta el año 2017.

Adicionalmente, se interpretó el fotomosaico del año 2021, donde se identificaron nueve coberturas, con el predominio de las coberturas de Pastos limpios y las Zonas verdes urbanas. Las demás coberturas que les siguen en orden descendente son la Red vial, ferroviaria y terrenos asociados, el Tejido urbano continuo, Pastos enmalezados, el Bosque de galería y ripario, la Vegetación secundaria o en transición, los Cuerpos de agua artificiales y los Canales. Es importante tener en cuenta que las coberturas presentes en el área de influencia del proyecto, corresponden principalmente a territorios artificializados y agrícolas, debido a esto los parches de vegetación disponibles son sectorizados y los que son continuos son estrechos y reducidos y dan cuenta de la fragmentación y la baja conectividad entre las áreas con vegetación para estos sectores de la ciudad de Bogotá. Las coberturas de bosques y áreas seminaturales están ubicadas en los humedales de La Conejera y Juan Amarillo, mientras que las demás coberturas son adyacentes al área de intervención pero no serán intervenidas.

El tejido urbano continuo, comprende los espacios constituidos por edificios y los espacios relacionados a la infraestructura construida. Edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren más de 80% de la superficie del terreno del área de influencia, de tal manera que la cobertura de vegetación representa una baja proporción del área, Figura 21 a la Figura 24.

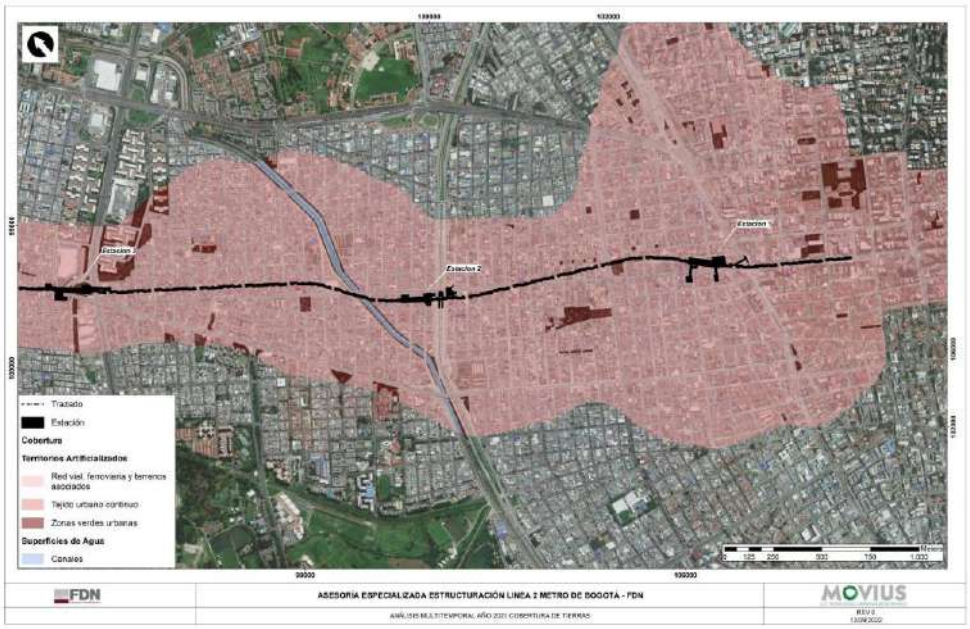


Figura 21. Análisis multitemporal de las coberturas de tierras Año 2021. Pozo de salida - Estación 1 - estación 3.
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 22. Análisis multitemporal de las coberturas de tierras Año 2021. Pozo de salida - Estación 3 - estación 6.
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 23. Análisis multitemporal de las coberturas de tierras Año 2021. Pozo de salida - Estación 7 - estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo.
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 24. Análisis multitemporal de las coberturas de tierras Año 2021. Pozo de entrada - Estación 11 - patio taller. Sector Humedal La Conejera.
Fuente: UT MOVIUS 2022

La fotointerpretación arroja que la intervención en los cuerpos de agua existentes en consistente con el desarrollo urbano y corresponde al territorio urbanizado que actualmente existe en el Distrito, que básicamente incluye un territorio urbano continuo, como se ilustra en la Figura 21 hasta la Figura 24. Se conserva la morfología de los cuerpos de agua que no han

sido intervenidos por el desarrollo urbano de la ciudad, el cual se mantiene con los aportes que lo sostienen de carácter ambiental a lo largo de los años analizados. Anexo 5.2 -2.3.

5.2.1.2.9. Zonificación Ocurrencia de procesos erosivos y de remoción en masa

En la generación del mapa de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa específico para el área de estudio del proyecto de la L2MB, empleó variables cualitativas y cuantitativas; dentro de las variables cualitativas se encuentra la geología, geomorfología, suelos y cobertura de la tierra y dentro las variables cuantitativas se encuentran la pendiente, longitud de la pendiente, las cuales se derivan del modelo digital de elevación (DEM).

Se realiza un análisis multicriterio que involucra la utilización de datos geográficos, debiendo establecer las preferencias y combinaciones (o agregaciones) de los datos, de acuerdo a reglas de decisiones específicas que han sido implementados en el geoprocesamiento de las cuatro variables principales de acuerdo con el nivel, unidad de análisis y escala del estudio mediante un sistema de procesamiento en ARCGIS. Para efectos de los análisis heurísticos para determinar el Índice de Susceptibilidad de Movimientos en masa (ISD), se propone la utilización de procesos de análisis jerárquicos.

El método heurístico adoptado para el geoprocesamiento de la información temática para el área de influencia del componente, incluye un análisis estadístico bivariado cada factor de mapeo (pendiente, geología, suelos, coberturas vegetales, niveles de precipitación), se combina y se calculan valores ponderados de densidades de movimientos en masa para cada clase, unidad geológica, variación morfométrica, unidades de coberturas vegetales y como detonantes los niveles de precipitación.

Los pesos ponderados para cada factor de mapeo corresponden de acuerdo con la incidencia de cada uno en el contexto geográfico donde se ubica el proyecto. Para el caso de la L2MB, el factor de mapeo asociado a la geología como la pendiente son determinantes y presentan para la zonificación un peso de ponderación del 25% y para la morfometría del 20% y para las coberturas vegetales y las isoyetas del 15% respectivamente.

Se adopta la simbología y nomenclatura de acuerdo con las exigencias cartográficas de los mapas según los estándares propuestos a nivel de unidades y subunidades, propuestos por Carvajal (2002) y del Servicio Geológico Colombiano para la cartografía y zonificación geomorfológica y geomecánica (2004).

La información complementaria aplicada en la zonificación incluye los siguientes aspectos y teniendo el contexto anteriormente descrito del proyecto:

- Mapa de pendientes con intervalos adecuados.
- Definición de la composición litológica y suelos para cada una de las geoformas establecidas
- Tipo de estructuras, estilo estructural
- Definición de las fallas tectónicas
- Establecer y complementar los atributos evaluados y analizados mediante una base de datos relacionada con la cartografía.
- Superponer la información cartográfica hasta obtener la zonificación susceptibilidad a partir de los mapas analíticos y temáticos.

El resultado en la zonificación de las áreas con diferentes características sobre procesos exogenos y endogenos que delimitan la respuesta de los materiales a la ocurrencia de procesos de erosión concentrada o de remoción en masa con la interacción de las variables y factores de mapeo establecidos en el contexto que se ubica el proyecto de la L2MB se presentan a continuación:

- Las razones fundamentales de estos análisis particulares radican en la necesidad de unificar la terminología relacionada con el tema, resaltar las temáticas e información fundamentales para el desarrollo de estos análisis

según las necesidades y enfoque del proyecto cuyos resultados contribuyan en la toma de decisiones para la adecuada implementación técnica y ambiental del proyecto.

- Considerando lo anterior y de acuerdo con la normatividad adoptada en Colombia en temas de la elaboración de los estudios ambientales y de gestión del riesgo, se evidencia la necesidad de plantear análisis de susceptibilidad y de amenaza que permitan obtener resultados lo más objetivos posibles mejorando así la posibilidad de priorizar las acciones de manejo acorde con las condiciones del entorno actual y proyectado.
- El análisis de la susceptibilidad y la zonificación del área, se enfoca en la obtención de cálculos probabilísticos que permitan una posterior estimación de la potencialidad de la ocurrencia de fenómenos morfodinámicos que se puedan materializar con el evento.
- Para cuantificar la susceptibilidad requiere de la disponibilidad de datos y fuentes de información confiables que garanticen cubrimiento espacial y temporal de las temáticas involucradas, que para el caso de estudio se cuenta con información primaria a lo largo del trazado que permite obtener una delimitación espacial de las tres variables de análisis, geología, geomorfología y coberturas de tierras. .
- La importancia en el desarrollo del proyecto ha sido el levantamiento de la información en campo constante de temáticas como, la geología, seguimiento de los cambios geomorfológicos, toma relevancia para abordar análisis cuantitativos como el de la susceptibilidad a la ocurrencia de procesos morfodinámicos.

A continuación se describe el marco conceptual a partir del cual se desarrolla la zonificación de la susceptibilidad por la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

- Las etapas del proceso a través de las
- cuales se obtiene el producto final de zonificación son:
- Caracterización geoambiental
- Análisis de susceptibilidad
- Caracterización y zonificación de la susceptibilidad

Dado que el análisis de la susceptibilidad debe llevar a la zonificación del área de influencia definida para el componente Geoesférico, cada etapa de la metodología implica el manejo de datos espaciales mediante el levantamiento de información en campo, fotointerpretación multitemporal de aerofotografías y uso de herramientas SIG.

5.2.1.2.9.1. Caracterización geoambiental

Incluye el conocimiento de las características geoambientales que determinan o pueden determinar la ocurrencia de un movimiento en masa en el área de influencia del estudio. Esta etapa comprende el levantamiento y consecución de la información temática y los datos de entrada requeridos para obtener la zonificación de susceptibilidad y amenaza (geología, geomorfología, morfometría, cobertura de la tierra y uso del suelo y niveles de precipitación). En esta etapa se adelantan las actividades de recopilación de información, interpretación visual de imágenes y trabajo de campo que permiten conocer las particularidades del área y generar las hipótesis para los mecanismos identificados en relación con los factores que condicionan su ocurrencia.

El insumo principal para la zonificación, lo constituye el denominado inventario de procesos, el cual es la representación gráfica de los mecanismos de falla y magnitud de los movimientos en masa existentes y su distribución; la erosión superficial y rasgos indicativos del posible origen de un movimiento en masa pueden ser también incluidos en este inventario. Específicamente, para el área de influencia del proyecto no se presentan procesos de remoción en masa potenciales ni activos.

Los factores causales de la ocurrencia de un movimiento en masa, estos se dividen en condicionantes y detonantes, de manera que agrupan la mayoría de los que se han utilizado en trabajos de zonificación de la susceptibilidad, para este caso de estudio se ha definido las precipitaciones como el factor detonante en el análisis.

Se debe tener presente que el tipo de importancia de cada factor considerado para explicar la posible ocurrencia de un movimiento en masa depende del marco geoambiental (condiciones climáticas, relieve, marco geológico, evolución geomorfológica y procesos) en el que se desarrolle la zonificación y puede diferir sustancialmente de un área a otra debido a diferentes condiciones del terreno.

Los factores condicionantes están representados en las temáticas de geología, geomorfología y cobertura de la tierra y uso del suelo, y configuran la predisposición del terreno a la ocurrencia de movimientos en masa, considerándose intrínsecos o inherentes al área de estudio dado que prácticamente no varían en el tiempo.

5.2.1.2.9.2. Análisis de la susceptibilidad

Para el análisis de la susceptibilidad del terreno a la ocurrencia de movimientos en masa se propone la aplicación de un método estadístico bivariado combinado con el conocimiento de la zona de estudio a partir de las unidades geológicas, geomorfológicas, morfométricas, coberturas, uso del suelo y criterios de campo.

El análisis del inventario de procesos morfodinámicos permite plantear las hipótesis sobre las zonas más o menos propensas a la inestabilidad (susceptibles), las cuales serán comprobadas y validadas a partir de estadística y criterio de verificación en campo.

La contribución relativa de cada factor condicionante, propone la aplicación de un método estadístico bivariado con pesos ponderados para cada variable temática descrita en la etapa anterior; el método se basa en teoría de probabilidad para determinar la posibilidad de ocurrencia de un movimiento en masa dado que existen unos factores condicionantes. Todos los resultados se deben validar con el inventario de procesos morfodinámicos, que como se mencionó para el área de influencia del proyecto de la L2MB no se presentan procesos morfodinámicos potenciales ni activos.

Una vez obtenida la susceptibilidad del terreno es representada cartográficamente en tres clases o categorías (baja, media y alta). Anexo 5.2 -2.4

- Caracterización y zonificación de la susceptibilidad

Esta etapa constituye a la aproximación para el análisis de la susceptibilidad a escala del estudio y de los insumos cartográficos utilizados en las cuatro variables temáticas mencionadas en la primera etapa, con el nivel de información obtenida en el estudio, y agrupa los movimientos en masa de acuerdo con los siguientes tipos:

- Deslizamientos: incluye movimientos tipo deslizamiento rotacional o deslizamiento traslacional en suelo. En este grupo se pueden incluir los procesos en laderas tipo flujo que hacen parte de la zona de alimentación de flujos de detritos o flujos de lodo.
- Los procesos de remoción en masa, se pueden clasificar según la relación Profundidad (D)/Longitud (L), en superficiales y profundos
- Flujos: en este tipo se incluyen los procesos tipo flujo de detritos, flujo de lodos o avenida torrencial.

- La zonificación de la susceptibilidad, será analizada con base en los resultados del método estadístico bivariado, obteniendo la división del área de influencia del componente en áreas o dominios homogéneos y su categoría de acuerdo al nivel de susceptibilidad por la ocurrencia de determinados fenómenos morfodinámicos.

5.2.1.2.9.3. Resultados

Los resultados que se presentan a continuación corresponden a la aplicación de un análisis multicriterio que involucró la utilización de datos geográficos y las variables temáticas mencionadas, debiendo establecer las preferencias y combinaciones (o agregaciones) de los datos, de acuerdo a reglas de decisiones específicas que han sido implementados en el geoprocesamiento de las cuatro variables principales de acuerdo con el nivel, unidad de análisis y escala del estudio mediante un sistema de procesamiento en ARCGIS.

- Susceptibilidad baja a la ocurrencia de procesos de remoción en masa

Corresponde a esta categoría el 68% de extensión en el área de influencia, lo que representa un área total dentro del área de influencia indirecta del componente de 61,12 Ha. que involucra la totalidad del tramo subterráneo; Anexo 5.2 -2.4. Figura 26 a la Figura 29. Las zonas con susceptibilidad baja, comprenden depósitos aluviales y lacustres relacionados con geoformas de planicie fluvio lacustre y niveles de terrazas alu, en topografías bajas y de pendientes suaves inferiores a 5°, con predisposiciones muy bajas a la ocurrencia de remoción en masa por la superficies planas de baja rugosidad en el relieve. En términos edáficos se identifican principalmente clases no suelos, caracterizados como zonas urbanizadas y cuerpos de agua; mientras que en para la variable cobertura incluye las variedades de pastos limpios, enmalezados y arborizados, vegetación secundaria o en transición de carácter puntual y la cobertura predominante es el territorio artificializado urbano de la ciudad.

El paisaje de planicie aluvial está constituido por relieves de plano de inundación y terrazas, presenta una red de drenaje subparalela, de baja incisión y baja densidad de drenajes, conformando pequeños valles en "U" abiertos.

Las zonas de susceptibilidad baja, abarcan zonas relativamente estables, desde la variable de análisis de la geología, incluye las unidades de Complejo de Conos (Qcc), Formación Sabana: subdividida en depósitos fluviolacustres de terraza alta (Qta) y de terraza baja (Qtb) y los Depósitos Antrópicos (Qan) que constituyen la cobertura superficial asociada a todo el territorio urbanizado.

La distribución de las pendientes, tienen rasgos morfométricos positivos, que muestran un comportamiento suave hacia las superficies topográficas más bajas hacia el final del trazado (estación 10, 11 y patio taller), ligeramente planas a moderadamente inclinadas que no superan en 12% de la pendiente, e incluyen las áreas de asociadas a las coberturas cuaternarias fluvio lacustres que predominan a lo largo del trazado.

- Susceptibilidad media a la ocurrencia de procesos de remoción en masa

Corresponde a esta categoría el 32% de extensión asociada al área de influencia indirecta del componente, lo que representa un área total dentro del área de influencia del componente de 28,13 Ha, Anexo 5.2 -2.4. Figura 26 a la Figura 29.

A nivel geomorfológico, se destacan los relieves de la ladera baja que involucra geoformas denudacionales coluviales, laderas denudacionales estables, con disección leve, depósitos de ladera, terrazas aluviales altas y bajas, valles fluvio-aluviales, generalmente en pendientes inclinadas entre 7° - 11°. Los suelos incluyen una importante variedad de entisoles, inceptisoles, andisoles y alfisoles, con texturas más de tendencia arenosa y limosa, bien drenados y profundidades medias; las principales coberturas incluyen tejidos urbanos continuos y discontinuos, zonas industriales y comerciales, pastos limpios, mosaicos de pastos y espacios naturales, herbazales y arbustales. La susceptibilidad a la ocurrencia tiene relación

con una morfodinámica baja, por morfometría condicionada por zonas ligeramente a moderadamente inclinadas respecto a la pendiente del terreno que corresponden a la parte baja de los Cerros de Suba y la llanura aluvial reciente del río Bogotá en la zona del Patio Taller.

Litológicamente involucra rocas tipo arcillolitas y areniscas finas de la Formación Guaduas y Cacho, depósitos de pendiente y depositos aluviales recientes del río Juan Amarillo y del río Bogotá. Sin embargo, según la verificación en campo dentro del área de influencia, no se registran movimientos activos o potenciales para esta categoría de susceptibilidad.

Los resultados se ilustran desde la Figura 26 hasta la Figura 29.

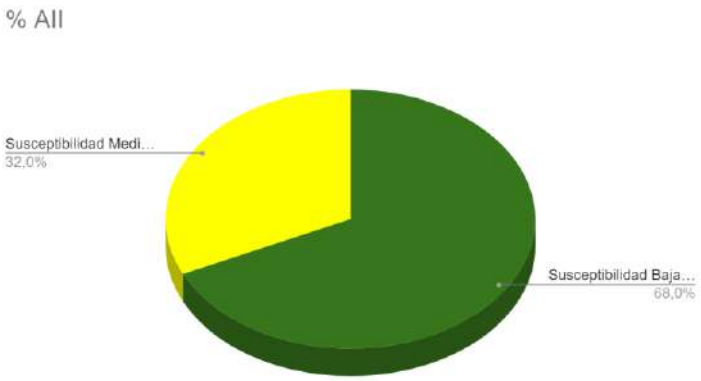


Figura 25. Distribución espacial en porcentaje de los resultados de la zonificación de susceptibilidad a la ocurrencia de procesos de remoción en masa en el área de influencia indirecta del proyecto
Fuente: UT MOVIUS 2022

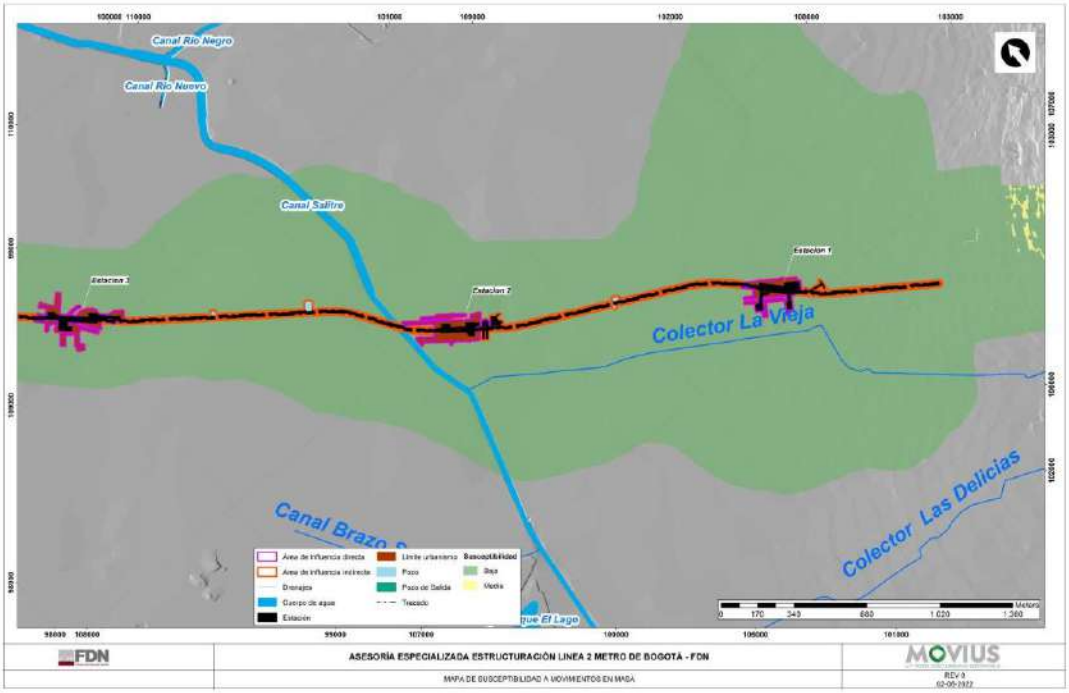


Figura 26. Zonificación susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra las perforaciones y los cuerpos de agua superficial
Fuente: UT MOVIUS 2022

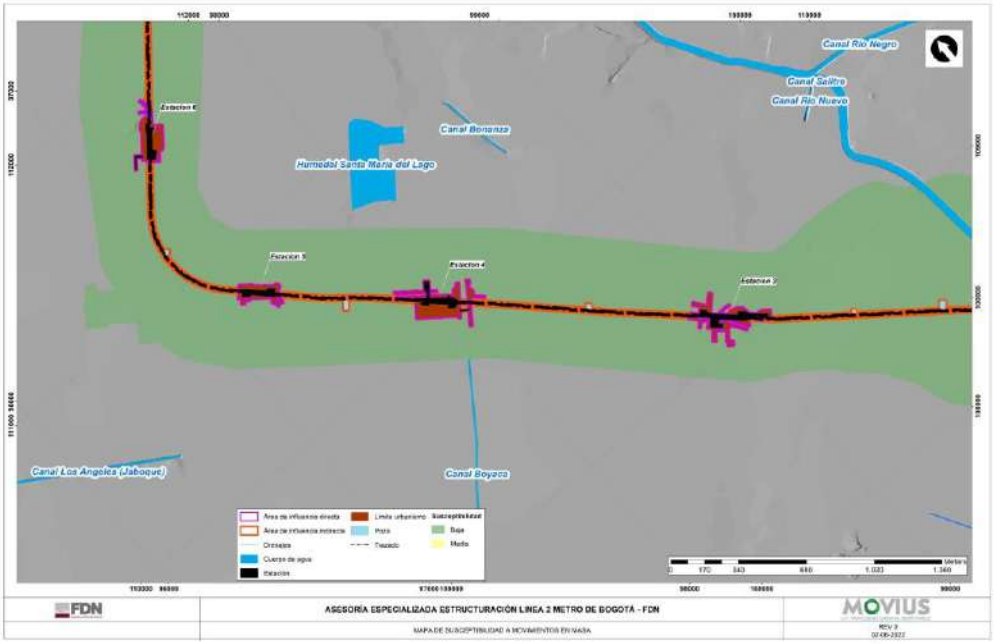


Figura 27. Zonificación susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra los cuerpos de agua
Fuente: UT MOVIUS 2022

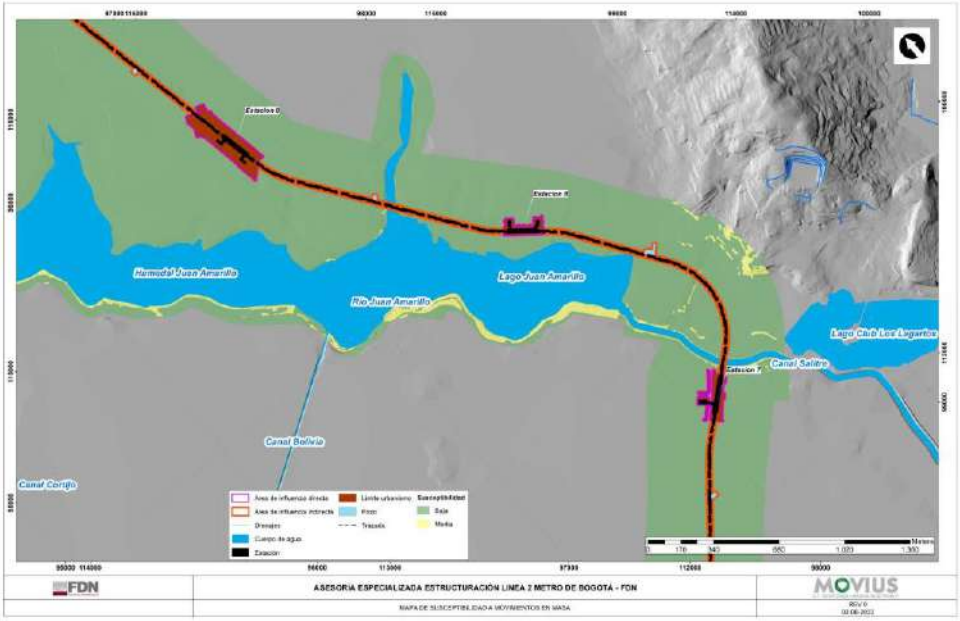


Figura 28. Zonificación susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes.
Fuente: UT MOVIUS 2022

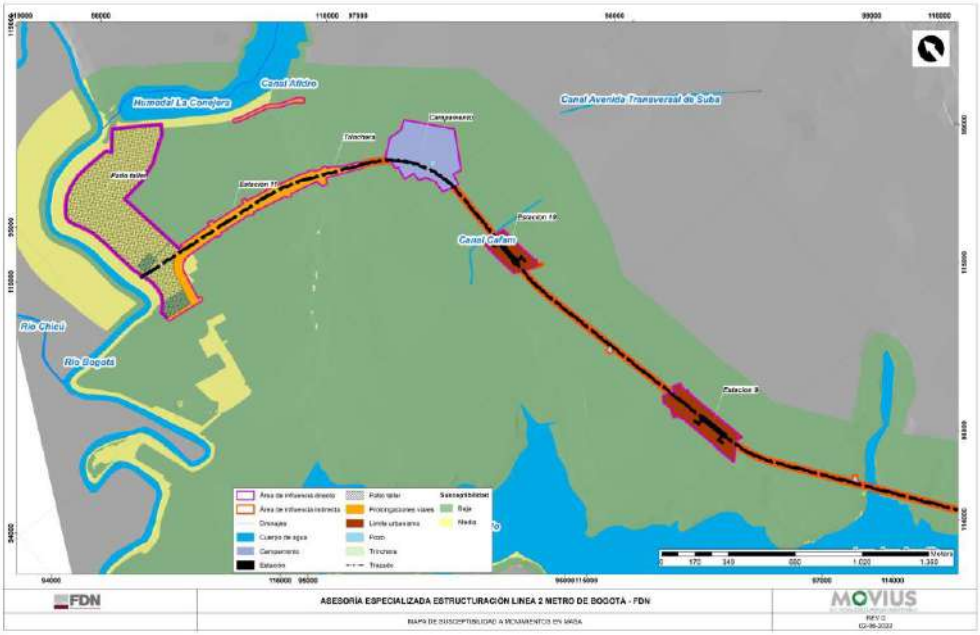


Figura 29. Zonificación susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - río Bogotá.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.3. Paisaje

5.2.1.3.1. Caracterización

El análisis de paisaje se desarrolla desde los ámbitos abiótico, biótico y cultural[2] [3], donde en el primero se consideran aspectos como el relieve, la hidrología y los suelos. Por lo tanto, el paisaje refleja la expresión espacial y visual del medio[4], las cuales pueden presentar una alta fragilidad o resiliencia a los cambios que se realicen sobre este dependiendo de los atributos que lo componen. Dado que son múltiples las variables asociadas a estos ámbitos, se considera que el paisaje es altamente susceptible a cualquier cambio en el mismo, es decir, tiene un alto nivel de fragilidad. Se consideran entre los atributos del paisaje la fragilidad, la belleza y la calidad del mismo como factores principales.

El análisis del paisaje visual considera la estética y la capacidad de percepción de los observadores, en este caso los habitantes presentes en áreas aledañas al proyecto. Existe un consenso generalizado entre poblaciones de diversas culturas por aquellos paisajes en los que se observa la presencia de vegetación y enclaves de agua, donde son más llamativos aquellos que presentan coberturas vegetales con elementos arbóreos, agua con aspecto limpio y prístino o si presenta pequeños saltos o cascadas. Junto a estas características también es importante la variedad o diversidad temática[5].

[2] Bernáldez González, F. (1985). *Invitación a la ecología humana: La adaptación afectiva al entorno*. Tecnos.
[3] de la Fuente, De Val, G., Atauri Mezquida, J., & de Lucio Fernández, J. (2004). El aprecio por el paisaje y su utilidad en la conservación de los paisajes de Chile Central. *Ecosistemas*, *13*(2).
[4] Bolós, M. (1992). *Manual de ciencia del paisaje: Teoría, métodos y aplicaciones*. Masson.
[5] de la Fuente, et al. (2004). Op. cit.

Los atributos de paisaje serán evaluados con base en el área de influencia definida, denominada Área de Influencia Final de Paisaje - AIPa con un total de 202,17 ha (ver Figura 30, plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0016_V01. Unidades de paisaje (escala 1:2.000) y su interacción con el Proyecto), donde se consideraron aspectos como los observadores, que se delimitan mediante su área visual y factores físicos que faciliten la visualización, como vías de acceso o edificaciones superiores a los tres pisos, además de los aspectos culturales que denotan las zonas verdes y los espejos de agua como los aspectos más importantes del paisaje para los pobladores.



Figura 30. Área de influencia de paisaje (AIPa).
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.3.2. Aspectos metodológicos de la caracterización del paisaje

El análisis de paisaje se realizó sobre el área de influencia delimitada específica para este componente, esta se determinó teniendo de base la ubicación de los observadores tanto permanentes como transitorios, su capacidad de visión (escala visual), la visibilidad dada por el relieve de la zona y la evaluación de la percepción del paisaje por parte de la población local que son factores claves para determinar la extensión del área. Estas variables determinan cómo el paisaje puede adecuarse a los cambios a los que se ve sujeto y si estos son considerados de forma positiva o negativa por la población.

Los resultados obtenidos de la evaluación de los elementos que componen el paisaje en el área de influencia, así como la percepción de los elementos que lo componen por parte de los observadores se presentan a continuación, en donde se realizó una descripción del paisaje asociado al proyecto, en este se describen los atributos asociados por zonas y las diversas variables que componen el paisaje como son los elementos físicos del paisaje (relieve, cursos o láminas de agua), elementos bióticos del paisaje (flora y fauna) y elementos antrópicos del paisaje (Infraestructura).

Una vez valorados los elementos que componen el paisaje se presentan los resultados del estado del paisaje en el área de influencia del proyecto, teniendo en cuenta la calidad visual, fragilidad visual, belleza paisajística. A partir de la zonificación obtenida de la valoración de la calidad y la fragilidad visual, se procedió a identificar las unidades del paisaje. Dentro del área de influencia se contempla la presencia de nueve unidades de paisaje que incluyen áreas con diferentes grados de calidad y fragilidad visuales del paisaje,la metodología empleada se presenta a continuación:

5.2.1.3.2.1. Elementos o atributos del paisaje

Los componentes del paisaje son los aspectos del territorio diferenciables a simple vista y que lo configuran[6]. Estos se distribuyen en tres grupos:

- Físicos: formas de terreno, superficies del suelo, rocas, cursos o láminas de agua, nieve.
- Bióticos: vegetación y fauna
- Actuaciones humanas: diversos tipos de infraestructuras realizadas por el hombre, ya sean puntuales, extensivas o lineales.

Los atributos del paisaje para el área de influencia se identifican mediante el análisis de la ortofoto satelital (12-2021). Por lo tanto, el mapa de coberturas vegetales es acotado al área de influencia de este componente y se toma información de otros medios como la línea base de fauna y flora (ver capítulo 5.3), fotografías, información de caracterización socioeconómica y revisión bibliográfica.

Como parte de la descripción de los atributos del paisaje, se realiza una descripción de aspectos fisiográficos, usando las pendientes identificadas dentro del área delimitada para el componente de paisaje como aproximación a su relieve. Esto se realiza con base en un modelo de elevación DEM ALOS de (2011) de 12,5 m al cual permite clasificar las pendientes según su porcentaje de inclinación, de acuerdo con los dominios establecidos en la GDB (Tabla 19) según se recomienda en los términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental ET-05 (2022).

Tabla 19. Clasificación de las pendientes utilizada en la descripción de elementos del paisaje de acuerdo a GDB.

Clasificación
A nivel, 0-3% (a)
Ligeramente inclinada, 3-7% (b)
Moderadamente inclinada, 7-12% (c)
Fuertemente inclinada, 12-25% (d)
Ligeramente escarpada o ligeramente empinada, 25-50% (e)
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada, 50-75% (f)
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada, >75 (g)

Fuente: UT MOVIUS 2022

[6] AGUILO, Miguel; MAQUA, María Paz Aramburu y BOMBÍN, Rafael Escribano. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 1992. 809 p.

5.2.1.3.2.2. Unidades de paisaje local

Conceptualmente el Servicio de Evaluación Ambiental de Chile (SEA)[7] realiza una definición de las unidades de paisaje, las cuales asocian al reconocimiento de porciones del territorio que tienen una apariencia homogénea, la cual es resultante de la combinación de sus atributos visuales. Esta homogeneidad está dada a través de la combinación de rasgos parecidos o por la repetición de formas.

Teniendo en cuenta la definición anterior, y a partir de la información obtenida de la calidad visual del paisaje e índice de fragilidad visual, se clasificaron las unidades de acuerdo con los atributos del paisaje evaluado (relieve, vegetación, color, cuerpos de agua, etc.) en unidades homogéneas basadas en estas dos variables, las unidades se presentan a una escala igual o menor a 1.2000. La delimitación de las unidades de paisaje se establece según las siguientes características (Tabla 20).

Tabla 20. Unidades de paisaje definidas para el área de Influencia del paisaje

Unidad	Nombre	Descripción
Aal	Calidad visual alta y fragilidad visual alta	Superficies con rasgos singulares y sobresalientes pero que cuentan con una baja capacidad de absorción visual, es decir, una alta fragilidad visual
Amd	Calidad visual alta y fragilidad visual media	Superficies con rasgos singulares y sobresalientes, los cuales cuentan con una capacidad visual de absorción media o una media fragilidad visual
Abj	Calidad visual alta y fragilidad visual baja	Superficies con rasgos singulares y sobresalientes que cuentan con una capacidad de absorción visual alta, es decir, una baja fragilidad visual
Mal	Calidad visual media y fragilidad visual alta	Áreas con variedad de rasgos, pero los cuales resultan comunes en la región estudiada. Estas superficies cuentan con una baja capacidad de absorción visual, es decir, una alta fragilidad visual
Mmd	Calidad visual media y fragilidad visual media	Áreas con variedad de rasgos pero los cuales resultan comunes en la región estudiada; cuentan con una capacidad visual de absorción media o una media fragilidad visual
Mbj	Calidad visual media y fragilidad visual baja	Áreas con variedad de rasgos pero los cuales resultan comunes en la región estudiada, estos presentan una capacidad de absorción visual alta, es decir, una baja fragilidad visual
Bal	Calidad visual baja y fragilidad visual alta	Áreas cuyo valor del paisaje es mínimo; cuentan con una baja capacidad de absorción visual, es decir, una alta fragilidad visual
Bmd	Calidad visual baja y fragilidad visual media	Áreas cuyo valor del paisaje es mínimo; cuentan con una capacidad visual de absorción media o una media fragilidad visual

[7] SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (SEA). Guía de Evaluación de Impacto Ambiental del Valor Paisajístico en el SEIA. Santiago de Chile: SEA, 2013. p 115.

Unidad	Nombre	Descripción
Bbj	Calidad visual baja y fragilidad visual baja	Áreas cuyo valor del paisaje es mínimo y que presentan una capacidad de absorción visual alta, es decir, una baja fragilidad visual

Fuente: UT MOVIUS 2022

Se presenta a continuación la metodología empleada para la estimación de la calidad visual y fragilidad visual, la cual incluye una clasificación de los elementos biofísicos que componen el paisaje.

La metodología para calidad visual y fragilidad sigue conceptualmente a Yeomans[8] y BLM (U.S.D.I., Bureau of Land Management)[9], los cuales dan una valoración a los elementos del paisaje descritos en el numeral anterior. Adicionalmente, a la estimación de la calidad y fragilidad visual, se estima el índice de belleza paisajística mediante la metodología propuesta por USDA[10]. Este tiene como objetivo estimar el valor del paisaje a través de la valoración de los atributos bióticos que lo componen y la escala visual, con el fin de identificar la percepción que podrían tener los habitantes del sector acerca del paisaje actual.

En la Tabla 21 se presentan los atributos e insumos evaluados para cada uno de los parámetros mencionados (calidad visual, fragilidad visual e índice de belleza paisajística), teniendo en cuenta el tipo de elemento del paisaje.

Tabla 21. Atributos evaluados para cada uno de los parámetros de acuerdo con los elementos del Paisaje

Parámetro	Atributo	Elemento del paisaje	Insumo
Calidad visual	Relieve	Físico	DEM Geovisor del Distrito 2m
	Vegetación	Biótico	Capa de coberturas de la tierra escala 1:2.000
	Agua (Cuerpos de agua)	Físico	Capa de drenajes 1:7.000
	Color	Físico, biótico y actuaciones humanas	Capa de coberturas de la tierra escala 1:2.000
	Rareza	Físico-biótico	Capa de coberturas de la tierra escala 1:2.000
	Modificaciones antrópicas	Actuaciones humanas (antrópico)	Capa de coberturas de la tierra escala 1:2.000
	Influencia de paisajes adyacentes en todos sus componentes	Físico, biótico y actuaciones humanas	Capa de coberturas de la tierra escala 1:2.000
Fragilidad visual	Relieve	Físico	DEM ALOS Palsar 2011 de 1 m
	Diversidad estructural en la vegetación	Biótico	Capa de coberturas de la tierra escala 1:2.000
	Estabilidad del suelo y	Físico	Capa de susceptibilidad por remoción

[8] YEOMANS, W. C. Visual Impact Assessment: Changes in natural and rural environment. New York: John Wiley and sons, 1986.
[9] BLM (U.S.D.I., Bureau of Land Management). Visual simulation techniques. Washington D.C.: Gubernament Printing Office, 1980. 38 p.
[10] USDA. Landscape Aesthetics. A handbook for scenary management. U.S.A: United States Department of Agriculture. 1995, Agriculture Handbook Number 701, 104 p.

Parámetro	Atributo	Elemento del paisaje	Insumo
	erosionabilidad		en masa escala 1:7.000
	Contraste suelo-vegetación	Físico	Ortofoto 2021
	Potencial de regeneración en la vegetación	Biótico	Capa de coberturas de la tierra escala 1:2.000
	Contraste de color entre suelos y rocas	Físico	Ortofoto 2021
Índice de belleza paisajístico	Atractivo escénico	Físico-biótico	Capa de coberturas de la tierra escala 1:2.000 y percepción de los observadores evaluada a partir de información social obtenida en campo
	Elementos discordantes	Actuaciones humanas (antrópico)	Capa de coberturas de la tierra escala 1:2.000
	Correspondencia cromática	Físico, biótico y actuaciones humanas	Capa de coberturas de la tierra escala 1:2.000
	Integridad escénica	Biótico	Capa de coberturas de la tierra escala 1:2.000
	Escala visual	Percepción visual del entorno	Puntos de observación y capa de escala visual
	Nivel de interés	Percepción visual del entorno	Valoración del atractivo escénico y la escala visual

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Calidad visual del paisaje.

Esta se define como el grado de excelencia o mérito que un determinado paisaje presenta, el cual es definido en función del análisis y valoración de sus atributos biofísicos, estéticos y estructurales[11].

La evaluación de la calidad visual del paisaje se desarrolló siguiendo los lineamientos establecidos por Bureau of Land Management[12], que consiste en valorar el paisaje de acuerdo con las características de relieve, vegetación, presencia de los cuerpos de agua, color, rareza, influencia de escenarios adyacentes e influencia antrópica. Se presenta a continuación la calificación de cada uno de los elementos mencionados de acuerdo con sus características (Tabla 22).

[11] SEA. Op. cit. p.31.
[12] BLM. Op. cit. p.32.

Tabla 22. Valoración de los elementos del paisaje para estimar la calidad visual

Elementos del Paisaje	Descripción		
Relieve	Relieve muy montañoso, marcado y prominente. Relieve de gran variedad superficial o muy erosionado. Presencia de algún rasgo singular y dominante. Pendientes superiores a 50%	Colinas suaves, fondos de valles planos, pocos o ningún detalle singular.Formas erosivas interesantes o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de formas y detalles interesantes pero no dominantes o excepcionales. Pendientes menores a 50%	
	Puntuación: 5	**Puntuación: 3**	
Vegetación	Gran variedad de tipos de vegetación, con formas, textura y distribución interesantes. Se encuentran asociadas a coberturas poco intervenidas o con una percepción de intervención baja.	Alguna variedad en la vegetación, pero solo uno o dos tipos. Asociada con los pastos, cultivos y mosaicos.	Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación. En esta categoría incluye las tierras desnudas y degradadas, vías e infraestructura, entre otros.
	Puntuación: 5	**Puntuación: 3**	**Puntuación: 1**
Agua (Cuerpos de agua)	Presencia de drenajes con numerosos e inusuales cambios en el cauce. Incluye ríos, cascadas, rápidos, pozas o meandros, los cuales son un factor dominante en el paisaje.	Presencia de drenajes o agua en reposo permanente, aunque no domina el paisaje.	Superficies ausentes o presentes pero no perceptibles, se incluyen los arroyos intermitentes dentro de esta categoría.
	Puntuación: 5	**Puntuación: 3**	**Puntuación: 0**
Color	Combinaciones de color intensas y variadas o contrastes agradables entre suelo, vegetación, roca y agua.	Característico, aunque similar a otros en la región.	Bastante común en la región
	Puntuación: 5	**Puntuación: 3**	**Puntuación: 1**
Rareza	Único en su clase, inusualmente memorable, o muy raro dentro de la región. Hábitat para la fauna excepcional y posibilidad de visualización de flores silvestres, etc.	Distintivo, aunque algo similar a otros dentro de la región.	Interesante dentro de su entorno, pero bastante común en la región.
	Puntuación: 5	**Puntuación: 3**	**Puntuación: 1**
Modificaciones antrópicas	Las modificaciones agregan favorablemente a la variedad visual mientras promueven la armonía visual.	Las modificaciones añaden poca o ninguna variedad visual a la zona, e introducen elementos no discordantes.	Las modificaciones añaden variedad, pero son muy discordantes y promueven una fuerte desarmonía.

Elementos del Paisaje	Descripción		
	Puntuación: 2	**Puntuación: 0**	**Puntuación: -4**
Influencia de paisajes adyacentes en todos sus componentes	El paisaje adyacente mejora en gran medida la calidad visual.	El paisaje adyacente mejora moderadamente la calidad visual general.	El paisaje adyacente tiene poca o ninguna influencia en la calidad visual general.
	Puntuación: 5	**Puntuación: 3**	**Puntuación: 0**

Fuente: UT MOVIUS 2022

Se resalta que las calificaciones del modelo se calibraron para realizar el análisis del estudio dado que se encuentra completamente contenido en una matriz urbana. Dicha calibración consistió en el reconocimiento de la significancia paisajística de las zonas verdes urbanas presentes dentro del área[13] y aunque estas carecen de los elementos estructurales típicos de zonas naturales como bosques o vegetación secundaria, los cuales aportan en gran medida al paisaje por la cantidad y variedad de especies de fauna y flora, combinación de colores, formas y diversidad de elementos, en un entorno meramente urbano como la ciudad de Bogotá, las zonas verdes agregan los únicos elementos seminaturales y ornamentales en el área[14] y de aprecio para las comunidades [15]. Por lo tanto, se les otorga una puntuación de tres en términos de su vegetación, color y rareza para destacar su importancia en la calidad visual urbana donde son escasos los elementos vegetales, aunque estas áreas cuenten atributos que disten de coberturas más atractivas como son los territorios agrícolas o naturales.

Calificados los elementos, se procedió a realizar un mapa de calidad visual, que consistió en la ponderación de los elementos con igual peso, lo que dio como resultado la calidad visual de las unidades homogéneas para el área de estudio. Esta ponderación corresponde a la superposición de cada uno de los mapas por parámetro, la cual se llevó a cabo mediante el álgebra de mapas. Se presenta a continuación la clasificación para la calidad visual; esta se realizó teniendo en cuenta el resultado de la ponderación de la calidad visual (sumatoria de cada uno de los atributos del paisaje). Para su clasificación se empleó la siguiente ecuación (Ecuación 1).

$$Amplitud = \frac{(xMax - xMin)}{n}$$

Ecuación 1. Ecuación amplitud para cálculo de calidad, fragilidad y belleza paisajística.

Donde:
xMax: Valor máximo de la ponderación
xMin: valor mínimo Valor mínimo de la ponderación
n: Número de clases

En la Tabla 23 se presenta la clasificación de los rangos de calidad visual para el área de influencia físico-biótica.

[13] KARADE, Ratnakar; KUCHI, Venkata y SALMA, Zehra. The Role of Green Space for Sustainable Landscape Development in Urban Areas. *International Archive of Applied Sciences and Technology*. 2017, Vol. *8*, pp. 76–79.

[14] SWANWICK, Carys; DUNNETT, Nigel y WOOLLEY, Helen. Nature, Role and Value of Green Space in Towns and Cities: An Overview. *Built Environment (1978-)*. 2003, Vol. *29,* nro. 2, pp. 94–106.
[15] PARKER, Jackie. y SIMPSON, Greg. D. Public Green Infrastructure Contributes to City Livability: A Systematic Quantitative Review. *Land*. 2018, Vo*l.* 7, nro.4, pp. 161.

Tabla 23. Valoración de la Calidad Visual Total

Clasificación de la calidad visual	Rango	Descripción
Calidad visual alta	>21,3	Áreas con rasgos singulares y sobresalientes
Calidad visual media	10,7 - ≤ 21,3	Área cuyos rasgos poseen variedad en la forma, color, línea y textura, y resultan comunes en la región estudiada
Calidad visual baja	< 10,7	Áreas de calidad baja, áreas con muy poca variedad en la forma, color, línea y textura

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Análisis de fragilidad del paisaje.

Para el análisis de fragilidad del paisaje se sigue la metodología establecida por Yeomans[16], mediante la cual a la superficie estudiada se le asignan valores según las condiciones y criterios, con base en la información obtenida en campo por parte del personal que realizó los muestreos. Se presenta a continuación la valoración para cada uno de los elementos que se evalúa en el análisis de fragilidad[17] (Tabla 24).

Tabla 24. Valoración para los elementos del paisaje desde la fragilidad visual

Factor	Características	Valores	
Relieve (S) Cuanto más inclinada es la pendiente, menor es la capacidad de absorción visual	Escarpado (superior a 50% de pendiente)	Bajo	1
	Relativamente plano y moderadamente escarpado (0% - 50% de pendiente)	Moderado	2
Diversidad estructural en la vegetación (D) Cuanto mayor es la diversidad, mayor es el potencial de capacidad de absorción visual	Baja (superficies sin vegetación, pastos y malezas)	Bajo	1
	Media (plantaciones forestales, cultivos y mosaicos)	Moderado	2
	Diversificada (bosques, incluye vegetación secundaria y elementos con coberturas naturales que presenten grados de alteración limitados)	Alto	3
Estabilidad del suelo y erosionabilidad (E) Un alto riesgo de erosión e inestabilidad produce una menor capacidad de absorción visual; riesgos bajos de erosión producen una mayor capacidad de absorción visual	Restricción alta derivada de riesgos altos de erosión e inestabilidad y baja regeneración	Bajo	1
	Restricción moderada debido a riesgos de erosión e inestabilidad y baja regeneración	Moderado	2
	Poca restricción por riesgos bajos de erosión e inestabilidad y buen potencial de regeneración	Alto	3
Contraste suelo-vegetación (V) Cuanto mayor sea el contraste, mayor será	Alto contraste visual entre suelos expuestos y la vegetación adyacente	Bajo	1

[16] YEOMANS. Op. cit., p.32.
[17] Ibíd., p35.

Factor	Características	Valores	
la capacidad de absorción visual	Contraste visual moderado entre los suelos expuestos y la vegetación adyacente	Moderado	2
	Bajo contraste visual entre los suelos expuestos y la vegetación adyacente	Alto	3
Potencial de regeneración en la vegetación (R) Un alto potencial de regeneración eleva la capacidad de absorción visual	Bajo potencial	Bajo	1
	Regeneración moderada o potencial de regeneración	Moderado	2
	Alta regeneración	Alto	3
Contraste de color entre suelos y rocas (C) Un alto valor de contraste disminuye la capacidad de absorción visual debido a una mayor exposición a la vista	Alto contraste	Bajo	1
	Contraste moderado	Moderado	2
	Bajo contraste	Alto	3

Fuente: UT MOVIUS 2022

Para la fragilidad visual también se realiza una calibración del modelo con base en la importancia de las zonas verdes urbanas[18] previamente mencionada en calidad visual, a esta cobertura artificializada se le asigna un valor de tres en la variable de diversidad. Esto tiene por objetivo representar el contraste que existe con las zonas urbanas completamente carentes de vegetación y que en estas áreas algunos elementos vegetales están presentes a pesar de no poseer los rasgos de diversidad de coberturas como territorios agrícolas o bosques. Sin embargo, se mantiene el potencial de regeneración como bajo para estas zonas verdes urbanas, debido al manejo antrópico rutinario que se realiza sobre estas no permiten procesos de regeneración natural, sino que la vegetación que permanece está condicionada a los manejos como podas y talas, y la selección artificial de especies por los organismos de control como el Jardín Botánico de Bogotá.

Evaluados cada uno de los factores se procedió a estimar la fragilidad del paisaje mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad de absorción visual (CAV)} = S*(E+R+D+C+V)$$

Ecuación 2. Capacidad de absorción visual

Donde:
CAV: Capacidad de absorción visual del paisaje.
S: Relieve.
E: Estabilidad del suelo y erosionabilidad
R: Potencial de regeneración en la vegetación (R)
D: Diversidad estructural en la vegetación (D
C: Contraste de color entre suelos y rocas.
V: Contraste suelo-vegetación.

Estimada la capacidad de absorción del paisaje, se procedió a clasificar la fragilidad visual del paisaje, teniendo en cuenta que a mayor capacidad de absorción visual la fragilidad visual es menor y viceversa. Se presenta a continuación la clasificación de la fragilidad visual (Tabla 25); para esta se empleó la ecuación presentada en la Ecuación 1, teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la ponderación de las variables.

[18] SWANWICK, Carys; DUNNETT, Nigel y WOOLLEY, Helen. Nature, Role and Value of Green Space in Towns and Cities: An Overview. *Built Environment (1978-)*. 2003, Vol. *29,* nro. 2, pp. 94–106.

Tabla 25. Clasificación de la capacidad de absorción visual y la fragilidad visual

Capacidad de absorción del paisaje (CAV)	Rango	Descripción	Fragilidad visual del paisaje
Bajo	5 - ≤ 18,33	Superficies con baja capacidad de absorción y alta fragilidad	Fragilidad alta
Moderada	> 18,33 - ≤ 31,67	Superficies con capacidad moderada de absorción y fragilidad media	Fragilidad moderada
Alto	> 31,67	Superficies con alta capacidad de absorción y baja fragilidad	Fragilidad baja

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Índice de belleza paisajística.

Para determinar el índice de belleza del paisaje del área de estudio, el cual permite generar una zonificación del paisaje, se realizó la intersección de los valores asignados a los cinco criterios evaluados: atractivo escénico, elementos discordantes, correspondencia cromática, integridad escénica y escalas visuales[19]. A continuación, se presenta la descripción de cada uno de los parámetros evaluados.

Atractivo escénico: corresponde a aquellos elementos definidos por la percepción humana a través de la belleza intrínseca de las formas de la tierra, como la presencia de recursos históricos y arquitectónicos que presentan gran importancia para la región, las coberturas naturales o afloramientos rocosos. Para este parámetro se tuvo en cuenta el plano de coberturas de la tierra y los lugares identificados como de interés paisajístico. Su valoración se presenta en la Tabla 27.

Elementos discordantes: corresponden a aquellos elementos que no armonizan con el paisaje, principalmente coberturas de origen antrópico que no dan continuidad a las formas y modifican la calidad visual del paisaje (estructuras industriales, vías, construcciones, etc.). La valoración se presenta en la Tabla 27.

Tamaño de la discordancia: hace referencia a la superficie ocupada por cada uno de los elementos discordantes identificados con respecto a la unidad de paisaje. El tamaño de la discordancia se estimará luego de que sean definidas las unidades de paisaje para el área de influencia biótica; se clasifica de acuerdo con lo mencionado en la Tabla 26.

Tabla 26. Clasificación del Tamaño de la Discordancia

Tamaño de la discordancia por unidad de paisaje	Valoración
≥30%	Alto
5% - 30%	Medio
0> y ≤5%	Bajo
0	Nula

Fuente: UT MOVIUS 2022

[19] USDA.Op. cit., p. 104.

Correspondencia cromática: hace relación a la diversidad de tonos presentes en el área de estudio y que tienen la capacidad de absorber las modificaciones que se realizan al paisaje. Por lo general, aquellos elementos que presentan una mayor correspondencia cromática se asocian con las coberturas naturales (bosques de ribera, ríos, afloramientos rocosos, etc.); no obstante, existen coberturas antrópicas (vías, construcciones, industrias) o antropizadas (cultivos, pastos, etc.) que presentan una alta correspondencia cromática y que, por lo tanto, producen una menor incidencia sobre el paisaje. La valoración se presenta en la Tabla 27.

Integridad escénica: se define como el grado de desviación directa causada por el hombre en el paisaje. Elementos con una muy baja integridad escénica corresponden a las vías, zonas industriales, zonas de disposición de residuos, entre otras. En la Tabla 27 se presentan los niveles de integridad escénica.

Escala visual: corresponde a los planos que podría visualizar el observador de su entorno. El insumo para este análisis se construyó a partir de la identificación de los centros poblados, tejido urbano discontinuo y lugares de tránsito como vías y caminos, sobre los cuales se establecen puntos u observadores y mediante los cuales se crea un buffer de acuerdo con los rangos establecidos en la Tabla 27. En esta tabla también se presenta la valoración, de acuerdo con el rango del plano categorizados según la USDA[20].

Nivel de interés paisajístico: es la relación entre el paisaje visto por el observador a cierta distancia (escala visual) y el grado de interés en dicho paisaje; este grado de interés estará en sintonía con las preferencias de los habitantes para el área de estudio. La información para elaborar la calificación de este aparte, tendrá en cuenta los registros tomados de las encuestas realizadas para la caracterización de los servicios ecosistémicos y la percepción del personal en campo. En la Tabla 27 se presenta la calificación.

Tabla 27. Clasificación de los atributos del índice de belleza paisajística

Elemento / parámetro	Descripción	Calificación
Atractivo escénico	Deteriorado	1
	Común o típico	3
	Singular	5
Elementos discordantes	Alto (> 3 elementos)	1
	Medio (2 elementos)	2
	Bajo (un elemento)	3
	Nulo (no hay elementos discordantes)	4
Correspondencia cromática	Alto (alta correspondencia cromática)	1
	Medio (correspondencia cromática media)	2
	Bajo (Baja correspondencia cromática)	3
	Nulo	4
Integridad escénica	Muy baja (muy alterado)	1
	Baja (moderadamente alterado)	2

[20] USDA.Op. cit., p. 104

Elemento / parámetro	Descripción	Calificación
	Moderada (levemente alterado)	3
	Alta (parece inalterado)	4
	Muy alta (inalterado)	5
Escala visual	Plano inmediato (0 - 100 m)	1
	Primer plano (100 - 800m)	2
	Plano intermedio (800 - 6000 m)	3
	Plano lejano (mayor a 6000 m)	4
Nivel de Interés	Vista inmediata con interés bajo	1
	Vista en primer plano con interés bajo	2
	Vista intermedia con interés bajo	3
	Vista lejana con interés bajo	4
	Vista inmediata con interés medio	5
	Vista en primer plano con interés medio	6
	Vista intermedia con interés medio	7
	Vista lejana con interés medio	8
	Vista inmediata con interés alto	9
	Vista en primer plano con interés alto	10
	Vista intermedia con interés alto	11
	Vista lejana con interés alto	12

Fuente: UT MOVIUS 2022

Índice final de belleza del paisaje: el índice final de belleza corresponde a la sumatoria de todos los elementos evaluados anteriormente. El cruce de esta información y la estimación del índice se realizaron mediante el álgebra de mapas, asumiendo que todos los elementos tienen igual peso para el análisis. En la Tabla 28, que se presenta a continuación, se establece la valoración para el índice final de belleza del paisaje, el cual se estimó a partir de la ecuación establecida en la Ecuación 1, teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos obtenidos de la ponderación.

Tabla 28. Clasificación del Índice de Belleza

Índice final de belleza del paisaje	Descripción	Valor
Bajo	Superficies con elementos comunes que registran una alta correspondencia cromática y elementos con una alta influencia antrópica.	6 - ≤ 15,3

Índice final de belleza del paisaje	Descripción	Valor
Medio	Superficies con elementos comunes, los cuales registran una correspondencia cromática media y elementos que aunque han sido modificados por las actividades humanas, agregan valor al paisaje.	> 15,3 - ≤ 24,7
Alto	Superficies con elementos singulares, y una correspondencia cromática baja y nula, lo cuales registran un bajo grado de intervención lo que hace que registren una alta valoración por parte del observador.	> 24,7

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Análisis de visibilidad de las unidades de paisaje local.

Con el fin de identificar las superficies que serán vistas desde los lugares que con mayor frecuencia son transitados por los habitantes del área de influencia, se realizó la delimitación de la cuenca visual mediante herramientas de información geográfica, a través de la herramienta Viewshed. Para el cálculo de la cuenca visual se utilizaron los siguientes insumos:

- Puntos de observación: consiste en ubicar sobre el área de influencia las superficies que presentan un mayor tránsito de personas, mediante puntos asignados allí donde se presenta tejido urbano continuo, que coincide con el equipamiento social reconocido.
- Modelo digital de elevación (DEM por sus siglas en inglés): Se descarga un DEM ALOS Palsar año 2011 (resolución 12,5 m), el cual se complementa con información topográfica de detalle en el área de intervención.

Con la información listada se procede a realizar el análisis de cuenca visual. Este da como resultado un mapa binario de dos categorías: zonas visibles y no visibles. La información obtenida de la modelación se cruza con la escala visual definida en el numeral Índice de belleza paisajística, que se clasifica de acuerdo con lo establecido en Tabla 27, a fin de identificar las unidades que serán percibidas en mayor detalle por los observadores.

- Descripción del proyecto dentro del componente paisajístico.

La descripción del componente paisajístico consistió en la evaluación de las unidades de paisaje que serán intervenidas por el proyecto (área de intervención), esta información se incluye en el análisis de los resultados obtenidos de la calidad visual, la fragilidad y el índice de belleza paisajística para el área de influencia del proyecto.

5.2.1.3.2.3. Sitios de interés paisajístico.

Para realizar una descripción adecuada de la percepción del paisaje en el área de estudio y su importancia cultural en términos del paisaje, se tomó información a través de un formato aplicado por el equipo social entre el 29-03-22 y 08-04-22 (ver Anexo 5.2 -3.1 Formato de encuesta a comunidades del área del proyecto) que hizo parte de las actividades de socializaciones del presente estudio, no obstante se resalta la baja participación por parte de la comunidad que permitió obtener respuestas principalmente de líderes o lideresas de los diferentes barrios. Las preguntas realizadas a la comunidad corresponden a las siguientes:

- ¿Cuál es su nivel educativo? (Máximo/Culminado)
- ¿En cuál de las siguientes localidades usted habita?Suba, Engativá, Barrios Unidos, Chapinero , Otra.
- Indique el barrio
- ¿En qué sectores de la localidad disfruta del paisaje?¿Por qué le gusta frecuentar estos lugares?
- ¿Qué lugares al aire libre se emplean en su localidad para hacer actividades culturales, recreativas o celebraciones o compartir en familia?
- ¿Cuáles son los lugares más representativos visualmente de su localidad? ¿Por qué considera que son representativos?
- ¿Qué prefiere al mirar el paisaje?
    a. Las zonas naturales (la que no ha sido intervenida por el hombre) o con presencia de árboles
    b. Las zonas urbanas con diseños de ciudad (diseños arquitectónicos)

- ¿Cuál de estos elementos que hacen parte del paisaje, le resulta de su interés o satisfacción ? ¿Por qué?
    a. Ríos
    b. Canales
    c. Humedales
    d. Relieve
    e. Vegetación y Fauna (árboles, flores, aves)
    f. Parques
    g. Plazas
    h. Monumentos históricos
- En tres palabras describa el paisaje de su localidad
- ¿Le gustaría ver las estaciones en su localidad? ¿Por qué?

Por otro lado, para la identificación de sitios de interés paisajístico se consultó el POT de Bogotá D.C. de 2021 adoptado mediante decreto 555 de la Alcaldía Mayor de Bogotá, hallando elementos de paisaje asociados principalmente con la conservación y disfrute de sitios de interés paisajístico, en concordancia con la información revisada y cartografiada en el capítulo 5.3.2. ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL (EEP) – ÁREAS SENSIBLES. Esta información sirvió como base para desarrollar el plan de manejo paisajístico y así vincular el mismo a las políticas de desarrollo de la ciudad..

Es importante notar que dentro de la información obtenida, su clasificación como sitios de interés paisajístico estuvo ligada a dos ejes principales:

- Importancia en el paisaje o dependencia a este. Se buscó que los sitios contaran con atributos que les permita aportar o destacar en paisaje local por su atractivo o que dependan del paisaje adyacente para mantener su identidad o permitir prestar servicios económicos (ej. turísmo) o culturales (ej. religiosos). Dentro de estos sitios potenciales se podrían considerar por ejemplo zonas verdes y parques urbanos o sitios de importancia histórica o iglesias.

- Presencia en el área de influencia de paisaje. El elemento a considerar de importancia paisajística debería ser cartografiable y estar contenido total o parcialmente dentro del área de influencia, dado que esta área determina hasta dónde llega el impacto significativo al introducir el proyecto en el territorio y válida la caracterización del elemento. A partir de la información tomada por el formato aplicado se realiza la descripción del uso del paisaje de acuerdo a los grupos de interés identificados y el POT vigente de la ciudad de Bogotá.

5.2.1.3.3. Resultados

A partir del análisis descrito anteriormente se obtuvieron los siguientes resultados:

5.2.1.3.3.1. Elementos o atributos que componen el paisaje

El paisaje es la conjunción de las relaciones humanas (componente social) con los elementos naturales (Componente biótico) y los elementos físicos (componente abiótico) Se describen a continuación los elementos que componen el paisaje desde cada medio y los cuales fueron evaluados para determinar las características del paisaje en cuanto a calidad visual, fragilidad visual, índice de belleza paisajística y unidades del paisaje. Esta descripción permite reconocer el contexto del paisaje sobre el cual estará ubicado el proyecto.

El paisaje asociado al proyecto se encuentra incluido dentro de Bogotá D.C., el mayor centro poblado del país que presenta un alto grado de intervención antrópica. La sabana de Bogotá, al igual que el resto de la región andina de la cordillera oriental ha sido una de las zonas con mayores índices de transformación de las coberturas naturales y pérdida de hábitat natural como los bosques montanos y humedales[21] [22], esto se ha relacionado con la alta densidad poblacional y actividades productivas agrícolas y ganaderas que han llevado a que se mantenga un proceso de intervención a lo largo del tiempo desde tiempos prehispánicos hasta la actualidad[23].

Por lo tanto, el paisaje adyacente al proyecto se destaca por zonas mayormente urbanas dedicadas a la vivienda, transporte, comercio e industria. Esto refleja el alto grado de intervención y coberturas antrópicas a la cual la gran cantidad de población que vive en la zona ya se encuentra adecuada de manera histórica, aunque aún se mantienen remanentes de zonas verdes, cuerpos de agua canalizados y zonas importantes de humedales. Estos elementos se conjugan con diversas variables que componen el paisaje que se describirán a continuación:

- Elementos físicos del paisaje
    - Relieve

En el área de influencia del paisaje, predominan las superficies con pendientes bajas a planas que oscilan entre los 0 y 3% (b), las cuales ocupan un 90,31% del AIPa (ver Tabla 29, Figura 31). Le siguen en menor proporción las superficies con pendientes entre 3 a 7% que ocupan una proporción de 6,74% de y las pendientes moderadamente inclinadas entre 7 y 12% con 1,84%. El relieve con pendientes superiores al 12% es escaso dado que predominan las superficies asociadas a relieves planos con colinas leves dispersas en la zona, producto de características típicas de la sabana de Bogotá y los procesos constructivos de edificaciones sobre la zona, y solo se encuentran asociadas a zonas verdes urbanas o de canales de los cuerpos de agua de la zona.

Tabla 29. Pendiente en el área de influencia de paisaje

Clasificación	Área (ha)	Proporción
A nivel, 0-3%	182,57	90,31%
Ligeramente inclinada, 3-7%	13,62	6,74%
Moderadamente inclinada, 7-12%	3,73	1,84%

[21] Rodríguez Eraso, N., Armenteras-Pascual, D., & Alumbreros, J. R. (2013). Land use and land cover change in the Colombian Andes: Dynamics and future scenarios. Journal of Land Use Science, 8(2), 154–174.
[22] Armenteras, D., Espelta, J. M., Rodríguez, N., & Retana, J. (2017). Deforestation dynamics and drivers in different forest types in Latin America: Three decades of studies (1980–2010). Global Environmental Change, 46, 139–147.
[23] Correa Ayram, C. A., Etter, A., Díaz-Timoté, J., Rodríguez Buriticá, S., Ramírez, W., & Corzo, G. (2020). Spatiotemporal evaluation of the human footprint in Colombia: Four decades of anthropic impact in highly biodiverse ecosystems. Ecological Indicators, 117, 106630.

Clasificación	Área (ha)	Proporción
Fuertemente inclinada, 12-25%	0,86	0,43%
Ligeramente escarpada o ligeramente empinada, 25-50%	1,02	0,51%
Moderadamente empinada o moderadamente escarpada, 50-75%	0,33	0,16%
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada, >75%	0,03	0,01%
TOTAL	**202,17**	**100,00%**

Fuente: UT MOVIUS 2022

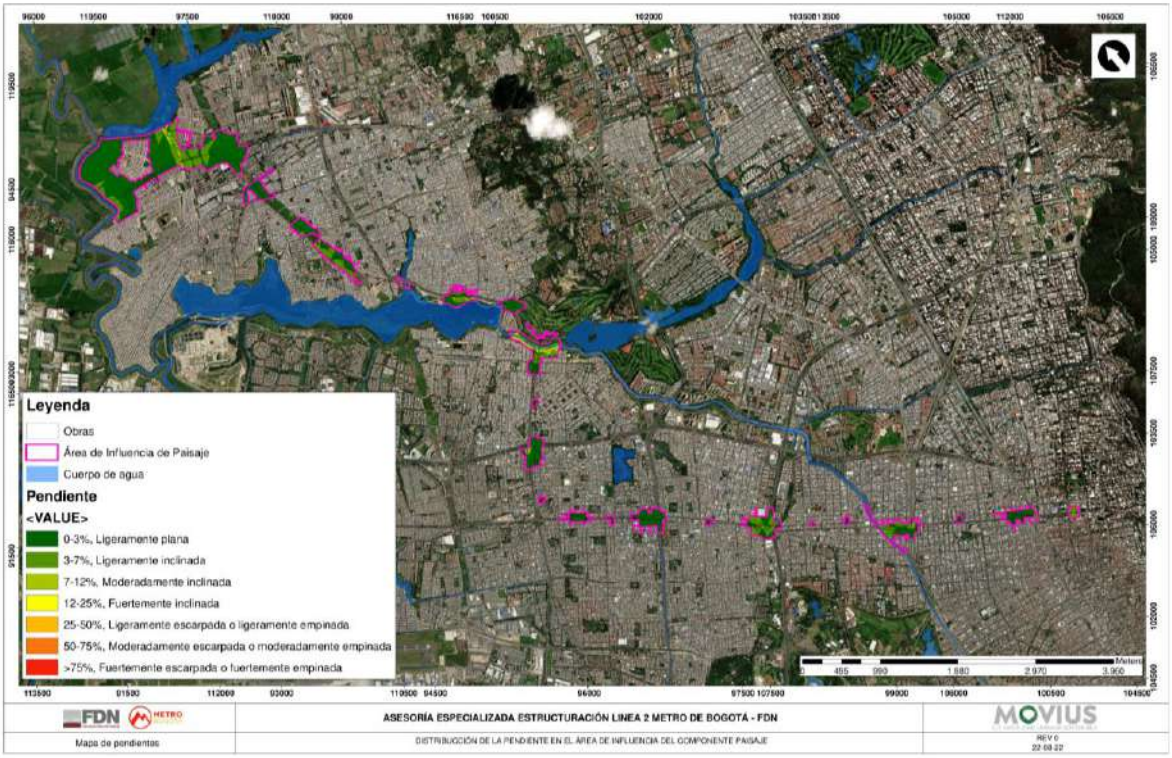


Figura 31. Distribución de la pendiente en el área de influencia
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Cuerpos de agua

Con base en la información descrita en el capítulo 5.2.2.1. Hidrología y de acuerdo con la zonificación hidrográfica establecida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el informe de "Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia" (IDEAM, 2013), el proyecto se localiza en el área

hidrográfica Magdalena Cauca (Código IDEAM 2), Zona hidrográfica Alto Magdalena (Código IDEAM 21) y la subzona hidrográfica río Bogotá (Código IDEAM 2120). Para los niveles subsiguientes se utilizarán los presentados en la Tabla 30.

Tabla 30. Localización del proyecto en la zonificación hidrográfica Nacional.

Área hidrográfica	Zona hidrográfica	Subzona hidrográfica	Unidad hidrográfica nivel I	Unidad hidrográfica nivel II	Código unidad hidrográfica nivel II
Magdalena Cauca (2)	Alto Magdalena (21)	Río Bogotá (2120)	Río Fucha (212008)	Río San Francisco	21200809
			Río Salitre (212009)	Juan Amarillo	21200909
				Canal Salitre	21200901
				Jaboque	21200902
				Quebrada Los Rosales	21200906
				Quebrada La Vieja	21200905

Fuente: UT MOVIUS 2022

A lo largo del trazado del proyecto se identifican cinco cuerpos lóticos importantes cercanos, tratándose de dos sistemas canalizados y tres cuerpos naturales de la ciudad. en este sentido, se encuentran los canales Cafam y Salitre y el brazo del humedal Juan Amarillo, cuerpos que son cruzados de manera subterránea por el proyecto, con caracteristicas propias de cuerpos artificializados. También se tiene el brazo del humedal Juan Amarillo con su sección transversal trapezoidal cubierta con pastos y vegetación en el inicio de su recorrido y con abundante vegetación en las bancas en su recorrido hasta el sitio de descarga. Finalmente, se tienen la Quebrada La vieja y el Río Bogotá, sistemas lóticos cercanos al proyecto pero que no son cruzados por el trazado de la L2MB, siendo cuerpos de importancia ecológica y paisajística para la zona. En la Figura 32 se visualiza la ubicación de estos cuerpos de agua respecto al trazado del proyecto.

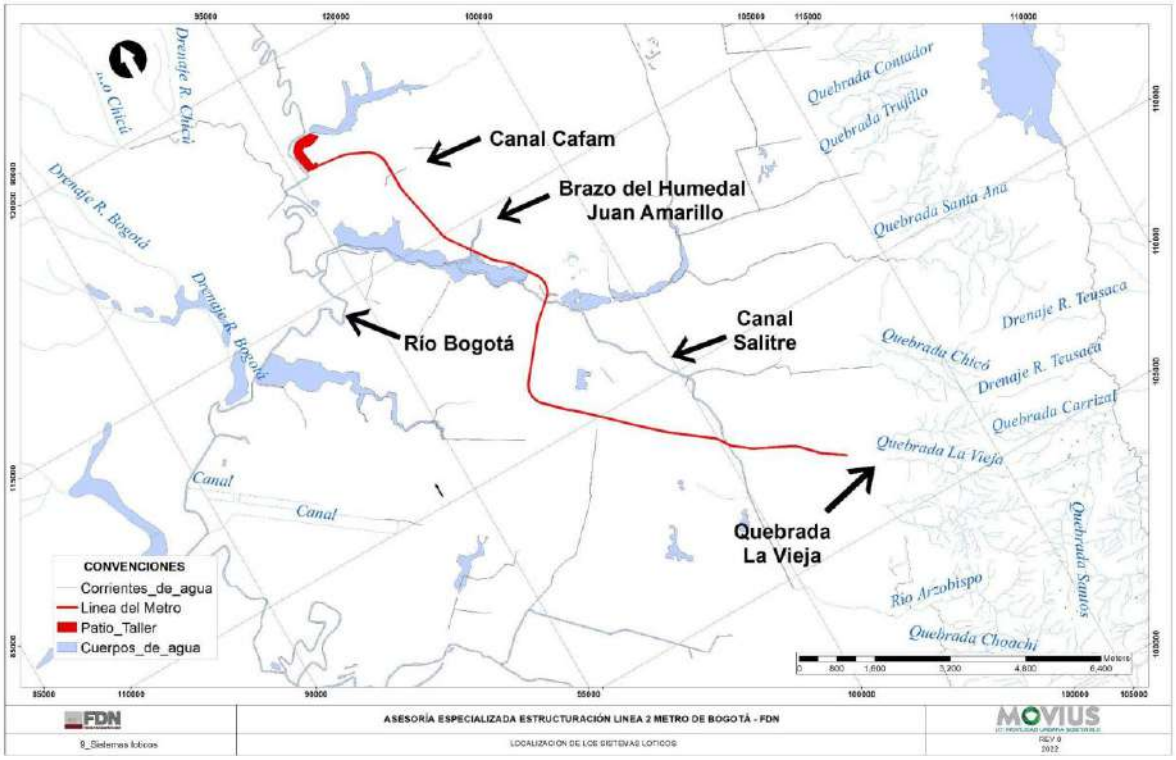


Figura 32. Localización de los cuerpos de agua lóticos identificados
Fuente: UT MOVIUS 2022

Los cuerpos lénticos que se tiene el el AIPa se muestran en la Figura 33, en donde se evidencia la presencia de tres sistemas. Por un lado se tiene el Lago Club Los Largartos como predio privado, y por otro el Humedal La Conejera y el Humedal Juan Amarillo como Parques Ecológicos Distritales, tratándose de áreas de alta importancia ecológica para la conectividad de los ecosistemas de la ciudad, además de ser sitios de importancia paisajística. A pesar del alto grado de intervención y deterioro que tienen los cuerpos en algunas zonas, son ecosistemas de referencia para la EEP de la región (detalle en numeral 5.2.2.1.11. Identificación de sistemas lénticos y lóticos).

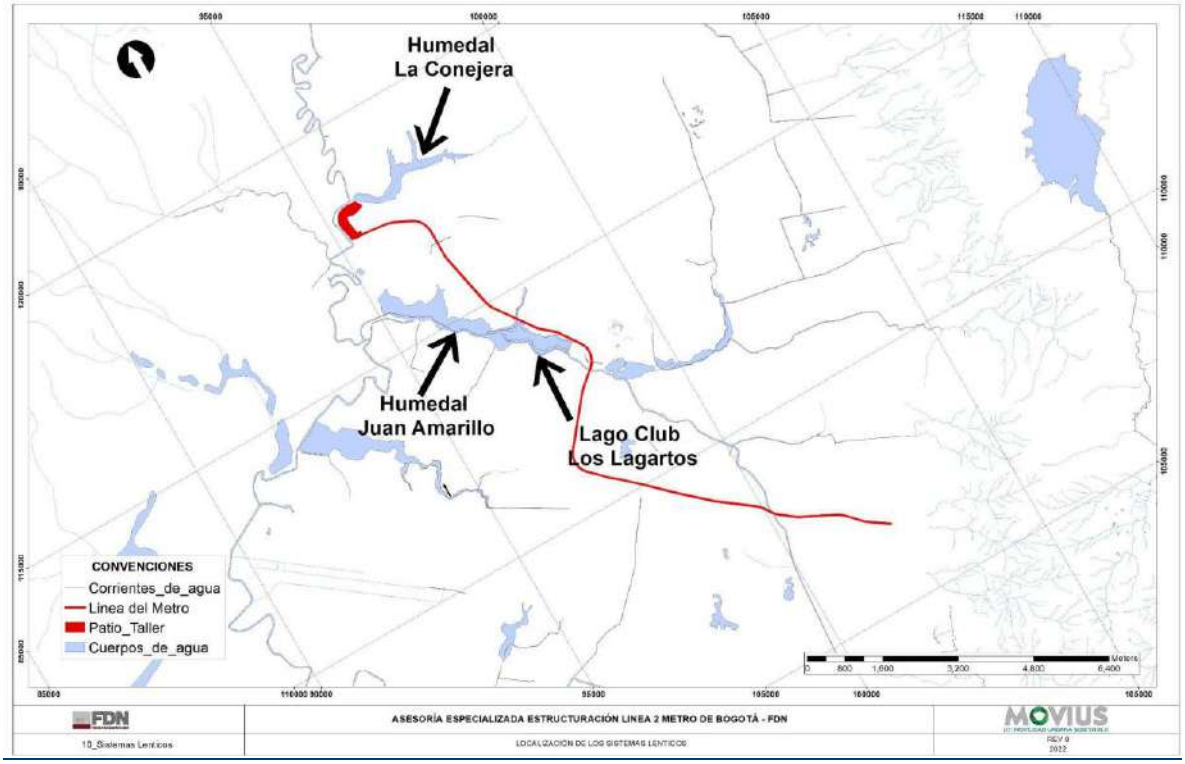


Figura 33. Localización de los cuerpos de agua lénticos identificados
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Elementos bióticos del paisaje
    - Coberturas de la tierra

El área de influencia se caracteriza por la presencia de coberturas de la tierra transformados principalmente por zonas con territorios artificializados, los cuales ocupan cerca del 65,33% total del AI de paisaje (ver Tabla 31), seguidos por territorios agrícolas con el 29,95%, Para el primer grupo se tienen distribuciones similares para los tres tipos que se presentan: tejido urbano continuo, red vial y territorios asociados y zonas verdes urbanas. Para los territorios agrícolas se tienen principalmente pastos limpios con un 26,52% hacia la localidad de Suba en los sitios donde se tendrán estaciones y el patio taller. Las otras coberturas ocurren en el AIPa con muy bajas proporciones: superficies de agua (3,36%), bosques y las áreas seminaturales (0,40%) y áreas húmedas (0,11%) (ver Tabla 31)..

Se destaca la muy baja proporción de elementos naturales que aportan al paisaje de la comunidad, por lo que en su mayoría son las zonas verdes urbanas (Fotografía 17) y las zonas recreativas las que brindan un mayor potencial de calidad y belleza paisajística. En la Tabla 31 se presenta la superficie ocupada por cada una de las coberturas y su distribución al interior del área de influencia del paisaje.



Fotografía 17. Coberturas presentes en el AIPai destacables.
Zona verde urbana (izquierda) y zona húmeda (humedal) (derecha).
Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 31. Superficie ocupada por cada una de las coberturas de la tierra en el área de influencia de paisaje

Cobertura de tierra						**Área (ha)**	**Proporción (%)**
Nivel 1		**Nivel 2**		**Nivel 3**			
1	Territorios artificializados	11	Zonas urbanizadas	111	Tejido urbano continuo	47,55	24,03%
		12	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	122	Red vial y territorios asociados	44,58	22,54%
		14	Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	141	Zonas verdes urbanas	36,88	18,64%
				142	Instalaciones recreativas	1,67	0,85%
2	Territorios agrícolas	21	Cultivos transitorios	211	Otros cultivos transitorios	0,34	0,17%
		23	Pastos	231	Pastos limpios	53,55	27,07%
				233	Pastos enmalezados	5,38	2,72%

Cobertura de tierra						Área (ha)	Proporción (%)
Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3			
3	Bosques y áreas seminaturales	31	Bosques	314	Bosque de galería y ripario	0,56	0,28%
		32	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	321	Pastos Naturales y Sabanas	0,25	0,12%
4	Áreas húmedas	41	Áreas húmedas continentales	411	Zonas pantanosas	0,22	0,11%
5	Superficies de agua	51	Aguas continentales	511	Ríos	0,07	0,04%
				513	Canales	4,24	2,14%
				514	Cuerpos de agua artificiales	2,53	1,28%
TOTAL						**197,83**	**100,00%**

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Flora y fauna

De acuerdo a lo encontrado en el capítulo 5.3 Caracterización medio biótico, a raíz del alto nivel de transformación antrópica que se presenta en la ciudad de Bogotá, los ecosistemas naturales han sido severamente degradados y fragmentados. Sin embargo, alrededor del proyecto se presentan algunas zonas con alta importancia para las comunidades bióticas correspondientes a los humedales Juan Amarillo y La Conejera y el Club Los Lagartos. Estas áreas albergan la mayor diversidad de avifauna dentro del área, dado que se encuentra mayor disponibilidad de hábitat, alimentación, áreas de llegada para aves migratorias y zonas con potencial de cría o reproducción (ver sección 5.3.6. Fauna).

En general, se encuentran especies de flora y fauna común en zonas urbanas, con especies comunes del arbolado urbano y fauna generalista que se ha adaptado a espacios modificados, entre estas se ven algunas especies de aves como las palomas, los chulos y los copetones, además de la serpiente sabanera, común en zonas verdes de la ciudad (Fotografía 18). Se debe resaltar que, de acuerdo con el apartado anterior de coberturas de la tierra, las zonas que brindan principalmente hábitat para la fauna son las coberturas de bosque ripario, los pastos naturales y las zonas pantanosas (humedales), y en menor medida los pastos limpios, cultivos transitorios y las zonas verdes urbanas.



Fotografía 18. Fauna presente en el AIPa.
Serpiente sabanera (*Atractus crassicaudatus*) (izquierda arriba), *Zenaida auriculata* (derecha arriba), *Coragyps atratus* (izquierda abajo) y *Zonotrichia capensis* (derecha abajo).
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Elementos antrópicos del paisaje

En el AIPa, las modificaciones antrópicas se encuentran ampliamente extendidas, excluyendo las zonas verdes que fueron discutidas anteriormente, el área cuenta con gran cantidad de edificaciones para usos de vivienda y comercio conformando el tejido urbano continuo, estos elementos cuentan con diferentes alturas (un piso a más de diez) y colores, sin embargo, el diseño urbanístico de la ciudad conforma una matriz relativamente organizada de edificios y vías que contrastan con zonas naturales como las que se encuentran alrededor de los humedales y hacia los cerros orientales, los cuales que poseen formas y colores tan más variados que en las áreas urbanas, como se mencionó anteriormente, el AIPa cuenta con algunas de estas áreas. Las vías y terrenos asociados son otro componente importante dentro del área, donde se destaca la infraestructura de servicio público y el alto flujo y densidad de vehículos que no son llamativos para la población adyacente.

Por lo tanto, es evidente que el paisaje local está dominado por zonas antrópicas que son altamente homogéneas por el manejo antrópico y diseño urbano de la ciudad, intercalado con algunas zonas de alto interés paisajístico como los humedales y los parques, además de pastos naturales, limpios y enmalezados de interés medio.

5.2.1.3.4. Unidades de paisaje

Una vez valorados los elementos que componen el paisaje y siguiendo con la metodología previamente descrita, se procede a mostrar los resultados del estado del paisaje en el área de influencia de este medio.

5.2.1.3.4.1. Calidad visual

La evaluación de la calidad visual del paisaje se desarrolló siguiendo los lineamientos establecidos por Bureau of Land Management[24], que consiste en evaluar el paisaje de acuerdo con las características de relieve, vegetación, presencia de los cuerpos de agua, color, rareza, influencia de escenarios adyacentes e influencia antrópica y asignarles una valoración según sus características. Con base en esta valoración se realiza una ponderación de las variables para clasificar en tres rangos (alto-medio-bajo) con el fin de estimar el grado de excelencia o mérito que un determinado paisaje presenta[25]. En la Tabla 32 se presenta la valoración de cada una de las variables analizadas para estimar la calidad visual paisaje en el área de paisaje.

Tabla 32. Superficie ocupada por cada uno de los elementos del paisaje para estimar la calidad visual

Elemento	Valoración	Área (ha)	Proporción (%)
Relieve	Colinas suaves, fondos planos, relieve variado, formas interesantes (0-50% de pendiente)	197,47	99,82%
	Pendientes fuertes y escarpadas (>50 % de pendiente)	0,36	0,18%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Vegetación	Poca o ninguna variedad	92,11	46,56%
	Alguna variedad en la vegetación	104,63	52,89%
	Gran variedad de tipos de textura	1,10	0,56%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Agua (cuerpos de agua)	Ausentes o presentes pero imperceptibles	187,04	94,55%
	Ecosistemas lóticos que se destacan en el paisaje	10,79	5,45%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Color	Bastante común	92,11	46,56%
	Característico aunque similar a otros en la región	104,63	52,89%

[24] BLM (U.S.D.I., Bureau of Land Management). Visual simulation techniques. Washington D.C.: Gubernament Printing Office. 1980.
[25] Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Guía de Evaluación de Impacto Ambiental del Valor Paisajístico en el SEIA. Santiago de Chile: 2013. 115p.

	Combinaciones de color	1,10	0,56%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Rareza	Bastante común	92,11	46,56%
	Distintivo aunque algo similar	102,09	51,60%
	Único en su clase; memorable	3,63	1,84%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Modificación antrópicas	Muy discordantes	44,58	22,54%
	Añaden poca variedad visual a la zona	152,15	76,91%
	Agregan variabilidad visual y armonía	1,10	0,56%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Influencia de paisajes adyacentes	El P. ady. no tiene influencia en la calidad	44,58	22,54%
	El P. ady. mejora moderadamente	152,15	76,91%
	El P. ady mejora significativamente	1,10	0,56%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Relieve

El relieve presente a lo largo del área de influencia se destaca por una dominancia de las zonas con colinas suaves y fondos planos con pendientes bajas, como se da comúnmente a lo largo de la sabana de Bogotá. Es así como la mayor parte del área cuenta con un relieve plano con poca variación en formas (99,82%) (ver Tabla 32), la ausencia de zonas con pendientes fuertes y escarpadas resta a la calidad visual dado que estas formas más contrastantes del relieve andino aportan en gran medida a la variedad de formas que se pueden percibir en el paisaje. La conformación del relieve para el AIPa aporta muy pocos (0,36 ha) elementos llamativos y limita la visibilidad principalmente a las zonas más cercanas a los observadores.

- Cuerpos de agua.

En términos de los cuerpos de agua (ver Tabla 32), como se mencionó previamente el área cruza por tres cuerpos de agua lóticos canalizados de tipo artificial para aguas de quebradas y humedales, como lo son el canal Cafam, el Canal Salitre y el brazo del Humedal Juan Amarillo, todos encontrándose expuestos en la zona debajo de puentes, sumado a los cuerpos lénticos naturales como el humedal Juan Amarillo y artificiales que se tienen hacia el Lago Club Los Lagartos, entre otros. A causa de lo anterior, estos se destacan moderadamente dentro del paisaje (5,45%), su importancia radica en el aporte visual y estructural sobre el paisaje por la alteración en la distribución de los elementos estructurales (ej. interrumpe vías o edificaciones), las formas y colores que destacan frente al resto de elementos terrestres.

- Vegetación, color y rareza.

Respecto a la vegetación dentro del AIPa (ver Tabla 32), se tiene la mayor parte del área con alguna variedad vegetación asociada como las zonas verdes urbanas y los pastos limpios (52,89%) dentro una matriz con alta cantidad de de elementos antrópicos típicos urbanos (46,56%), teniendo finalmente una muy baja proporción de elementos con variedad de textura y color que agregan armonía al AIPa (0,56%), tratándose de los bosques y zonas húmedas que se presentan en la zona.

- Modificaciones antrópicas.

Las modificaciones antrópicas dentro del área de influencia de paisaje tienen un efecto sobre la calidad visual del paisaje (ver Tabla 32). Los elementos meramente antrópicos que disminuyen el atractivo del paisaje por aportar elementos muy discordantes que contrastan con elementos naturales y forman unidades más homogéneas, esto se puede representar por el amplio conjunto de vías que se encuentran en el área (22,54%), destacándose por el desarrollo de la ciudad de Bogotá. Los canales y en particular el tejido urbano continuo (77,91%), aunque son coberturas completamente antrópicas, estas conforman las unidades habitacionales que ocupan las personas cotidianamente y por lo tanto no son percibidas como elementos totalmente discordantes en el paisaje, sin embargo si añaden poca variedad visual por sus formas rectas y colores similares. Por otra parte, se tiene una muy baja proporción sobre los elementos naturales o con vegetación que pueden aportar variedad visual y armonía, como los humedales y bosques riparios (0,56%).

- Adyacencia.

Dada la conformación del paisaje con gran cantidad de elementos exclusivamente antrópicos que son más homogéneos y discordantes por sus elementos repetitivos al paisaje, la mayor parte de elementos tienen un efecto nulo sobre la calidad del paisaje adyacente dentro del AIPa (76,91%, ver Tabla 32). Dada la fragmentación y grado de intervención de las zonas verdes que cuentan con mayor variedad de elementos, colores y formas, estos ofrecen una mejora moderada del paisaje adyacente (22,54%). Dejando el (0,56%) una mejora significativa del paisaje por adyacencia.

- Calidad total del paisaje

Con base en esta valoración de atributos del paisaje se estimó la calidad visual, se identifica que para este componente en general predominan las superficies con calidad visual media que cubren el 52,90% de toda el área (Figura 34). Esto es el resultado de la conformación de un paisaje con geoformas suaves a planas con pendientes bajas y una gran dominancia de coberturas completamente transformadas que no le aportan elementos atractivos al paisaje local. Los únicos elementos destacables dentro del contexto del proyecto son los elementos vegetales de las zonas verdes urbanas y los canales, no obstante, el efecto por la adyacencia del tejido urbano y las vías reduce su atractivo general por lo que solo los parches con una mayor extensión y que pueden destacarse más dentro del paisaje generan una calidad visual.

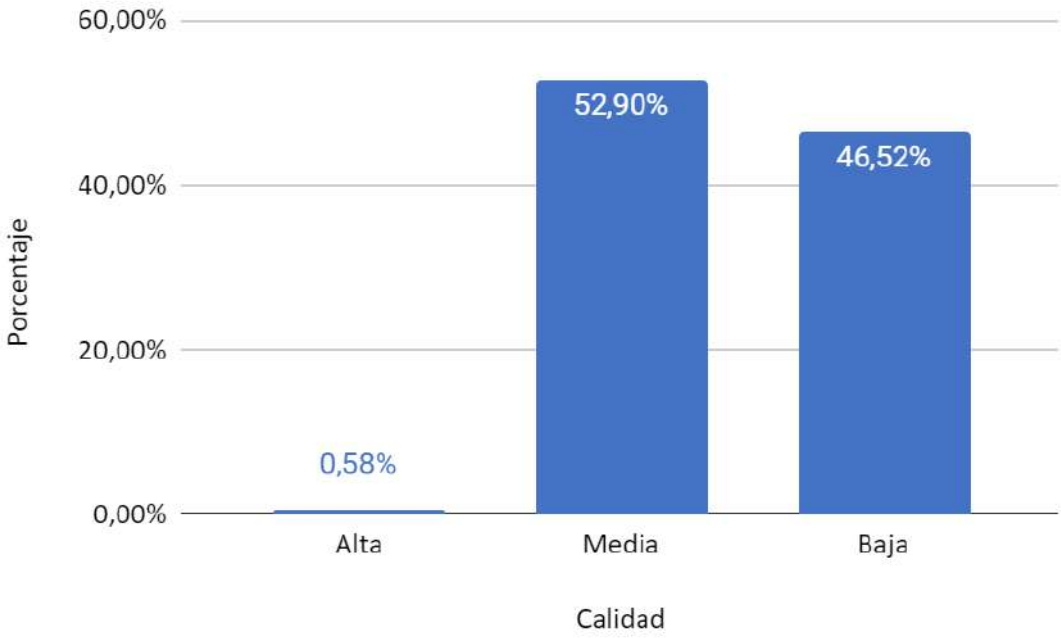


Figura 34. Superficie ocupada por cada uno de los elementos del paisaje para estimar la calidad visual.
Fuente: UT MOVIUS 2022

En este sentido, el área de intervención donde se desarrollará el proyecto atravesará áreas con una calidad media (67,71%) correspondientes principalmente a zonas de pastos hacia la localidad de Suba, que representan los cambios más grandes de coberturas en el proyecto, disminuyendo la calidad dado el cambio de cobertura vegetal a edificaciones, sumado a algunas zonas verdes que serán intervenidas para la Estación 3 en Las Ferias. Por otro lado, se tienen las zonas de calidad baja con un 32,27% de áreas totalmente transformadas. Por último, se tiene un pequeño parche de calidad alta en el patio taller (0,02%), sobre la zona de ronda hídrica del río Bogotá. En el plano Calidad visual del Paisaje y la Figura 35 (ver plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0013_V01. Calidad visual del paisaje) se presenta la distribución de la calidad visual del paisaje y la ubicación de los elementos del proyecto.

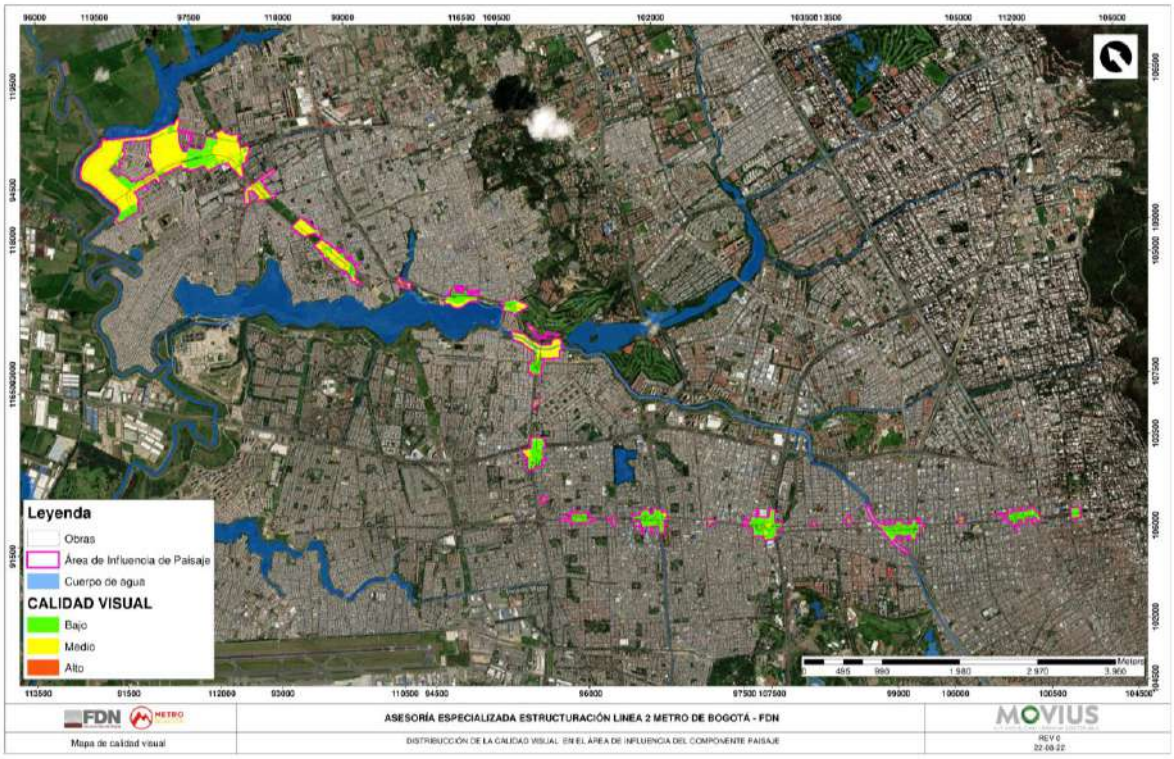


Figura 35. Distribución de la calidad de paisaje en el área de influencia
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.3.4.2. Fragilidad visual

Para el análisis de fragilidad visual del paisaje se desarrolló siguiendo los lineamientos establecidos por Yeomans[26], que consiste en evaluar el paisaje de acuerdo con las características de relieve, estructura de la vegetación, potencial de regeneración de la vegetación, susceptibilidad de movimientos en masa, contraste entre la vegetación y el suelo o la roca y asignarles una valoración según sus características. Con base en esta valoración se realiza una ponderación de las variables para clasificar en tres rangos (alto-medio-bajo) con el fin de estimar la capacidad del paisaje de aceptar las modificaciones que se realicen sobre este y así mantener su valoración por parte de los observadores (capacidad de absorción visual)[27].

Los elementos determinantes para este análisis corresponden al relieve y la susceptibilidad de movimiento en masa, puesto que las modificaciones a las geoformas con mayores pendientes no son fácilmente aceptadas en el paisaje. Por el contrario, en superficies planas el paisaje tiende a asimilar con mayor facilidad las modificaciones al medio provocando que sea menor la distancia a la que los observadores identifiquen dichas perturbaciones y sean capaces de acostumbrarse a los cambios[28]. En la Tabla 33 se presentan las variables analizadas para determinar la fragilidad del paisaje y la proporción de estas categorías dentro del área de influencia.

[26] Yeomans, W. C. Visual Impact Assessment: Changes in natural and rural environment. New York: John Wiley and sons. 1986.
[27] Ibíd.
[28] Ibíd.

Tabla 33. Superficie ocupada por cada uno de los elementos del paisaje para estimar la fragilidad visual.

Factor	Características	Superficie (ha)	Proporción %
Relieve (S)	Fuertemente escarpado (> 50% de pendiente)	0,36	0,18%
	Relativamente plano y moderadamente escarpado (0%-50% de pendiente)	197,47	99,82%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Diversidad estructural de la vegetación	Baja (superficies sin vegetación, pastos y malezas)	98,98	50,03%
	Media (plantaciones forestales, cultivos y mosaicos)	98,05	49,56%
	Diversificada (bosques, incluye vegetación secundaria y elementos con coberturas naturales que presenten grados de alteración limitados)	0,81	0,41%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Estabilidad del suelo y erosionabilidad	Restricción alta debido a riesgo de erosión e inestabilidad y baja regeneración	0,00	0,00%
	Restricción moderada debido a riesgos de erosión e inestabilidad y baja regeneración	38,49	19,45%
	Poca restricción por riesgos bajos de erosión e inestabilidad y buen potencial de regeneración	159,35	80,55%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Contraste suelo-vegetación (V)	Contraste visual medio entre suelos expuestos y vegetación adyacente	0,00	0,00%
	Bajo contraste visual entre los suelos expuestos y la vegetación adyacente	197,83	100,00%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Potencial de regeneración en la vegetación	Bajo potencial	137,53	69,52%
	Regeneración moderada o potencial de regeneración	59,49	30,07%

	Alta regeneración	0,81	0,41%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Contraste de color entre vegetación y rocas	Bajo contraste	197,83	100,00%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Relieve.

Como se expuso anteriormente, el AIPa cuenta con superficies con relieves relativamente planos entre el 0-50% (99,82%) y en muy baja proporción el relieve moderadamente escarpado con 50 o más porcentaje de inclinación (0,18%), acorde a las características fisiográficas de la sabana de Bogotá en las áreas más planas (Tabla 33). Por el contrario, la capacidad de absorción visual tiende a ser baja en zonas donde los relieves sean quebrados y pronunciados dado que los cambios al paisaje puedan ser más evidentes en estas zonas, no se encuentran este tipo de áreas en el AIPa.

- Diversidad estructural de la vegetación y potencial de regeneración.

En relación con la vegetación del área, como se ha mencionado en numerales previos, la diversidad de la vegetación es media y baja (49,56% y 50,03%) debido a la baja presencia de vegetación con estructura compleja, presentándose principalmente en las zonas verdes urbanas y los pastos por la cantidad de infraestructura urbana presente. En comparación se tiene la ausencia de vegetación en el área, las zonas naturales con alto potencial de regeneración tiene un porcentaje bajo que tiende a la ausencia en el área (0,41%). (ver Tabla 33)

- Estabilidad del suelo y erosionabilidad.

Un factor importante es la fragilidad del terreno frente a los movimientos en masa, donde las modificaciones en el terreno en los suelos que tienen restricciones de uso por su pendiente y su capacidad de regeneración reducida dadas la fragilidad para que se asienten las comunidades vegetales. En el AIPa el total del área cuenta con menor potencial de erosión y mayor estabilidad del terreno lo que le otorga mayor capacidad de absorción de elementos discordantes y cambios estructurales dentro del paisaje como puede ser la construcción de infraestructura, favorecido por el relieve plano de la zona (80,55%). Por otro lado se tiene un (19,45%) zona de baja regeneración y restricciones moderadas debido a riesgo de erosión (ver Tabla 33).

- Contraste

Parte del atractivo del paisaje y su fragilidad está dada por la relación de los elementos que la componen, en este caso tanto el contraste entre la vegetación y el suelo y entre la vegetación y la roca es totalmente baja en toda el área (100%) (Tabla 33). Los contrastes altos se esperan en suelos que contienen componentes antrópicos, los cuales darían mayor fragilidad al paisaje debido a su atractivo y contraste con áreas adyacentes. El contraste con la roca muestra la ausencia de afloramientos rocosos destacables a la escala del paisaje y reconocidos por su atractivo, estos elementos presentarían un arreglo formas y patrones de color destacables para la población haciendolos sensibles dentro del paisaje regional, los cuales están ausentes al tratarse de una zona urbana.

- Fragilidad total del paisaje

Con base en la ponderación de los elementos expuestos anteriormente, se estima que la fragilidad visual del paisaje para el área de influencia es predominantemente baja dado que ocupa un el 98,84% del área total (ver Figura 36). Esto se debe a que el área de proyecto comprende áreas con relieve con pendientes bajas y geoformas planas donde las alteraciones son menos evidentes y más aceptadas por parte de los observadores. Una fracción del AIPa corresponde a zonas con fragilidad visual media (1,16%), las cuales comprenden urbanas las cuales cuentan con pendientes levemente mayores y

que por ende aportan una mayor visibilidad y sensibilidad a cambios dentro del paisaje. Las zonas verdes urbanas a pesar de ser de importancia ecológica y visual, son elementos con una fragilidad visual baja dado que sus elementos pueden ser introducidos o retirados según el manejo antrópico que se les de y las especies contenidas en su amplia mayoría están adaptadas para tolerar los niveles de perturbación ambiental de la ciudad.

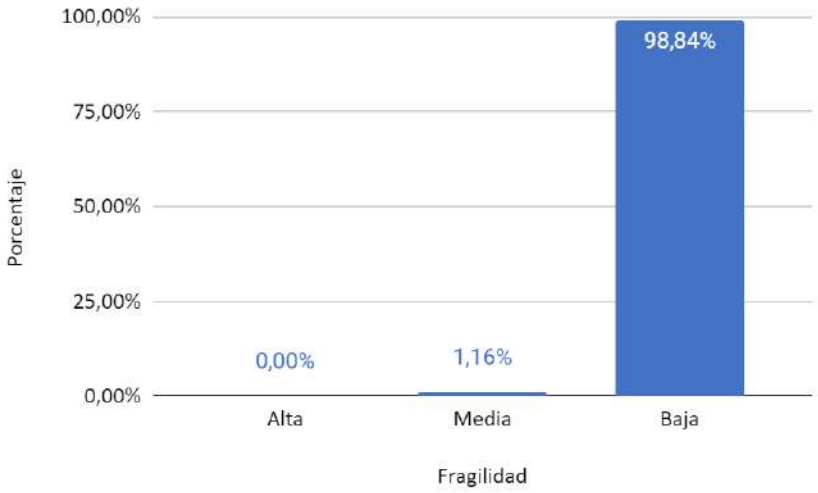


Figura 36. Proporción de la fragilidad visual en el área de influencia
Fuente: UT MOVIUS 2022

De forma similar, el área de intervención donde se desarrollará el proyecto atravesará áreas con una fragilidad visual baja (99,99%) que contiene una alta proporción de vías, elementos ferroviarios, pastos y zonas verdes urbanas, los atributos antrópicos de estas coberturas permiten una alta capacidad de absorción visual ya que carecen de elementos vegetales naturales o terrenos con restricciones por procesos de remoción en masa que cambiarían la conformación del paisaje. Las áreas con una fragilidad moderada (0,01%) corresponde a una zona en vial en Las Ferias que a partir del DEM muestra una pendiente ligeramente mayor y por lo tanto una sensibilidad mayor, sin embargo el terreno donde se ubica la huella del proyecto ha sido transformado por la introducción de infraestructura hacia una conformación más estable y con menos pendientes. En el plano fragilidad visual del Paisaje y la Figura 37 (ver Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0014_V01. Fragilidad visual del paisaje) se presenta la distribución de la fragilidad visual del paisaje y la ubicación de los elementos del proyecto.

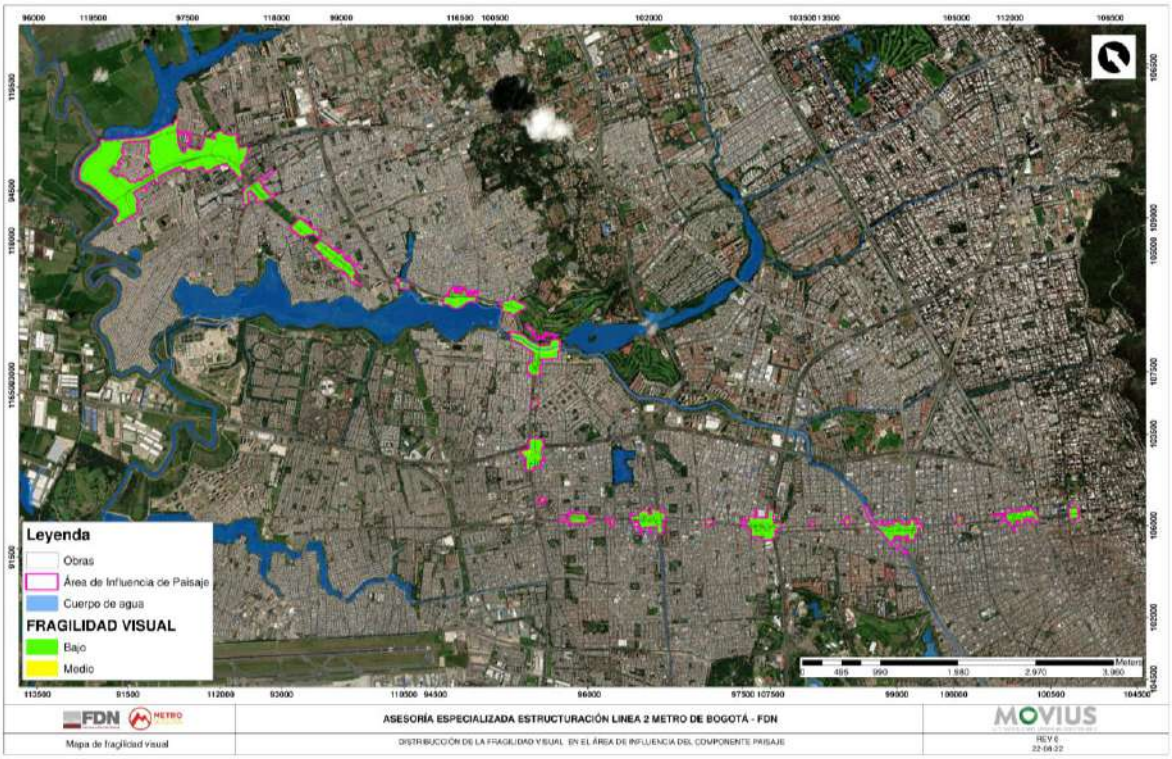


Figura 37. Distribución de la fragilidad del paisaje en el área de influencia de paisaje
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.3.4.3. Belleza paisajística

Para determinar el índice de belleza del paisaje del área de estudio se realizó la intersección de los valores asignados a los cinco criterios evaluados: atractivo escénico, elementos discordantes, correspondencia cromática, integridad escénica y escalas visuales[29]. Con base en esta valoración se realiza una ponderación de las variables para clasificar en tres rangos (alto-medio-bajo) con el fin de estimar la percepción de la belleza del paisaje para la población que lo ocupa como se describió previamente en los aspectos metodológicos. En la Tabla 34 se presenta la valoración de cada una de las variables analizadas para estimar la belleza del paisaje en el área de paisaje.

Tabla 34. Superficie ocupada por cada uno de los elementos del paisaje para estimar la belleza paisajística

Elemento	Valoración	Superficie (ha)	Proporción (%)
Atractivo escénico	Deteriorado	44,58	22,54%
	Común o típico	110,71	55,96%
	Singular	42,53	21,50%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**

[29] USDA. Landscape Aesthetics. A handbook for scenery management. U.S.A: United States Department of Agriculture. 1995.

Elementos Discordantes	Alto (> 3 elementos)	44,58	22,54%
	Medio (2 elementos)	47,55	24,03%
	Bajo (un elemento)	63,17	31,93%
	Nulo (no hay elementos discordantes)	42,53	21,50%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Correspondencia cromática	Alta (Baja correspondencia cromática)	44,58	22,54%
	Media (Media correspondencia cromática)	47,55	24,03%
	Baja (alta correspondencia cromática)	63,17	31,93%
	Nulo	42,53	21,50%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Integridad Escénica	Muy baja (muy alterado)	92,13	46,57%
	Baja (moderadamente alterada)	6,77	3,42%
	Moderada (levemente alterado)	55,57	28,09%
	Alta (parece inalterado)	42,26	21,36%
	Muy alta (inalterado)	1,10	0,56%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Escala visual	Plano inmediato (0 - 100 m)	176,01	88,97%
	Primer plano (100 - 800 m)	21,82	11,03%
	Segundo plano (800 - 1000 m)	0,00	0,00%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**
Nivel de Interés	Vista inmediata con interés alto	39,92	20,18%
	Vista en primer plano con interés alto	2,61	1,32%
	Vista intermedia con interés alto	0,00	0,00%
	Vista inmediata con interés medio	91,87	46,44%
	Vista en primer plano con interés medio	18,85	9,53%
	Vista intermedia con interés medio	0,00	0,00%

	Vista inmediata con interés bajo	44,22	22,35%
	Vista en primer plano con interés bajo	0,37	0,19%
	Vista intermedia con interés bajo	0,00	0,00%
Subtotal		**197,83**	**100,00%**

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Atractivo escénico.

El atractivo escénico del paisaje se encuentra relacionado con la atención e interés que se genera cuando un elemento es divisado por los observadores. Para la evaluación del paisaje las comunidades consideran mucho más atractivas las superficies donde se presentan elementos vegetales que aportan una variabilidad en tonos, formas y tamaños como son las zonas verdes urbanas, parques, cuerpos de agua naturales y zonas pantanosas (21,50%, ver Tabla 34). No obstante, las áreas con tejido urbano continuo presenta un nivel medio de atractivo a raíz de que conforman las unidades habitacionales donde las personas ocupan el territorio cotidianamente y por lo tanto no son percibidas como elementos desagradables en el paisaje. De forma similar en las áreas con atractivo medio (55,96%) que son tomados como elementos comunes o típicos dentro del paisaje, se encuentran los canales, los cuales aunque generan una disrupción en colores o formas donde se instalan usualmente corredores naturales que aportan de forma positiva al paisaje, su nivel de alteración al incluir aguas sanitarias y la canalización del cauce que generan un impacto visual menor a cuerpos de aguas naturales. De igual manera, se incluyen los pastos limpios y enmalezados como elementos con atractivo medio. Los elementos más deteriorados, que carecen totalmente de un atractivo visual son las vías y sus terrenos asociados, los cuales además de carecer de elementos vegetales también cuentan con un alto flujo de vehículos y ruido que causa una degradación visual del área (22,54%).

- Elementos discordantes e integridad escénica.

Los elementos discordantes en territorio se asocian a coberturas antrópicas como red vial o tejido urbano continuo que se encuentran ampliamente representados en el área de influencia (discordancia alta 22,54% y media 24,03%) (ver Tabla 34), los elementos discordantes valorados como bajos comprenden los canales y los pastos presentes en el área (31,93%). Particularmente los elementos valorados como nulos en términos de su discordancia, dado el contexto urbano, son las zonas verdes urbanas, los parques y las zonas naturales terrestres y acuáticas (21,50%) y por lo tanto son zonas percibidas por las comunidades como áreas con integridad escénica alta, aportando de esta misma proporción a la belleza del área de influencia de paisaje. No obstante, la integridad escénica para el área de influencia corresponde a zonas con muy baja integridad (46,57%, tejido urbano y red vial), moderada (28,09%, parques, pastos y cultivos) y alta (21,36%, zonas verdes y pastos enmalezados).

- Correspondencia cromática.

Esta hace relación a la mezcla de colores que componen el paisaje, esta relación de color se encuentra vinculada directamente con la diversidad de colorido en el medio y la vegetación, a causa de la unión de las diferentes tonalidades presentes en cada una de las coberturas de la tierra. En relación con esta variable (ver Tabla 34) a lo largo del área de estudio se tiene una alta y media correspondencia cromática (22,54% y 24,03%, calificadas como baja y media) que a pesar de tener cierto atractivo por ser zonas comunes donde habitan las personas, todas presentan colores poco variables y formas repetidas (vías y tejido urbano). Las zonas verdes urbanas y los pastos que divergen por presentar colores propios y variados sí presentan una baja correspondencia cromática (31,93% calificada como alta), mientras que coberturas naturales como ríos, zonas pantanosas y bosques, con una mayor variedad y diversidad cromática con un 21, 50% del AIPa.

- Escala visual.

En términos de la escala visual, que relaciona la visibilidad que tienen los observadores respecto al grado de atención de los diferentes planos de visión que cuentan las personas. La mayor parte del proyecto (88,97%) se encuentra en el plano inmediato (0 - 100 m) y en menor medida se encuentran dentro del primer plano (100 - 800 m) (11,03%) (ver Tabla 34), a estas dos escalas es donde la mayor atención al detalle y sensibilidad existe respecto a cambios del paisaje por la atención del observador. En principio las áreas planas limitan la visibilidad de los observadores al permitir identificar cambios en las áreas más cercanas, este fenómeno se potencializa en la ciudad de Bogotá donde los edificios interrumpen la visibilidad y solo zonas más abiertas como puentes o grandes avenidas generan zonas amplias sin obstáculos, por lo que el efecto de la infraestructura elevada que debe ser más visible a distancias mayores también se sufre este fenómeno de reducción visual.

- Nivel de interés.

El nivel de interés es la suma del atractivo escénico y la escala visual, este responde al nivel de interés del observador con respecto al paisaje en los diferentes planos de visión. El nivel interés del AI de paisaje presenta una marcada tendencia hacia algunos valores (Tabla 34), la primera es la vista en inmediata con interés medio (46,37%) que responde a observadores a distancias cercanas (hasta 100 m) y vista inmediata con interés alto (20,57%) en zonas con atractivo producto de la presencia de tejido urbano y zonas con vegetación urbana respectivamente. Por otro lado, se encuentran las áreas con vista inmediata con interés bajo (22,17%) que responde a vistas sobre las vías o terrenos asociados que son poco apreciados por las comunidades en términos de su atractivo visual. Los observadores más afectados se encontrarán en las zonas cuya vista inmediata tiene un interés alto identificadas en el área.

- Belleza paisajística total

Con base en estos elementos, se ponderaron los atributos estimados para medir la belleza paisajística percibida por las comunidades, en esta zonificación se obtuvieron las superficies con belleza paisajística baja (46,46%), teniendo en cuenta que en el paisaje predominan elementos muy homogéneos de carácter antrópico con bajo interés o atractivo paisajístico, seguido por áreas de belleza media (32,04%) correspondientes a canales y pastos, y en menor medida parches con alta belleza (21,50%) (ver Figura 38) de zonas verdes, los parques, los humedales y los pequeños parches de bosque que destacan por su aporte al paisaje local al poseer una variedad destacable por elementos, formas, colores y fauna.

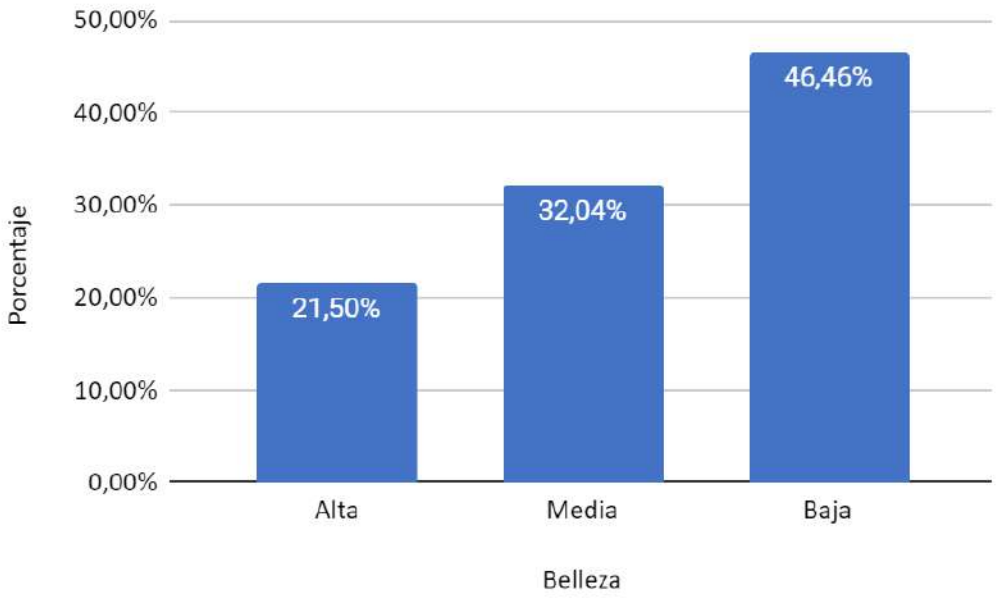


Figura 38. Proporción de la belleza paisajística para el área de influencia
Fuente: UT MOVIUS 2022

Por otro lado, el área de intervención donde se desarrollará el proyecto atravesará áreas con una belleza paisajística media (63,63%) en zonas principalmente de pastos en la localidad de Suba,seguido por zonas de belleza baja (32,27%) de zonas totalmente transformadas, teniendo una muy baja proporción intervención sobre áreas de alta belleza (4,10%) de zonas verdes urbanas, un cuerpo de agua en el patio taller y una parte contigua al parque Fontanar del Río. En el plano belleza visual del Paisaje y la Figura 39 (y ver plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0015_V01. Belleza paisajística) se presenta la distribución de la belleza del paisaje y la ubicación de los elementos del proyecto.

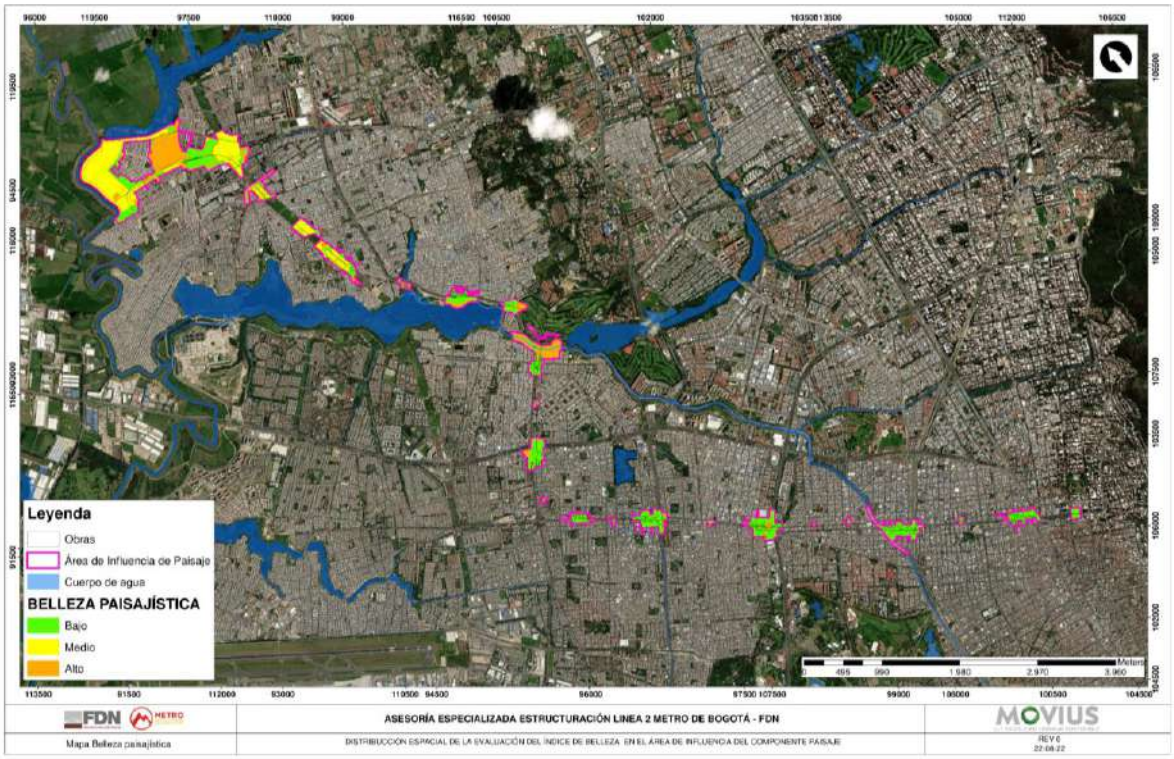


Figura 39. Distribución de la belleza del paisaje en el área de influencia
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.3.4.4. Resultados de unidades de paisaje

A partir de la zonificación obtenida de la valoración de la calidad visual, fragilidad visual y belleza paisajística se procedió a identificar las unidades del paisaje. Dentro del área de influencia se evidencia la presencia de seis unidades de paisaje que incluyen áreas con diferentes grados de calidad visual y fragilidad visual del paisaje, esto se debe a que el área de estudio se presenta un relieve relativamente homogéneo, conformando una matriz de elementos de carácter altamente antrópico, sin presentarse áreas de fragilidad visual alta (ver Tabla 35).

Tabla 35. Superficie ocupada por cada una de las unidades de paisaje presentes en el área de influencia

Unidad de paisaje	Descripción	Área (ha)	Proporción (%)
Amd	Calidad visual alta y fragilidad visual media	0,38	0,19%
Abj	Calidad visual alta y fragilidad visual baja	0,76	0,38%
Mmd	Calidad visual media y fragilidad visual media	1,75	0,88%
Mbj	Calidad visual media y fragilidad visual baja	102,91	52,02%
Bmd	Calidad visual baja y fragilidad visual media	0,17	0,09%
Bbj	Calidad visual baja y fragilidad visual baja	91,86	46,43%
Total		**197,83**	**100,00%**

Fuente: UT MOVIUS 2022

En concordancia, la mayor proporción del área corresponde a unidad **Mbj** (Calidad visual media y fragilidad visual baja) con un 52,02% del AIPa, estas áreas se concentran en zonas con coberturas de pastos, zonas verdes urbanas, parques, cuerpos de agua artificiales, seguido de la unidad **Bbj** (Calidad visual baja y fragilidad visual baja) con 46,43%, asociado directamente a coberturas totalmente antrópicas asociadas al desarrollo urbano en la ciudad de Bogotá y sus terrenos de pendientes leves. Las unidades **Mmd** (Calidad visual media y fragilidad visual media, 0,88%) y **Bmd** (Calidad visual baja y fragilidad visual, 0,09%) recogen las áreas descritas anteriormente pero con pendientes ligeramente inclinadas que causan que su absorción visual sea media. Las unidades correspondientes a **Amd** (Calidad visual alta y fragilidad media, 0,19%) y **Abj** (Calidad visual alta y fragilidad baja, 0,38%) recogen las áreas menos modificadas del paisaje correspondientes a bosques, zonas pantanosas y de ribera concentradas principalmente en el humedal Juan Amarillo, con otros parches cercanos al río de Bogotá y a los canales del AIPa (ver Tabla 35, Figura 40, Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0016_V01)

Para el área de intervención del proyecto se mantiene la proporción general del AI, teniendo en su mayoría la unidad **Mbj** con 67,71%, seguida por las demás unidades en menor proporción, **Bbj** con 32,26%, **Abj** con 0,02% y **Bmd** y **Mmd** con áreas menores al 0,01%.

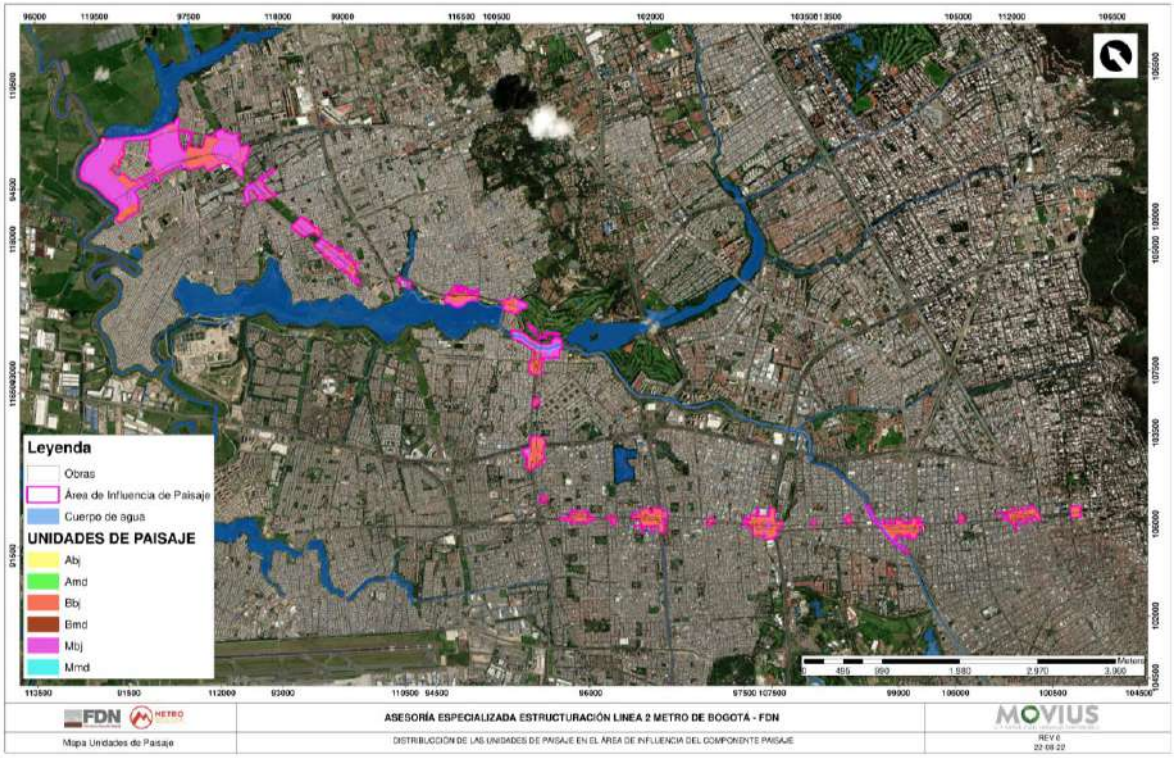


Figura 40. Distribución de las unidades de paisaje en el área de influencia
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.3.4.5. Visibilidad

Los observadores definidos para evaluar la escala visual y la visibilidad de las unidades de paisaje que se distribuyeron en el área de influencia paisaje sobre los centros urbanos en mayor cantidad y en las zonas rurales de forma discontinua y en baja proporción dado que la densidad poblacional ahí es menor. Con base en esta información el análisis permitió identificar que la mayor parte del área de influencia es visible para los observadores (98,26%) y en menor medida el área comprende áreas no visibles (1,74%) (ver Tabla 36).

Tabla 36. Visibilidad de las unidades en el área de influencia

Visibilidad	Unidad de paisaje	Escala visual		Área (ha)	Proporción (%)
		Plano inmediato	Primer plano		
No visible	Amd	0,00	0,00	0	0,00%
	Abj	0,00	0,04	0,04	0,02%

Visibilidad	Unidad de paisaje	Escala visual		Área (ha)	Proporción (%)
		Plano inmediato	Primer plano		
	Mmd	0,01	0,00	0,01	0,01%
	Mbj	0,73	2,64	3,3	1,67%
	Bbj	0,05	0,05	0,1	0,05%
Total No visible		**0,79**	**2,73**	**3,45**	**1,75%**
Visible	Amd	0,34	0,04	0,38	0,19%
	Abj	0,44	0,29	0,72	0,36%
	Mmd	1,72	0,05	1,74	0,88%
	Mbj	84,17	18,29	99,61	50,35%
	Bmd	0,18	0,00	0,17	0,09%
	Bbj	92,51	0,62	91,76	46,38%
Total Visible		**179,36**	**19,29**	**194,38**	**98,25%**
Total		**180,15**	**22,02**	**197,83**	**100,00%**

Fuente: UT MOVIUS 2022

Estos resultados son acordes a la caracterización realizada para el relieve de la zona dado que conforme aumenta la pendiente del terreno y se vuelve más pronunciada, los observadores que se ubican en estas zonas adquieren una mayor visibilidad, reflejada en la capacidad de detectar cambios ejercidos a una distancia mayor, con un mayor grado de atención, una menor probabilidad de que objetos interrumpan su visión y menor capacidad de acostumbrarse a estos cambios sobre el paisaje. Por el contrario, en las zonas planas los cambios son menos notorios dado que es más probable que objetivos obstruyan la visibilidad y también disminuye la distancia a la que el observador le presta atención a los cambios. Con base en estos resultados se puede evidenciar que la mayor parte del proyecto será visible y evidente para los observadores más cercanos al proyecto (ver Figura 41).

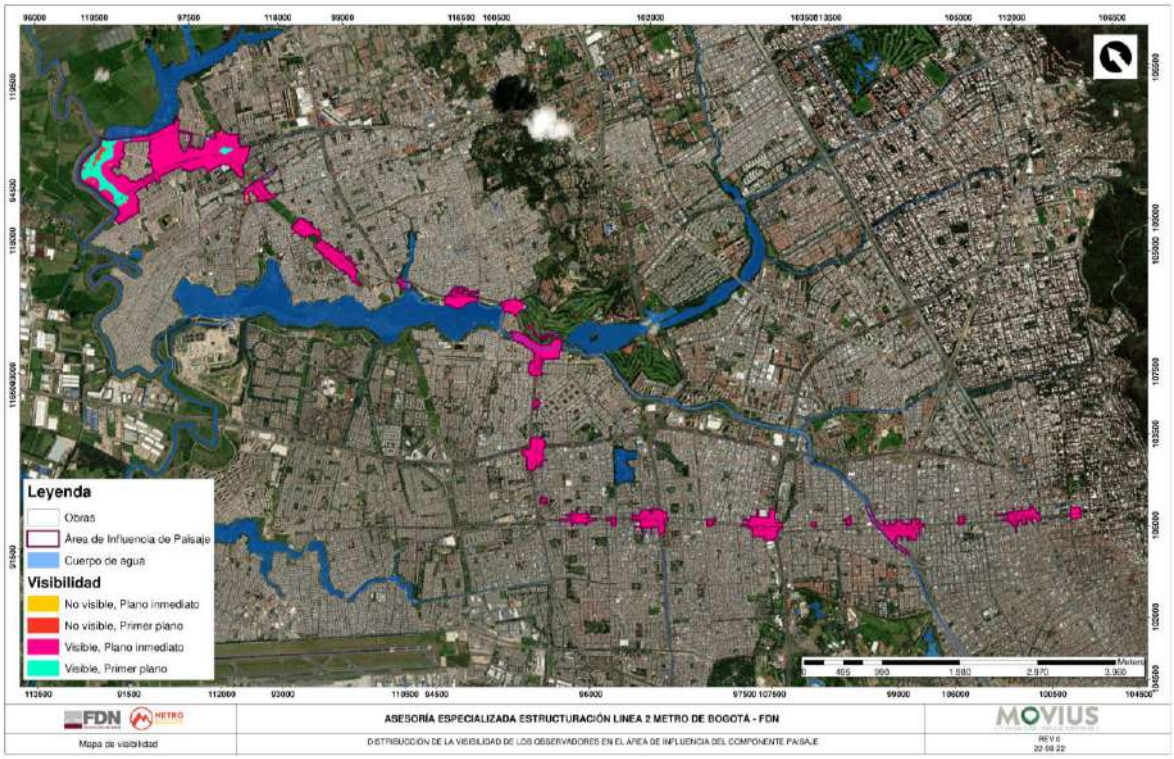


Figura 41. Visibilidad del paisaje en el área de influencia
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.3.4.6. Tamaño de la discordancia

Como se trató en numerales anteriores, los elementos discordantes que se encuentran dentro del área de influencia corresponden a la gran proporción de elementos artificiales de carácter antrópico tales como el tejido urbano y red vial y terrenos asociados, las cuales no resultan especialmente llamativas para la población de la zona en comparación a áreas con elementos vegetales. Por lo anterior, la presencia de elementos discordantes de influencia alta respecto al tamaño de las unidades se encuentran en las unidades de calidad visual media y baja principalmente, destacándose las unidades Bbj y Mbj (ver Tabla 37). Estas unidades están principalmente asociadas a elementos comunes de centros poblados con infraestructura vial que tienen un gran efecto al identificarse como elementos discordantes respecto al paisaje más rural o natural, correspondientes además con los elementos poco llamativos que conforman la matriz del área a pesar de destacarse por los remanentes de coberturas vegetales. Por lo tanto, se puede inferir que la mayor parte del área cuenta con elementos fuertemente discordantes que alteran la percepción del paisaje aunque esto no necesariamente implica que se considere como desagradable dado que forma parte la infraestructura social que utilizan los habitantes del área.

Tabla 37. Tamaño de la discordancia por unidad de paisaje para el área de influencia

Unidad de paisaje	Superficie Elementos discordantes (ha)	Proporción (%)	Valoración del Tamaño de la Discordancia	Tamaño de la unidad (ha)
Amd	0,21	55,11	Alto	0,38

Abj	0,00	0,00	Nulo	0,76
Mmd	0,39	22,30	Medio	1,75
Mbj	63,93	60,89	Alto	102,91
Bmd	0,18	100,00	Alto	0,17
Bbj	93,23	100,00	Alto	91,86

Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.3.4.7. Sitios de interés paisajístico

- Sitios de interés paisajístico.

El área que comprende las obras asociadas a Linea 2 del Metro de Bogotá, tiene una amplia variedad de sitios de interés paisajístico urbano, entre ellos los que más destacan son los parques locales, que cuentan con diferentes tamaños y prestan también diversos servicios a la comunidad en el marco de la recreación y el deporte, entre ellos se encuentran: Parque La Serena, Parque la Clarita, parque de la Almería, parque Piloto, parque Sabana de Tibabuyes, Centro recreativo Fontanar del Río, Humedales Juan Amarillo (Fotografía 19), Santa María del Lago y La Conejera. Son de amplio interés los humedales urbanos dadas sus dimensiones, pues además de ser un ecosistema urbano de alto interés sus intervenciones humanas reguladas le permiten contar además con lugares de esparcimiento que hacen sus veces de parques urbanos, como en el caso del parque lineal situado en el humedal Juan Amarillo, que es además uno de los más reconocidos en la ciudad.



Fotografía 19. Vista panorámica del Humedal Juan Amarillo-Tibabuyes (izquierda) como sitio de interés paisajístico y su fauna (derecha)
. Fuente: Alcaldía de Bogotá. Arranca adecuación de sendero ecológico elevado en el humedal Juan Amarillo. 2018. Daniel Bernal. [Aves humedal Juan Amarillo] [sin fecha]

Los amplios espacios verdes combinados con él área urbana en algunas zonas que se caracteriza por extensos conjuntos residenciales también representan sitios de interés, pues una amplia cantidad de expertos en paisaje urbano consideran estos elementos como atractivos respecto a lo que a belleza paisajística se refiere[30]. Además de esto se encuentran otros espacios concurridos como centros comerciales, por ejemplo, el Centro Comercial Avenida Chile, DiverPlaza, entre otros,

[30] Briceño-Ávila, M, 2018

espacios financieros que generan atracción paisajística en el área de estudio. Por último, también los espacios tradicionales como la concurrida plaza de mercado del 12 de octubre (Figura 42), plaza de mercado de Las Ferias y amplios supermercados de cadena. También, existen sitios aledaños al área de influencia que pueden ser atractivos, como lo son el centro financiero de La Porciúncula y El Lago, hospital Universitario San José, la Clínica infantil Santa María Del Lago, Los centros comerciales Titán Plaza y Metrópolis, entre otros, que tienen un impacto relevante para la comunidad. También centros educativos como algunos colegios distritales (Matilde Ananay, Gerardo Molina Ramírez, Tomás Carrasquilla, etc) o universitarios como La Universidad Pedagógica Nacional, Universidad Sergio Arboleda y Universidad Santo Tomás, además de centros culturales importantes como la Iglesia La Porciúncula, parroquia San Juan de Mata,centros culturales Fontanar del Rìo, teatros ubicados en la localidad de Chapinero, entre otros

Cabe resaltar que en la amplia mayoría del área de influencia, se encuentra un área urbana discontinua, espacios industriales, áreas urbanas degradadas como parques, cuerpos de agua como caños, cercanos a algunos humedales, incluyendo el río Arzobispo, tierras desnudas vulgarmente conocidas como potreros, lo cual disminuye ampliamente la suma total de sitios de interés en el recorrido de la obra y genera una alta necesidad de ampliar estas áreas, pues se adquiere un compromiso social al intervenir estas áreas, sin embargo cabe resaltar que el área de intervención será un área de interés paisajístico en algunas de estas zonas que son ampliamente afectadas en este nivel.



Figura 42. Áreas tradicionales de esparcimiento urbano que se encuentran dentro del área de influencia, (Plaza de mercado 12 de octubre, izquierda e Iglesia La Porciúncula, derecha).
Fuente: Alcaldía de Bogotá. Plaza Distrital de Mercado Doce de Octubre. (2017). Avenida Chile Centro Comercial Iglesia de la Porciúncula. [sin fecha].

Los sitios que se encuentran como lugares de importancia incluídos en el AIPa directamente se enlistan a continuación en la Tabla 38 de acuerdo con la GDB presentada con los sitios de interés paisajístico:

Tabla 38. Sitios de interés paisajístico identificados en el área de influencia de paisaje.

Tipo de elemento	Nombre	Descripción	Área (ha)
Polígono	Barrio 12 de Octubre	Barrio de importancia cultural distrital, extraído del POT	0,00

Tipo de elemento	Nombre	Descripción	Área (ha)
	Barrio 12 de Octubre	Barrio de importancia cultural distrital, extraído del POT	0,87
	Barrio 12 de Octubre	Barrio de importancia cultural distrital, extraído del POT	0,00
	Canal Afidro	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	0,02
	Canal Afidro	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	0,01
	Canal Afidro	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	0,00
	Canal Cafam	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	1,16
	Canal Cafam	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	0,61
	Canal Salitre	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	3,19
	Distrito artístico San Felipe	Barrios con gran cantidad de galerías y actividades artísticas	5,61
	Distrito artístico San Felipe	Barrios con gran cantidad de galerías y actividades artísticas	1,35
	Distrito artístico San Felipe	Barrios con gran cantidad de galerías y actividades artísticas	0,67
	Humedal de Juan Amarillo o Tibabuyes	Reservas Distritales de Humedal extraído del POT	0,34
	Humedal de Juan Amarillo o Tibabuyes	Reservas Distritales de Humedal extraído del POT	0,18
	Humedal de Juan Amarillo o Tibabuyes	Reservas Distritales de Humedal extraído del POT	0,07
	Humedal de Juan Amarillo o Tibabuyes	Reservas Distritales de Humedal extraído del POT	0,90

Tipo de elemento	Nombre	Descripción	Área (ha)
	Humedal de La Conejera	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	0,69
	Humedal de La Conejera	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	0,06
	Humedal de La Conejera	Reservas Distritales de Humedal extraído del POT	0,69
	Humedal de La Conejera	Reservas Distritales de Humedal extraído del POT	0,06
	Humedal Juan Amarillo	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	0,56
	Humedal Juan Amarillo	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	0,34
	Humedal Juan Amarillo	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	0,18
	Humedal Juan Amarillo	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	0,07
	Humedal Juan Amarillo	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	0,21
	Humedal Juan Amarillo	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	0,12
	Lago Club Los Lagartos 3	Cuerpos de agua artificiales extraído del POT	0,50
	Lago Club Los Lagartos 4	Cuerpos de agua artificiales extraído del POT	0,28
	Red de parques del Río Bogotá	Parques de Borde extraído del POT	0,75

Tipo de elemento	Nombre	Descripción	Área (ha)
	Red de parques del Río Bogotá	Parques de Borde extraído del POT	0,00
	Red de parques del Río Bogotá	Parques de Borde extraído del POT	4,21
	Río Salitre	Cuerpos de agua naturales extraído del POT	7,87
Punto	Parque La Serena	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Fontanar Del Rio	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Urbanización Puerta Del Sol	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Urbanización Las Margaritas I Etapa	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Urbanización Las Margaritas I Etapa	Zona verde urbana	N.A.
	Centro Comercial Avenida Chile	Edificación atractiva	N.A.
	Parque Puerta Del Sol	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Urbanización La Serena	Zona verde urbana	N.A.

Tipo de elemento	Nombre	Descripción	Área (ha)
	Parque Urbanización La Serena	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Aures Ii	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Urbanización La Serena	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Urbanización La Rodesia	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Urbanización San Cayetano Segundo Sector, Conjunto Residencial Portales De San Antonio	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Fontanar Del Rio B - II Etapa	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Bonanza	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Urb Rodesia	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Ciudadela Cafam (antes Urbanización Puerto Sol)	Zona verde urbana	N.A.
	Conjunto escultórico San Francisco de Asís	Conjunto de esculturas atractivas	N.A.
	Iglesia La Porciúncula	Centro religioso atractivo y de interés general	N.A.

Tipo de elemento	Nombre	Descripción	Área (ha)
	Parque Urb Fontanar Del Río	Zona verde urbana	N.A.
	Parque Villas Del Rincón	Zona verde urbana	N.A.
	Plaza de Mercado 12 de Octubre	Punto de interés general del sector	N.A.
	Conjunto escultórico Parque lúdico Puerta del Sol	Conjunto de esculturas atractivas	N.A.

Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.3.4.8. Percepción de las comunidades como referente de su entorno físico en términos culturales

Para recopilar màs informaciòn *in situ* que es altamente relevante para el estudio, se realizó una encuesta sociocultural que aporta información que permite determinar la percepción de la comunidad frente a su entorno fisico y la forma en la que estructura el paisaje, para ello, se elaboraron 10 preguntas con las cuales se planteó la percepción subjetiva de las personas considerando la calidad, la belleza y la fragilidad en términos socioculturales, como fue expuesto en los aspectos metodológicos previamente, mediante las cuales se pudo obtener un anàlisis respecto a los servicios ecosistémicos que se pueden encontrar en el área de influencia de estudio.

A partir de las respuestas a las encuestas se obtuvo la opinión de 36 personas en total, con diferentes grados de escolaridad: 19 con posgrado, 8 universitario, 7 técnico o tecnólogo, 1 secundaria y 1 primaria. De igual manera, provenían de las 4 localidades sobre las que tendrá impacto directo el proyecto como se muestra en la Figura 43, representando un total de 30 barrios (detalle en Anexo 5.2 -3.2 Resultados de encuesta a comunidades del área del proyecto).

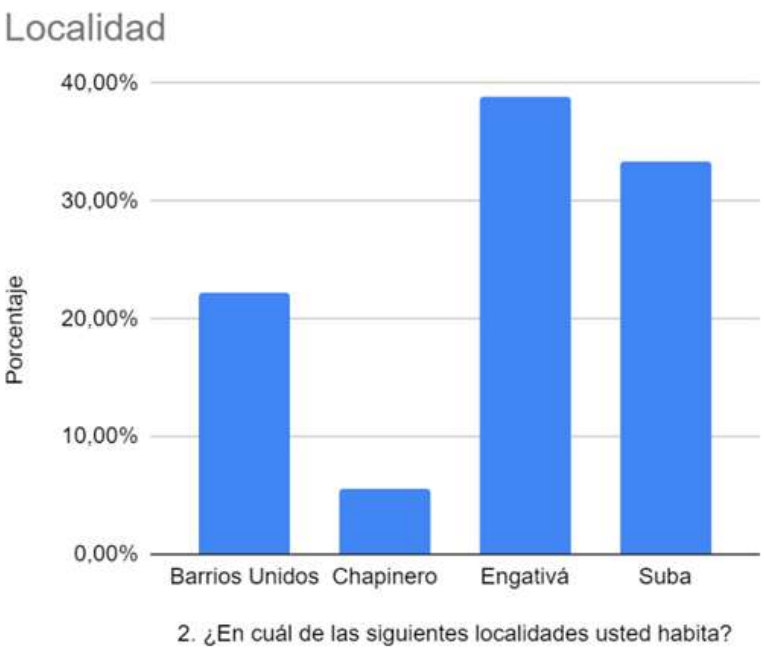


Figura 43. Localidad de procedencia de los encuestados.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Sobre las preferencias de coberturas por parte de la comunidad, como se observa en la Figura 44, se evidencia claramente la inclinación hacia las coberturas naturales o con algo de vegetación. En este sentido, se entiende que las personas encuentran atractivas las zonas verdes como los parques, los humedales y rondas de los ríos, con elementos como ríos, vegetación y fauna (ver Figura 45). Entre los lugares específicos de importancia paisajística se encuentran los parques y humedales enlistados en el numeral inmediatamente anterior, además de otros de alta frecuencia que no se enlistan en el presente estudio por encontrarse fuera del AIPa como los parques San Andrés, Alcázares, el Virrey y del 8. En algunas respuestas también se evidencia un descontento con el paisaje natural de varios barrios como en Palo Blanco, 11 de Noviembre y Alcázares por la falta de estos elementos, o en San Fernando por la disminución de la vegetación en estas zonas.

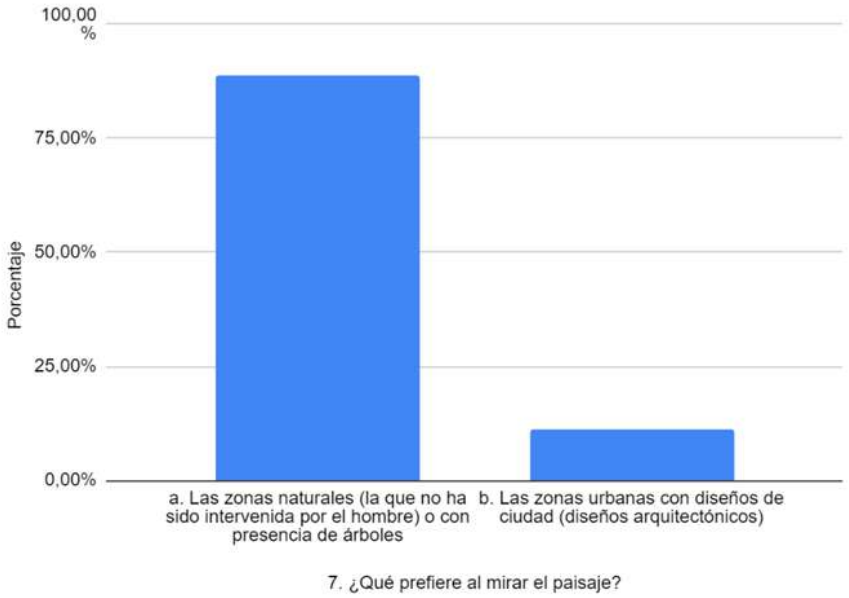


Figura 44. Preferencia de coberturas de paisaje de la comunidad.
Fuente: UT MOVIUS 2022

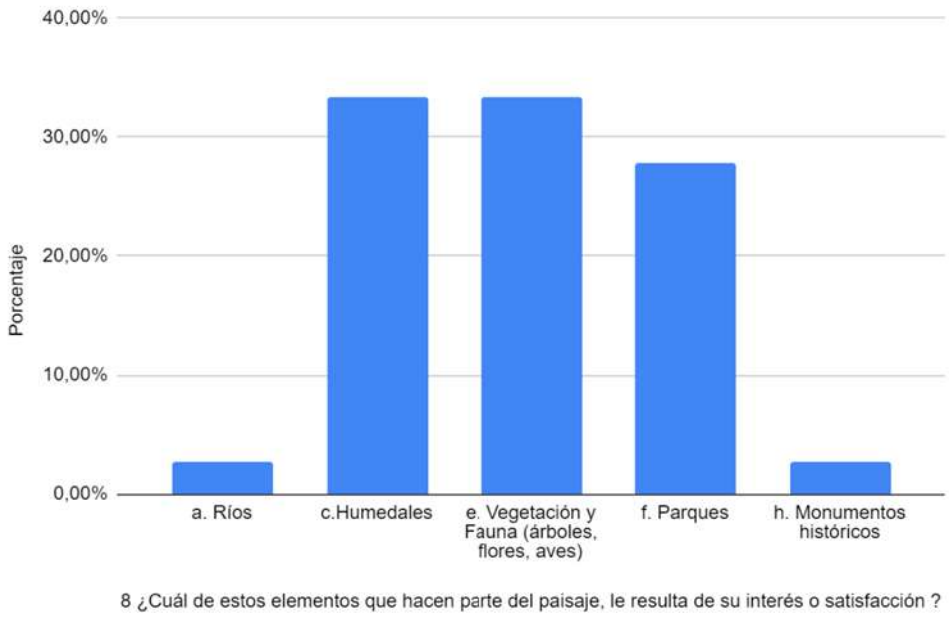


Figura 45. Elementos interesantes del paisaje para la comunidad.
Fuente: UT MOVIUS 2022

En línea con lo anterior, en la encuesta también se indagó sobre la opinión de las personas sobre la presencia de estaciones de metro en su localidad, una transformación que se daría sobre su paisaje cotidiano, resultados que se evidencian en la Figura 34. En primer lugar, se observa como la respuesta negativa fue la que dio la mayoría de los

encuestados (52,78%) frente a un 47,22% de respuesta positiva. Varias de las respuestas negativas se argumentan a partir del daño ambiental que se podría generar con la construcción del metro (16,67%), o al paisaje de la zona (11,11%); otras respuestas se refieren a temáticas sociales (13,89%) como la inseguridad que podría generarse, la posible corrupción que se presenta con la línea 1, la gentrificación o el desplazamiento de las personas que viven en los predios que serán utilizados para la construcción. Es importante resaltar que 2 de las respuestas (5,56%) no dan argumento alguno y otras 2 (5,56%) se refieren a que serían mejor subterráneas, por posible desinformación al momento de contestar la encuesta, por lo que, al tratarse de una línea casi completamente subterránea, podrían sumarse a la respuesta afirmativa, llegando así a una mayoría de acuerdo con las estaciones en sus localidades.

Entre los argumentos a favor de las estaciones en el paisaje de su localidad, el 27,78% de los encuestados hablan de los beneficios que traería a la movilidad del sector y de la ciudad en general, tratándose de un beneficio para la mayoría y la mejora en la calidad de vida. Entre las demás respuestas se habla de la modernización del sector, de la afectación baja al paisaje por ser una línea subterránea y de la recomendación de tener una baja alteración de los recursos naturales de la zona.

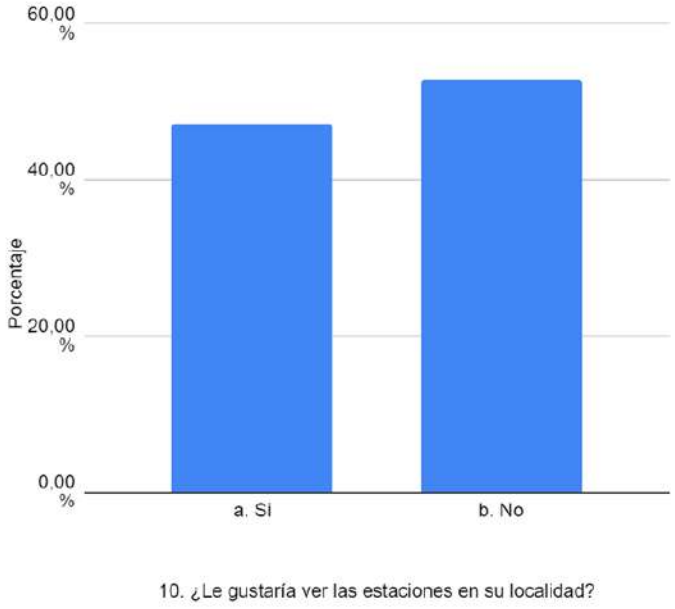


Figura 46. Preferencia de estaciones de metro por la comunidad.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.1.3.5. Descripción del proyecto dentro del componente paisajístico de la zona

Considerando la caracterización realizada, el proyecto plantea la introducción de infraestructura férrea subterránea y parcialmente elevada hacia la localidad de Suba. El paisaje local por donde pasará el proyecto presenta una variedad media y baja de elementos y de unidades paisajísticas como se ha evidenciado en la caracterización de este medio, no obstante la evaluación del impacto se encontrará en el capítulo 8 Evaluación ambiental y social.

En general el proyecto ocurre de forma predominante a lo largo de la unidad paisajística Mbj y Bbj que presenta una calidad visual media y baja y fragilidad visual baja. Es evidente que las localidades por donde se encuentra el trazado de la L2MB se encuentran densamente pobladas y con gran cantidad de vías y edificaciones residenciales hacia el occidente de la ciudad y una gran zona financiera y laboral de la ciudad, las cuales no presentan elementos muy llamativos en el paisaje,

teniendo además una capacidad alta de absorción visual ante los cambios por las mismas edificaciones y el relieve en el que se encuentran, asimilando de manera más sencilla el proyecto.

Aunque la L2MB será un elemento novedoso inicialmente (incluso atractivo), al no representar un contraste frente al paisaje circundante sino que está acorde a los elementos antrópicos ya existentes en el área será asimilado visualmente por el paisaje sin mayores dificultades, teniendo en cuenta que además el mayor impacto se dará por la construcción de los accesos a los estaciones, junto con las últimas estaciones elevadas y el patio taller, por lo que el impacto visual será muy puntual a lo largo del trazo. Es importante considerar que esta zona cuenta con una gran cantidad de observadores que pueden notar la introducción del proyecto a distancias cortas, teniendo en cuenta que a distancias mayores la gran cantidad de obstáculos visuales (edificios) presentes dificulta la observación, por lo tanto el impacto visual está muy localizado a las áreas más adyacentes al proyecto. Es evidente que la introducción del proyecto sobre las unidades Bbj no presenta un gran cambio dado que estas ya se encuentran en un grado de alteración importante por el desarrollo de la ciudad.

Por otro lado, es de destacar que existen zonas de importancia con una calidad visual moderada representada por las zonas verdes urbanas y pastos en las unidades Mbj y Mmd. En estas zonas el aporte a la calidad visual está dado por los elementos vegetales que agregan al paisaje colores, formas y algunos organismos de fauna que contrastan con la homogeneidad de los elementos urbanos de la ciudad de Bogotá, aclarando que la intervención sobre estos elementos es parcial, y en su mayoría se da sobre los pastos limpios en la localidad de Suba, además de algunas zonas verdes muy puntuales ya descritas. En línea con lo anterior, las unidades que aportan en mayor medida al paisaje se encuentran asociadas principalmente al humedal Juan Amarillo dentro del AIPa (unidades Amd y Abj), zona que no contrará con mayor afectación visual, dado que su intervención aledaña se trata del pozo 9 y no se afectará directamente esta cobertura incluída en el AIPa.

Las coberturas mencionadas como los parques urbanos aportan como espacios para la recreación y aumentan la conectividad ecológica que se ha ido perdiendo dentro de la ciudad de Bogotá, siendo áreas complementarias para la conectividad entre ecosistemas naturales que han sido fuertemente degradados como los humedales. La visibilidad como se mencionó anteriormente es alta en estas unidades gracias a la cantidad de observadores que visualizan estas áreas de manera permanente o transitoria, sin embargo, esta se limita a las zonas más cercanas al proyecto gracias a la cantidad de obstáculos visuales.

Finalmente, se concluye que el proyecto plantea un impacto moderado sobre coberturas vegetales principalmente de pastos limpios, los cuales no presentan una gran aporte a elementos del paisaje, además no se tienen como zonas de importancia paisajística ni con un mayor uso del espacio por parte de las comunidades.

5.2.1.3.5.1. Evaluación de vegetación urbana frente al paisaje

La vegetación presente en los diferentes parches existentes en el AIPa brinda distintos beneficios tanto para la biodiversidad urbana como para la comunidad. Estos beneficios pueden abordarse desde una perspectiva de servicios ecosistémicos, teniendo en cuenta que para que puedan ser aprovechados debe darse un funcionamiento ecológico básico a partir de donde los beneficios son derivados[31]. En este sentido, es posible relacionar en primer lugar los servicios de soporte que se relacionan con procesos básicos como el hábitat para especies o la formación del suelo, teniendo luego servicios de regulación como la regulación del clima local o del flujo de agua y los culturales asociados a la recreación, el turismo y apreciación estética[32].

[31] MEA. Ecosystems and human well-being: Scenarios: Findings of the Scenarios Working Group (VOL.2). Island Press. 2005

[32] Dobbs, C., Vasquez, A., Olave, P., & Olave, M. (2021). Cultural urban ecosystem services. In Urban ecology in the global south (pp. 245-264). Springer, Cham.

Teniendo en cuenta lo anterior, los humedales[33] y las zonas verdes urbanas son unidades prestadoras de servicios ecosistémicos[34] como la provisión de hábitat para fauna urbana (ver 5.3.6. FAUNA) con base en las coberturas y vegetación presente en el área de influencia biótica (ver 5.3.4. VEGETACIÓN), además de la regulación hídrica y del clima, contribuyendo también así a la prestación de otros servicios culturales que se dan gracias al atractivo escénico que presentan los parques del AI, prestando especial atención al humedal Juan Amarillo, donde la regulación del agua y del clima, la apreciación estética e incluso la espiritualidad juegan un papel importante para la comunidad que habita en las cercanías, como fue claro en la encuesta realizada.

Es así como la vegetación y los espacios verdes en general pueden contribuir de manera importante a la calidad de vida de las personas, así como a la imagen que se tiene del sector y de la ciudad en general, en donde los espacios verdes son de gran acogida y apreciación por parte de las comunidades, teniendo así, en conclusión, el Humedal Juan Amarillo, como sitio natural de muy alta importancia paisajística incuído en el AIPa.

De igual manera, es importante resaltar el papel del humedal como sitio de hábitat para la fauna, teniendo gran cantidad de vegetación y recursos hídricos que permiten el establecimiento de comunidades faunísticas importantes y el paso de varias migratorias, como se menciona en el cap. 5.3.6 FAUNA, hallando de igual manera condiciones para tener un alto grado de endemismo, teniendo así este humedal como un área de especial importancia ecológica. Se resalta también que los parques de mayor extensión además de servir como reservorio de avifauna urbana facilita la conectividad y movimiento de estas especies dentro de la ciudad, no obstante, la ausencia o bajas abundancias de otros grupos faunísticos demuestra que estas zonas verdes no presentan suficiente hábitat de calidad para mantener un arreglo más diverso de especies.

5.2.1.3.6. Acciones de mitigación de impacto paisajístico

A partir del impacto identificado detallado en el Capítulo 8, se realizará el plan de manejo ambiental correspondiente a la afectación paisajística y de la calidad visual del paisaje, en donde se plantearán las actividades necesarias para prevenir, mitigar y compensar el impacto mencionado, incluyendo principalmente las obras de urbanismo en las zonas que están especificadas en el proyecto para contribuir a la calidad, fragilidad y la belleza del paisaje durante las etapas de preconstrucción, construcción y operación de la L2MB. Estas actividades incluyen la delimitación y protección de sitios de interés paisajístico y el mejoramiento de la calidad visual y la belleza paisajística, con el manejo que se debe tener para las especies vegetales que serán utilizadas.

5.2.1.4. Suelos

El suelo, es un cuerpo natural que comprende sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de la tierra, que ocupa un espacio, y que se caracteriza por horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia, o por la habilidad de soportar plantas enraizadas en un ambiente natural[35]. El estudio del suelo se basa en la comprensión de la naturaleza,

[33] Betancur-Vargas, T., García-Giraldo, D. A., Vélez-Duque, A. J., Gómez, A. M., Flórez-Ayala, C., Patiño, J. E., & Ortíz-Tamayo, J. Á. (2017). Aguas subterráneas, humedales y servicios ecosistémicos en Colombia. *Biota Colombiana*, *18*(1), 1-28.

[34] Breuste, J., Schnellinger, J., Qureshi, S., & Faggi, A. M. (2013). Urban ecosystem services on the local level: urban green spaces as providers.

[35] U.S. Department of agriculture (USDA) & Natural resources Conservation Service (NRCS). (2014). Claves para la Taxonomía de suelos. Décima segunda edición.

las propiedades, dinámicas y funciones del suelo como parte del paisaje y los ecosistemas; inicia con la disponibilidad de información confiable sobre la morfología de los suelos y otras características obtenidas a través del estudio y la descripción del suelo en el campo[36].

Los ambientes edafogenéticos son áreas en las que coinciden la posición geomorfológica (paisaje y tipo de relieve), la litología o la naturaleza de los sedimentos (material de origen) y el clima ambiental. Por lo tanto, las poblaciones de suelos que allí ocurren presentan un grado relativo de similitud, lo que facilita la interpretación, tanto de su capacidad de uso y manejo como de su vulnerabilidad ante la acción de los factores ambientales y la actividad del hombre. Por consiguiente, su identificación y análisis es muy útil, en el caso del presente EIAS, para prever los impactos del proyecto sobre el área de influencia del componente edafológico y para conocer las limitaciones del medio edáfico para el desarrollo de las obras proyectadas y para evaluar el estado actual de la erosión, la posible salinización, la desertificación y remoción como recomiendan los protocolos que han publicado el IDEAM y el IGAC.

La delimitación y caracterización de los suelos es un proceso donde se determinan los factores y procesos de su formación, referidos al material parental, los cambios en el relieve, las variaciones climáticas y la erosión; en aras de conocer aspectos importantes de la física de suelos, como son: el régimen de agua, aire y temperatura, los procesos de floculación y dispersión de los coloides del suelo, la retención y el movimiento de agua, la formación de la estructura y la distribución del espacio poroso, y con el fin de separar en unidades de suelo con características homogéneas. El conocimiento y la descripción de las características del suelo son fundamentales para llevar a cabo el Ordenamiento Territorial de los recursos naturales en el país; a partir de estas, se desarrollan diversas técnicas de caracterización que permiten conocer las condiciones del suelo, importantes para el crecimiento de las plantas, la sostenibilidad del mismo y las actividades asociadas al manejo de suelos agropecuarios o conservacionistas para determinada área de estudio[37].

Para el presente documento, la delimitación y caracterización de los suelos permite conocer las características de los mismos y del entorno, basados en las observaciones realizadas en el marco de la actualización del POMCA del río Bogotá, 2017. La descripción de suelos se hace de acuerdo con los tipos de relieve presentes en los paisajes de montaña, lomerío y planicie, los que se caracterizan por tener al interior de ellos mismos, condiciones similares en cuanto a clima, topografía y materiales parentales. La potencialidad de los suelos se determina en función de la capacidad de uso de las tierras; para el establecimiento de un uso adecuado a través de las limitaciones pedogenéticas observadas en campo se hace una agrupación de las unidades cartográficas de suelo según su uso y manejo, ubicándose en clases y subclases, definido por el Sistema de Clasificación Taxonómico Internacional.

De acuerdo a la metodología presentada en el capítulo 3; en el área de intervención del proyecto se identificó 1 unidad cartográfica de suelos que cubre el 63,77% y terrenos ya intervenidos con suelos removidos que hacen parte de la zona urbana de Bogotá con un 36,23%. A continuación se hace la descripción de las unidades cartográficas de suelos descritas en el POMCA del río Bogotá, 2017.

5.2.1.4.1. Unidades de suelos

De acuerdo con lo establecido en la Metodología de los términos de referencia para el presente Estudio de Impacto Ambiental y Social, se deben adoptar los parámetros establecidos por los diferentes institutos y entidades oficiales que tienen por función la generación, administración y análisis de información que, para el caso del recurso edáfico, se basa principalmente en la utilización de la metodología ofrecida y definida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2014), que ha sido formulada siguiendo el Sistema Taxonómico Americano (Soils Taxonomy, 1990), actualizado a 2014 (USDA - NRCS, 2014), también se ha tenido en cuenta los protocolos de monitoreo y seguimiento referente a erosión y remoción (MADS - IDEAM - UDCA 2015), salinización (IDEAM - CAR - UDCA 2017) y desertificación (IGAC - IDEAM 2010).

[36] FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos.
[37] Valenzuela & Torrente. (2010). Física de Suelos. Ciencia del Suelo Principios Básicos. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo

De igual forma y como fuente de consulta para la caracterización de los suelos en el presente documento, se tiene en cuenta la actualización del POMCA del Río Bogotá (2017), para determinar la relación suelo-paisaje con los elementos ambientales que participan en esta relación. De tal forma que la descripción de suelos se realiza de acuerdo con los tipos de relieve presentes en cada paisaje, y que se caracterizan por tener condiciones similares en cuanto a clima, topografía y materiales parentales. La caracterización se complementa además con la descripción de perfiles del suelo, pruebas de infiltración y toma de muestras de suelos con sus respectivos análisis de laboratorio, como se describe más adelante en el documento. La revisión de información secundaria permite tener una visión general del nivel de detalle en la información regional generada por las instituciones en los temas de interés para el proyecto, como es el caso de los componentes: suelos, geomorfología, aptitud y uso de los suelos, así como del manejo técnico propuesto para el recurso.

La determinación de los puntos de monitoreo de suelos, se realizó teniendo en cuenta las unidades de suelos que de acuerdo con los requerimientos propios del proyecto, podrían ser susceptibles de intervención. En la Tabla 39 y en la Figura 47 se presentan los 8 puntos de monitoreo de suelos (P), donde se realizó la descripción de perfiles, las respectivas pruebas de infiltración y la toma de muestras para análisis fisicoquímicos en laboratorio, todos con sus respectivas coordenadas, incluyendo las correspondientes unidades cartográficas geomorfológicas determinadas para el área de influencia del componente edafológico.

Tabla 39. Coordenadas y número de perfiles de los puntos de monitoreo de suelos.

Número de Perfil	No. de Horizontes	Coordenadas		Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
		Norte	Oeste	X	Y
P1	4	4°39´56,70´´N	74°04´14,60´´O	100.756,19	107.691,22
P2	3	4°40´33,51´´N	74°05´02,35´´O	99.283,84	108.816,08
P3	3	4°42´17,14´´N	74°05´52,82´´O	97.727,51	112.006,60
P4	3	4°43´31,20´´N	74°06´02,24´´O	97.436,94	114.282,40
P5	3	4°43´39,66´´N	74°05´59,93´´O	97.508,14	114.542,38
P6	3	4°44´00,10´´N	74°06´15,64´´O	97.023,76	115.170,46
P7	3	4°45´04,93´´N	74°06´22,15´´O	96.822,94	117.162,64
P8	3	4°45´34,91´´N	74°07´03,04´´O	95.562,31	118.083,84

Fuente: UT MOVIUS, 2022

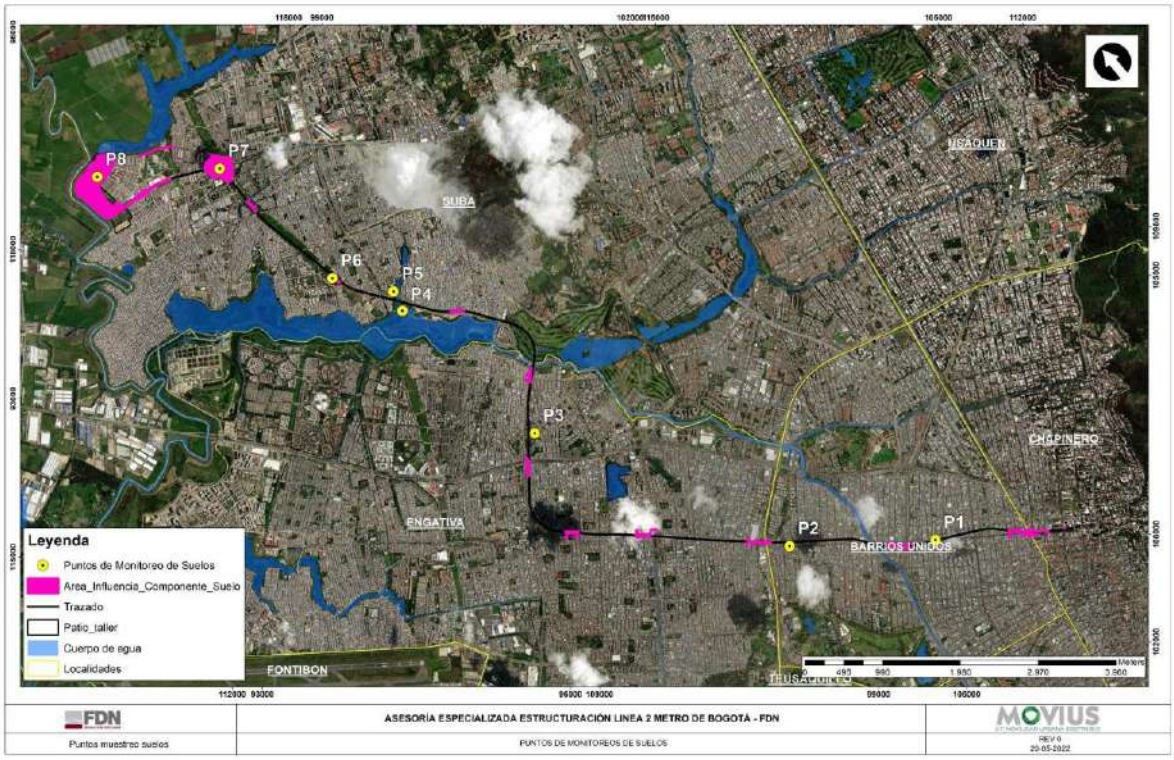


Figura 47. Localización de los puntos de muestreo de suelos
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Como se mencionó anteriormente, en el área de influencia del componente edafológico se identificó una unidad cartográfica de suelos, la cual se describe a continuación:

Tabla 40. Leyenda de suelos en el área de influencia edafológica

Paisaje	Clima	Tipo de relieve	Material parental	Forma del Terreno	Componente	Símbolo	Fases	Perfil	Área (ha)	%
Planicie - Depositacional	Frío	Vallecito	Sedimentos finos	Vega	Typic Halaquepts, familia fina	RaL02	RaL02ai	P3	40,42	56,93
Zona Urbana									30,58	43,07
Total									71,0	100

Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información del POMCA, 2017.

5.2.1.4.1.1. Unidad RaL02

Esta unidad se ha desarrollado en la vega, del vallecito de la planicie fluviolacustre. Esta unidad ocupa alturas promedio de 2 562 msnm, en clima frío húmedo y corresponde a la zona de vida bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB).

La cobertura vegetal es de pastos principalmente aprovechados para el desarrollo de ganado lechero. Esta consociación la conforma el suelo Typic Halaquepts, familia fina, mezclada, isomésica, 95%.

Tabla 41. Morfología del Perfil LC-196 Typic Halaquepts, familia fina, isomésica.

Horizonte Profundidad	Principales Características	Perfil LC-196
00 - 20 cm Ap.	Color gris muy oscuro con manchas de color pardo oscuro a pardo; textura arcillosa; estructura en bloques subangulares finos y medios, moderados; pH 6,1.	
12-47 cm Bg1	Color gris oscuro con manchas pardo rojizo; textura arcillosa; estructura en bloques subangulares medios, moderados; pH 6,7.	
47-70 cm Cg1	Color gris oscuro con manchas gris rojizo; texturas arcillo limosa; sin estructura (masiva); pH 6,7.	
70-120 cm Cg2	Color gris verdoso; textura arcillosa; sin estructura (masiva); pH 7,3.	

Fuente: POMCA, 2017

Los valores del análisis químico muestran; reacción ligeramente ácida en superficie y neutra, en el resto del perfil de suelo, capacidad catiónica de cambio y saturación de bases altas, bases totales altas, exceptuando el horizonte entre 12 y 47 cm donde es media, calcio alto, magnesio alto en superficie y medio con la profundidad, relación Ca/Mg aceptable y presenta déficit de magnesio entre 12 y 70 cm, fósforo alto entre 0 a 12 cm y 70 a 120, medio entre 12 y 47 cm y bajo entre 47 y 70 cm, potasio medio en superficie y bajo en profundidad, sodio medio hasta 47 cm y alto en el resto del perfil, carbono orgánico alto hasta 70 cm y bajo en el resto del perfil, nivel de fertilidad muy alto; elementos menores como manganeso y boro son bajos, hierro, cobre y azufre altos y zinc se encuentra en proporciones óptimas.

Las determinaciones físicas indican texturas finas en superficie y muy finas en las capas subsiguientes; los suelos tienen muy alta retención de humedad aprovechable en superficie y alta en profundidad; la densidad aparente es muy baja en la capa arable y moderada en profundid5.2.1.4.1.2. Suelo Urbano

Para caracterizar los suelos urbanos de la ciudad de Bogotá se tomaron muestras en los diferentes puntos de monitoreo para analizar las características fisicoquímicas de los suelos. A continuación, se mostrará la descripción de cada uno de los perfiles analizados en campo (en el Anexo 5.2- 4.1, se presentan los resultados del laboratorio) .

- **Descripción del perfil Metro Línea 2 P.1.**



Fotografía 20. Sitio del primer perfil
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Este perfil fue descrito en la ciudad de Bogotá, en la Calle 72 con Carrera 81, para determinar el estado actual de los suelos en cuanto a sus características físico, químicas y la presencia de contaminantes que se puedan encontrar en ellos.

Los suelos presentes en este primer punto son superficiales, están limitados por fragmentos de rocas tipo cascajo de forma irregular, y residuos de materiales de relleno en el segundo horizonte haciendo de este un suelo antrópico. Son bien drenados, no se encontró nivel freático, presentan una velocidad de infiltración moderadamente rápida, de texturas medias y ph ligeramente ácidos en superficie y neutros a profundidad.

Tabla 42. Descripción de las características generales del perfil P1

Características Generales del Perfil P1			
Departamento: Cundinamarca		**Municipio:** Bogotá D.C.	
RELIEVE:	Plano		
GRADO DE PENDIENTE:	1–3%. Longitud de la pendiente: Larga. Forma: Plana.		
CLIMA AMBIENTAL:	Frío húmedo		
CLIMA EDÁFICO:	**Régimen de Temperatura:** Isomésico **Régimen de humedad:** Údico		
EROSIÓN:	No hay.	**GRADO DE EROSIÓN:**	No presenta
PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL:	No hay		

Características Generales del Perfil P1			
DRENAJE NATURAL.	Bien drenada		
PROFUNDIDAD EFECTIVA:	Superficial. **Limitada por:** Fragmentos de rocas en el perfil.		
HORIZONTES DIAGNÓSTICOS			
Epipedón:	Úmbrico.	**Endopedón:**	No presenta
USO ACTUAL:	Urbano		
OBSERVACIONES:	El perfil se hizo en una zona con pasto, en donde se pueden observar algunos árboles.		

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 43. Descripción de los horizontes del Perfil P1

Horizonte Profundidad	Principales Características	Metro Linea 2. P1.
00 - 20 cm Ap.	Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (2,5Y3/2); textura franca arenosa, presenta fragmentos de roca tipo cascajo de forma irregular en un 10%; estructura en bloques subangulares, finos y medios, moderado; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; frecuentes raíces finas, vivas y muertas; poca actividad de macroorganismos; límite claro; pH 6.3, de reacción ligeramente ácido.	
20 - 41 cm C1	Color en húmedo pardo grisáceo oscuro (2,5Y3/3); textura franca arenosa, presenta fragmentos de roca tipo cascajo de forma irregular y escombros en un 40%; sin estructura; consistencia en húmedo masiva, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; pocas raíces, finas y muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; pH 6.6, de reacción neutro.	
41 - 72 cm Ab	Color en húmedo pardo grisáceo oscuro (10YR4/2); textura franca arenosa, presenta fragmentos de roca tipo cascajo de forma irregular y escombros en un 5%; estructura en bloques subangulares, medios, moderado; consistencia en húmedo masiva, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; pocas raíces, muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; pH 6.9, de reacción neutro.	
72 - 110 cm C2	Color en húmedo pardo amarillento (10YR5/6); textura franca arenosa; sin estructura; consistencia en húmedo masiva, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; pocas raíces, muy finas, muertas; no presenta actividad de macroorganismos; pH 6.6, de reacción neutro.	

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Entre las propiedades fisicoquímicas de mayor relevancia a mencionar de los horizontes de este perfil tenemos que el contenido de carbono orgánico es medio para los primeros 3 horizontes y bajo para el tercer horizonte, el porcentaje de nitrógeno es medio para los primeros horizontes y bajo para el último horizonte del perfil. La capacidad de intercambio

catiónica (CIC), es alta en todos los horizontes. Los valores de fósforo disponibles son medios en el primer horizonte y bajos en los horizontes siguientes. La saturación de bases presenta variedad de valores medios en los dos primeros horizontes, altos en el tercer horizonte y bajos en el cuarto horizonte. Por último, se puede observar que los suelos presentan bajos niveles de conductividad eléctrica (C.E., menor de 2 dS/m), por lo que son clasificados como normales (N).

Tabla 44. Parámetros físico-químicos del Perfil 1

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)			
		0-20	20-41	41-72	72-110
Densidad Aparente	g/cm3	0,88	0,71	N.A	N.A
Densidad Real	g/cm3	2,21	2,21	N.A	N.A
Humedad Aprovechable	%	18,71	17,28	22,11	N.A
Porosidad Total	%	60,18	67,87	N.A	N.A
% Retención de humedad (0 Kpa)		99,78	94,48	75,50	N.A
% Retención de humedad (-33 Kpa)		54,7	51,73	48,62	N.A
% Retención de humedad (-1500 Kpa)		35,99	34,45	26,52	N.A
Fósforo	mg/Kg	19,25	11,85	8,92	2,92
Nitrógeno	%	0,5	0,39	0,3	0,22
Carbono Orgánico	%	5,843	4,46	3,46	2,50
Materia orgánica	%	10,07	7,7	5,97	4,32
CIC	cmol(+)/Kg	30,18	34,07	28,76	42,19
Ca	cmol(+)/Kg	12.39	13.19	23.97	7.19
Mg	cmol(+)/Kg	1,33	1,1	0,43	0,7
K	cmol(+)/Kg	0.10	0.09	0.04	0.02
Na	cmol(+)/Kg	0.09	0.08	0.07	0.11
B.T.	cmol(+)/Kg	13,91	14,46	24,51	8,02
Saturación de Bases	%	46,09	42,43	85,2	19,01
Relación Ca/Mg		9,31	11,99	55,74	10,27
Interpretación		Amplia	Amplia con deficiencia de Mg	Amplia con deficiencia de Mg	Amplia con deficiencia de Mg
Relación Mg/K		13,3	12,22	10,75	35
Interpretación		Amplia	Amplia	Amplia	Amplia con deficiencia de K
Relación Ca/K		123,9	146,55	599,25	359,5
Interpretación		Amplia con deficiencia de K	Amplia con deficiencia de K	Amplia con deficiencia de K	Amplia con deficiencia de K
Relación (Ca+Mg)/K		137,2	158,77	610,0	394,5
Interpretación		Amplia con deficiencia de K	Amplia con deficiencia de K	Amplia con deficiencia de K	Amplia con deficiencia de K
pH		6,3	6,6	6,9	6,6
RAS		0,14	0,23	0,18	0,17
PSI		0,26	0,2	0,2	0,24
Clase		N	N	N	N
Pa	%	82,12	75,7	62,42	71,17
CE	dS/m	0,19	0,16	0,15	0,14
Na intercambiable Real	cmol(+)/Kg	0.077	0.067	0.057	0.100

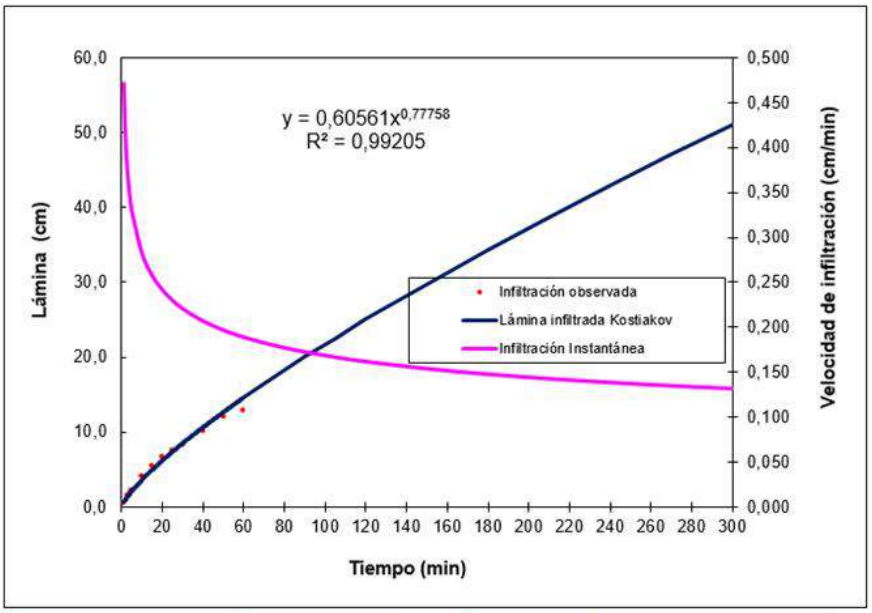
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Para el contenido de metales pesados podemos mencionar de manera general que el Cadmio presenta valores normales en todos los horizontes del perfil. El Plomo presenta valores normales en primer y cuarto horizonte. El Cromo presenta valores normales en el tercer horizonte y bajos en el primer, tercer y cuarto horizonte. El zinc y cobre presentan valores normales en todos sus horizontes. Además, podemos encontrar los valores de otros metales en la siguiente tabla.

Tabla 45. Contenido de metales pesados del perfil 1

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)			
		0-20	20-41	41-72	72-120
Cobre Total	mg/kg	60,87	43,29	64,42	23,54
Zinc Total	mg/kg	93,78	73,34	63,31	39,75
Cromo Total	mg/kg	2,24	7,62	0,97	1,59
Plomo Total	mg/kg	0,82	9,88	10,92	0,76
Cadmio Total	mg/kg	1,07	0,84	0,71	0,32
Aceites y Grasas	mg/kg	751	666	351	< 100
Arsénico Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5	< 5
Bario Total	mg/kg	106	106	122	108
Hidrocarburos	mg/kg	629	519	304	< 100
Mercurio Total	mg/kg	1.73	1.23	2.1	3.13
Níquel Total	mg/kg	5.87	8.41	5.94	5.1
Plata Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5	< 5
Selenio Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5	< 5

Fuente: UT MOVIUS, 2022.



Infiltración básica (Ib) =	9,51 cm/hr
	95,14 mm/hr

Calificación	Moderadamente rápida

Figura 48. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 1.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Descripción del perfil Metro Línea 2 P.2.**



Fotografía 21. Sitio del segundo perfil.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Este perfil fue descrito en la ciudad de Bogotá, en la Calle 72 Carrera 75b, para determinar el estado actual de los suelos en cuanto a sus características físico, químicas y la presencia de contaminantes que se puedan encontrar en ellos.

Los suelos presentes en este segundo punto son superficiales, están limitados por fragmentos de rocas tipo cascajo de forma irregular, y residuos de materiales de relleno en el segundo horizonte haciendo de este un suelo antrópico. Son bien drenados, no se encontró nivel freático, presentan una velocidad de infiltración moderadamente rápida, de texturas finas en superficie y medias a profundidad, de ph ligeramente alcalinos en el primer y tercer horizonte y ligeramente ácidos en el segundo horizonte.

Tabla 46. Descripción de las características generales del perfil P2

Características Generales del Perfil P2	
Departamento: Cundinamarca	**Municipio:** Bogotá D.C.
RELIEVE:	Plano
GRADO DE PENDIENTE:	1–3%. Longitud de la pendiente: Larga. Forma: Plana.
CLIMA AMBIENTAL:	Frío húmedo
CLIMA EDÁFICO:	Régimen de Temperatura: Isomésico Régimen de humedad: Údico

Características Generales del Perfil P2			
EROSIÓN:	No hay.	**GRADO DE EROSIÓN:**	No presenta
PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL:	No hay		
DRENAJE NATURAL.	Bien drenada		
PROFUNDIDAD EFECTIVA:	Superficial. Limitada por: Fragmentos de rocas en el perfil.		
HORIZONTES DIAGNÓSTICOS	*Epipedón:* Úmbrico *Endopedón:* No presenta		
USO ACTUAL:	Urbano		
OBSERVACIONES:	El perfil se hizo en una zona con pasto, en donde se pueden observar algunos árboles.		

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 47. Descripción de los horizontes del Perfil P2

Horizonte Profundidad	Principales Características	Metro Linea 2. P2.
00 - 15 cm Ap.	Color en húmedo pardo muy oscuro (2,5Y3/2); textura arcillosa, presenta fragmentos de roca tipo cascajo de forma irregular en un 10%; estructura en bloques subangulares, finos, débiles; consistencia en húmedo friable, en mojado pegajosa, plástica; frecuentes raíces finas, vivas; poca actividad de macroorganismos; límite claro; pH 7.5, de reacción ligeramente alcalino.	
15 - 95 cm C1	Color en húmedo pardo oscuro a pardo (10YR4/3); textura franca, presenta fragmentos de roca tipo cascajo de forma irregular en un 40%; sin estructura; consistencia en húmedo masiva, en mojado no pegajosa, ligeramente plástica; frecuentes raíces, finas y muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; límite claro; pH 6.4, de reacción ligeramente ácido.	
95 - 110 cm C2	Color en húmedo pardo pálido (10YR6/3); textura franca; sin estructura; consistencia en húmedo masiva, en mojado no pegajosa, ligeramente plástica; pocas raíces, muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; pH 7.5, de reacción ligeramente alcalino.	

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Entre las propiedades fisicoquímicas de mayor relevancia a mencionar de los horizontes de este perfil tenemos que el contenido de carbono orgánico son bajos para el primer horizonte y medios en los últimos horizontes, el porcentaje de nitrógeno es bajo para el primer horizonte, alto para el segundo, y medio para el último horizonte del perfil. La capacidad de intercambio catiónica (CIC), es alta en todos los horizontes. Los valores de fósforo disponibles son medios en el primer horizonte y altos en los horizontes siguientes. La saturación de bases presenta valores altos en todos los horizontes. Por último, se puede observar que los suelos presentan bajos niveles de conductividad eléctrica (C.E., menor de 2 dS/m), por lo que son clasificados como normales (N).

Tabla 48. Parámetros físico-químicos del Perfil 2

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-15	15-95	95-110
Densidad Aparente	g/cm3	0,99	N.A	N.A
Densidad Real	g/cm3	2,39	N.A	N.A
Humedad Aprovechable	%	8,64	14,10	25,96
Porosidad Total	%	58,58	N.A	N.A
% Retención de humedad (0 Kpa)		63,18	95,87	80,92
% Retención de humedad (-33 Kpa)		31,19	42,23	44,34
% Retención de humedad (-1500 Kpa)		22,55	28,13	18,39
Fósforo	mg/Kg	31.89	142.08	80.80
Nitrógeno	%	0,15	0,61	0,30
Carbono Orgánico	%	1,76	7,08	3,61
Materia orgánica	%	3,04	12,21	6,23
CIC	cmol(+)/Kg	20,42	20,83	26,70
Ca	cmol(+)/Kg	12.33	13.06	16.35
Mg	cmol(+)/Kg	1,58	1,80	0,43
K	cmol(+)/Kg	0.19	1,16	0.14
Na	cmol(+)/Kg	0,24	0.06	0.16
B.T.	cmol(+)/Kg	14,34	16,08	17,08
Saturación de Bases	%	70,21	77,17	63,96
Relación Ca/Mg		7,80	7,25	38,02
Interpretación		Amplia	Amplia	Amplia con deficiencia de Mg
Relación Mg/K		8,31	1,55	3,07
Interpretación		Amplia	Estrecha	Amplia
Relación Ca/K		64,89	11,25	116,78
Interpretación		Amplia con deficiencia de K	Amplia	Amplia con deficiencia de K
Relación (Ca+Mg)/K		73,21	12,81	119,85
Interpretación		Amplia con deficiencia de K	Amplia	Amplia con deficiencia de K
pH		7,5	6,4	7,6
RAS		0,79	0,16	0,32
PSI		0,92	0,19	0,52
Clase		N	N	N
Pa	%	67,22	80,89	75,68
CE	dS/m	0,54	0,92	0,40
Na intercambiable Real	cmol(+)/Kg	0.188	0.039	0.138

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Para el contenido de metales pesados podemos mencionar de manera general que el Cadmio presenta valores normales en todos los horizontes del perfil. El Plomo presenta valores normales en el primer y tercer horizonte. El Cromo presenta valores normales en el segundo horizonte y valores bajos en el primer y tercer horizonte. El zinc y cobre presentan valores normales en todos sus horizontes. Además, podemos encontrar los valores de otros metales en la siguiente tabla.

Tabla 49. Contenido de metales pesados del perfil 2

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-15	15-95	95-120
Cobre Total	mg/kg	40,43	108,71	49,04
Zinc Total	mg/kg	36,32	158,25	52,29
Cromo Total	mg/kg	3,95	5,71	1,89
Plomo Total	mg/kg	0,33	25,87	0,56
Cadmio Total	mg/kg	0,47	1,78	0,73
Aceites y Grasas	mg/kg	< 100	1144	133
Arsénico Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5
Bario Total	mg/kg	75.8	153	120
Hidrocarburos	mg/kg	< 100	577	124
Mercurio Total	mg/kg	< 1	1.24	1.2
Níquel Total	mg/kg	< 5	10.7	7.28
Plata Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5
Selenio Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

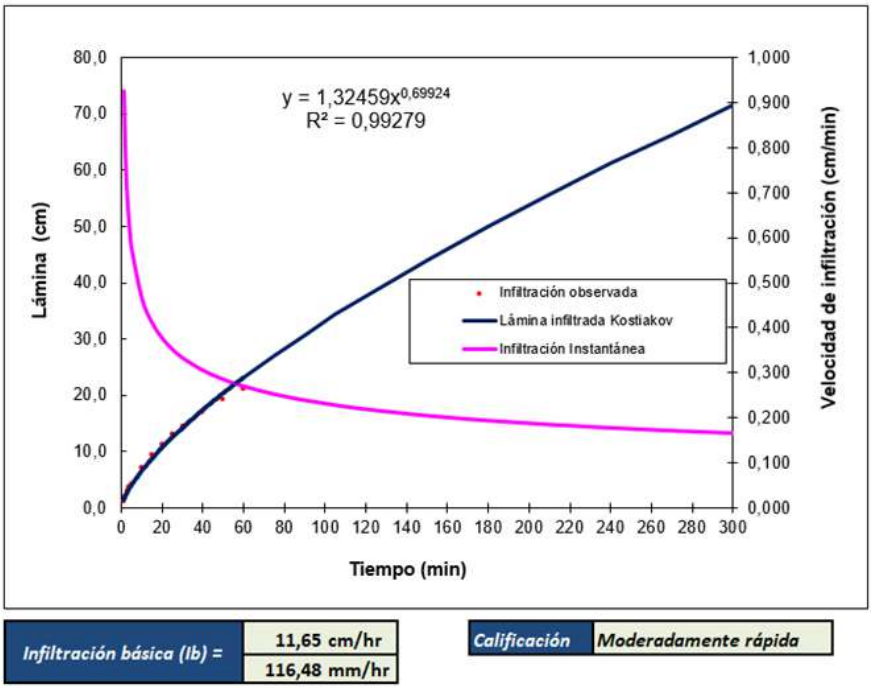


Figura 49. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 2.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Descripción del perfil Metro Línea 2 P.3.**



Fotografía 22. Sitio del tercer perfil.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Este perfil fue descrito en la ciudad de Bogotá, en la sobre la Avenida Cali, para determinar el estado actual de los suelos en cuanto a sus características físico, químicas y la presencia de contaminantes que se puedan encontrar en ellos.

Los suelos presentes en este tercer punto son superficiales, están limitados por fragmentos de rocas tipo cascajo de forma irregular, y residuos de materiales de relleno en el segundo horizonte haciendo de este un suelo antrópico. Son bien drenados, no se encontró nivel freático, presentan una velocidad de infiltración rápida, de texturas medias en todo el perfil y de ph ligeramente alcalinos en superficie y tercer horizonte y se vuelve neutro en profundidad.

Tabla 50. Descripción de las características generales del perfil P3

Características Generales del Perfil P3			
Departamento: Cundinamarca		**Municipio:** Bogotá D.C.	
RELIEVE:	Plano		
GRADO DE PENDIENTE:	1–3%. Longitud de la pendiente: Larga. Forma: Plana.		
CLIMA AMBIENTAL:	Frío húmedo		
CLIMA EDÁFICO:	Régimen de Temperatura: Isomésico Régimen de humedad: Údico		
EROSIÓN:	No hay.	**GRADO DE EROSIÓN:**	No presenta
PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL:	No hay		
DRENAJE NATURAL.	Bien drenada		

Características Generales del Perfil P3	
PROFUNDIDAD EFECTIVA:	Superficial. Limitada por: Fragmentos de rocas en el perfil.
HORIZONTES DIAGNÓSTICOS	*Epipedón:* Úmbrico *Endopedón:* No presenta
USO ACTUAL:	Urbano
OBSERVACIONES:	El perfil se hizo en una zona con pasto, en donde se pueden observar algunos árboles.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 51.Descripción de los horizontes del Perfil P3

Horizonte Profundidad	Principales Características	Metro Linea 2. P3.
00 - 20 cm Ap.	Color en húmedo pardo grisáceo oscuro (10YR4/2); textura franca arenosa, presenta fragmentos de roca tipo cascajo de forma irregular en un 10%; estructura en bloques subangulares, finos, débiles; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; frecuentes raíces finas y gruesas, vivas; poca actividad de macroorganismos; límite claro; pH 7.4, de reacción ligeramente alcalino.	
20 - 38 cm C1	Color en húmedo pardo oscuro a pardo (10YR4/3); textura franca arenosa, presenta fragmentos de roca tipo cascajo de forma irregular en un 40%; sin estructura; consistencia en húmedo masiva, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; frecuentes raíces, finas y muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; límite claro; pH 7.8, de reacción ligeramente alcalino.	
38 - 120 cm C2	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2); textura franca arenosa; estructura en bloques subangulares, medios, moderado; consistencia en húmedo masiva, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; pocas raíces, finas y muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; pH 7.2, de reacción neutro.	

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Entre las propiedades fisicoquímicas de mayor relevancia a mencionar de los horizontes de este perfil tenemos que el contenido de carbono orgánico son medios para el primer horizonte, bajo para el segundo y medio para el tercero, el porcentaje de nitrógeno es medio para el primer horizonte, bajo para el segundo, y alto para el último horizonte del perfil. La capacidad de intercambio catiónica (CIC), es media para los dos primeros horizontes y alta en el tercer horizonte. Los valores de fósforo disponibles son alto para el primer horizonte, medio para el segundo y bajo para el tercero. La saturación de bases presenta valores altos en todos los horizontes. Por último, se puede observar que los suelos presentan bajos niveles de conductividad eléctrica (C.E., menor de 2 dS/m), por lo que son clasificados como normales (N).

Tabla 52. Parámetros físico-químicos del Perfil 3

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-20	20-38	38-120

Densidad Aparente	g/cm3	0,68	N.A	N.A
Densidad Real	g/cm3	2,31	N.A	N.A
Humedad Aprovechable	%	15,41	14,83	30,91
Porosidad Total	%	70,56	N.A	N.A
% Retención de humedad (0 Kpa)		74,90	50,45	102,47
% Retención de humedad (-33 Kpa)		34,07	29,46	64,50
% Retención de humedad (-1500 Kpa)		18,66	14,63	33,60
Fósforo	mg/Kg	174.08	32.14	7,00
Nitrógeno	%	0,32	0,17	0,53
Carbono Orgánico	%	3,75	1,99	6,11
Materia orgánica	%	6,46	3,43	10,54
CIC	cmol(+)/Kg	17,51	14,71	36,08
Ca	cmol(+)/Kg	19.01	19.59	21.75
Mg	cmol(+)/Kg	0,79	0,34	0,33
K	cmol(+)/Kg	0,34	0,30	0.05
Na	cmol(+)/Kg	0,23	0.18	0,24
B.T.	cmol(+)/Kg	20,37	20,41	22,37
Saturación de Bases	%	SAT	SAT	62,00
Relación Ca/Mg		24,063	57,618	65,90
Interpretación		Amplia con deficiencia de Mg	Amplia con deficiencia de Mg	Amplia con deficiencia de Mg
Relación Mg/K		2,32	1,13	6,60
Interpretación		Estrecha	Estrecha	Amplia
Relación Ca/K		55,91	65,30	435,00
Interpretación		Amplia con deficiencia de K	Amplia con deficiencia de K	Amplia con deficiencia de K
Relación (Ca+Mg)/K		58,23	66,43	441,60
Interpretación		Amplia con deficiencia de K	Amplia con deficiencia de K	Amplia con deficiencia de K
pH		7,4	7,9	7,3
RAS		0,75	0,43	0,86
PSI		0,69	0,88	0,38
Clase		N	N	N
Pa	%	70,44	51,62	78,59
CE	dS/m	1,03	1,30	0,55
Na intercambiable Real	cmol(+)/Kg	0.120	0.129	0.138

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Para el contenido de metales pesados podemos mencionar de manera general que el Cadmio presenta un valor por encima del normal los demás horizontes presentan valores normales en todos los horizontes del perfil. El Plomo presenta valores normales en el tercer horizonte. El Cromo presenta normales en el primer y tercer horizonte y valores bajos en el segundo horizonte. El zinc y cobre presentan valores normales en todos sus horizontes. Además, podemos encontrar los valores de otros metales en la siguiente tabla.

Tabla 53. Contenido de metales pesados del perfil 3

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-20	20-38	38-120

Cobre Total	mg/kg	115,34	39,2	17,6
Zinc Total	mg/kg	195,42	86,24	31,61
Cromo Total	mg/kg	7,66	0,97	7,03
Plomo Total	mg/kg	14,48	3,49	0,38
Cadmio Total	mg/kg	2,54	1,64	0,76
Aceites y Grasas	mg/kg	731	1776	346
Arsénico Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5
Bario Total	mg/kg	98.4	101	69.1
Hidrocarburos	mg/kg	577	1092	227
Mercurio Total	mg/kg	1.64	1.31	2.1
Níquel Total	mg/kg	9.83	6.16	< 5
Plata Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5
Selenio Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

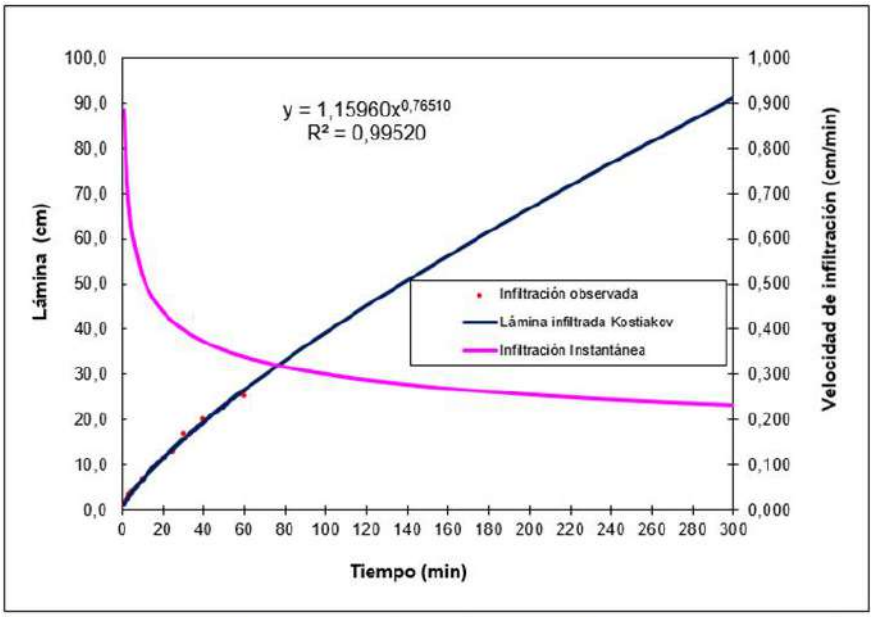


Figura 50. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 3.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Descripción del perfil Metro Línea 2 P.4.**



Fotografía 23. Sitio del cuarto perfil.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Este perfil fue descrito en la ciudad de Bogotá, en el Humedal Juan Amarillo, para determinar el estado actual de los suelos en cuanto a sus características físico, químicas y la presencia de contaminantes que se puedan encontrar en ellos.

Los suelos presentes en este cuarto punto son superficiales, están limitados por fragmentos de rocas tipo cascajo de forma irregular, y residuos de materiales de relleno en el segundo horizonte haciendo de este un suelo antrópico. Son bien drenados, no se encontró nivel freático, presentan una velocidad de infiltración moderadamente lenta, de texturas finas en superficie y medias a profundidad, de ph muy fuertemente ácidos en todo el perfil.

Tabla 54. Descripción de las características generales del perfil P4

Características Generales del Perfil P4			
Departamento: Cundinamarca		**Municipio:** Bogotá D.C.	
RELIEVE:	Plano		
GRADO DE PENDIENTE:	1–3%. Longitud de la pendiente: Larga. Forma: Plana.		
CLIMA AMBIENTAL:	Frío húmedo		
CLIMA EDÁFICO:	Régimen de Temperatura: Isomésico Régimen de humedad: Údico		
EROSIÓN:	No hay.	**GRADO DE EROSIÓN:**	No presenta
PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL:	No hay		

Características Generales del Perfil P4	
DRENAJE NATURAL.	Moderado
PROFUNDIDAD EFECTIVA:	Superficial. Limitada por: Fragmentos de rocas en el perfil.
HORIZONTES DIAGNÓSTICOS	*Epipedón:* Úmbrico *Endopedón:* No presenta
USO ACTUAL:	Urbano
OBSERVACIONES:	El perfil se hizo al lado del humedal, en donde se pueden observar algunos árboles

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 55. Descripción de los horizontes del Perfil P4

Horizonte Profundidad	Principales Características	Metro Linea 2. P4.
00 - 19 cm Ap.	Color en húmedo pardo grisáceo oscuro (10YR4/2); textura arcillosa; estructura en bloques subangulares, medios, moderados; consistencia en húmedo friable, en mojado pegajosa, plástica; frecuentes raíces finas y gruesas, vivas; poca actividad de macroorganismos; límite claro; pH 4.7, de reacción muy fuertemente ácido.	
19 - 53 cm Cg1	Color en húmedo gris oscuro (5Y4/1), con moteado color pardo amarillento (10YR5/4) en un 20%; textura arcillo arenosa, presenta fragmentos de roca tipo cascajo de forma irregular en un 40%; estructura en bloques subangulares, medios, moderados; consistencia en húmedo friable, en mojado pegajosa, plástica; frecuentes raíces, finas y muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; límite claro; pH 4.7, de reacción muy fuertemente ácido.	
53 - 100 cm Cg2	Color en húmedo gris (5Y5/1); textura franca arcillosa, con moteado color gris a gris claro (10YR6/1) en un 20%; estructura en bloques subangulares, medios, moderado; consistencia en húmedo friable, en mojado pegajosa, plástica; pocas raíces, muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; pH 4.7, de reacción muy fuertemente ácido.	

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Entre las propiedades fisicoquímicas de mayor relevancia a mencionar de los horizontes de este perfil tenemos que el contenido de carbono orgánico son bajos para todo el perfil, el porcentaje de nitrógeno es bajo para todos los horizontes del perfil. La capacidad de intercambio catiónica (CIC), es alta para el primer horizonte y media en los siguientes. Los valores de fósforo disponibles son altos para todos los horizontes. La saturación de bases presenta valores bajos en el primer horizonte y medios en los horizontes siguientes. Por último, se puede observar que los suelos presentan bajos niveles de conductividad eléctrica (C.E., menor de 2 dS/m), por lo que son clasificados como normales (N).

Tabla 56. Parámetros físico-químicos del Perfil 4

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-19	19-53	53-100
Densidad Aparente	g/cm3	1,25	N.A	N.A
Densidad Real	g/cm3	2,36	N.A	N.A
Humedad Aprovechable	%	6,02	5,25	10,37
Porosidad Total	%	47,03	N.A	N.A
% Retención de humedad (0 Kpa)		59,72	54,37	71,19
% Retención de humedad (-33 Kpa)		33,44	23,39	35,04
% Retención de humedad (-1500 Kpa)		27,42	18,14	24,67
Fósforo	mg/Kg	67.23	58.18	78.11
Nitrógeno	%	0,20	0,09	0,08
Carbono Orgánico	%	2,31	1,05	0,89
Materia orgánica	%	3,99	1,82	1,54
CIC	cmol(+)/Kg	25,98	15,15	14,73
Ca	cmol(+)/Kg	6.07	4,23	5,01
Mg	cmol(+)/Kg	1,54	0,88	1,28
K	cmol(+)/Kg	0,26	0.11	0.11
Na	cmol(+)/Kg	0.11	0.10	0.160
B.T.	cmol(+)/Kg	7,98	5,32	6,56
Saturación de Bases	%	30,71	35,11	44,53
Relación Ca/Mg		3,94	4,80	3,91
Interpretación		Normal	Amplia	Normal
Relación Mg/K		5,92	8,00	11,63
Interpretación		Amplia	Amplia	Amplia
Relación Ca/K		23,34	38,45	45,54
Interpretación		Amplia	Amplia con deficiencia de K	Amplia con deficiencia de K
Relación (Ca+Mg)/K		29,26	46,45	57,18
Interpretación		Amplia	Amplia con deficiencia de K	Amplia con deficiencia de K
pH		4,8	4,7	4,8
RAS		0,45	0,25	0,49
PSI		0,30	0,55	0,97
Clase		N	N	N
Pa	%	71,63	58,99	52,38
CE	dS/m	0,32	0,34	0,21
Na intercambiable Real	cmol(+)/Kg	0.078	0.083	0.142

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Para el contenido de metales pesados podemos mencionar de manera general que el Cadmio presenta valores normales en todos los horizontes del perfil. El Plomo presenta valores normales en todos los horizontes del perfil. El Cromo presenta valores normales en el primer horizonte y valores bajos en sus otros 2 horizontes. El zinc y cobre presentan valores normales en todos sus horizontes. Además, podemos encontrar los valores de otros metales en la siguiente tabla.

Tabla 57. Contenido de metales pesados del perfil 4

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-19	19-53	53-100
Cobre Total	mg/kg	23,34	15,7	8,56
Zinc Total	mg/kg	62,01	54,59	34,22
Cromo Total	mg/kg	6,46	1,97	1,26
Plomo Total	mg/kg	1,54	1,06	0,65
Cadmio Total	mg/kg	1,35	1,16	0,79
Aceites y Grasas	mg/kg	212	< 100	< 100
Arsénico Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5
Bario Total	mg/kg	274	215	129
Hidrocarburos	mg/kg	202	< 100	< 100
Mercurio Total	mg/kg	1.49	< 1	< 1
Níquel Total	mg/kg	8.97	7.14	< 5
Plata Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5
Selenio Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

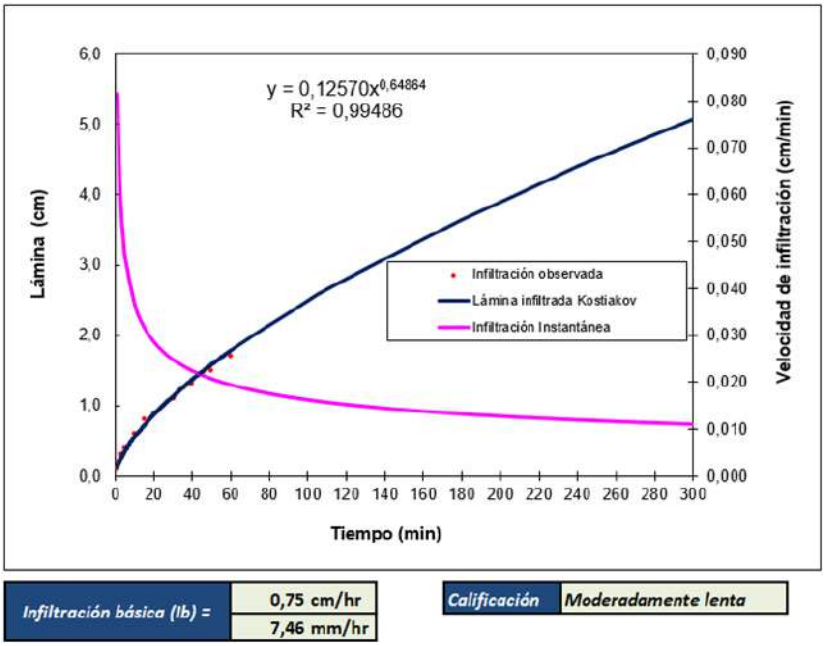


Figura 51. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 4.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Descripción del perfil Metro Línea 2 P.5.**



Fotografía 24. Sitio del quinto perfil.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Este perfil fue descrito en la ciudad de Bogotá, en la Calle 127 con Carrera 102, para determinar el estado actual de los suelos en cuanto a sus características físico, químicas y la presencia de contaminantes que se puedan encontrar en ellos.

Los suelos presentes en este quinto punto son superficiales, están limitados por fragmentos de rocas tipo cascajo de forma irregular, y residuos de materiales de relleno en el segundo horizonte haciendo de este un suelo antrópico. Son bien drenados, no se encontró nivel freático, presentan una velocidad de infiltración moderada, de texturas medias en todo el perfil y de ph ligeramente a moderadamente ácidos.

Tabla 58. Descripción de las características generales del perfil P5

Características Generales del Perfil P5			
Departamento: Cundinamarca		**Municipio:** Bogotá D.C.	
RELIEVE:	Plano		
GRADO DE PENDIENTE:	1–3%. Longitud de la pendiente: Larga. Forma: Plana.		
CLIMA AMBIENTAL:	Frío húmedo		
CLIMA EDÁFICO:	Régimen de Temperatura: Isomésico Régimen de humedad: Údico		
EROSIÓN:	No hay.	**GRADO DE EROSIÓN:**	No presenta
PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL:	No hay		
DRENAJE NATURAL.	Bien drenado		
PROFUNDIDAD EFECTIVA:	Superficial. Limitada por: Fragmentos de rocas en el perfil.		

Características Generales del Perfil P5	
HORIZONTES DIAGNÓSTICOS	*Epipedón:* Úmbrico *Endopedón:* No presenta
USO ACTUAL:	Urbano
OBSERVACIONES:	El perfil se hizo en un parque, en donde se pueden observar algunos árboles.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 55 Descripción de los horizontes del Perfil P5

Horizonte Profundidad	Principales Características	Metro Linea 2. P5.
00 - 12 cm Ap.	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2); textura franca arenosa; estructura en bloques subangulares, finos, débiles; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; frecuentes raíces finas y gruesas, vivas; poca actividad de macroorganismos; límite claro; pH 5.5, de reacción moderadamente ácido.	
12 - 30 cm C	Color en húmedo amarillo parduzco (10YR6/8); textura franco arcillo arenosa, presenta fragmentos de roca tipo cascajo de forma irregular en un 40%; sin estructura; consistencia en húmedo masiva, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; pocas raíces, finas y muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; límite claro; pH 6.1, de reacción ligeramente ácido.	
30 - 110 cm Cg1	Color en húmedo gris (5Y5/1), con moteado color pardo amarillento (10YR5/8); textura franca arcillosa, presenta fragmentos de roca tipo cascajo de forma irregular en un 20%; sin estructura; consistencia en húmedo masiva, en mojado pegajosa, plástica; pocas raíces, muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; pH 5.5, de reacción moderadamente ácido.	

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Entre las propiedades fisicoquímicas de mayor relevancia a mencionar de los horizontes de este perfil tenemos que el contenido de carbono orgánico es bajo para todo el perfil, el porcentaje de nitrógeno es alto para el primer horizonte y bajo para los horizontes restantes. La capacidad de intercambio catiónica (CIC), es alta para el primer y tercer horizonte y media para el segundo horizonte. Los valores de fósforo disponibles son altos para todos los horizontes. La saturación de bases presenta valores medios en los primeros horizontes y bajos en el último horizonte. Por último, se puede observar que los suelos presentan bajos niveles de conductividad eléctrica (C.E., menor de 2 dS/m), por lo que son clasificados como normales (N).

Tabla 59. Parámetros físico-químicos del Perfil 5

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-12	12-30	30-120
Densidad Aparente	g/cm3	0,64	N.A	N.A

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-12	12-30	30-120
Densidad Real	g/cm3	2,00	N.A	N.A
Humedad Aprovechable	%	29,70	4,38	14,52
Porosidad Total	%	68,00	N.A	N.A
% Retención de humedad (0 Kpa)		158,00	27,47	86,13
% Retención de humedad (-33 Kpa)		74,01	14,15	45,82
% Retención de humedad (-1500 Kpa)		44,31	9,77	31,30
Fósforo	mg/Kg	52.01	40.21	120.33
Nitrógeno	%	0,69	0,13	0,12
Carbono Orgánico	%	8,00	1,52	1,40
Materia orgánica	%	13,80	2,63	2,42
CIC	cmol(+)/Kg	39,39	12,76	33,55
Ca	cmol(+)/Kg	13.17	4,86	5,95
Mg	cmol(+)/Kg	2,38	0,62	1,30
K	cmol(+)/Kg	1,53	0,60	1,05
Na	cmol(+)/Kg	0.10	0.05	0.12
B.T.	cmol(+)/Kg	17,18	6,13	8,42
Saturación de Bases	%	43,61	48,03	25,10
Relación Ca/Mg		5,53	7,83	4,57
Interpretación		Amplia	Amplia	Amplia
Relación Mg/K		1,55	1,03	1,23
Interpretación		Estrecha	Estrecha	Estrecha
Relación Ca/K		8,60	8,10	5,66
Interpretación		Amplia	Amplia	Estrecha
Relación (Ca+Mg)/K		10,16	9,13	6,90
Interpretación		Amplia	Estrecha	Estrecha
pH		5,5	6,2	5,5
RAS		0,22	0,18	0,46
PSI		0,16	0,28	0,26
Clase		N	N	N
Pa	%	101,36	68,70	57,14
CE	dS/m	1,10	0,41	0,46
Na intercambiable Real	cmol(+)/Kg	0.0627	0.0355	0.0878

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Para el contenido de metales pesados podemos mencionar de manera general que el Cadmio presenta valores normales en los dos primeros horizontes, y un valor por encima del normal en el tercer horizonte. El Plomo presenta valores normales en todos los horizontes del perfil. El Cromo presenta valores normales en todos sus horizontes. El zinc y cobre presentan valores normales en todos sus horizontes. Además, podemos encontrar los valores de otros metales en la siguiente tabla.

Tabla 60. Contenido de metales pesados del perfil 5

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)

		0-12	12-30	30-120
Cobre Total	mg/kg	20,79	9,52	25,65
Zinc Total	mg/kg	96,09	75,85	87,83
Cromo Total	mg/kg	10,13	7,98	7,11
Plomo Total	mg/kg	0,62	8,85	1,9
Cadmio Total	mg/kg	1,91	1,2	2,97
Aceites y Grasas	mg/kg	319	< 100	212
Arsénico Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5
Bario Total	mg/kg	111	60.2	170
Hidrocarburos	mg/kg	225	< 100	110
Mercurio Total	mg/kg	1.04	< 1	1.27
Níquel Total	mg/kg	7.93	6.48	24
Plata Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5
Selenio Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

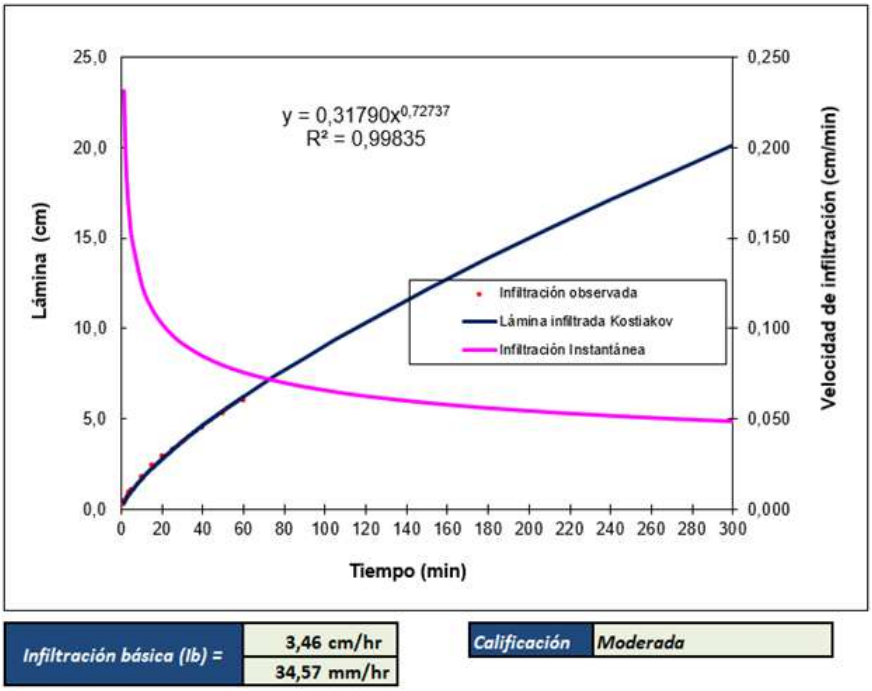


Figura 52. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 5.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Descripción del perfil Metro Línea 2 P.6.**



Fotografía 25. Sitio del sexto perfil.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Este perfil fue descrito en la ciudad de Bogotá, en la Carrera 118 com Calle 130, para determinar el estado actual de los suelos en cuanto a sus características físico, químicas y la presencia de contaminantes que se puedan encontrar en ellos.

Los suelos presentes en este sexto punto son profundos, las raíces no presentan limitaciones aunque se encontraron residuos basura y fragmentos de roca tipo cascajo en un bajo porcentaje. Son bien drenados, no se encontró nivel freático, presentan una velocidad de infiltración moderadamente lenta, de texturas medio gruesas en todo el perfil y de ph ligeramente alcalinos en superficie y se vuelve ácido a profundidad..

Tabla 61. Descripción de las características generales del perfil P6

Características Generales del Perfil P6			
Departamento: Cundinamarca		**Municipio:** Bogotá D.C.	
RELIEVE:	Plano		
GRADO DE PENDIENTE:	1–3%. Longitud de la pendiente: Larga. Forma: Plana.		
CLIMA AMBIENTAL:	Frío húmedo		
CLIMA EDÁFICO:	Régimen de Temperatura: Isomésico Régimen de humedad: Údico		
EROSIÓN:	No hay.	**GRADO DE EROSIÓN:**	No presenta
PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL:	No hay		
DRENAJE NATURAL.	Bien drenado		
PROFUNDIDAD EFECTIVA:	Profunda. Limitada por: No presenta		
HORIZONTES DIAGNÓSTICOS	*Epipedón:* Úmbrico *Endopedón:* No presenta		
USO ACTUAL:	Urbano		

Características Generales del Perfil P6	
OBSERVACIONES:	El perfil se hizo en un potrero, en donde se pueden observar algunos árboles, pasto.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 62. Descripción de los horizontes del Perfil P6

Horizonte Profundidad	Principales Características	Metro Linea 2. P6.
00 - 50 cm Ap.	Color en húmedo pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2); textura franca arenosa, presenta fragmentos de rocas tipo cascajo en un 10% y residuos de basura; estructura en bloques subangulares, finos, débiles; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; frecuentes raíces finas y gruesas, vivas; poca actividad de macroorganismos; límite claro; pH 7.7, de reacción ligeramente alcalino.	
50 - 78 cm C1	Color en húmedo amarillo oliva (2,5Y6/8); textura franca arenosa; sin estructura; consistencia en húmedo masiva, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; pocas raíces, finas y muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; límite claro; pH 6.5, de reacción ligeramente ácido.	
78 - 110 cm C2	Color en húmedo gris oliva oscuro (5Y3/2); textura franca arenosa; sin estructura; consistencia en húmedo masiva, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; pocas raíces, muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; pH 5.7, de reacción moderadamente ácido.	

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Entre las propiedades fisicoquímicas de mayor relevancia a mencionar de los horizontes de este perfil tenemos que el contenido de carbono orgánico es medio para el primer y tercer horizonte y bajo en el segundo, el porcentaje de nitrógeno es medio para el primer y tercer horizonte y bajo para el segundo. La capacidad de intercambio catiónica (CIC), es alta para todos los horizontes. Los valores de fósforo disponibles son bajos para todos los horizontes. La saturación de bases presenta valores altos en el primer horizonte y bajos en los últimos horizontes. Por último, se puede observar que los suelos presentan bajos niveles de conductividad eléctrica (C.E., menor de 2 dS/m), por lo que son clasificados como normales (N).

Tabla 63. Parámetros físico-químicos del Perfil 6

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-50	50-78	78-120
Densidad Aparente	g/cm3	0,94	N.A	N.A
Densidad Real	g/cm3	2,24	N.A	N.A
Humedad Aprovechable	%	25,91	45,84	44,84
Porosidad Total	%	58,04	N.A	N.A

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-50	50-78	78-120
% Retención de humedad (0 Kpa)		85,56	180,99	238,86
% Retención de humedad (-33 Kpa)		47,37	103,70	135,29
% Retención de humedad (-1500 Kpa)		21,46	57,86	90,45
Fósforo	mg/Kg	8,07	4,75	4,96
Nitrógeno	%	0,28	0,21	0,30
Carbono Orgánico	%	3,24	2,41	3,43
Materia orgánica	%	5,59	4,16	5,93
CIC	cmol(+)/Kg	25,78	37,53	46,83
Ca	cmol(+)/Kg	16.56	7.77	3,35
Mg	cmol(+)/Kg	0,47	0,89	1,03
K	cmol(+)/Kg	0,44	0,38	0.16
Na	cmol(+)/Kg	0.06	0.12	0.14
B.T.	cmol(+)/Kg	17,53	9,16	4,68
Saturación de Bases	%	67,99	24,41	9,99
Relación Ca/Mg		35,23	8,73	3,25
Interpretación		Amplia con deficiencia de Mg	Amplia	Normal
Relación Mg/K		1,06	2,34	6,43
Interpretación		Estrecha	Estrecha	Amplia
Relación Ca/K		37,63	20,44	20,93
Interpretación		Amplia con deficiencia de K	Amplia	Amplia
Relación (Ca+Mg)/K		38,70	22,78	27,37
Interpretación		Amplia con deficiencia de K	Amplia	Amplia
pH		7,8	6,5	5,7
RAS		0,14	0,21	0,36
PSI		0,18	0,25	0,23
Clase		N	N	N
Pa	%	77,39	113,92	86,73
CE	dS/m	0,30	0,42	0,29
Na intercambiable Real	cmol(+)/Kg	0.047	0.092	0.108

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Para el contenido de metales pesados podemos mencionar de manera general que el Cadmio presenta valores normales en todos los horizontes del perfil. El Plomo presenta valores normales en todos los horizontes del perfil. El Cromo presenta valores normales en todos sus horizontes. El zinc y cobre presentan valores normales en todos sus horizontes. Además, podemos encontrar los valores de otros metales en la siguiente tabla.

Tabla 64. Contenido de metales pesados del perfil 6

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-50	50-78	78-120
Cobre Total	mg/kg	13,08	19,16	36,22

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-50	50-78	78-120
Zinc Total	mg/kg	40,66	56,75	28,12
Cromo Total	mg/kg	7,61	8,58	5,85
Plomo Total	mg/kg	0,17	0,92	0,86
Cadmio Total	mg/kg	0,82	0,42	0,46
Aceites y Grasas	mg/kg	202	< 100	< 100
Arsénico Total	mg/kg	< 5	7.49	< 5
Bario Total	mg/kg	93.5	153	139
Hidrocarburos	mg/kg	138	< 100	< 100
Mercurio Total	mg/kg	2.29	2.77	2.95
Níquel Total	mg/kg	< 5	7.35	7.36
Plata Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5
Selenio Total	mg/kg	< 5	< 5	5.72

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

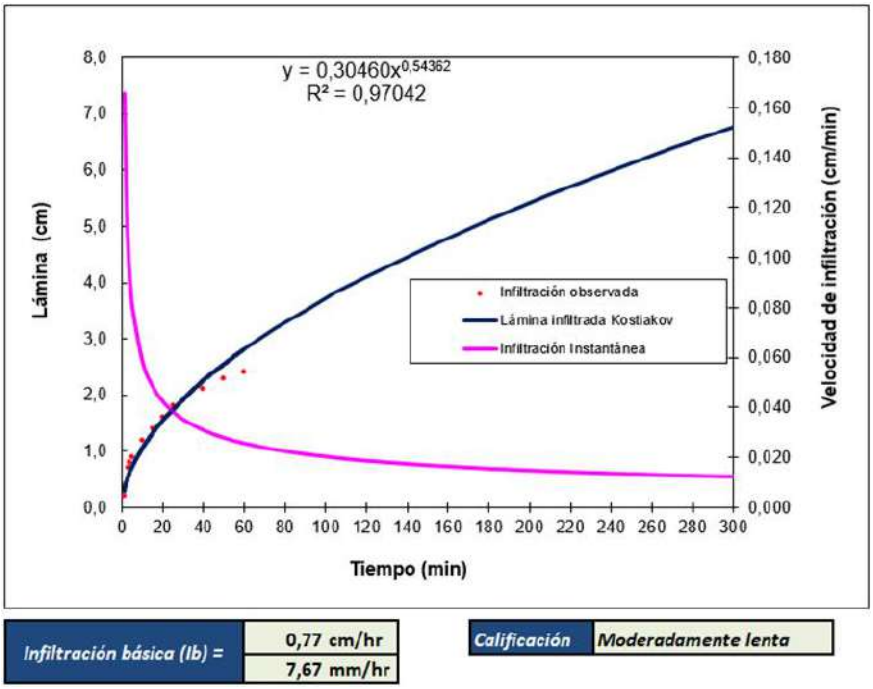


Figura 53. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 6.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Descripción del perfil Metro Línea 2 P.7.**



Fotografía 26. Sitio del séptimo perfil
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Este perfil fue descrito en la ciudad de Bogotá, en la localidad de suba barrio la gaitana, para determinar el estado actual de los suelos en cuanto a sus características físico, químicas y la presencia de contaminantes que se puedan encontrar en ellos.

Los suelos presentes en este séptimo punto son profundos, no presentan ningún tipo de limitación. Son bien drenados, no se encontró nivel freático, presentan una velocidad de infiltración moderada, de texturas medias en todo el perfil y de ph neutro en superficie y moderadamente ácido en profundidad.

Tabla 65. Descripción de las características generales del perfil P7

Características Generales del Perfil P7			
Departamento: Cundinamarca		**Municipio:** Bogotá D.C.	
RELIEVE:	Plano		
GRADO DE PENDIENTE:	1–3%. Longitud de la pendiente: Larga. Forma: Plana.		
CLIMA AMBIENTAL:	Frío húmedo		
CLIMA EDÁFICO:	Régimen de Temperatura: Isomésico Régimen de humedad: Údico.		
EROSIÓN:	No hay.	**GRADO DE EROSIÓN:**	No presenta
PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL:	No hay		
DRENAJE NATURAL.	Bien drenado		
PROFUNDIDAD EFECTIVA:	Profunda. Limitada por: No presenta		
HORIZONTES DIAGNÓSTICOS	*Epipedón:* Úmbrico *Endopedón:* No presenta		
USO ACTUAL:	Ganadería		

Características Generales del Perfil P7	
OBSERVACIONES:	El perfil se hizo en un potrero que tiene ganadería, también se pueden observar algunos árboles.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 66. Descripción de los horizontes del Perfil P7

Horizonte Profundidad	Principales Características	Metro Linea 2. P7.
00 - 50 cm Ap.	Color en húmedo negro (10YR2/1); textura franca; estructura en bloques subangulares, medios, moderados; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; frecuentes raíces finas, vivas; poca actividad de macroorganismos; límite claro; pH 6.6, de reacción neutro.	
50 - 82 cm Bw1	Color en húmedo oliva (5Y4/4), con moteado color amarillo parduzco (10YR6/8) en un 30%; textura franca; estructura en bloques subangulares, medios, moderados; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa, ligeramente plástica; frecuentes raíces, finas y muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; límite claro; pH 6,9, de reacción neutro.	
82 - 110 cm Bw2	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2); textura franca arenosa; estructura en bloques subangulares, medios, moderados; consistencia en húmedo friable, en mojado pegajosa, plástica; pocas raíces, muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; pH 5,6, de reacción moderadamente ácido.	

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Entre las propiedades fisicoquímicas de mayor relevancia a mencionar de los horizontes de este perfil tenemos que el contenido de carbono orgánico es medio para el primer y tercer horizonte y bajo en el segundo, el porcentaje de nitrógeno es medio para el primer y tercer horizonte y bajo para el segundo. La capacidad de intercambio catiónica (CIC), es alta para todos los horizontes. Los valores de fósforo disponibles es media para los primeros horizontes y baja para el último horizonte. La saturación de bases presenta valores altos en el primer y segundo horizonte y bajos en el último horizonte. Por último, se puede observar que los suelos presentan bajos niveles de conductividad eléctrica (C.E., menor de 2 dS/m), por lo que son clasificados como normales (N).

Tabla 67. Parámetros físico-químicos del Perfil 7

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-50	50-82	82-120
Densidad Aparente	g/cm3	0,69	N.A	N.A
Densidad Real	g/cm3	1,97	N.A	N.A
Humedad Aprovechable	g/cm3	46,92	46,09	53,57
Porosidad Total	%	64,97	N.A	N.A
% Retención de humedad (0 Kpa)		138,65	130,87	251,98
% Retención de humedad (-33 Kpa)		84,48	84,04	152,27
% Retención de humedad (-1500 Kpa)		37,56	37,95	98,70

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-50	50-82	82-120
Fósforo	mg/Kg	36.02	25,14	8,16
Nitrógeno	%	0,58	0,57	0,26
Carbono Orgánico	%	6,75	6,60	2,97
Materia orgánica	%	11,64	11,39	5,14
CIC	cmol(+)/Kg	45,11	48,21	43,86
Ca	cmol(+)/Kg	23.78	24.64	2,92
Mg	cmol(+)/Kg	14.16	12.76	0,86
K	cmol(+)/Kg	4.63	2.17	2.28
Na	cmol(+)/Kg	0.06	0.09	0.12
B.T.	cmol(+)/Kg	42,63	39,66	6,18
Saturación de Bases	%	94,49	82,25	14,09
Relación Ca/Mg		1,67	1,93	3,39
Interpretación		Estrecha	Estrecha	Normal
Relación Mg/K		3,05	5,88	0,37
Interpretación		Amplia	Amplia	Estrecha con deficiencia de Mg
Relación Ca/K		5,13	11,35	1,28
Interpretación		Estrecha	Amplia	Estrecha
Relación (Ca+Mg)/K		8,19	17,23	1,65
Interpretación		Estrecha	Amplia	Estrecha
pH		6,7	6,9	5,6
RAS		0,16	0,25	0,56
PSI		0,09	0,12	0,17
Clase		N	N	N
Pa	%	133,93	105,43	79,58
CE	dS/m	0,82	0,79	0,74
Na intercambiable Real	cmol(+)/Kg	0.0390	0.0591	0.0749

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Para el contenido de metales pesados podemos mencionar de manera general que el Cadmio presenta valores normales en todos los horizontes del perfil. El Plomo presenta valores normales en todos los horizontes del perfil. El Cromo presenta valores normales para el primer horizonte y valores bajos en los otros 2 horizontes. El zinc y cobre presentan valores normales en todos sus horizontes. Además, podemos encontrar los valores de otros metales en la siguiente tabla.

Tabla 68. Contenido de metales pesados del perfil 7

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-50	50-82	82-120
Cobre Total	mg/kg	50,01	53,81	42,28
Zinc Total	mg/kg	40,08	41,81	42,28
Cromo Total	mg/kg	8,55	4,53	2,96
Plomo Total	mg/kg	0,4	0,43	0,66
Cadmio Total	mg/kg	1,16	1,52	0,82

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-50	50-82	82-120
Aceites y Grasas	mg/kg	< 100	< 100	< 100
Arsénico Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5
Bario Total	mg/kg	263	276	134
Hidrocarburos	mg/kg	< 100	< 100	< 100
Mercurio Total	mg/kg	2.68	3.03	3
Níquel Total	mg/kg	10.5	11.2	6.02
Plata Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5
Selenio Total	mg/kg	< 5	< 5	5.36

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

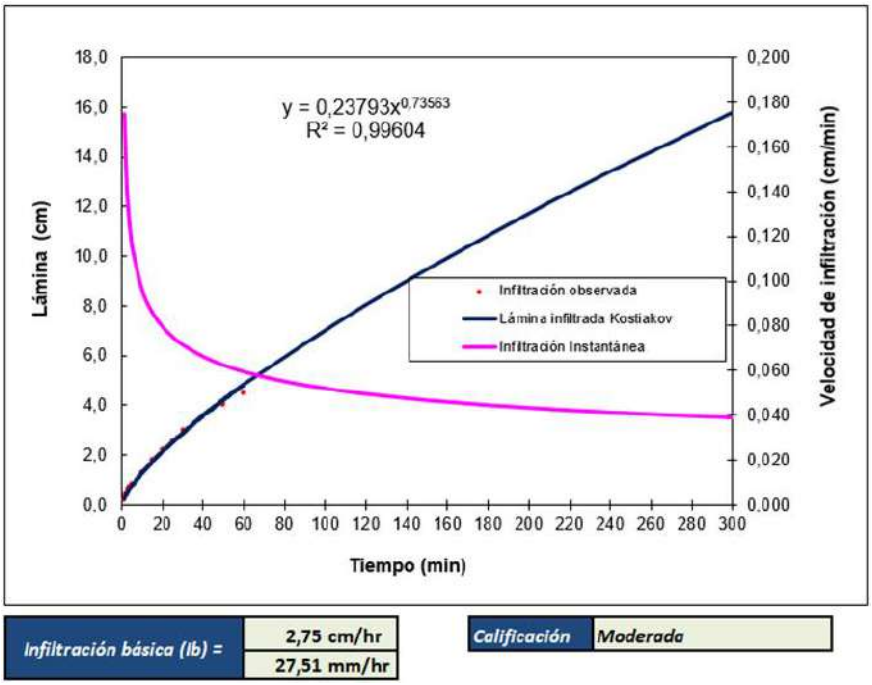


Figura 54. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 7.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Descripción del perfil Metro Línea 2 P.8.**



Fotografía 27. Sitio del octavo perfil.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Este perfil fue descrito en la ciudad de Bogotá, en la localidad de Suba Tibabuyes, potrero, para determinar el estado actual de los suelos en cuanto a sus características físico, químicas y la presencia de contaminantes que se puedan encontrar en ellos.

Los suelos presentes en este octavo punto son muy superficiales, están limitados por el mal drenaje. Son mal drenados, no se encontró nivel freático, presentan una velocidad de infiltración lenta, de texturas finas en todo el perfil y de ph fuertemente ácido.

Tabla 69. Descripción de las características generales del perfil P8

Características Generales del Perfil P8			
Departamento: Cundinamarca		**Municipio:** Bogotá D.C.	
RELIEVE:	Plano		
GRADO DE PENDIENTE:	1–3%. Longitud de la pendiente: Larga. Forma: Plana.		
CLIMA AMBIENTAL:	Frío húmedo		
CLIMA EDÁFICO:	Régimen de Temperatura: Isomésico Régimen de humedad: Údico		
EROSIÓN:	No hay.	**GRADO DE EROSIÓN:**	No presenta
PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL:	No hay		
DRENAJE NATURAL.	Pobremente drenado		
PROFUNDIDAD EFECTIVA:	Muy superficial.	**Limitada por:** Mal drenaje	
HORIZONTES DIAGNÓSTICOS	*Epipedón:* Úmbrico *Endopedón:* No presenta		

Características Generales del Perfil P8	
USO ACTUAL:	Potrero para ganadería
OBSERVACIONES:	El perfil se hizo en un potrero que tiene ganadería, también se pueden observar algunos árboles.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 70. Descripción de los horizontes del Perfil P8

Horizonte Profundidad	Principales Características	Metro Linea 2. P8.
00 - 25 cm Ap.	Color en húmedo pardo oliva (2,5Y4/3) con moteado color amarillo oliva (2,5Y6/8) en un 10%; textura arcillosa; estructura en bloques subangulares, medios, moderados; consistencia en húmedo friable, en mojado pegajosa, plástica; frecuentes raíces finas, vivas; poca actividad de macroorganismos; límite difuso; pH 5.6, de reacción moderadamente ácido.	
25 - 65 cm Bg	Color en húmedo pardo grisáceo oscuro (10YR4/2), con moteado color amarillo pardusco (10YR6/8) en un 10%; textura arcillosa; estructura en bloques subangulares, medios, moderados; consistencia en húmedo friable, en mojado muy pegajosa, muy plástica; frecuentes raíces, finas y muy finas, vivas y muertas; no presenta actividad de macroorganismos; límite claro; pH 5.0, de reacción fuertemente ácido.	
65 - 110 cm Cg	Color en húmedo pardo muy oscuro (10YR2/2); con moteado color rojo amarillento (5YR5/8) en un 10%; textura arcillosa; sin estructura; consistencia en húmedo masiva, en mojado pegajosa, plástica; pocas raíces, muy finas, muertas; no presenta actividad de macroorganismos; pH 5.4, de reacción fuertemente ácido.	

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Entre las propiedades fisicoquímicas de mayor relevancia a mencionar de los horizontes de este perfil tenemos que el contenido de carbono orgánico es bajo en todo el perfil, el porcentaje de nitrógeno es bajo en todo el perfil. La capacidad de intercambio catiónica (CIC), es alta para todos los horizontes. Los valores de fósforo disponibles son altos para el primer horizonte y medio para los últimos horizontes. La saturación de bases presenta valores altos en el primer horizonte y bajos en los últimos horizontes. Por último, se puede observar que los suelos presentan bajos niveles de conductividad eléctrica (C.E., menor de 2 dS/m), por lo que son clasificados como normales (N).

Tabla 71. Parámetros físico-químicos del Perfil 8

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-25	25-65	65-110
Densidad Aparente	g/cm3	1,30	N.A	N.A
Densidad Real	g/cm3	2,34	N.A	N.A
Humedad Aprovechable	%	14,10	12,32	13,61

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-25	25-65	65-110
Porosidad Total	%	44,44	N.A	N.A
% Retención de humedad (0 Kpa)		85,07	81,70	78,72
% Retención de humedad (-33 Kpa)		43,23	39,69	40,84
% Retención de humedad (-1500 Kpa)		29,13	27,38	27,23
Fósforo	mg/Kg	167.27	21,28	37.88
Nitrógeno	%	0,23	0,12	0,25
Carbono Orgánico	%	2,71	1,40	2,95
Materia orgánica	%	4,68	2,42	5,09
CIC	cmol(+)/Kg	28,20	27,64	32,58
Ca	cmol(+)/Kg	11.28	6.19	6.22
Mg	cmol(+)/Kg	2,20	1,49	1,49
K	cmol(+)/Kg	0,78	0,36	0,26
Na	cmol(+)/Kg	0,30	0,33	0,52
B.T.	cmol(+)/Kg	14,56	8,37	8,49
Saturación de Bases	%	51,63	30,28	26,05
Relación Ca/Mg		5,12	4,15	4,17
Interpretación		Amplia	Amplia	Amplia
Relación Mg/K		2,82	4,13	5,73
Interpretación		Estrecha	Amplia	Amplia
Relación Ca/K		14,46	17,19	23,92
Interpretación		Amplia	Amplia	Amplia
Relación (Ca+Mg)/K		17,28	21,33	29,65
Interpretación		Amplia	Amplia	Amplia
pH		5,7	5,1	5,4
RAS		0,91	1,82	1,64
PSI		0,80	0,97	1,48
Clase		N	N	N
Pa	%	74,21	67,24	53,70
CE	dS/m	0,34	0,14	0,13
Na intercambiable Real	cmol(+)/Kg	0,227	0,267	0,484

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Para el contenido de metales pesados podemos mencionar de manera general que el Cadmio presenta valores normales en el segundo horizonte, el primer y tercer horizonte presentan valores mayores al normal. El Plomo presenta valores normales en todos los horizontes del perfil. El Cromo presenta valores bajos en el primer horizonte y valores normales para el segundo y tercer horizonte. El zinc y cobre presentan valores normales en todos sus horizontes. Además, podemos encontrar los valores de otros metales en la siguiente tabla.

Tabla 72. Contenido de metales pesados del perfil 8

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-25	25-65	65-110
Cobre Total	mg/kg	44,28	31,47	28,39

Parámetro	Unidad	Profundidad (cm)		
		0-25	25-65	65-110
Zinc Total	mg/kg	84,03	68,82	65,78
Cromo Total	mg/kg	1,29	5,94	5,94
Plomo Total	mg/kg	0,39	0,5	0,46
Cadmio Total	mg/kg	3,06	1,42	2,15
Aceites y Grasas	mg/kg	526	200	156
Arsénico Total	mg/kg	10.6	8.53	< 5
Bario Total	mg/kg	216	245	361
Hidrocarburos	mg/kg	328	150	127
Mercurio Total	mg/kg	< 1	< 1	< 1
Níquel Total	mg/kg	10	11.6	11.9
Plata Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5
Selenio Total	mg/kg	< 5	< 5	< 5

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

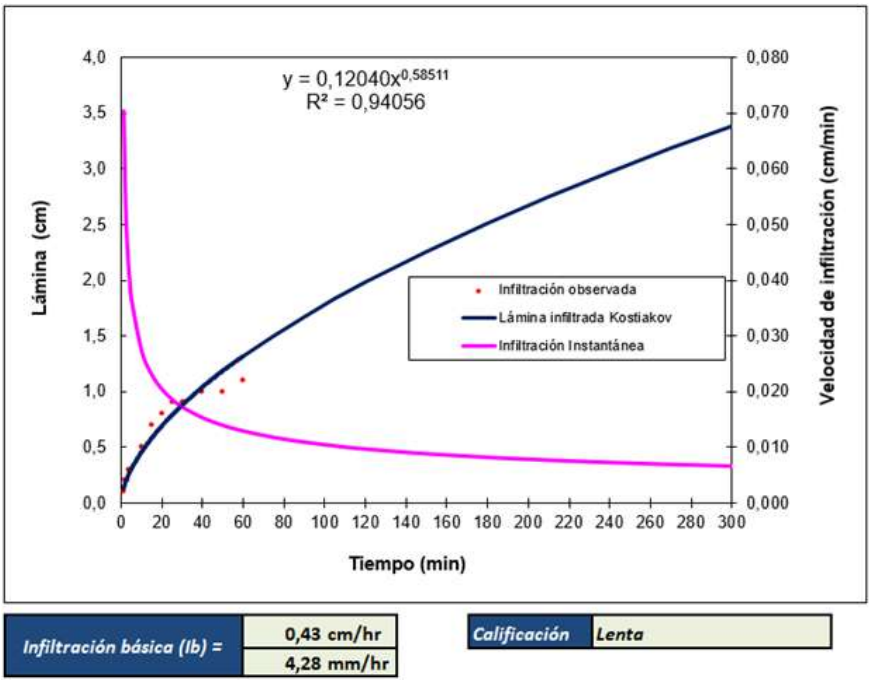


Figura 55. Curva de la velocidad de infiltración. Perfil 8.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.1.4.2. Clasificación agrológica y uso potencial.

La clasificación agrológica o por capacidad de uso de la tierra se fundamenta en la identificación de características similares, en cuanto a las limitantes que surgen de las características propias de los suelos. Estos factores definen en

conjunto el grado de utilización que puede llegar a darse en estas unidades de tierras dentro de los sistemas de producción o bien si se constituyen como tierras que deben ser recuperadas o conservadas.

El principal objetivo de la clasificación de las tierras de acuerdo con su capacidad de uso es determinar el potencial que tienen los suelos para ser utilizados de acuerdo con sus características geomorfológicas, condiciones climáticas, propiedades físicas y químicas. El resultado de la clasificación de cada suelo, permite identificar cuál será su aptitud para las distintas explotaciones económicas, ecológicas y ambientales.

Una vez definidas las diferentes unidades cartográficas de suelos por su capacidad de uso, se realizó la evaluación de las tierras definiendo las principales limitantes de la productividad agropecuaria. Se utilizó el sistema de Clasificación por capacidad de uso de las tierras (USDA, 1964, IGAC, 2014) que permite la agrupación de las diferentes unidades de suelos, en grupos que tienen las mismas clases y grados de limitaciones y que responden en forma similar a los mismos tratamientos.

La agrupación se realiza a partir de los efectos combinados del clima, de las características poco modificables de relieve y suelos y la erosión, lo cual permite definir e identificar las limitaciones para el uso agropecuario, la capacidad de producción, el riesgo de degradación del suelo y los requerimientos de uso y manejo.

La clasificación se aplica para fines agropecuarios y forestales, además, para identificar zonas de protección y conservación, para el análisis se conjugan todos los aspectos que determinan el uso más adecuado para cada suelo. La definición de la capacidad de uso tuvo en cuenta únicamente los aspectos relacionados con el suelo que intervienen directamente en la producción, sin considerar las distancias a los mercados, el estado de las vías de comunicación, la tenencia de la tierra, la educación, el nivel de vida de los campesinos, las políticas agropecuarias y la interacción con las zonas urbanas, industriales, comerciales, presenten en el área de estudio en el momento del levantamiento de información.

Evidentemente el proceso de análisis incluye aspectos generales relacionados con la posición geomorfológica, el relieve, el gradiente de las pendientes, el clima (piso térmico y condiciones de humedad), el grado de las limitaciones y la capacidad de uso, por lo tanto las subclases identificadas contienen información particularizada de los factores: geomorfología, pendiente, erosión, clima, drenaje, profundidad efectiva de los suelos, clase de drenaje natural, grupo textural, reacción, fertilidad, erosión, movimientos en masa, limitantes generales que han sido utilizadas para la determinación de las subclases y definir el uso recomendado y las prácticas de manejo.

De acuerdo a los términos de referencia y la metodología presentada en el capítulo 2, se realizó la identificación del uso potencial de suelo, que para este caso fue tomado del POMCA del río Bogotá, 2017. Se identificó una clase agrológica (clase 7), donde los principales limitantes de uso están relacionados con condiciones edáficas(s) y por condiciones de humedad (h). En la se presentan las unidades de capacidad de uso del suelo identificadas por clase, subclase y grupo de manejo.

Tabla 73. Clasificación por capacidad de uso de tierras

Clase	Subclase	Grupo de manejo	Unidad Cartográfica	Área (ha)	%
7	7sh	7sh-1	RaL02ai	40,42	56,93
Zona Urbana				30,58	43,07
Total				71,00	100

Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaboración con información del POMCA , 2017

5.2.1.4.2.1. Tierras Clase 7 (VII)

Las tierras de esta clase se encuentran localizadas en los climas muy frío húmedo, frío húmedo, templado húmedo y cálido seco. Esta clase de tierras ocupa las posiciones geomorfológicas de espinazos, crestas, crestones, cuestas y partes altas de glacis y coluvios de remoción, depósitos de cenizas volcánicas.

Los suelos se han derivado a partir de rocas sedimentarias, cenizas volcánicas y depósitos heterométricos mixtos coluviales. Corresponden a zonas superficiales, muy superficiales y moderadamente profundos, bien a excesivamente drenados, erosión moderada, con texturas medias, muy fuerte a fuertemente ácidos, alta saturación de aluminio, fertilidad baja.

Esta unidad de tierras presentan limitaciones muy severas de uso por uno o más de los siguientes factores: pendientes escarpadas, profundidad efectiva superficial y muy superficial, erosión moderada a severa, movimientos en masa frecuentes, abundante pedregosidad superficial, alto aluminio, acidez en los climas fríos y tendencia a la salinidad en el clima cálido seco, y fertilidad baja. Las tierras de esta clase solo son aptas para actividades el establecimiento de proyectos de bosques protectores o protectores-productores y para conservación de los recursos naturales. Se deben prohibir las explotaciones agropecuarias tradicionales.

- Subclase 7sh-1

Se localizan en climas fríos templados y cálidos secos y húmedos, vallecitos, nivel freático alto, inundables, susceptibles a crecidas y avalanchas, ácidos, pedregosos.

Las principales limitantes son el nivel freático alto, inundabilidad, erosión por movimientos en masa, deslizamientos. Esta subclase de tierras tiene limitaciones severas debido a movimientos en masa, inundabilidad, y fertilidad baja. Debido a las limitaciones de estas tierras, son aptas solamente para sistemas forestales protectores (FPR) y conservación de la vegetación natural, reforestación donde la vegetación ha sido talada, y vida silvestre.

Para el uso y manejo más adecuado de estas tierras, se recomienda reforestar con especies nativas o exóticas adaptadas al medio, mantenimiento de la cobertura vegetal propia de estas condiciones ecológicas, reforestación protectora, eliminar las actividades agropecuarias, evitar tala y quemas de bosques. Son tierras aptas para forestación y protección (FPR).

5.2.1.4.4. Conflictos del uso del suelo.

Los conflictos de uso de la tierra son el resultado de la discrepancia entre el uso que el hombre hace actualmente del medio natural y aquel que debería tener de acuerdo con la oferta ambiental. Se originan por diversas causas entre las que sobresalen la desigualdad en la distribución de tierras y el manejo no planificado de la relación uso - tierra en una determinada región. Los conflictos del uso de la tierra se presentan cuando las tierras son utilizadas inadecuadamente ya sea por sobreutilización o subutilización.

En la determinación de conflictos se aplica el procedimiento que se utiliza en el país para generar la información de conflictos de usos del territorio[38]. Se compara espacialmente con el uso de un sistema de información geográfica – SIG; el mapa de usos actuales versus el mapa de capacidad de uso (clases agrológicas) o uso potencial y se analiza con una matriz de doble entrada las unidades resultantes. El objetivo es identificar aquellas unidades espaciales en las cuales los usos actuales corresponden o no con la capacidad de uso del territorio.

Aquellos suelos donde el agroecosistema existente corresponde con la vocación del uso potencial o con un uso compatible sin causar deterioro ambiental y manteniendo actividades adecuadas y concordantes con la productividad natural de las tierras, se definen como lugares geográficos en los cuales existen las condiciones ambientales propicias para el desarrollo

[38] IGAC - CORPOICA, 2002

de los usos actuales, por lo cual se recomienda evitar que entren en algún tipo de conflicto, dentro de esta categoría, se han incluido los cuerpos de agua y las zonas urbanas. Cuando se presentan diferencias entre el uso actual y el potencial se dan dos escenarios:

Subutilización del suelo: hace referencia al uso actual que es menos intensivo que el uso potencial. Cuando el agroecosistema existente corresponde a un nivel inferior de intensidad de uso si se compara con la mayor capacidad productiva de las tierras.

Sobreuso del suelo: cuando las exigencias del uso actual o cobertura vegetal existente son mayores que la oferta productiva del suelo de acuerdo con sus características agroecológicas. En estas tierras se hace un aprovechamiento intenso de la base natural de recursos, sobrepasando su capacidad natural productiva y propiciando graves riesgos de tipo ecológico y social.

Por sobreuso y subutilización se presentan niveles de diferencias que dan lugar a conflictos como los siguientes:

Tabla 74. Tipos de conflictos de uso del suelo y símbolo utilizado

Tipos de Conflicto	Símbolo
Uso adecuado o sin conflicto de uso	A
Subutilización ligera	S1
Subutilización moderada	S2
Subutilización severa	S3
Sobreutilización ligera	O1
Sobreutilización moderada	O2
Sobreutilización severa	O3

Fuente: IGAC - CORPOICA. (2002).

De acuerdo con la capacidad agrológica y el tipo de uso actual del suelo, se clasificaron las variables correspondientes a estos parámetros, dando como resultado 7 categorías de conflicto de uso que dependen principalmente del uso y manejo de los suelos y del manejo adecuado de los recursos naturales renovables y no renovables que permiten la concordancia y el equilibrio sistémico de la zona .

Sin embargo, teniendo en cuenta que el proyecto se localiza en el casco urbano, de acuerdo con el POT adoptado por el Decreto 555 de 2021, no se tendría ningún conflicto por usos del suelo.

5.2.1.4.5. Vulnerabilidad a la contaminación de los suelos

Los sitios de distribución de derivados del petróleo pueden ser afectados por una variedad de productos tales como la gasolina, diesel, kerosén y aceites lubricantes. Adicionalmente, la composición de los derivados del petróleo liberados al ambiente cambia con el tiempo y está sujeta al clima. Con base en estudios toxicológicos, físicos y químicos de los compuestos de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), esta mezcla de compuestos puede dividirse en fracciones con propiedades similares:

- El rango de gasolina orgánica (GRO) (C5 - C12): Benceno, Tolueno, Etil-benceno y Xilenos (BTEX)

- El rango de diesel orgánico (DRO) (C8 - C36) - Hidrocarburos Policíclicos Aromáticas (PAHs): el cual incluye el rango de orgánicos extendidos (ERO) (C8 - C36), aceites de hidrocarburo y aceites usados
    - PAHs Cancerígeno
    - Benzo(a)antraceno
    - Benzo(a)pireno
    - Benzo(b)fluoranteno
    - Benzo(k)fluoranteno
    - Criseno
    - Dibenz(a,h)antraceno
    - Indeno(1,2,3-cd)pireno
    - PAHs No Cancerígeno
    - Naftaleno
- Todos rangos: Aditivos del Combustible:
    - Plomo
    - Etanol

La importancia del análisis y seguimientos de estos compuestos radica en su toxicidad, los cuales son clasificados en grupos de acuerdo con su efecto potencial:

- Cancerígenos: Aquellos químicos sobre los que existen evidencias científicas suficientes que podrían causar cáncer.
- No Cancerígenos: Aquellos químicos que podrían causar enfermedades diferentes al cáncer, tales como: neuro-toxicidad (efectos al sistema neurológico), hepato-toxicidad (efectos al hígado), nefro-toxicidad (efectos a los riñones), etc.

5.2.1.4.5.1. Localización de los puntos de muestreo

En el área de influencia asociada al Proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá se han identificado doce estaciones de servicio (ver Figura 56), las cuales pueden ser objeto de contaminación del suelo por posibles filtraciones de hidrocarburos a través de los contenedores subterráneos.

Inicialmente se realizó la identificación de los lugares potenciales en donde pudiera realizarse la toma de muestras, basada en imágenes satelitales del área de estudio y considerando la ubicación de la infraestructura proyectada del proyecto. Con una selección preliminar de las 12 estaciones de servicio y los 24 puntos en donde se llevarían a cabo las perforaciones, se realizó una verificación de los mismos en campo. Allí se identificaron los puntos que requerían Plan de Manejo de Tránsito (PMT).

Tabla 75. Descripción estaciones de servicio

Estación	Nombre	Punto de perforación	Identificación exploración	Coordenadas Magna Ciudad Bogotá	
				Norte	Este
E1	Texaco	1	L2MB-EST01-TEXACO01	101289,2758	107277,7631
		2	L2MB-EST01-TEXACO02	101283,0613	107265,8148
E2	Brio	1	L2MB-EST02-BRIO01	101121,6646	107313,6975
		2	L2MB-EST02-BRIO02	101129,9881	107326,0886
E3	Terpel	1	L2MB-EST03-TERPEL01	100321,4401	107701,5769

Estación	Nombre	Punto de perforación	Identificación exploración	Coordenadas Magna Ciudad Bogotá	
				Norte	Este
		2	L2MB-EST03-TERPEL02	100334,5363	107716,4021
E4	Texaco	1	L2MB-EST04-TEXACO01	99115,56968	108908,7236
		2	L2MB-EST04-TEXACO02	99046,75391	108890,2431
E5	Petromil	1	L2MB-EST05-PETROMIL01	98740,9198	109386,2641
		2	L2MB-EST05-PETROMIL02	98756,79349	109369,3396
E6	Primax	1	L2MB-EST06-PRIMAX01	97860,1154	110212,683
		2	L2MB-EST06-PRIMAX02	97846,12908	110228,059
E7	Petrobras	1	L2MB-EST07-PETROBRAS01	96954,45333	111275,0756
		2	L2MB-EST07-PETROBRAS02	96969,8811	111277,8421
E8	Shell	1	L2MB-EST08-SHELL01	97333,34192	111884,6482
		2	L2MB-EST08-SHELL02	97340,44571	111879,4492
E9	Texaco	1	L2MB-EST09-TEXACO01	97930,66147	112391,2455
		2	L2MB-EST09-TEXACO02	97945,2003	112404,5216
E10	Biomax	1	L2MB-EST10-BIOMAX01	98235,50286	113050,2673
		2	L2MB-EST10-BIOMAX02	98219,74742	112983,0055
E11	Petrobras	1	L2MB-EST11-PETROBRAS01	98283,53764	113359,9133
		2	L2MB-EST11-PETROBRAS02	98252,24019	113339,6663
E12	Biomax	1	L2MB-EST12-BIOMAX01	98240,79341	113534,3673
		2	L2MB-EST12-BIOMAX02	98222,58947	113556,9336

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

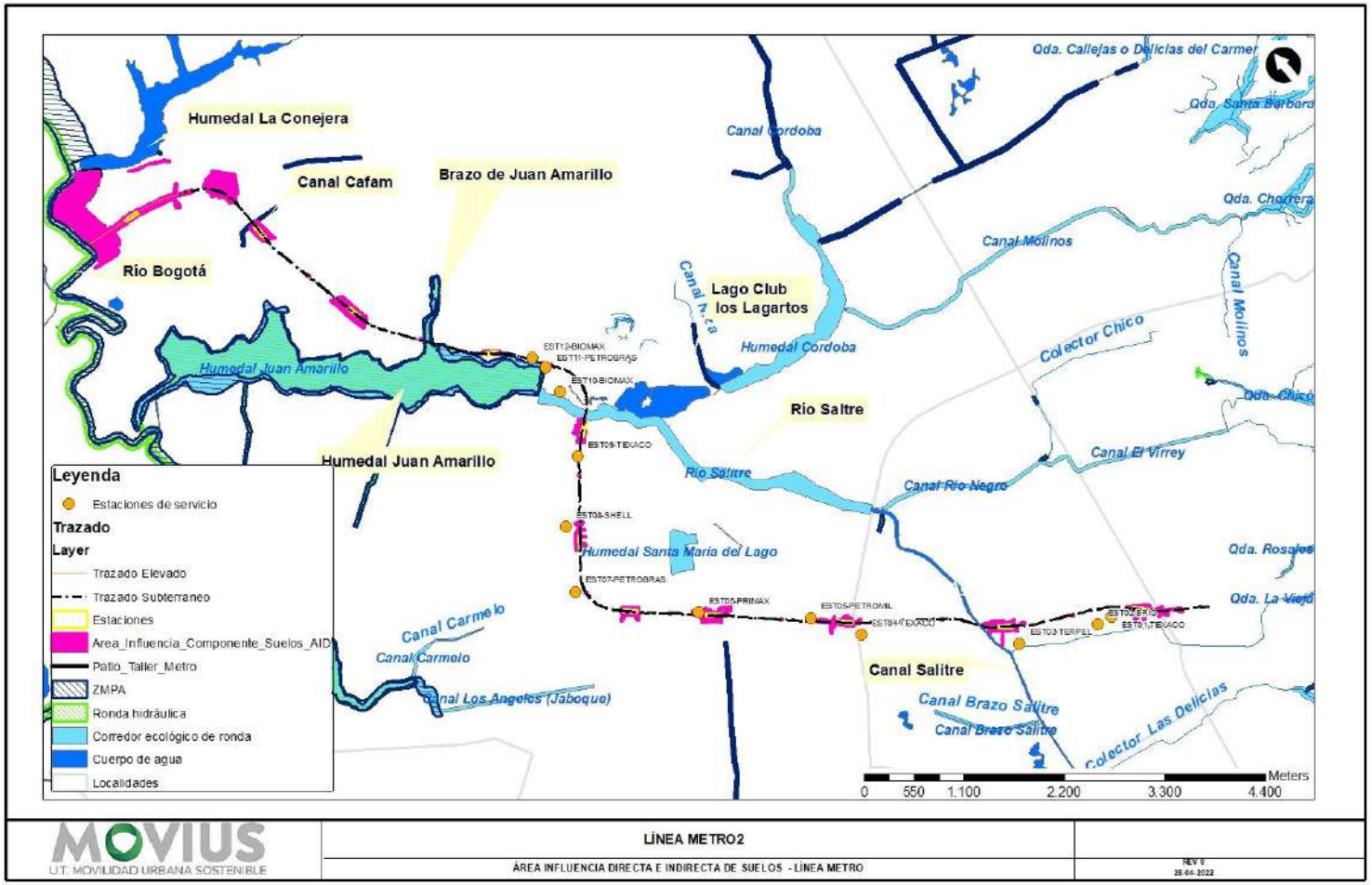
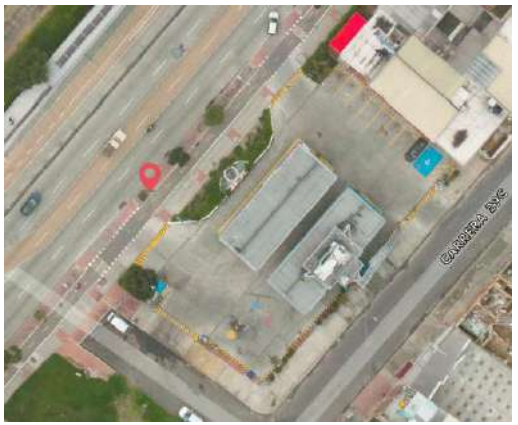
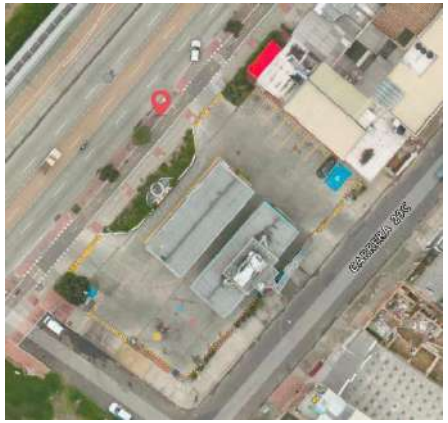


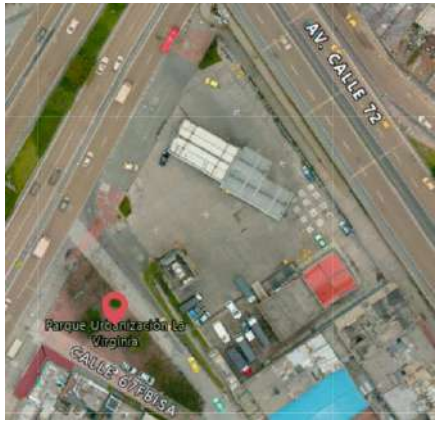
Figura 56. Estaciones de servicio asociadas al área de influencia de la Línea 2 del Metro.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 76. Estaciones de servicio asociadas al área de influencia del Proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá

<table>
<tr><th colspan="2">Estación</th><th>Punto de perforación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Estación 1 (E1): Texaco
Dirección: Calle 72 # 21 - 28</td><td rowspan="2"> 
</td><td>L2MB-EST01-TEXACO01
  </td></tr>
<tr><td>L2MB-EST01-TEXACO02
  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">Estación</th><th>Punto de perforación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Estación 2 (E2): Brio
Dirección: Carrera 24 # 71A - 68</td><td rowspan="2">  </td><td>L2MB-EST02-BRIO01
  </td></tr>
<tr><td>L2MB-EST02-BRIO02
  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">Estación</th><th>Punto de perforación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Estación 3 (E3): Terpel
Dirección: Calle 71 # 29B – 30</td><td rowspan="2">  </td><td>L2MB-EST03-TERPEL01
  </td></tr>
<tr><td>L2MB-EST03-TERPEL02
  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">Estación</th><th>Punto de perforación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Estación 4 (E4): Texaco
Dirección: Carrera 68 # 67g - 18</td><td rowspan="2"> 
</td><td>L2MB-EST04-TEXACO01
 
</td></tr>
<tr><td>L2MB-EST04-TEXACO02
 
</td></tr>
</table>

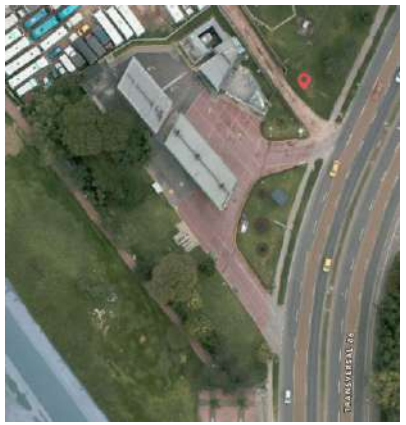
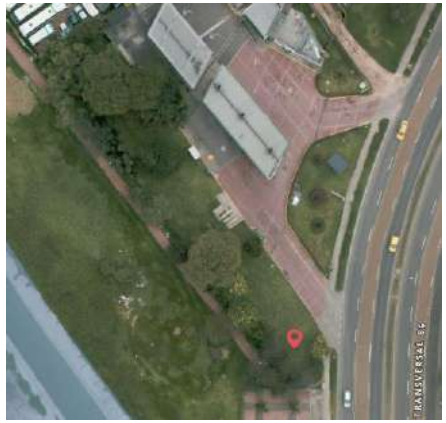
<table>
<tr><th colspan="2">Estación</th><th>Punto de perforación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Estación 5 (E5): Petromil
Dirección: Calle 72 # 68H - 42</td><td rowspan="2"> 
</td><td>L2MB-EST05-PETROMIL01
 
</td></tr>
<tr><td>L2MB-EST05-PETROMIL02
 
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">Estación</th><th>Punto de perforación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Estación 6 (E6): Primax
Dirección: Calle 72 # 73 a - 15</td><td rowspan="2">  </td><td>L2MB-EST06-PRIMAX01
  </td></tr>
<tr><td>L2MB-EST06-PRIMAX02
  </td></tr>
</table>

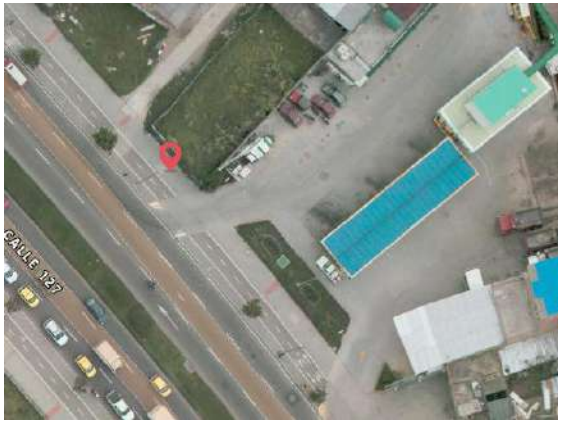
<table>
<tr><th colspan="2">Estación</th><th>Punto de perforación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Estación 7 (E7): Petrobras
Dirección: Carrera 68 # 74</td><td rowspan="2">  </td><td>L2MB-EST07-PETROBRAS01
  </td></tr>
<tr><td>L2MB-EST07-PETROBRAS02
  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">Estación</th><th>Punto de perforación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Estación 8 (E8): Shell
Dirección: Carrera 70 #79a-6</td><td rowspan="2"> 
</td><td>L2MB-EST08-SHELL01
  </td></tr>
<tr><td>L2MB-EST08-SHELL02
  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">Estación</th><th>Punto de perforación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Estación 9 (E9): Texaco
Dirección: Av. Cali # 87</td><td rowspan="2">  </td><td>L2MB-EST09-TEXACO01
  </td></tr>
<tr><td>L2MB-EST09-TEXACO02
  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">Estación</th><th>Punto de perforación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Estación 10 (E10): Biomax
Dirección: Av. Cali # 99</td><td rowspan="2">  </td><td>L2MB-EST10-BIOMAX01
  </td></tr>
<tr><td>L2MB-EST10-BIOMAX02
  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">Estación</th><th>Punto de perforación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Estación 11 (E11): Petrobras
Dirección: Calle 72 # 21 - 28</td><td rowspan="2">  </td><td>L2MB-EST11-PETROBRAS01
  </td></tr>
<tr><td>L2MB-EST11-PETROBRAS02
  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">Estación</th><th>Punto de perforación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Estación 12 (E12): Biomax
Dirección: Carrera 24 # 71A - 68</td><td rowspan="2">  </td><td>L2MB-EST12-BIOMAX01
  </td></tr>
<tr><td>L2MB-EST12-BIOMAX02
  </td></tr>
</table>

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.1.4.5.2. Determinación de sustancias objeto de análisis de laboratorio

La determinación de los posibles contaminantes en el suelo de las zonas asociadas a las estaciones de servicio que hacen parte del área de influencia del Proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá se realizó con base en el "Manual Técnico para la Ejecución de un Análisis de Riesgos para Sitios de Distribución de Derivados de Hidrocarburos". Dicho manual fue publicado en noviembre de 2007 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). En la Tabla 77 se presentan los parámetros evaluados en cada punto de monitoreo, teniendo en cuenta el listado del manual técnico.

Con los puntos y parámetros de monitoreo definidos, se procedió a ejecutar el monitoreo y análisis de las muestras de suelos, los cuales fueron desarrollados por un laboratorio acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Una vez obtenidos los resultados se realizó la comparación, según el tipo de suelo, con respecto a los límites genéricos basados en riesgos - LGBRs (ver Tabla 77), establecidos en el Manual Técnico para la Ejecución de Análisis de Riesgos del Ministerio de Ambiente. Posteriormente se llevó a cabo el análisis de los resultados de acuerdo con las concentraciones reportadas.

Tabla 77. Límites máximos LGBRs

Parámetros	Límites Genéricos Basados en Riesgos (LGBR) del manual					
	Suelo industrial - comercial			Suelo residencial - agrícola		
	Saturación suelo mg/Kg	Contacto Directo mg/Kg	Migración Agua Sub mg/Kg	Saturación suelo mg/Kg	Contacto Directo GRO/DRO mg/Kg	Migración Agua Sub mg/Kg
Metales totales						
Plomo Total		750	30		400	30
Hidrocarburos						
Hidrocarburos Totales C10-C28 DRO		5600	990		2600	790
Hidrocarburos Totales C28-C40						
Hidrocarburos Totales C6-C10 GRO		1000	330		590	25
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)						
Acenafteno						
Acenaftileno						
Antraceno						
Benzo (a) antraceno		15	110		5	110
Benzo (a) pireno		1.5	29		0.5	29
Benzo (b) fluoranteno		15	340		5	340
Benzo (e) pireno						
Benzo (g,h,i) perileno						
Benzo (k) fluoranteno		150	3400		50	3400
Criseno		1500	11000		500	11000
Dibenzo (a,h) antraceno		1.5	110		0.5	110
Fenantreno						

Parámetros	Límites Genéricos Basados en Riesgos (LGBR) del manual					
	Suelo industrial - comercial			Suelo residencial - agrícola		
	Saturación suelo mg/Kg	Contacto Directo mg/Kg	Migración Agua Sub mg/Kg	Saturación suelo mg/Kg	Contacto Directo GRO/DRO mg/Kg	Migración Agua Sub mg/Kg
Fluoranteno						
Fluoreno						
HAPs (Suma)						
Indeno (1,2,3-cd) pireno		15	970		5	970
Naftaleno		8000	170		3200	61
Pireno						
BTEX						
Benceno	590	250	0.35	590	75	340
Etilbenceno	160	6800	200	160	4600	13
m,p-Xileno	170	880	430	170	690	210
o-Xileno	170	880	430	170	690	210
SUMA BTEX						
Tolueno	310	16000	100	310	8800	12
ETANOL						
Etanol						

Fuente: Manual Técnico para la Ejecución de un Análisis de Riesgos para Sitios de Distribución de Derivados de Hidrocarburos" (MAVDT), 2007

Es importante tener en cuenta que este manual establece un procedimiento que permite manejar una situación de contaminación por hidrocarburos o sus derivados basado en un análisis de riesgos. El proceso de análisis se enfoca en el escenario específico de cada sitio, sin aplicar niveles de remediación o limpieza establecidos de antemano. Lo anterior, teniendo en cuenta los diferentes usos del terreno pasados, actuales y futuros, de la población que está ubicada o pueda ubicarse en el sitio en el futuro y de la geografía específica del sitio. Por último, se establece un procedimiento para diagnosticar posibles sitios impactados con hidrocarburos y una metodología para evaluar el costo-beneficio de la recuperación ambiental de sitios contaminados.

Así mismo, el procedimiento de análisis de riesgos presentado en el manual técnico se enfoca principalmente en niveles basados en riesgo para la salud humana. Sin embargo, los indicadores a monitorear y las concentraciones que se obtengan permitirán adicionalmente definir si el sitio presenta algún riesgo de contaminación por metales e hidrocarburos y sus derivados. Con la caracterización de los suelos, la evaluación y diagnóstico de los posibles contaminantes encontrados , se podrán establecer las recomendaciones y conclusiones del sitio.

5.2.1.4.5.3. Resultados de laboratorio

En el Anexo 5.2 -4.2, se presenta el informe del laboratorio y la compilación de los resultados obtenidos. En términos generales se evidencia que la presencia de compuestos como Hidrocarburos Totales C28-C40 e Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Sin embargo estas concentraciones a las diferentes profundidades, no superan en ningún caso los valores de referencia del manual.

5.2.1.4.5.4. Análisis de resultados

Los hidrocarburos son sustancias derivadas del petróleo que presentan niveles de toxicidad y pueden llevar a algún grado de afectación dependiendo del nivel y forma de exposición. Los hidrocarburos más comúnmente utilizados son el diesel y la gasolina, por lo que constituyen la principal fuente de contaminación. La intoxicación por hidrocarburos puede presentar afectación de las vías respiratorias e irritación al contacto con la piel. Los constituyentes más comunes de los hidrocarburos se describen a continuación:

- En su mayoría, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) son considerados como sustancias cancerígenas y por lo tanto presentan un riesgo para la salud humana.
- El naftaleno, aunque no se considera como una sustancia cancerígena, puede propiciar otros tipos de afectaciones a la salud.
- Los BTEX comprenden una serie de compuestos orgánicos volátiles (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno). Estos disolventes orgánicos se encuentran comúnmente cuando hay presencia de combustibles como gasolina o diesel. Su exposición prolongada puede generar daño neurotóxico.
- El Etanol es utilizado como aditivo en combustibles como la gasolina y por lo tanto forma parte de las sustancias objeto de estudio a pesar de no presentar un límite de referencia para su concentración.
- El plomo es un metal de carácter tóxico, el cual es utilizado como aditivo en los combustibles. De igual manera se utiliza en pinturas, baterías, objeto de cristal o vidrio y armamento (municiones), entre otros. Este metal también se encuentra en la corteza terrestre naturalmente. El plomo es bioacumulable en el sistema óseo principalmente y adicionalmente puede generar daños en el sistema cardiovascular y a nivel renal. La vía común de intoxicación puede ser por inhalación o ingestión.

Teniendo en cuenta que este tipo de sustancias pueden ser perjudiciales para la salud humana, se realizó el análisis para la identificación de las mismas en las zonas de estudio y de esta manera descartar o confirmar la presencia de estas sustancias de interés. Las técnicas más recientes de evaluación de suelos contaminados se fundamentan en metodologías de análisis de riesgo, basada en el riesgo que presentan para la salud humana y el medio ambiente los agentes químicos presentes en el sitio. Una primera evaluación se basa en la comparación de las concentraciones de contaminantes individuales hallados en suelo contra los valores de referencia, los cuales son muy conservadores.

Hidrocarburos

Para todas las estaciones de servicio, a las diferentes profundidades consideradas, se detectaron Hidrocarburos Totales C28-C40, pero sólo en el Punto 1 y 2 de la Estación 1, en el Punto 2 de la Estación 4, en el Punto 1 de la Estación 6, en el Punto 1 de la Estación 9, en el Punto 1 y 2 de la Estación 10 y en el Punto 1 de la Estación 11, se manifiesta presencia de Hidrocarburos Totales C10-C28. Sin embargo, las concentraciones de hidrocarburos no sobrepasan los límites de referencia basados en riesgos (LGBR) para los constituyentes de interés. Las mayores concentraciones de Hidrocarburos Totales C28-C40 fueron encontradas en el Punto 2 de la Estación 12 con una concentración de 330 mg/kg a 12 metros de profundidad. Por su parte, las mayores concentraciones de Hidrocarburos Totales C10-C28 se detectaron para el Punto 1 de la Estación 1 a 2 metros de profundidad con una concentración de 49.9 mg/kg. En términos generales se observa variabilidad en la concentración de hidrocarburos con la profundidad. En estaciones como la 1, 2, 5 y el punto 2 de la 7 se observa que la mayor contracción se detecta cerca de la superficie y disminuye a medida que se incrementa la profundidad, lo cual es indicativo de contaminación del suelo directamente desde la superficie. No obstante, es común evidenciar mayores concentraciones a mayores profundidades con respecto a la detectada en puntos cercanos a la superficie, como

en las estaciones 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11 y 12, lo cual puede indicar arrastre de contaminante por parte de las aguas subterráneas.

Tomando como referencia el Manual Técnico para la Ejecución de Análisis de Riesgos del Ministerio de Ambiente, estas concentraciones no son tóxicas al contacto directo o en potencial migración al agua subterránea. Sin embargo, los valores encontrados en estos puntos indican la presencia de hidrocarburos y deben ser objeto de seguimiento durante la ejecución de las actividades del proyecto. En las siguientes figuras se resumen los resultados obtenidos.

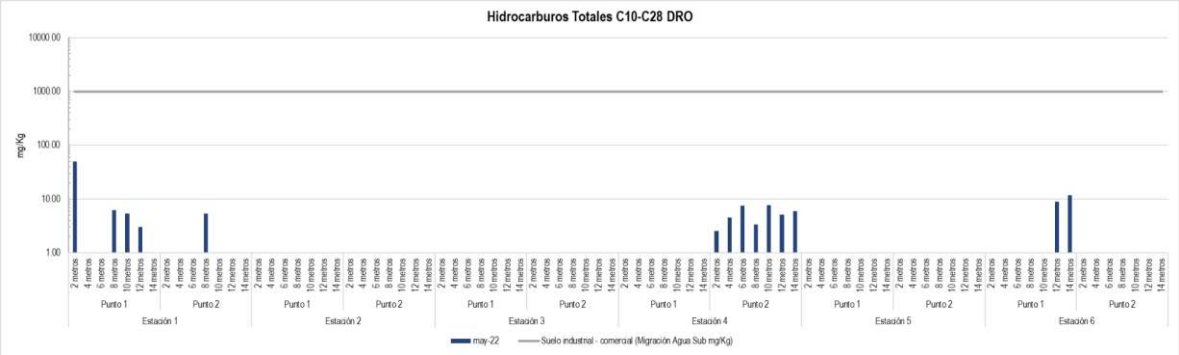


Figura 57. Resultados Hidrocarburos Totales C10-C28 Estaciones 1 a 6
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

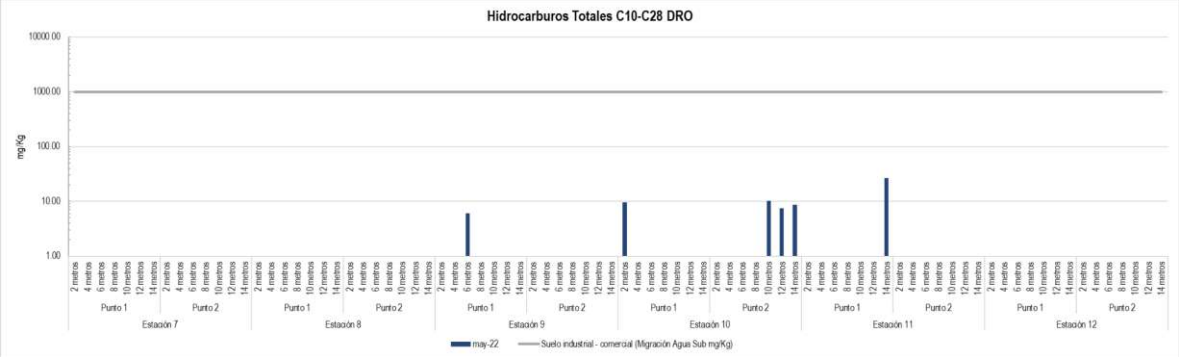


Figura 58. Resultados Hidrocarburos Totales C10-C28 Estaciones de Servicio 7 a 12
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

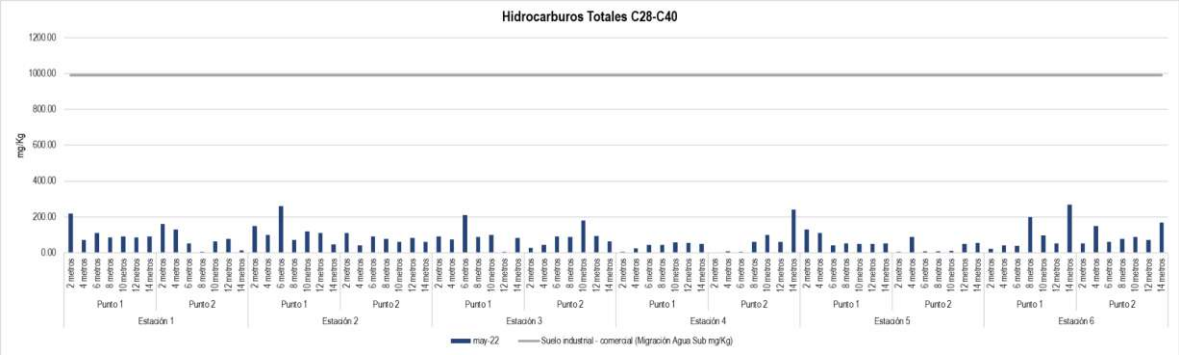


Figura 59. Resultados Hidrocarburos Totales C28-C40 Estaciones de Servicio 1 a 6
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

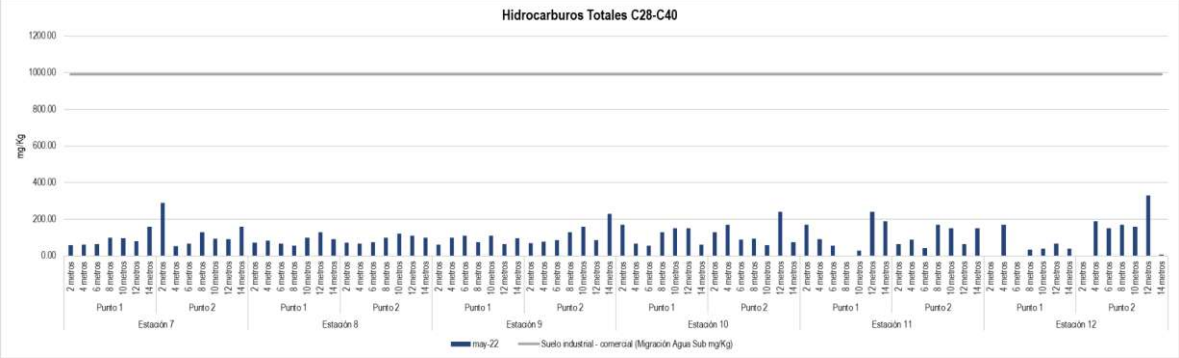


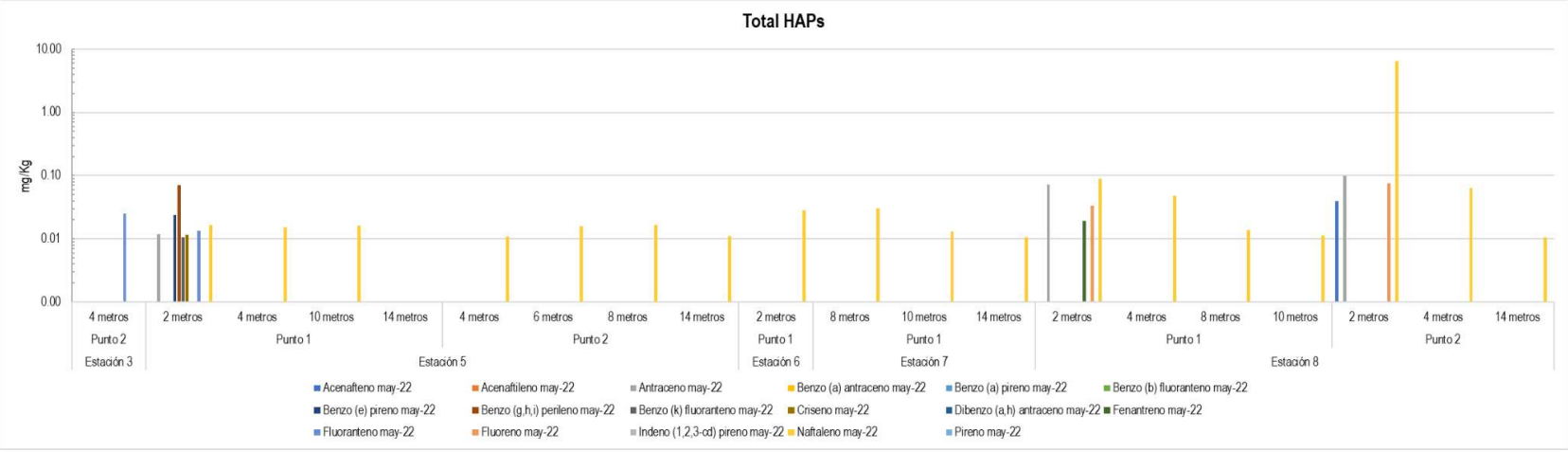
Figura 60. Resultados Hidrocarburos Totales C28-C40 Estaciones de Servicio 7 a 12
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) presentaron en su mayoría resultados inferiores a los límites de detección. Sin embargo en algunos casos se detectan mínimas concentraciones de parámetros de la mayoría de los parámetros con excepción de Acenaftileno y Benzo (a) pireno. Sin embargo, estas concentraciones no se consideran peligrosos al contacto directo o por migración al agua subterránea, de acuerdo con los valores de referencia (LGBR). En la Tabla 78 y en la Figura 61 se presenta el compilado de las estaciones para las cuales se detectaron HAPs, en verde se resaltan las concentraciones detectadas y en rojo las máximas concentraciones. De la Figura 62 a la Figura 71 se presentan los resultados para los compuestos que cuentan con LGBR. Estos compuestos se presentan principalmente en las muestras más cercanas a la superficie (entre 2 y 4 metros) y en las Estaciones 5, 8, 10 y 11 se detectan la mayor cantidad de compuestos. Sin embargo, el naftaleno se detecta en la mayoría de las estaciones en las que se detectan HAPs con excepción de las estaciones 10 y 11. En las siguientes figuras se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 78. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)

Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	E3	E5									E6	E7			E8							E10		E11		E12					
	P2	P1				P2					P1	P1			P1				P2			P2		P1		P1	P2				
	4 m	2 m	4 m	10 m	12 m	4 m	6 m	8 m	14 m	2 m	8 m	10 m	14 m	2 m	4 m	8 m	10 m	2 m	4 m	14 m	2 m	4 m	2 m	6 m	4 m	2 m	4 m	6 m	8 m	10 m
Acenafteno	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0398	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Acenaftileno	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Antraceno	<0.010	0.0119	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.072	<0.010	<0.010	<0.010	0.0993	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0204	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Benzo (a) antraceno	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0109	<0.010	0.0109	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Benzo (a) pireno	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Benzo (b) fluoranteno	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0133	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Benzo (e) pireno	<0.010	0.024	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0106	0.0112	0.012	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Benzo (g,h,i) perileno	<0.010	0.0704	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0197	0.0181	<0.010	<0.010	0.0185	<0.010	<0.010	<0.010	0.0131	<0.010
Benzo (k) fluoranteno	<0.010	0.0106	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0114	0.0114	0.012	<0.010	0.0145	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Criseno	<0.010	0.0115	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0109	0.0156	<0.010	0.0109	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Dibenzo (a,h) antraceno	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0166	0.0136	0.0115	0.0117	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0171	<0.010
Fenantreno	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0193	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Fluoranteno	0.0254	0.0134	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0337	<0.010	<0.010	<0.010	0.0757	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0231	0.0109	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Fluoreno	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Indeno (1,2,3-cd) pireno	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0193	0.018	0.0118	<0.010	0.0163	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Naftaleno	<0.010	0.0166	0.0152	0.0163	0.0156	0.0109	0.0159	0.0165	0.0111	0.0282	0.0305	0.0131	0.0106	0.0905	0.0482	0.0139	0.0113	6.512	0.064	0.0106	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0309	0.0194	0.014	0.0196	0.0162
Pireno	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.0126	<0.010	<0.010	0.0101	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010



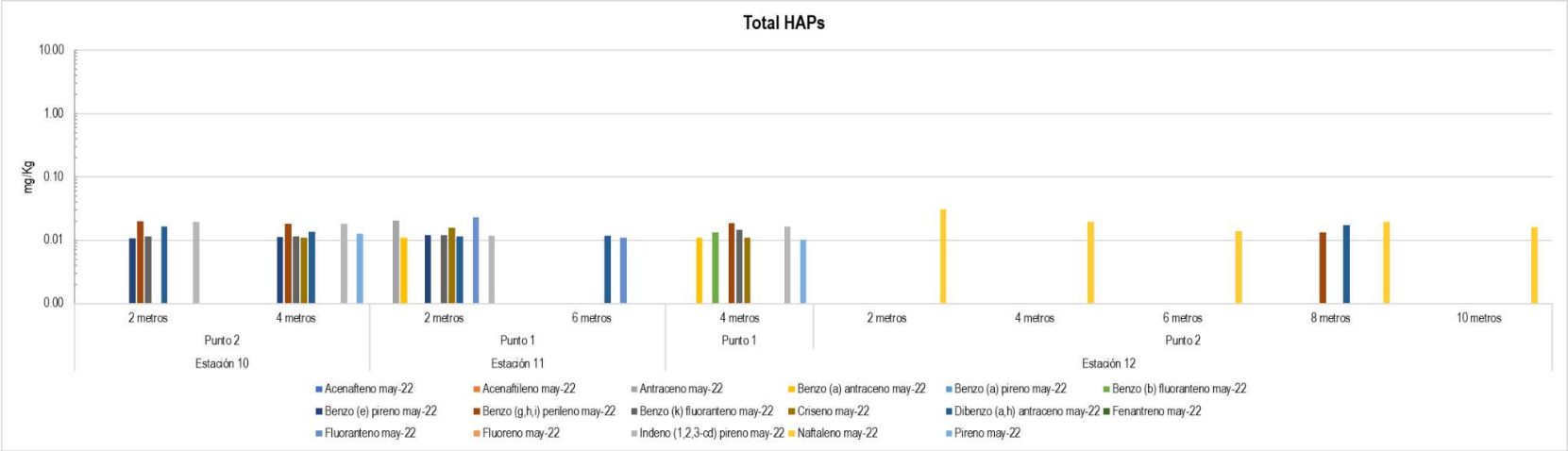


Figura 61. Compilado resultados Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

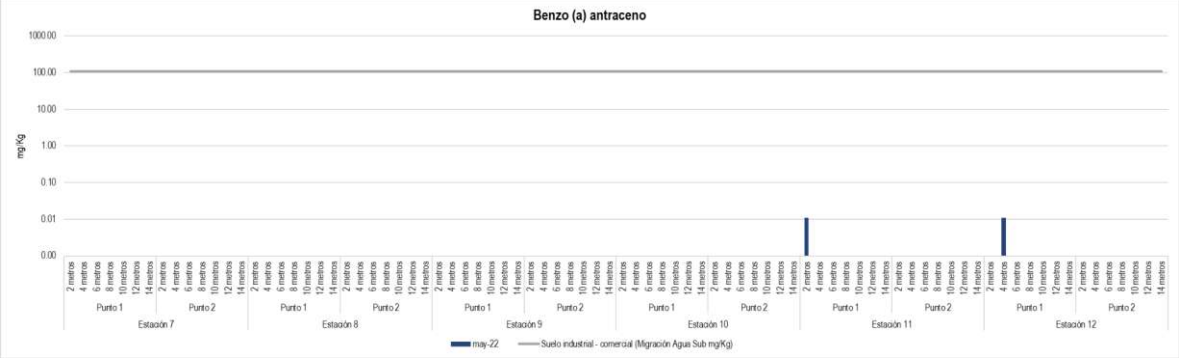


Figura 62. Resultados Benzo (a) antraceno
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

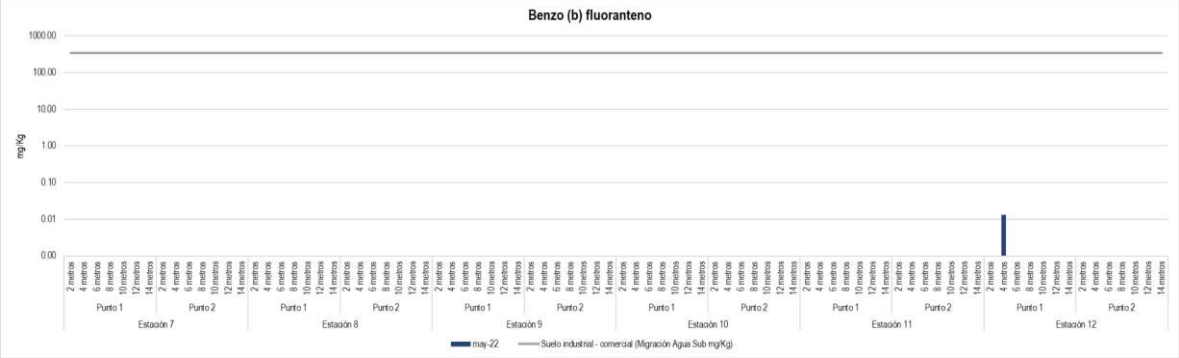


Figura 63. Resultados Benzo (b) fluoranteno
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

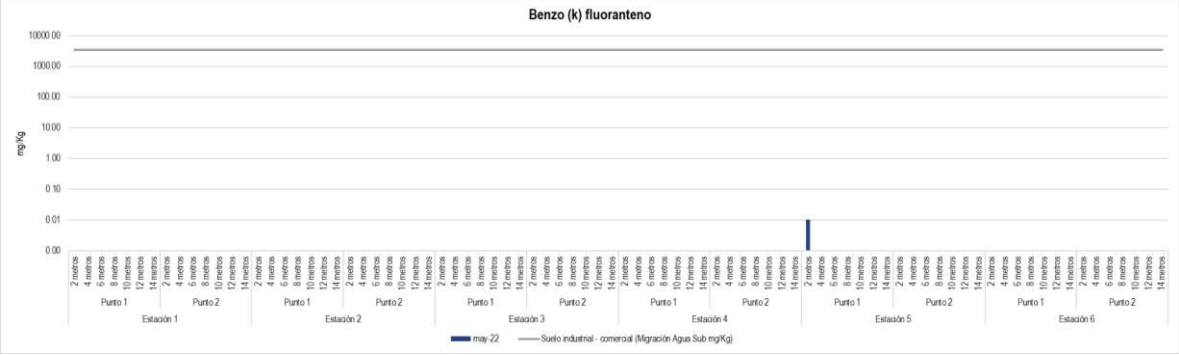


Figura 64. Resultados Benzo (k) fluoranteno Estaciones de Servicio 1 a 6
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

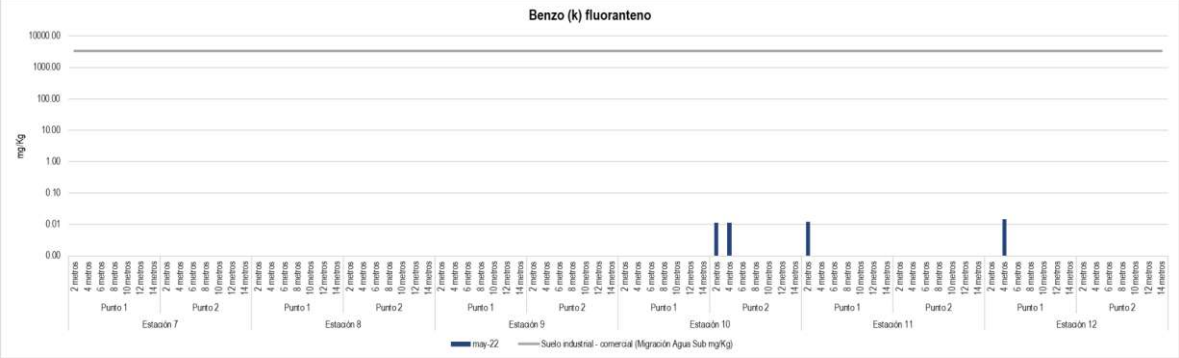


Figura 65. Resultados Benzo (k) fluoranteno Estaciones de Servicio 7 a 12
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

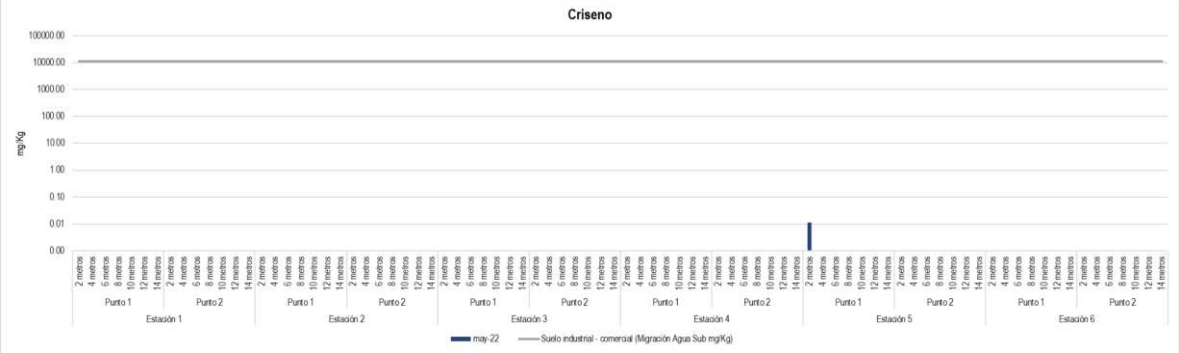


Figura 66. Criseno Estaciones de Servicio 1 a 6
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

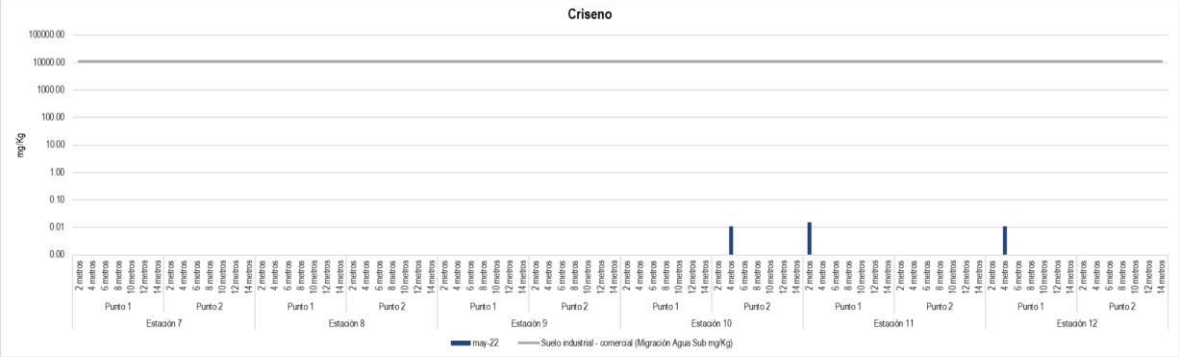


Figura 67. Criseno Estaciones de Servicio 7 a 12
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

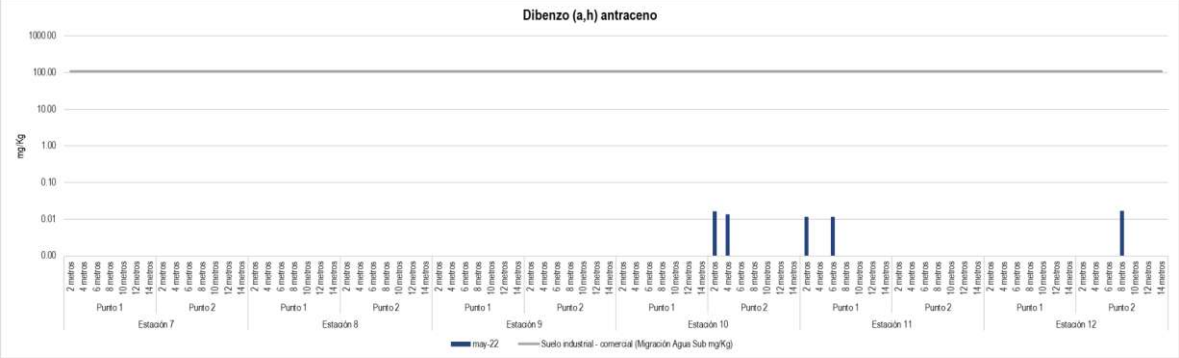


Figura 68. Resultados Dibenzo (a,h) antraceno
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

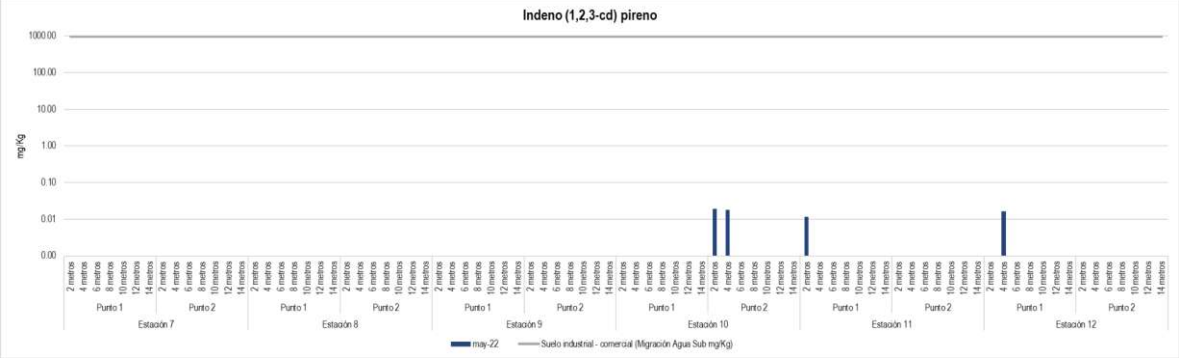


Figura 69. Resultados Indeno (1,2,3-cd) pireno
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

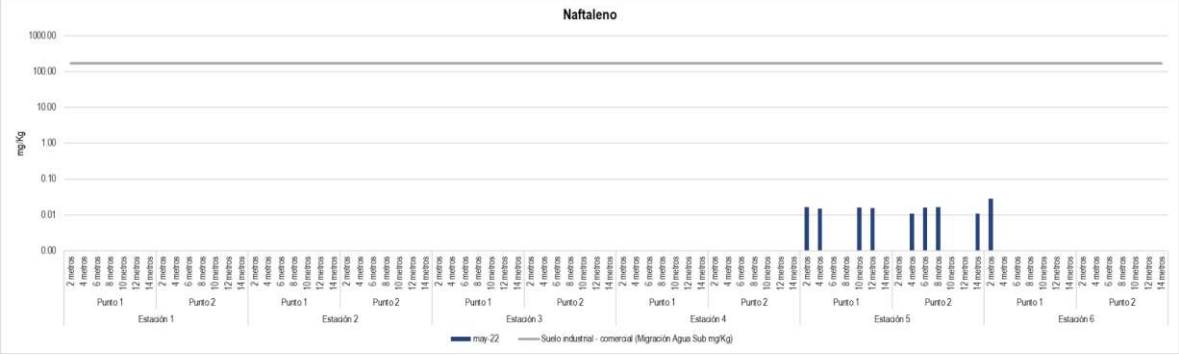


Figura 70. Resultados Naftaleno Estaciones de Servicio 1 a 6
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

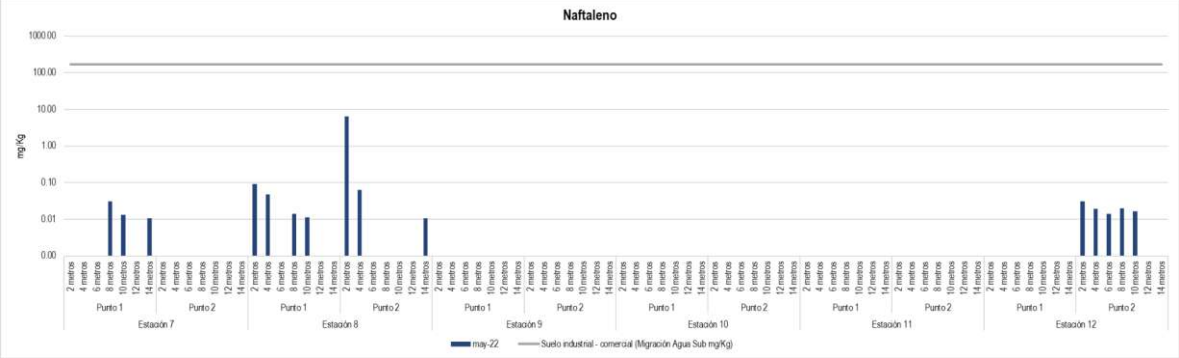


Figura 71. Resultados Naftaleno Estaciones de Servicio 7 a 12
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Plomo total

Como se presenta en los resultados, las concentraciones para todos los casos reportaron valores inferiores al límite de detección.

BTEX

Como se presenta en los resultados, los compuestos orgánicos volátiles BTEX reportaron valores inferiores al límite de detección. Sin embargo, en el Punto 2 de la Estación 12 se detecta m,p-Xileno con una concentración de 0.0127 mg/kg a 12 metros de profundidad, valor que se encuentra muy cercano al límite de detección y por debajo del límite definido para este compuesto. Por otro lado, se detectó Tolueno en el Punto 1 de la Estación 4 con una concentración de 0.0123 mg/kg a 6 metros de profundidad y en el Punto 2 de la Estación 12 con una concentración de 0.018 mg/kg a 10 metros y 0.057 mg/kg a 14 metros de profundidad. En ambos casos las concentración detectadas se encuentran por debajo del LGBR. A pesar de que estas concentraciones no representan un riesgo para la salud humana debido a la profundidad a la cual son registradas, es necesario tomar las medidas respectivas, ya que esta situación podría constituir un riesgo para la ejecución de las actividades del proyecto.

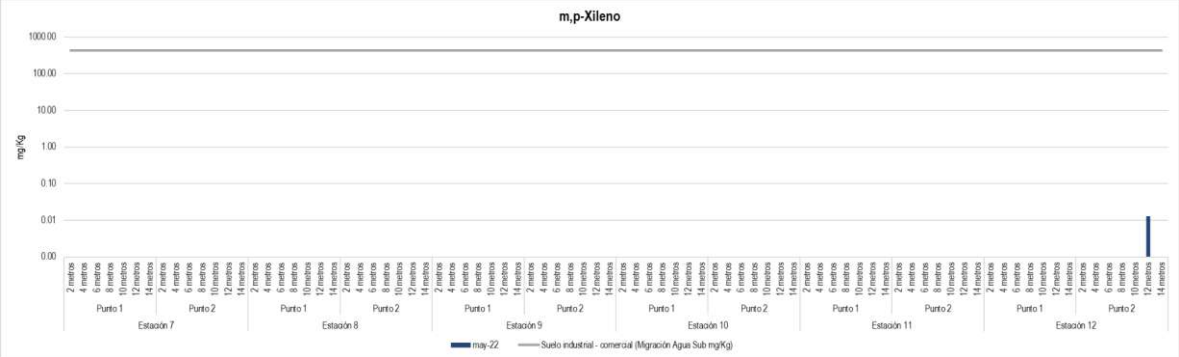


Figura 72. Resultados m,p-Xileno Estaciones de Servicio 7 a 12
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

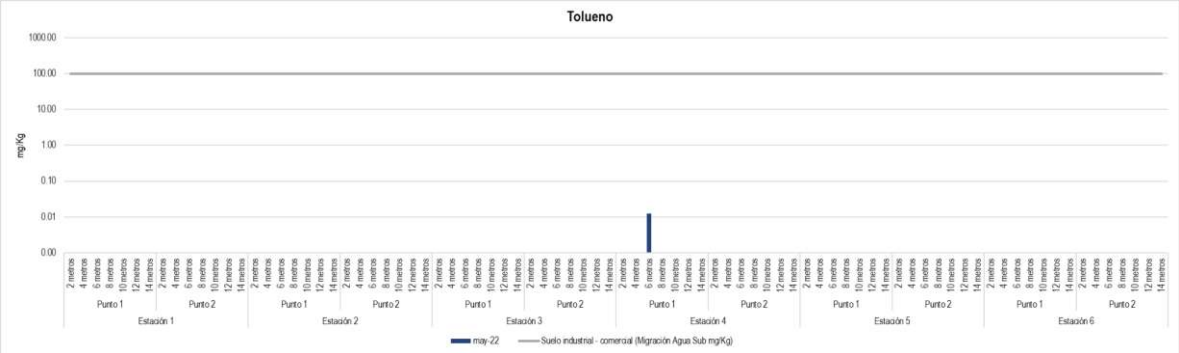


Figura 73. Resultados Tolueno Estaciones de Servicio 1 a 6
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

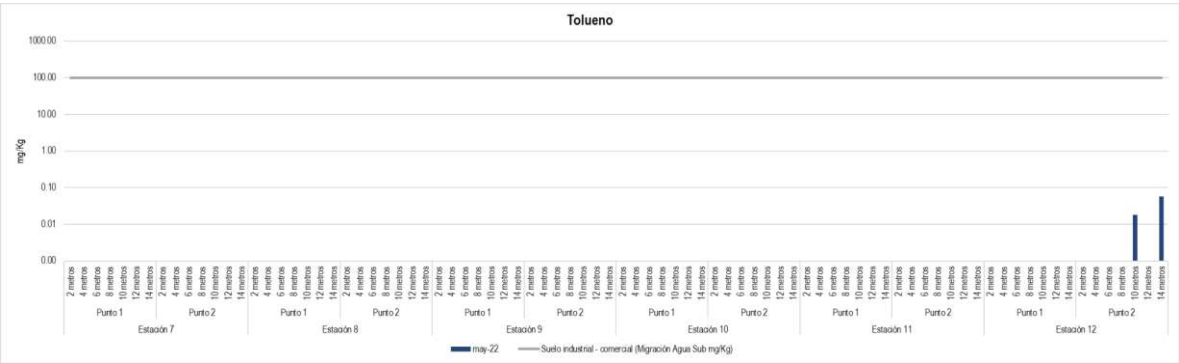


Figura 74. Resultados Tolueno Estaciones de Servicio 7 a 12
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.1.4.6. Usos históricos del suelo

De acuerdo a la verificación de los usos históricos del suelo en el proyecto, específicamente a los que podrían tener un potencial de contaminación, se analizó la posibilidad de identificar pasivos ambientales en dichos predios asociados con contaminación del suelo y el agua subterránea por actividades de hidrocarburos, teniendo en cuenta que la fotointerpretación sólo permitió definir, mediante la metodología CORINE Land Cover, el tejido urbano continuo, pero no permite definir los usos de suelo de cada predio. Por lo tanto se toma como referencia la información del IDECA. No obstante en la siguiente fase del ´proyecto (Construcción) se deberá validar la necesidad de realizar investigaciones del suelo en predios que ya estén adquiridos y que se pueda evidenciar algún tipo de pasivo, teniendo en cuenta que el contratista de obra realizará los diseños finales, un detalle mayor se logrará en la etapa de construcción y estará a cargo del concesionario adjudicatario, quien tendrá que presentar los diseños a nivel de detalle durante la etapa de preconstrucción.

A partir del análisis de usos históricos del suelo, se identifican los cambios evidenciados durante un periodo determinado de tiempo. Sin embargo, no es factible establecer mediante dicho análisis la identificación de predios asociados con contaminación del suelo y el agua subterránea por actividades industriales que se hayan llevado a cabo en estos lugares. Para ello es necesaria en la etapa de construcción del proyecto, según la necesidad la ejecución de monitoreos que den cuenta de posibles procesos de contaminación diferentes a las 12 estaciones de servicio identificadas inicialmente. Los resultados obtenidos indican que la concentración de los contaminantes analizados se encuentra por debajo de los límites establecidos en el Manual Técnico para la Ejecución de Análisis de Riesgos de para Sitios de Distribución de Derivados de Hidrocarburos del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007).

A partir de la información disponible en el portal en línea de la Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital - IDECA, se recopiló cartografía asociada a los usos del suelo para la ciudad de Bogotá desde el año 2012 hasta el 2021 (ver anexo 5.2 -4.3). Dicha información se encontró disponible por lotes, por lo cual fue necesario identificar aquellos que se encuentran en las manzanas atravesadas por el Proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá . Esto con el fin de analizar los usos asociados al área de influencia del proyecto y los cambios presentados a lo largo del periodo analizado.

De la Figura 76 a la Figura 85 se presentan los usos identificados para el periodo analizado. En términos generales (ver Figura 75), los resultados indican una mayor proporción de uso residencial, seguido por uso dotacional y comercial en proporciones similares y en menor medida industrial. Los mayores cambios en el uso del suelo se aprecian desde al año 2012 al año 2013, con un incremento en los usos comercial, dotacional e industrial. Dicho comportamiento se mantiene hasta el año 2018, cuando el uso residencial se incrementa nuevamente. Sin embargo, los usos comercial, dotacional e industrial se incrementan nuevamente para los últimos tres años.

A partir de los resultados obtenidos, se evidencia que los usos del suelo para el periodo 2012 a 2021 se concentran principalmente en usos residenciales y dotacionales y con un porcentaje promedio del 73.8% y 13.3% respectivamente. Por su parte, los usos comerciales representan en promedio el 11.1% y los usos industriales, apenas el 1.8%. Por lo tanto, los pasivos ambientales asociados con la contaminación del suelo se espera que estén principalmente relacionados con las estaciones de servicio que se encuentran en el área de influencia de la Linea 2 del Metro de Bogotá.

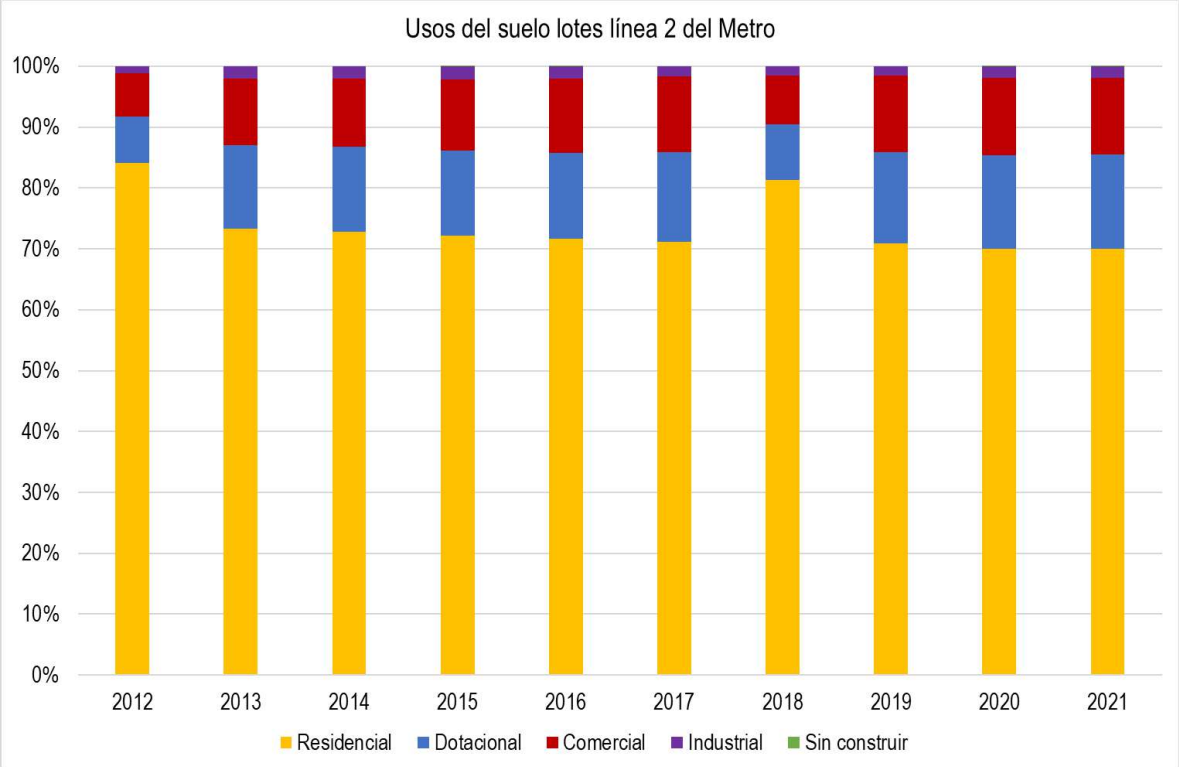


Figura 75. Usos del suelo por lotes Proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

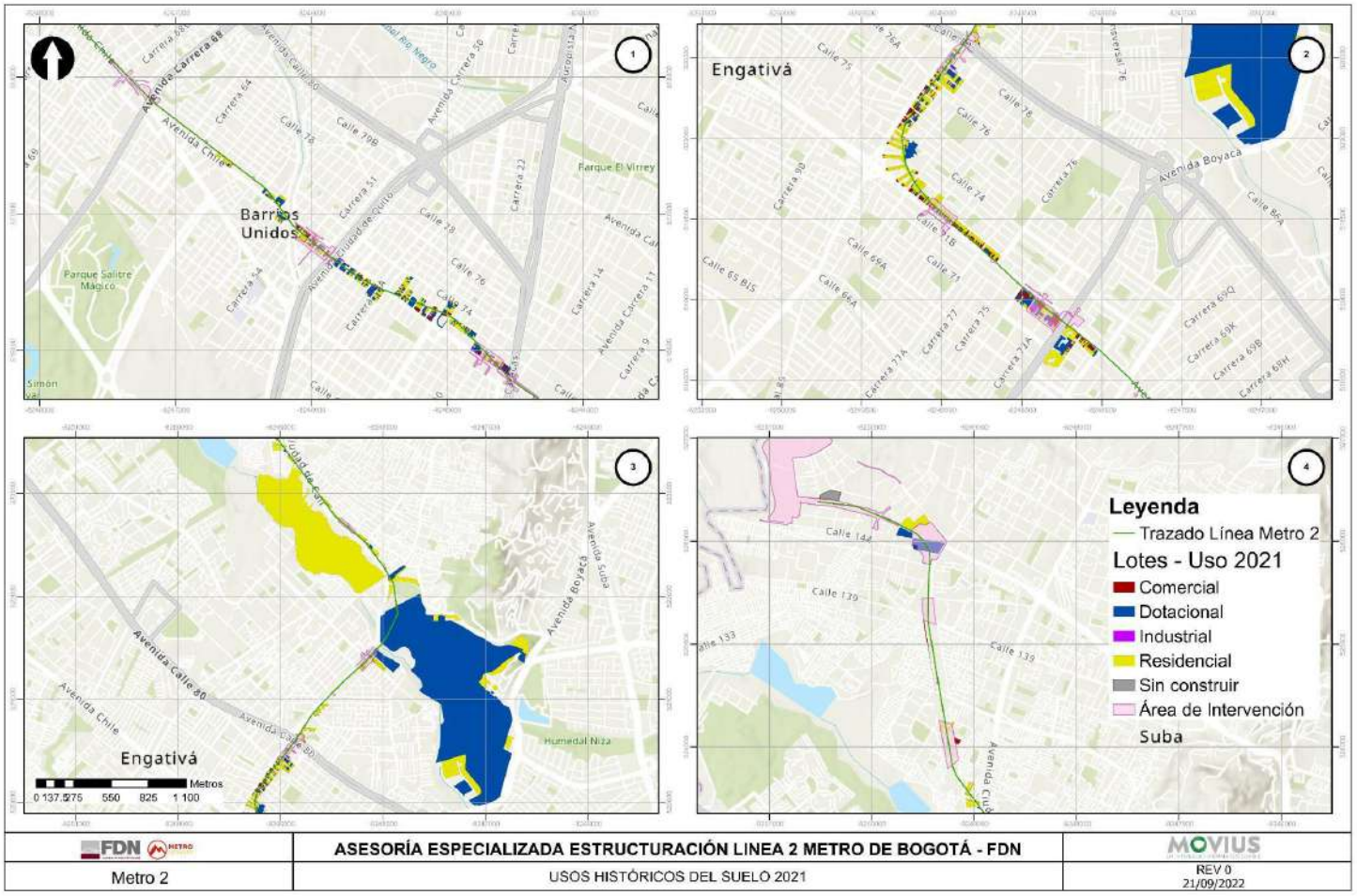


Figura 76. Usos del suelo por lotes año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

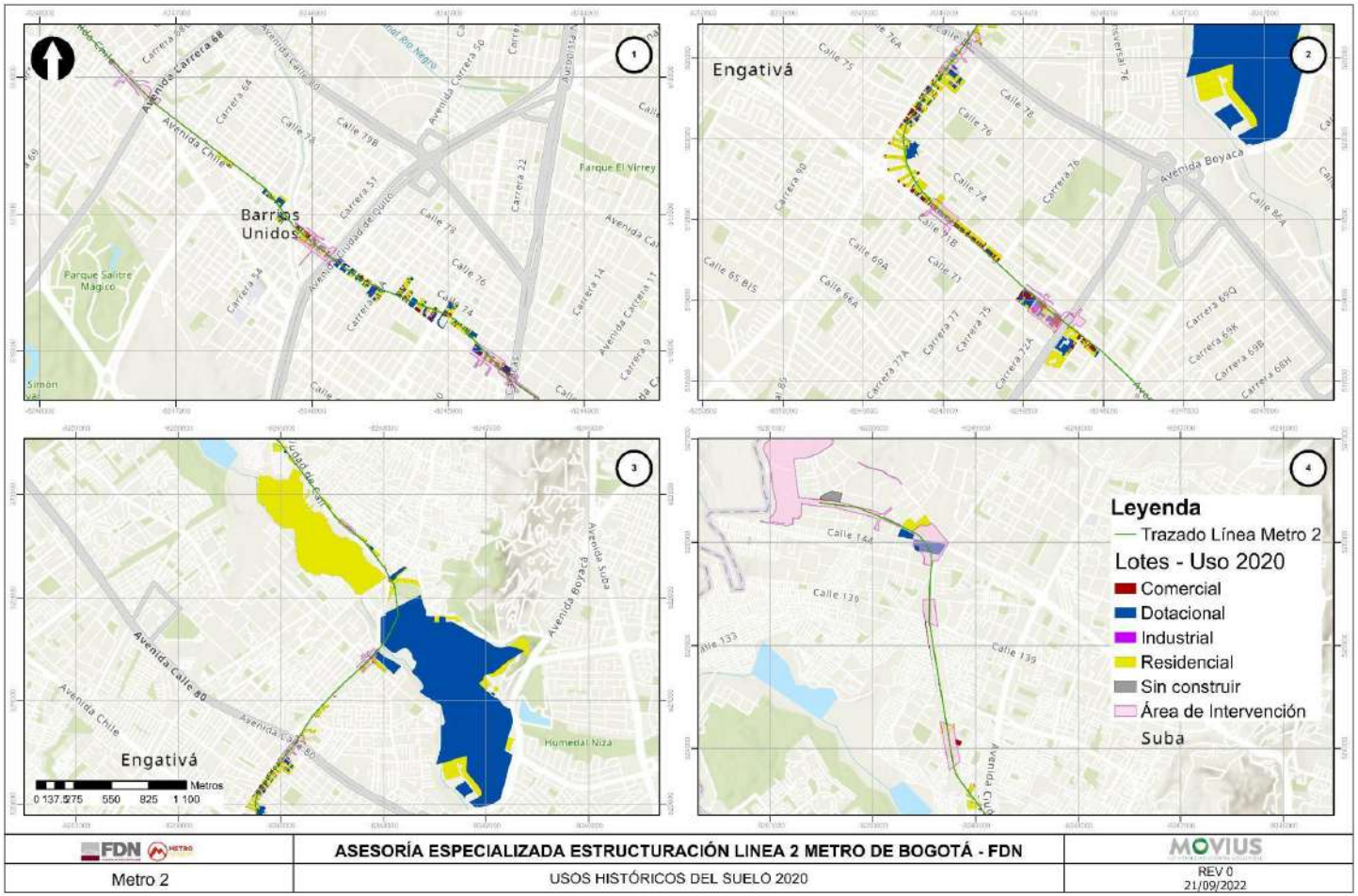


Figura 77. Usos del suelo por lotes año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

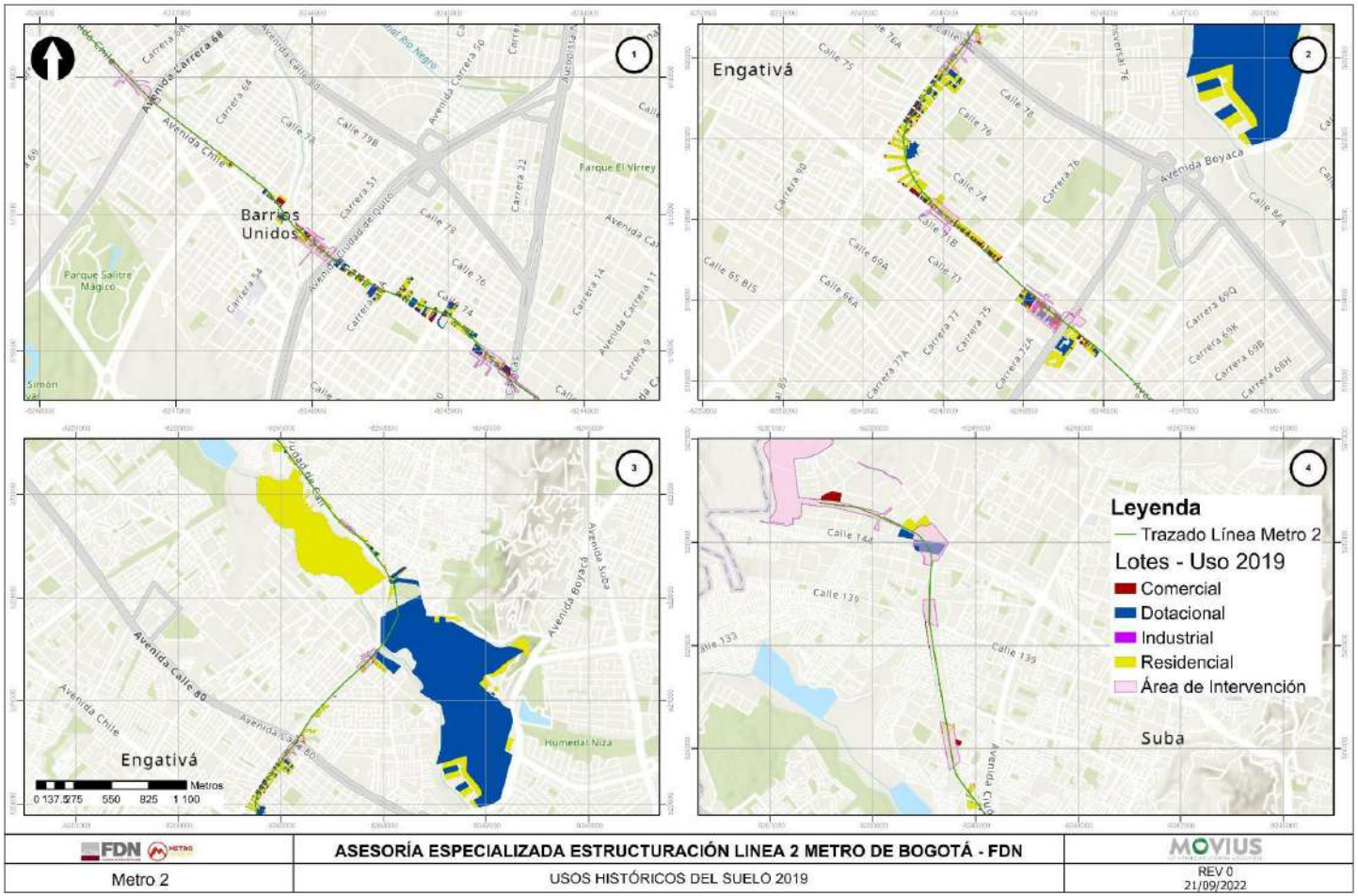


Figura 78. Usos del suelo por lotes año 2019.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

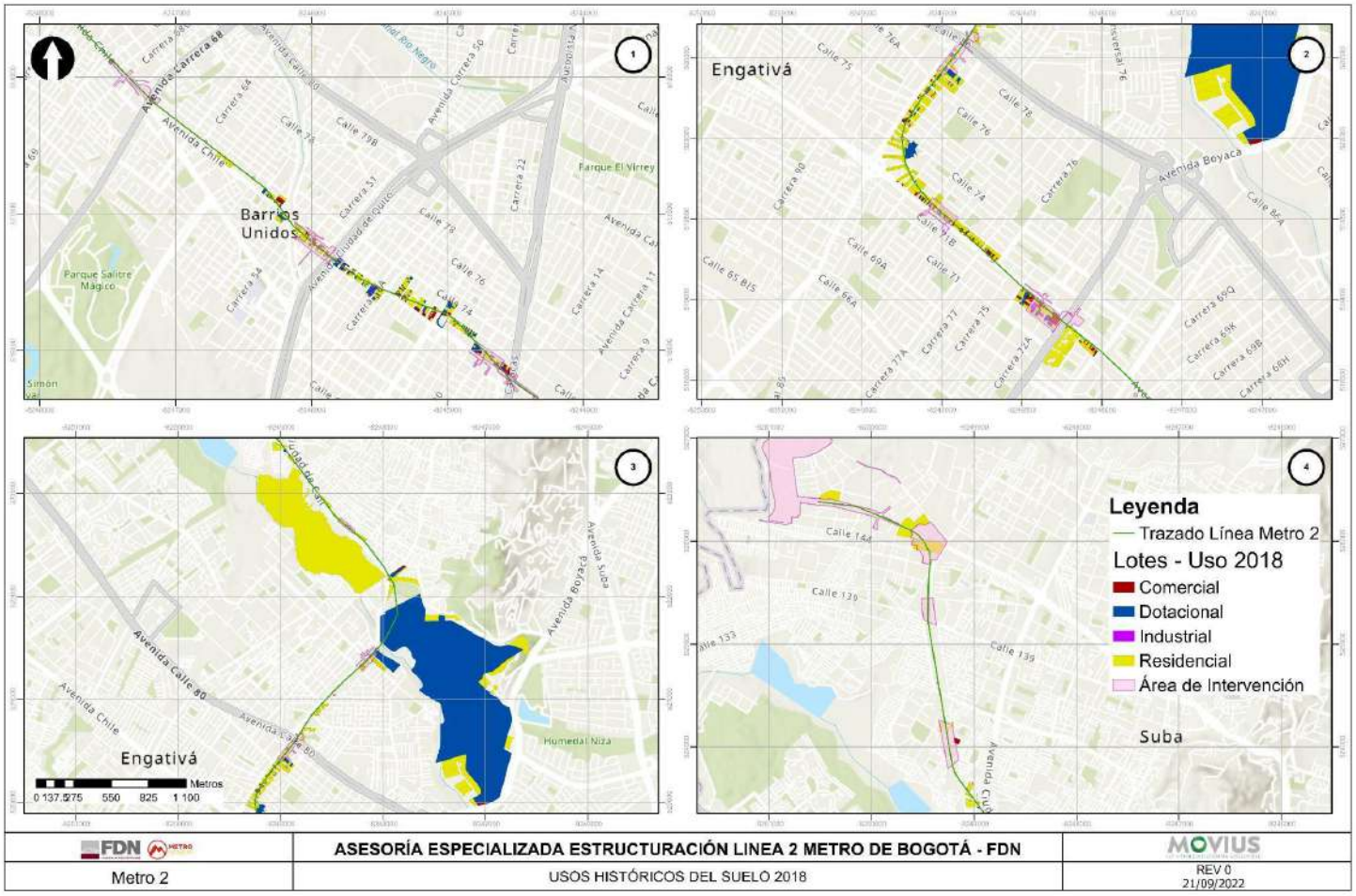


Figura 79. Usos del suelo por lotes año 2018.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

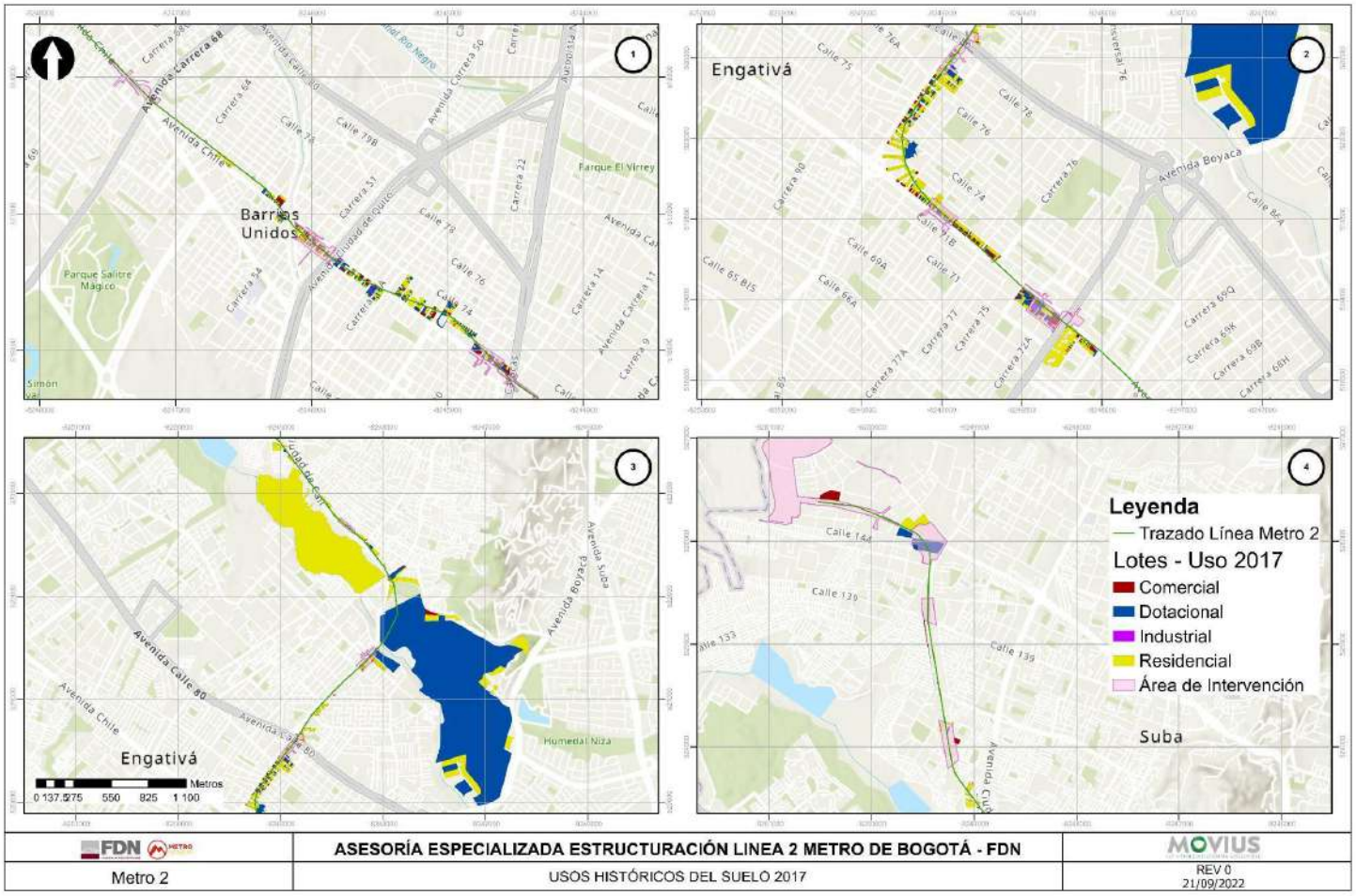


Figura 80. Usos del suelo por lotes año 2017.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

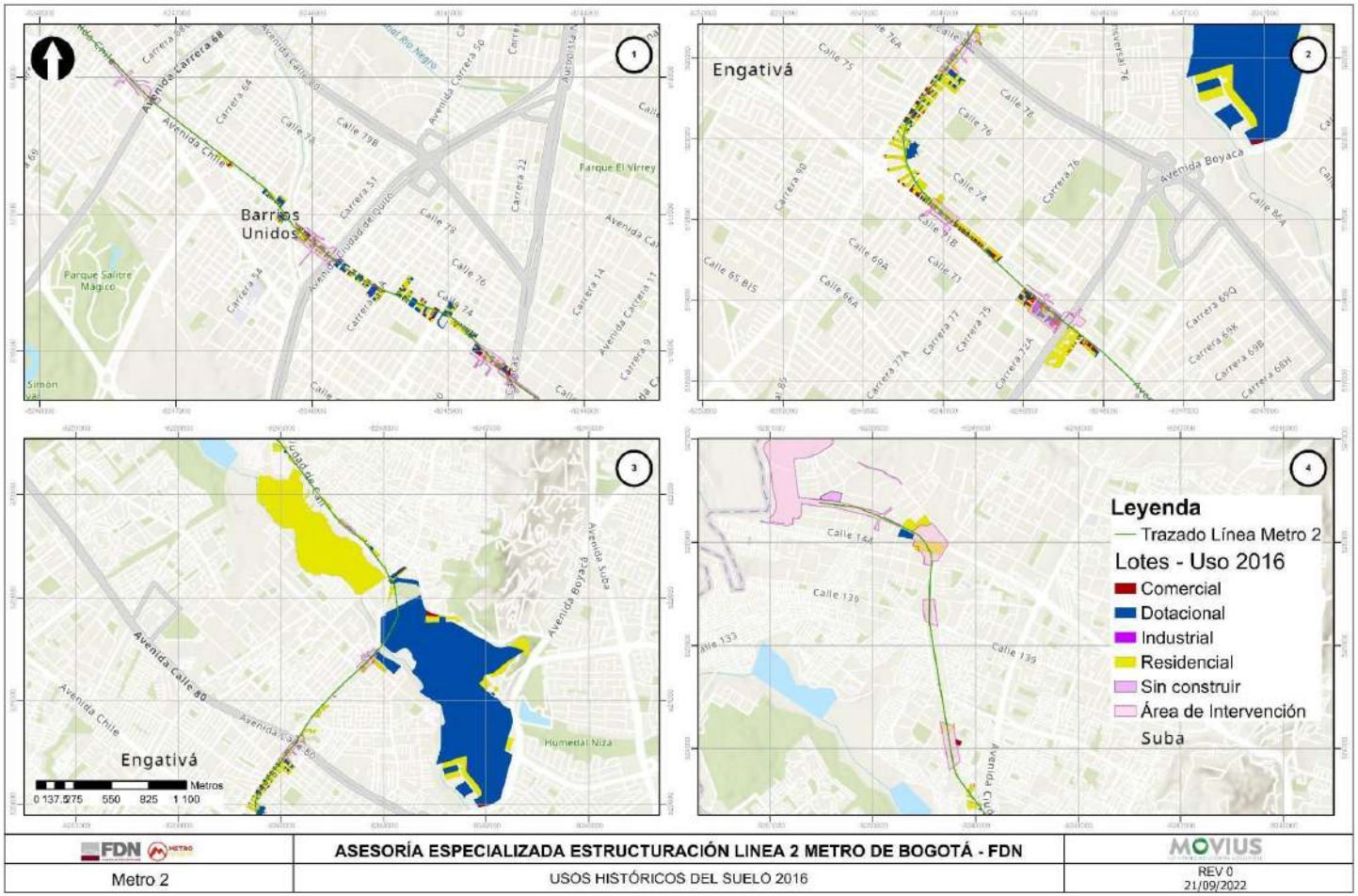


Figura 81. Usos del suelo por lotes año 2016.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

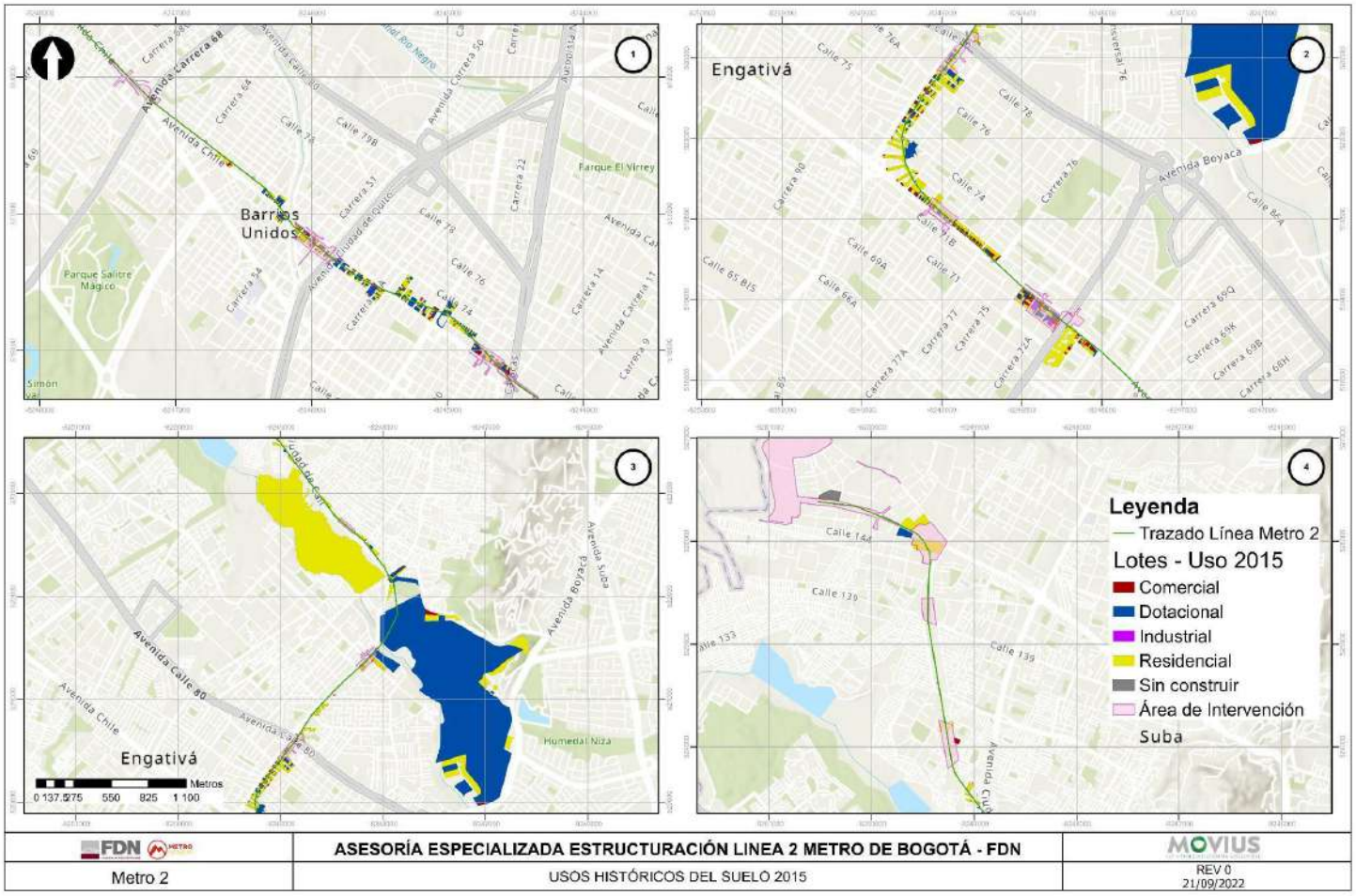


Figura 82. Usos del suelo por lotes año 2015
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

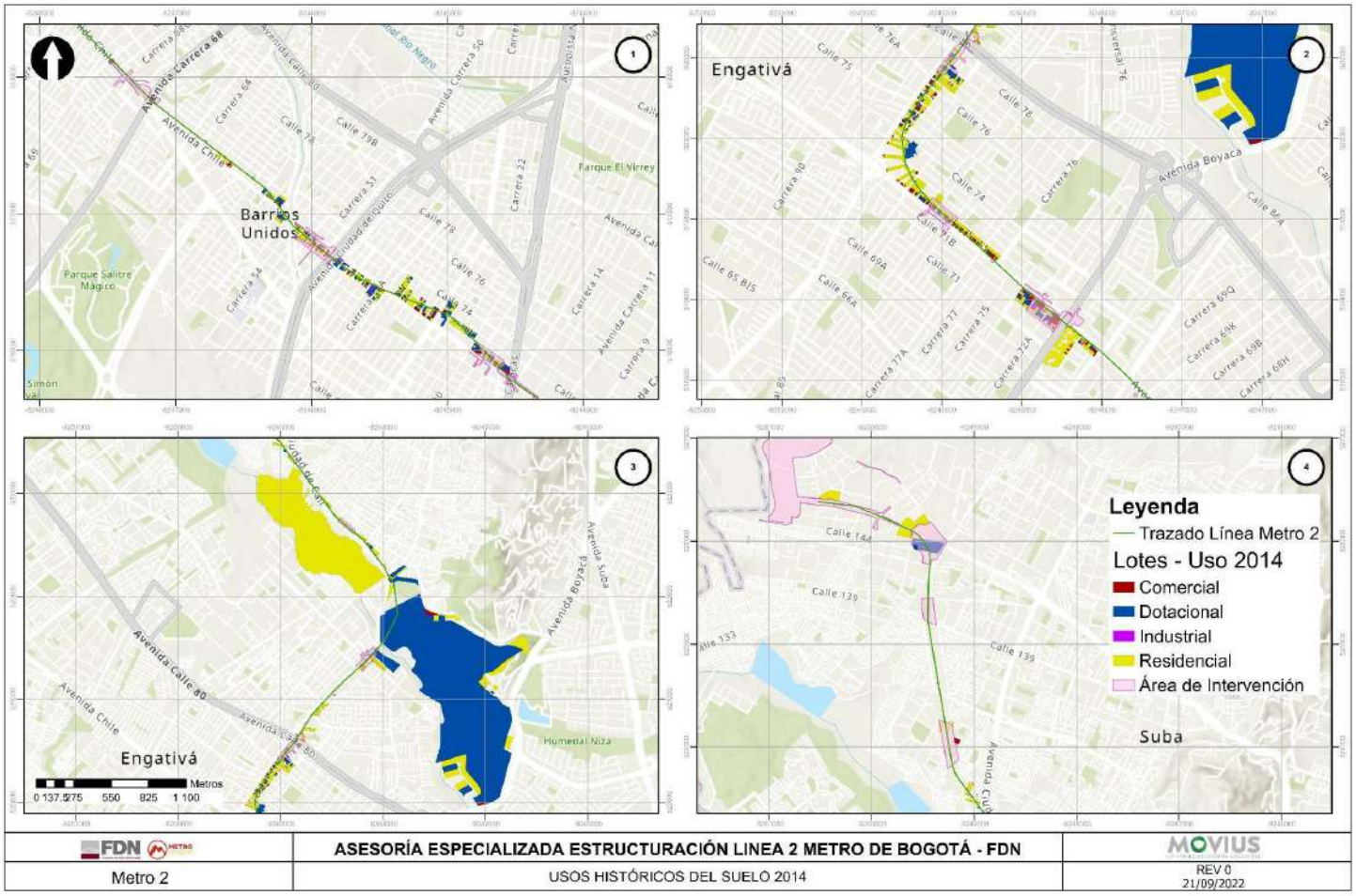


Figura 83. Usos del suelo por lotes año 2014.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

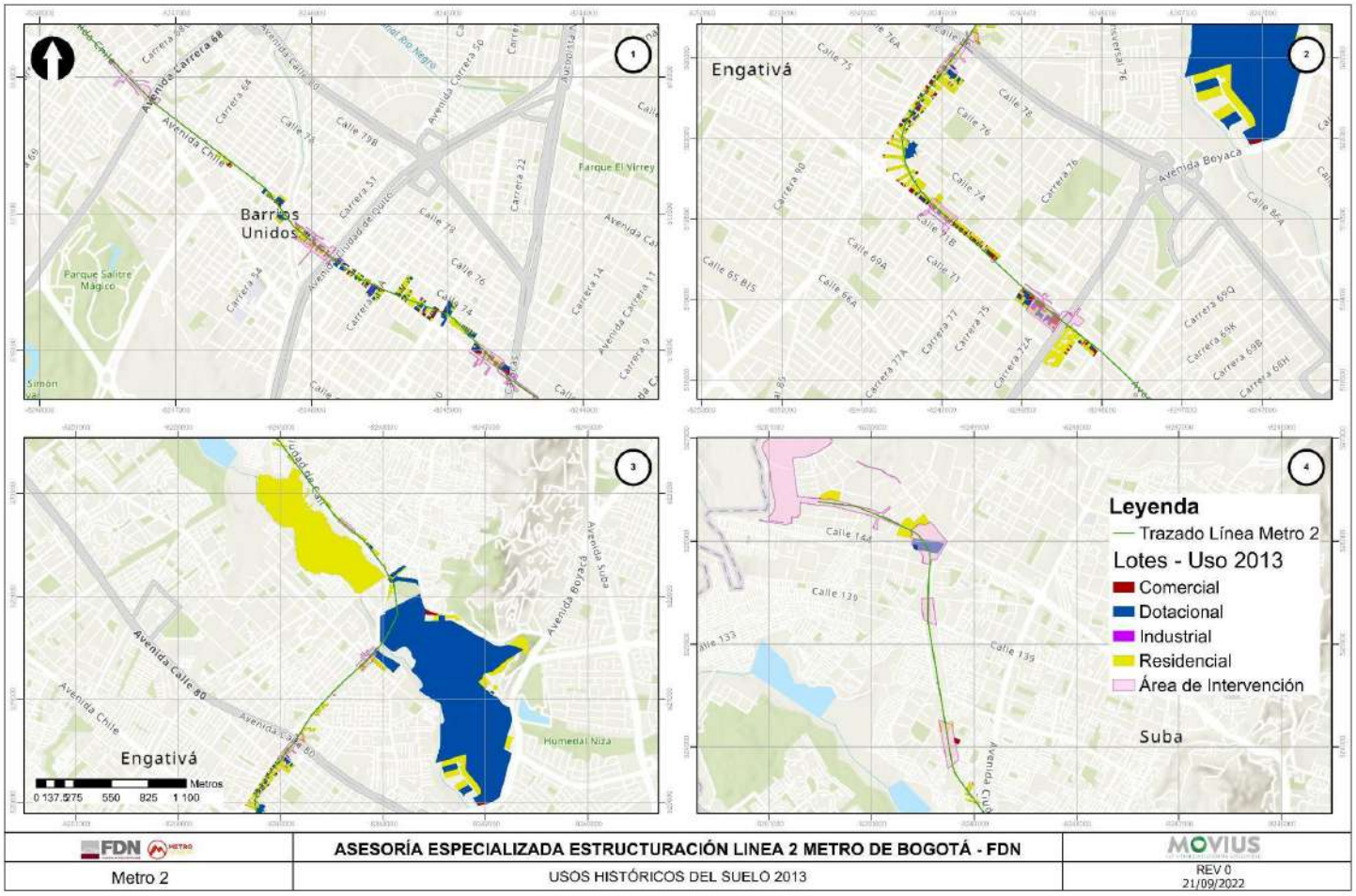


Figura 84. Usos del suelo por lotes año 2013.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

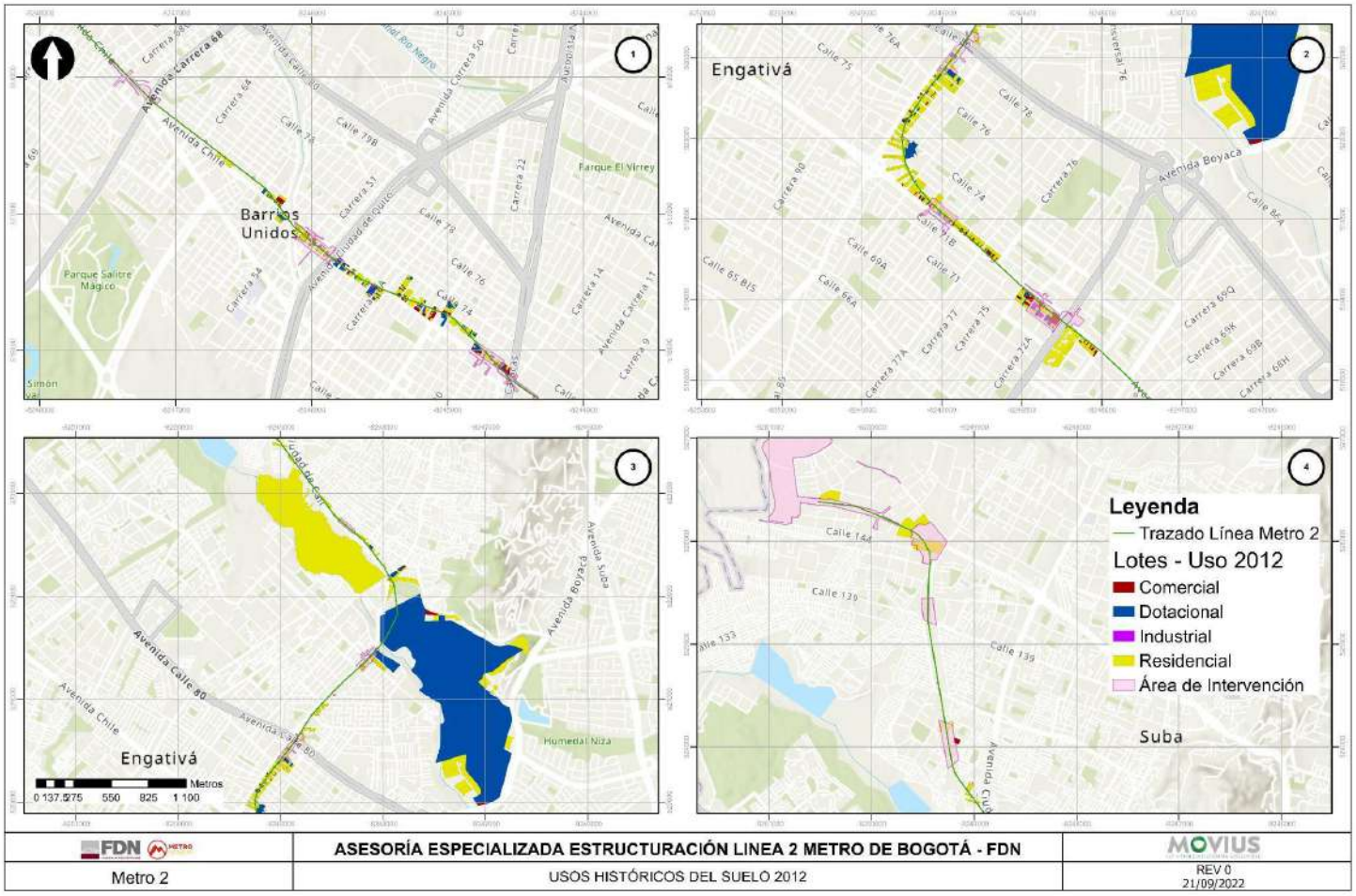


Figura 85. Usos del suelo por lotes año 2012.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Contrato interadministrativo 136 de 2021
Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legales, de riesgos, técnico y financiero

Capítulo 5.2 Línea Base
Medio Abiótico
Parte 2

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-IN-001-VD

Elaborado por:

Financiera de Desarrollo Nacional

U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

Bogotá D.C.
2022

5.2.2. Componente Hidrosférico.

5.2.2.1. Hidrología

En el presente capítulo se incluyen los resultados de la caracterización hidrológica de las subcuencas que cruzan el trazado de la Línea 2 del Metro de Bogotá - L2MB, identificadas a partir de la cartografía base del proyecto.

La caracterización se realizó acorde con los términos de referencia para proyectos férreos, la metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales desarrollados por la ANLA (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales) y el documento ET05 – Estudio de impacto ambiental y social (EIAS). Las temáticas abordadas se presentan a continuación:

- Representación espacial de variables climáticas: precipitación media anual y mensual; temperatura media, máxima y mínima mensual y anual. Estimación de la evapotranspiración para balance hídrico.
- Análisis de la calidad de los datos hidroclimáticos que incluya pruebas estadísticas paramétricas y/o no paramétricas sobre homogeneidad y consistencia.
- Localización del proyecto en aspectos relacionados con la identificación de zonas y subzonas hidrográficas.
- Localización de los sistemas lénticos y lóticos identificados, y de las cuencas hidrográficas existentes dentro del área de influencia.
- Caracterización morfométrica de las cuencas identificadas (área, perímetro, pendiente media, índice de compacidad, factor de forma, tiempos de concentración, índice de sinuosidad, densidad de drenaje y corrientes).
- Caracterización hidrológica en términos de caudales medios, máximos, mínimos y ambientales.
- Identificación de los sistemas hídricos naturales y/o artificiales superficiales y sus patrones de drenaje y flujo.
- Estimación del balance hídrico para identificar los meses de superávit y déficit y el porcentaje de recarga al acuífero.
- Identificación de la dinámica fluvial de las fuentes que pueden ser afectadas por el proyecto, así como las posibles alteraciones de su régimen natural (relación temporal y espacial de inundaciones).
- Estimación de índices hidrológicos (Uso del Agua, Vulnerabilidad hídrica, Regulación y Aridez).

En los siguientes numerales se presentan los análisis desarrollados para la caracterización hidrológica:

5.2.2.1.1. Localización y selección de las estaciones hidroclimatológicas

El área de estudio se encuentra instrumentada con estaciones climatológicas operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) y la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, las cuales permiten conocer el comportamiento altitudinal y temporal de variables climáticas como: temperatura, brillo solar, radiación solar, humedad relativa, evaporación, velocidad y dirección del viento, nubosidad y la distribución espacial y temporal de la precipitación total. En la Figura 86 se presentan las estaciones identificadas en la zona del proyecto, diferenciadas por colores según las entidades operadoras.

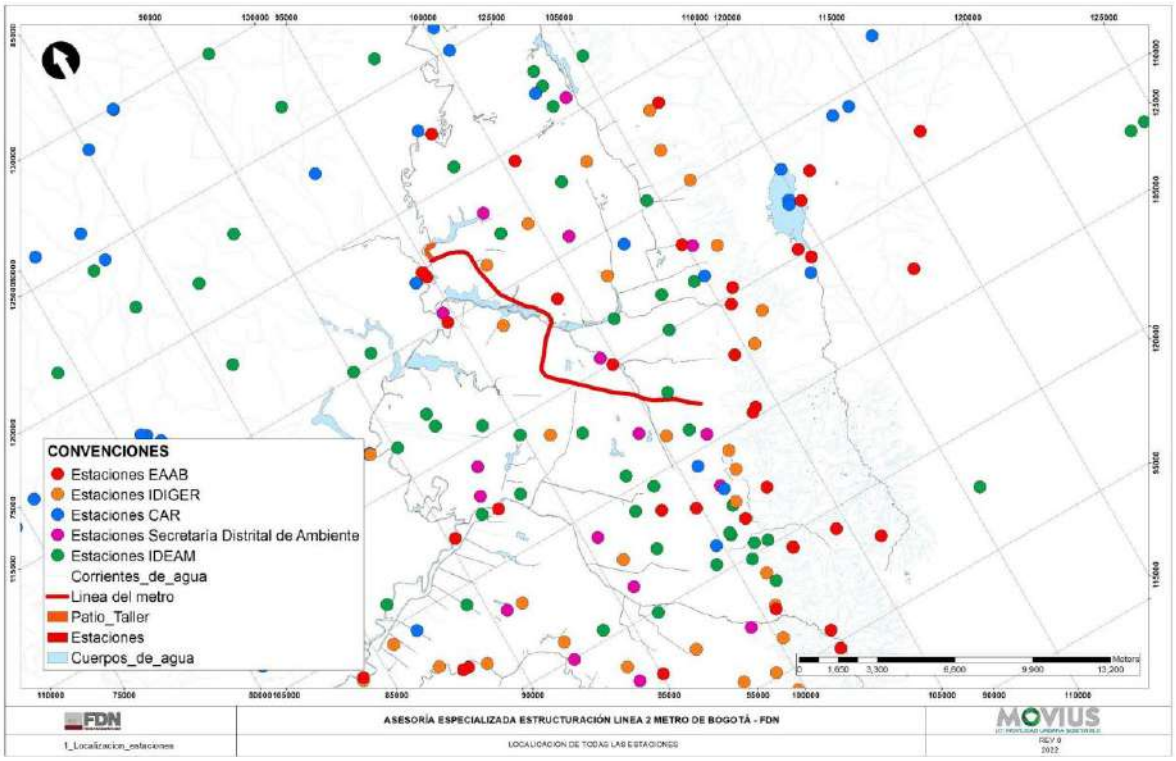


Figura 86. Localización espacial de las estaciones de todas las entidades disponibles en la zona.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Para la selección de las estaciones y la escogencia de los periodos comunes a analizar se revisó la disponibilidad de datos para cada parámetro a evaluar. En la Figura 87 se presenta de forma esquemática los periodos de registro de cada estación para diferentes variables climáticas, sin embargo, en el Anexo 5.2 -1.1 - Hidrología se presenta en detalle la información analizada.

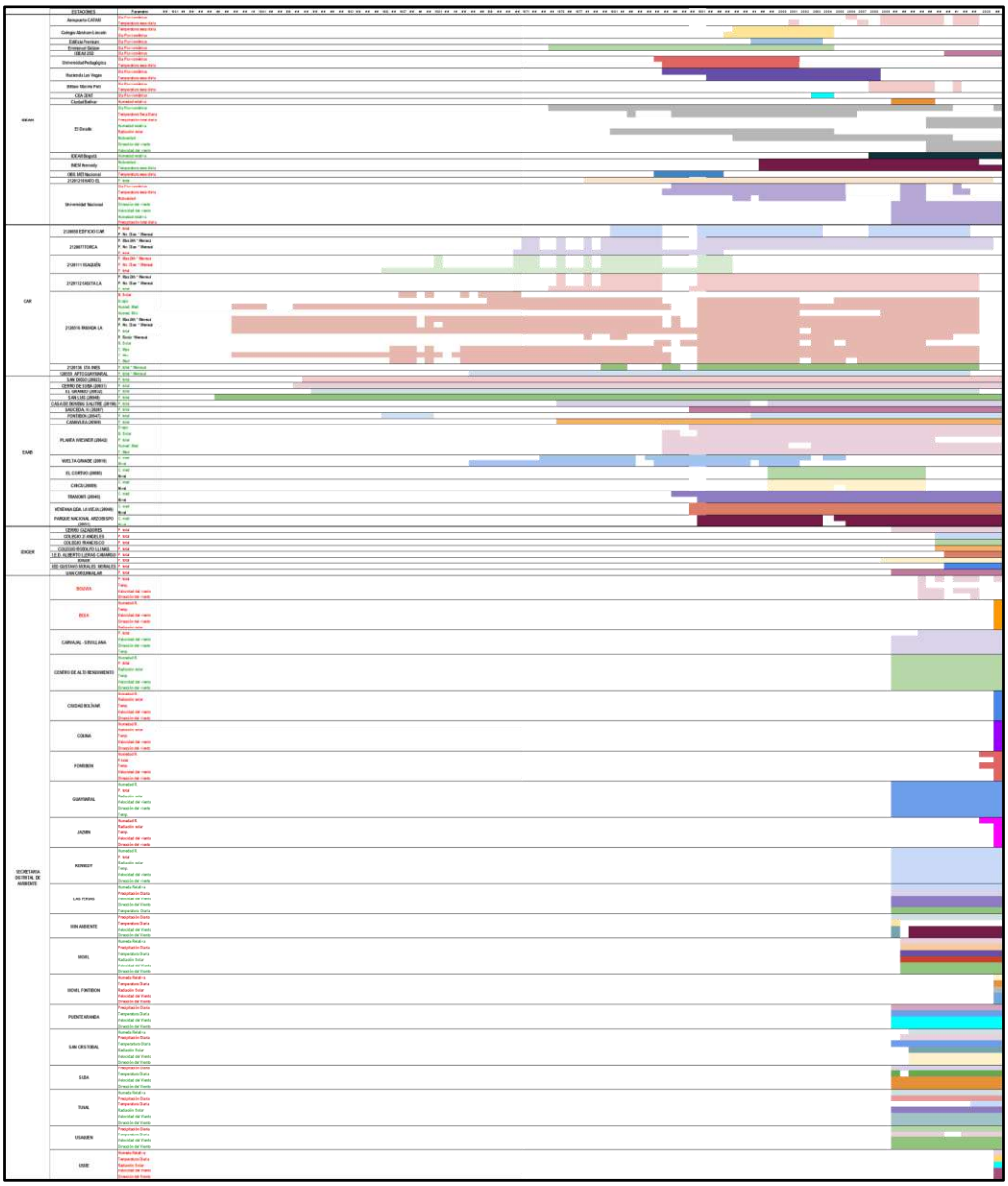


Figura 87. Periodos de registros para las estaciones identificadas según la entidad operadora.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Teniendo identificada la información disponible para cada estación, se definió un periodo común para cada parámetro climático (ver Tabla 79), en función de la disponibilidad de datos de cada estación. Con los periodos comunes establecidos se realizó la selección de las estaciones y la definición de la distribución temporal de cada uno de los parámetros registrados.

Tabla 79. Periodo común de los parámetros climáticos a analizar.

Parámetro	Periodo común
Brillo Solar	1987-2021
Evaporación	1991 - 2019
Humedad Relativa	2010-2021
Precipitación Total	1987 - 2021
Precipitación número de días	1980 - 2019
Nubosidad	1998-2016
Temperatura media	1998-2019
Temperatura máxima	1998-2019
Temperatura mínima	1998-2019
Velocidad del viento	2010 - 2021
Radiación solar	2010 - 2021

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 80, Tabla 81, Tabla 82 y Tabla 83 se presentan las características de las estaciones a analizar en la zona de estudio según la entidad a cargo de su operación, y en la Figura 88 y Figura 89 se presenta su localización espacial.

Tabla 80. Características de las estaciones climatológicas del IDEAM cercanas a la zona de estudio.

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas[1]	
							Norte	Este
21205791	IDEAM	APTO EL DORADO AUTOMATICA	MET	ACTIVA	BOGOTÁ	2547	112097,37	91882,59
21206960	IDEAM	IDEAM BOGOTÁ AUTOMÁTICA	MET	ACTIVA	SAN FRANCISCO	2646	100417,63	101207,17
21206560	IDEAM	INEM KENNEDY	MET	ACTIVA	BOGOTÁ	2580	107177,60	93646,20
21205012	IDEAM	UNIV NACIONAL AUTOMÁTICA	MET	ACTIVA	BOGOTÁ	2556	104630,38	98718,41

[1] Sistema de coordenadas: MAGNA Ciudad Bogotá.

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas[1]	
							Norte	Este
21201210	IDEAM	EL HATO *	PM	ACTIVA	SUBACHOQUE	2575	129917,42	91528,22

Fuente: IDEAM, 2022

* Estación analizada para desarrollo de isoyetas

Dónde: CO: Climatológica ordinaria, CP: Climatológica principal, PM: Pluviométrica, PG: Pluviográfica MET: Estación meteorológica, AM: Agrometeorológica, SP: Sinóptica principal.

Tabla 81. Características de las estaciones climatológicas de la CAR cercanas a la zona de estudio.

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Norte	Este
2120058	CAR	EDIFICIO CAR	PG	ACTIVA	R. BOGOTÁ	2622	103051,14	101237,71
2120077	CAR	TORCA	PM	ACTIVA	R. BOGOTÁ	2572	114144,65	102740,95
2120112	CAR	CASITA LA	PM	ACTIVA	R. TEUSACÁ	3094	104433,91	100753,46
2120516	CAR	RAMADA LA	CP	ACTIVA	R. BOGOTÁ	2538	111827,02	88938,23
2120136	CAR	SANTA INÉS *	PM	ACTIVA	R. CHICÚ	2591	123264,46	92896,84
2120559	CAR	APTO GUAYMARAL *	CP	ACTIVA	R. BOGOTÁ	2603	121547,38	102669,04

Fuente: CAR, 2022

* Información a escala mensual, registros utilizados únicamente para la creación de las isoyetas.

Dónde: CO: Climatológica ordinaria, CP: Climatológica principal, PM: Pluviométrica, PG: Pluviográfica ME: Estación meteorológica, AM: Agrometeorológica, SP: Sinóptica principal.

Tabla 82. Características de las estaciones climatológicas de la EAAB cercanas a la zona de estudio.

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Norte	Este
2120023	EAAB	SAN DIEGO	PVG	ACTIVA	RÍO ARZOBISPO	2700	101497,85	101394,52
2120031	EAAB	CERRO DE SUBA	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2691	113543,43	99139,50
2120032	EAAB	EL GRANIZO	PVG	ACTIVA	RÍO ARZOBISPO	3125	102198,26	102835,03
2120040	EAAB	SAN LUIS	PVG	ACTIVA	RIO TEUSACA	2300	105379,65	104135,25

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Norte	Este
2120196	EAAB	CASA DE BOMBAS SALITRE	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2580	109951,06	99773,09
2120207	EAAB	SAUCEDAL II	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2900	106927,95	90313,97
2120547	EAAB	FONTIBÓN	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2518	107082,01	92527,07
2120569	EAAB	CAMAVIEJA	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2680	103578,41	98483,17
2120642	EAAB	PLANTA WIESNER	CO	ACTIVA	RIO TEUSACA	2795	110265,59	109012,40
2120810	EAAB	RIO BOGOTA - VUELTA GRANDE	LMG	SUSP	RÍO BOGOTÁ	2570	117103,44	94800,44
2120888	EAAB	RÍO BOGOTÁ EL CORTIJO	LMG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2540	115002,58	94600,56
2120889	EAAB	RIO BOGOTA CHICU	LMG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2550	117353,53	94750,40
2120948	EAAB	QDA. CHICO - TRAMONTI	LMG	ACTIVA	QUEBRADA CHICO	2760	107730,62	104455,16
2120949	EAAB	QDA. LA VIEJA - VENTANA - CAPTACIÓN	LMG	ACTIVA	QUEBRADA LA VIEJA	2850	105239,58	103925,18
2120951	EAAB	ARZOBISPO - PARQUE NACIONAL	LMG	ACTIVA	RÍO ARZOBISPO	2730	102928,27	99803,76

Fuente: EAAB, 2022

Dónde: CO: Climatológica ordinaria, CP: Climatológica principal, PVM: Pluviométrica, PVG: Pluviográfica ME: Estación meteorológica, LMM: Limnimétrica, LMG: Limnigrafica.

Tabla 83. Características de las estaciones climatológicas de la Secretaría Distrital de Ambiente cercanas a la zona de estudio.

Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Altitud (msnm)	Coordenadas	
					Norte	Este
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	GUAYMARAL	ME	ACTIVA	2580	120745,49	103704,96
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	USAQUÉN	ME	ACTIVA	2570	112625,76	105229,19
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	SUBA	ME	ACTIVA	2571	118255,47	98231,43
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	LAS FERIAS	ME	ACTIVA	2552	110451,21	99450,49
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO	ME	ACTIVA	2552	106885,35	99286,17
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	ESTACIÓN MÓVIL 7MA	ME	ACTIVA	2583	105417,36	101773,95
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	MINAMBIENTE	ME	ACTIVA	2621	103237,04	101172,01

Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Altitud (msnm)	Coordenadas	
					Norte	Este
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	PUENTE ARANDA	ME	ACTIVA	2590	103931,40	95565,98
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	KENNEDY	ME	ACTIVA	2580	103188,32	90698,50
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	CARVAJAL-SEVILLANA	ME	ACTIVA	2563	99956,19	92123,04
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	TUNAL	ME	ACTIVA	2589	97787,02	94070,66
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	SAN CRISTÓBAL	ME	ACTIVA	2688	97381,07	99303,96

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2022

Donde: CO: Climatológica ordinaria, CP: Climatológica principal, PM: Pluviométrica, PG: Pluviográfica ME: Estación meteorológica, AM: Agrometeorológica, SP: Sinóptica principal.

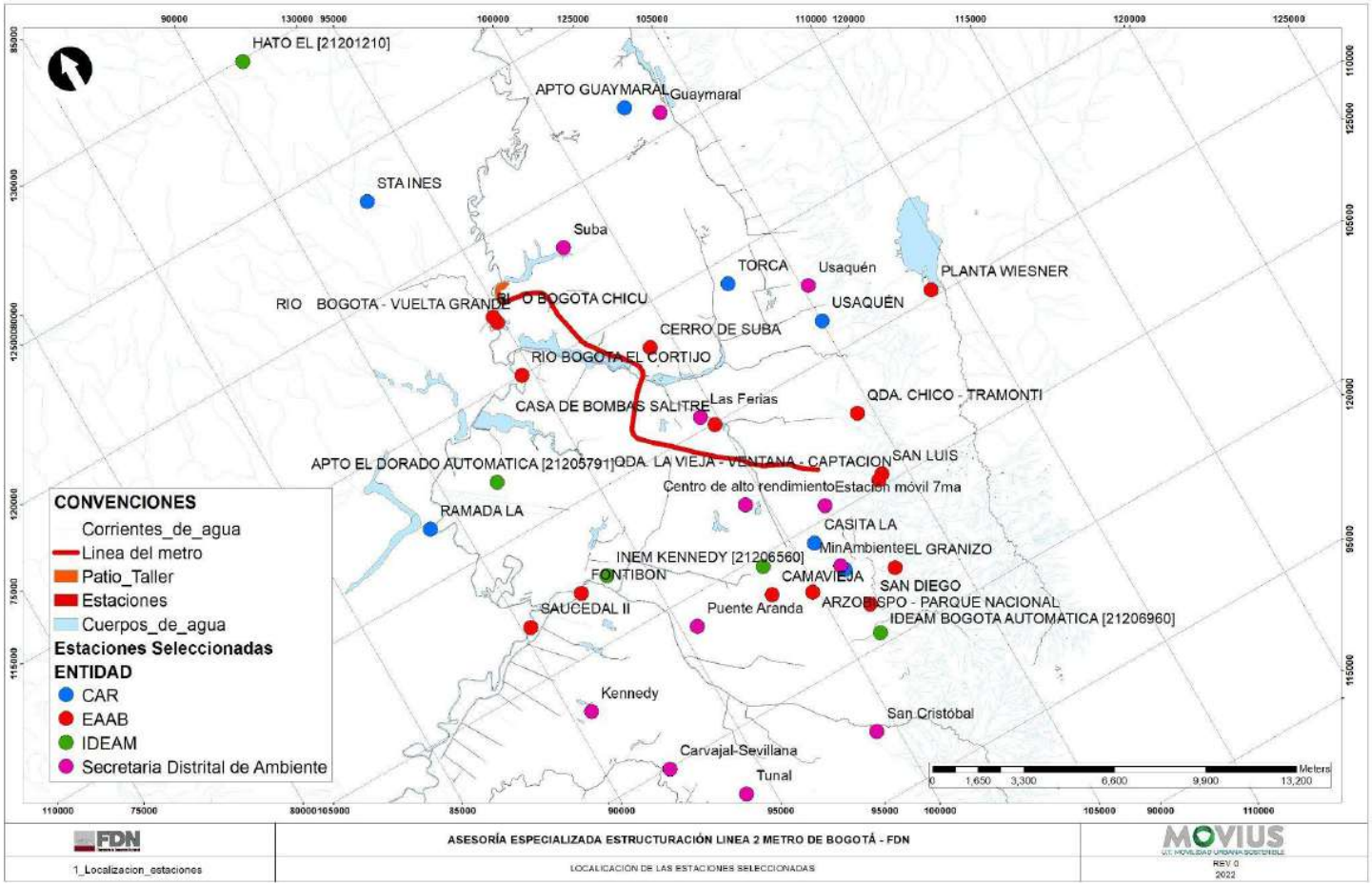


Figura 88. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por entidad operadora.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

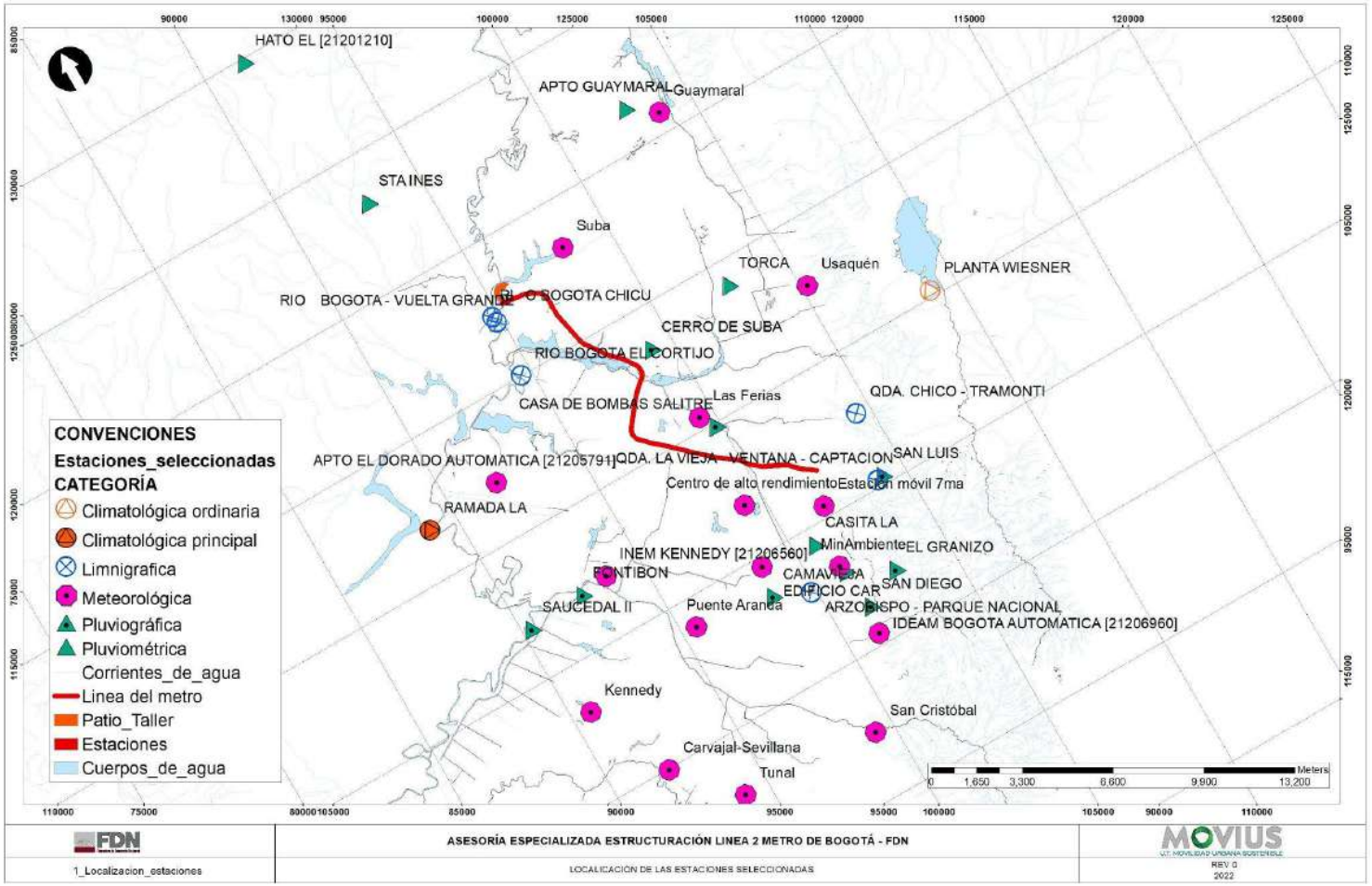


Figura 89. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por categoría.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Una vez recopilados los registros de las estaciones seleccionadas y definidos los periodos de análisis, se realizó la caracterización temporal de los parámetros climáticos y adicionalmente se determinó la distribución espacial de la precipitación total, la evaporación y la temperatura. La caracterización temporal de los parámetros como presión atmosférica, humedad relativa, radiación solar, nubosidad y dirección y velocidad del viento se presenta en el capítulo 5.2.3.1. Meteorología. En la Tabla 84 se presentan los periodos de registro de temperatura y evaporación para cada una de las estaciones seleccionadas, los periodos de registro para la precipitación se presentan en la Tabla 85 dado que el cubrimiento espacial de las cuencas considera un número mayor de estaciones. En el Anexo 5.2 -5.1 - Hidrología se presentan los registros de los parámetros climáticos recopilados.

Tabla 84. Periodos de registros de temperatura y evaporación para cada estación.

Estación	Evaporación	Temperatura media	Temperatura máxima	Temperatura mínima
INEM KENNEDY	-	1998-2021	-	-
LA RAMADA	1967-1986, 1991-2001, 2005-2019	1956-1958, 1960, 1964-1987, 1991-2001, 2003-2005, 2007-2019	1956-1958, 1960, 1964-1986, 1991-2019	1938-1961, 1963-1987, 1991-2019
PLANTA WIESNER	1990-2021	1987-2021	-	-
CARVAJAL - SEVILLANA	-	2010-2021	-	-
CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO	-	2010-2021	-	-
GUAYMARAL	-	2010-2021	-	-
KENNEDY	-	2010-2021	-	-
LAS FERIAS	-	2010-2021	-	-
MÓVIL SÉPTIMA	-	2010-2021	-	-
PUENTE ARANDA	-	2010-2021	-	-
SAN CRISTÓBAL	-	2010-2021	-	-
SUBA	-	2010, 2012-2021	-	-
USAQUÉN	-	2010-2015, 2018-2021	-	-

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se mencionó anteriormente, la distribución temporal y espacial de la precipitación para las cuencas analizadas tuvo como base la información de 15 estaciones. En la Tabla 85 se presentan los períodos de registros recopilados:

Tabla 85. Periodos de registros de precipitación recopilados.

N°	Estación	Precipitación total	Precipitación Número de días
1	SAN DIEGO	1946-2021	1946-2021
2	CERRO DE SUBA	1946-2021	1946-2021

N°	Estación	Precipitación total	Precipitación Número de días
3	EL GRANIZO	1947-2019	1947-2019
4	SAN LUIS	1936-2021	1936-2021
5	CASA DE BOMBAS SALITRE	1975-2021	1975-2021
6	SAUCEDAL II	1990-2021	1990-2021
7	FONTIBÓN	1955-2021	1955-2021
8	CAMAVIEJA	1975-2021	1975-2021
9	PLANTA WIESNER	1987-2021	1987-2021
10	APTO EL DORADO AUTOMATICA	1974-2021	1974-2021
11	CASITA LA	1973-2021	1973-2021
12	RAMADA LA	1938-2021	1938-2021
13	SANTA INÉS	1980-2019	1980-2019
14	APTO GUAYMARAL - USTA	1965-2019	1965-2019
15	HATO EL	1987-2020	1987-2020

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.2. Caracterización de datos hidroclimáticos

En la caracterización de datos hidroclimáticos, se realiza un análisis estadístico, aplicando pruebas de normalidad, consistencia y homogeneidad con el fin de evaluar la calidad de los registros y realizar el rastreo y detección de posibles datos anómalos, por ejemplo mediante el Test de Walsh.

5.2.2.1.2.1. Pruebas de normalidad de las series

A las series de precipitación, caudales, temperatura, y evaporación de las estaciones localizadas en el área de estudio se les realizaron cinco pruebas de normalidad con el objetivo de definir el conjunto de pruebas paramétricas o no paramétricas que evaluarán la consistencia y la homogeneidad de las series de datos. Para tal efecto se realizaron las pruebas de Shapiro Wilk, Kolmogorov Smirnov, Anderson Darling, Lillie y Shapiro Francia para un nivel de significancia del 5%, mediante la formulación de las ecuaciones asociadas a cada test en el software estadístico R Studio según lo presentado[2]. La hipótesis nula supone que las series tienen una distribución normal.

[2] H.P.G.M. Caldera, V. P,A Comparison of Methods of Estimating Missing Daily Rainfall Data. Sri Lanka.2016

Las pruebas de normalidad tienen como fin evaluar el comportamiento de las series, verificando que cumpla la distribución normal, teniendo en cuenta que los valores medios tienen este tipo de comportamiento. Las pruebas se realizan para caracterizar la información de las series, no obstante, no son indicativas para descartar el uso de una serie de datos.

En la Tabla 86 a la Tabla 91, se presentan los resultados de las pruebas de normalidad realizadas a las series. Puede identificarse que todas las estaciones analizadas se comportan bajo una distribución de probabilidad no normal dado que los valores de p-value son menores a 5%, rechazando así la hipótesis nula. En el Anexo 5.2 - 13.3 se presentan los análisis realizados y los resultados obtenidos.

- Precipitación

Tabla 86. Resultados de las pruebas de normalidad para series de precipitación.

Estación	Shapiro-Wilk		Test de Kolmogorov-Smirnov		Test de Anderson-Darling		Lillie		Shapiro-Francia	
	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión
21205791 ELDORADO CATAM - AUT	3,63E-59	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	0	Rechaza	1,33E-53	Rechaza
20207 SAUCEDAL II	3,98E-60	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	0	Rechaza	1,83E-54	Rechaza
20547 FONTIBÓN	1,75E-61	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	0	Rechaza	1,10E-55	Rechaza
20569 CAMA VIEJA	3,20E-60	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	0	Rechaza	1,56E-54	Rechaza
20642 PLANTA WIENER	5,93E-60	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	0	Rechaza	2,59E-54	Rechaza
2120516 RAMADA LA	6,51E-59	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	0	Rechaza	2,27E-53	Rechaza
2120112 CASITA LA	7,72E-47	Rechaza	0	Rechaza	3,7e-24	Rechaza	0	Rechaza	3,88E-41	Rechaza
20196 CASA DE BOMBAS	1,09E-44	Rechaza	0	Rechaza	3,7e-24	Rechaza	0	Rechaza	3,67E-39	Rechaza
20031 CERRO DE SUBA	6,71E-46	Rechaza	0	Rechaza	3,7e-24	Rechaza	0	Rechaza	2,98E-41	Rechaza
20032 EL GRANIZO	1,96E-45	Rechaza	0	Rechaza	3,7e-24	Rechaza	0	Rechaza	7,70E-40	Rechaza
20023 SAN DIEGO	6,76E-47	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	0	Rechaza	3,69E-41	Rechaza
20040 SAN LUIS	1,03E-47	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	0	Rechaza	6,65E-42	Rechaza
2120136 STA INES	3,09E-14	Rechaza	0	Rechaza	3.61E-20	Rechaza	1.70E-13	Rechaza	1.24E-12	Rechaza
2120559 APTO GUAYMARAL	6,26E-19	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	3,33E-13	Rechaza	8,32E-17	Rechaza
21201210 HATO EL	3,28E-56	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	0	Rechaza	6,01E-51	Rechaza

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Caudal

Tabla 87. Resultados de las pruebas de normalidad para series de caudal.

Estación	Shapiro-Wilk		Test de Kolmogorov-Smirnov		Test de Anderson-Darling		Lillie		Shapiro-Francia	
	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión
20810 VUELTA GRANDE -	2,22E-37	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	1,26E-49	Rechaza	4,10E-34	Rechaza
20888 EL CORTIJO - RIO	1,16E-36	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	1,27E-64	Rechaza	2,11E-33	Rechaza
20889 CHICU - RÍO BOGO	2,53E-40	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	5,45E-104	Rechaza	1,04E-36	Rechaza

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Temperatura máxima

Tabla 88. Resultados de las pruebas de normalidad para series de temperatura máxima.

Estación	Shapiro-Wilk		Test de Kolmogorov-Smirnov		Test de Anderson-Darling		Lillie		Shapiro-Francia	
	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión
2120516 RAMADA LA	6,27E-06	Rechaza	0	Rechaza	1,13E-08	Rechaza	1,11E-13	Rechaza	1,55E-05	Rechaza

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Temperatura media

Tabla 89. Resultados de las pruebas de normalidad para series de temperatura media.

Estación	Shapiro-Wilk		Test de Kolmogorov-Smirnov		Test de Anderson-Darling		Lillie		Shapiro-Francia	
	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión
21206560 INEM KENNEDY	1,10E-10	Rechaza	0	Rechaza	1,76E-19	Rechaza	1,84E-19	Rechaza	4,83E-10	Rechaza
20642 PLANTA WIENER	3,98E-22	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	1,63E-24	Rechaza	1,34E-20	Rechaza
2120516 RAMADA	1,20E-31	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	1,14E-45	Rechaza	4,77E-29	Rechaza

Estación	Shapiro-Wilk		Test de Kolmogorov-Smirnov		Test de Anderson-Darling		Lillie		Shapiro-Francia	
	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión
LA										
CARVAJAL - SEVILLANA	2,19E-04	Rechaza	0	Rechaza	5,54E-05	Rechaza	1,89E-07	Rechaza	1,93E-04	Rechaza
CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO	2,74E-03	Rechaza	0	Rechaza	4,58E-04	Rechaza	4,86E-05	Rechaza	2,29E-03	Rechaza
GUAYMARAL	4,47E-03	Rechaza	0	Rechaza	4,35E-04	Rechaza	1,34E-05	Rechaza	2,81E-03	Rechaza
KENNEDY	1,25E-21	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	1,12E-25	Rechaza	5,22E-20	Rechaza
LAS FERIAS	1,44E-03	Rechaza	0	Rechaza	3,82E+09	Rechaza	3.26E+06	Rechaza	1,47E-03	Rechaza
MÓVIL SÉPTIMA	1,48E-02	Rechaza	0	Rechaza	1,20E-03	Rechaza	0,0002065	Rechaza	2,16E-02	Rechaza
PUENTE ARANDA	5,68E-04	Rechaza	0	Rechaza	7,43E-04	Rechaza	0,0001820	Rechaza	4,71E-04	Rechaza
SAN CRISTÓBAL	3,83E-03	Rechaza	0	Rechaza	2,87E-04	Rechaza	1.01E+09	Rechaza	4,89E-03	Rechaza
SUBA	3,48E-03	Rechaza	0	Rechaza	1,92E-04	Rechaza	1.47E+14	Rechaza	3,07E-03	Rechaza
USAQUÉN	5,89E-03	Rechaza	0	Rechaza	8,80E-04	Rechaza	0,0016388	No rechaza	7,16E-03	No rechaza

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Temperatura mínima

Tabla 90. Resultados de las pruebas de normalidad para series de temperatura mínima.

Estación	Shapiro-Wilk		Test de Kolmogorov-Smirnov		Test de Anderson-Darling		Lillie		Shapiro-Francia	
	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión
2120516 RAMADA LA	6,44E-09	Rechaza	0	Rechaza	7,37E-14	Rechaza	3,08E-19	Rechaza	2,12E-08	Rechaza

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Evaporación

Tabla 91. Resultados de las pruebas de normalidad para series de evaporación.

Estación	Shapiro-Wilk		Test de Kolmogorov-Smirnov		Test de Anderson-Darling		Lillie		Shapiro-Francia	
	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión	P-Value	Conclusión
20642 PLANTA WIENER	2,84E-60	Rechaza	0	Rechaza	3,70E-24	Rechaza	2,41E-141	Rechaza	1,00E-54	Rechaza
2120516 RAMADA LA	2,87E-22	Rechaza	0	Rechaza	2,31E-13	Rechaza	1,29E-12	Rechaza	9,04E-21	Rechaza

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.2.2. Pruebas de consistencia y homogeneidad

A partir de los resultados anteriores dado que todas las series no tienen una distribución normal, se definieron las pruebas no-paramétricas a aplicar en las estaciones a fin de evaluar la homogeneidad y consistencia mediante pruebas de estabilidad en la media (Mann-Whitney y Kruskal-Wallis), estabilidad en la varianza (Siegel Turkey) y tendencia (Spearman y Kendall) para posteriormente aplicar el Test de Walsh para definir outliers. Las pruebas fueron realizadas para un nivel de significancia del α=5%, es decir se rechaza la hipótesis nula si el valor de p asociado al resultado observado es menor que el nivel de significancia establecido. El valor de p- value muestra la probabilidad de haber obtenido el resultado hallado si se supone que la hipótesis nula es cierta, siendo para las hipótesis nulas: i) no hay tendencia, ii) varianzas son iguales y iii) las medias son iguales.

Los resultados obtenidos para las pruebas aplicadas en precipitación, caudales, temperatura, y evaporación se presentan en la Tabla 92 hasta la Tabla 97. De los resultados obtenidos se concluye que en la mayoría de los registros de las estaciones no hay tendencia, sin embargo, en la mayor parte no se rechaza la hipótesis de la estabilidad en la varianza y estabilidad en la media.

- Precipitación

Tabla 92. Resultados de las pruebas de consistencia y homogeneidad de series de precipitación.

Estación	Tendencia		Estabilidad en la varianza	Estabilidad en la media	
	Spearman	Kendall	Siegel turkey	Mann-whitney	Kruskal-wallis
21205791 Eldorado catam - automática	0,906	0,907	0,450	0,851	0,280
20207 Saucedal li	0,814	0,815	0,111	0,493	0,650
20547 Fontibón	0,024	0,023	0,019	0,048	0,314
20569 Cama vieja	0,194	0,197	0,326	0,176	0,259
20642 Planta wiener	0,191	0,191	0,402	0,639	0,401
2120516 Ramada la	0,103	0,103	0,652	0,145	0,022
2120112 Casita la	0,575	0,577	0,016	0,077	0,426
20196 Casa de bombas	0,181	0,180	0,852	0,379	0,795
20031 Cerro de suba	0,495	0,498	0,746	0,516	0,561
20032 El granizo	0,426	0,424	0,699	0,678	0,003
20023 San diego	0,889	0,893	0,136	0,862	0,880
20040 San luis	0,529	0,530	0,210	0,180	0,868
2120136 Sta ines	0,993	0,980	0,192	0,669	0,454
2120559 Apto guaymaral	0,021	0,020	0,880	0,240	0,368
21201210 Hato El	0,832	0,830	0,871	0,097	0,093

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Caudal

Tabla 93. Resultados de las pruebas de consistencia y homogeneidad de series de caudal.

Estación	Tendencia		Estabilidad en la varianza	Estabilidad en la media	
	Spearman	Kendall	Siegel turkey	Mann-whitney	Kruskal-wallis
20810 Vuelta Grande	0,232	0,230	0,167	0,797	0,260
20888 El Cortijo - rio	0,609	0,612	0,328	0,773	0,367
20889 Chicu - río Bogotá	0,969	0,954	0,256	0,794	0,307

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Temperatura máxima

Tabla 94. Resultados de las pruebas de consistencia y homogeneidad de series de temperatura máxima.

Estación	Tendencia		Estabilidad en la varianza	Estabilidad en la media	
	Spearman	Kendall	Siegel turkey	Mann-whitney	Kruskal-wallis
2120516 La Ramada	0,364	0,367	0,427	0,781	0,695

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Temperatura media

Tabla 95. Resultados de las pruebas de consistencia y homogeneidad de series de temperatura media.

Estación	Tendencia		Estabilidad en la varianza	Estabilidad en la media	
	Spearman	Kendall	Siegel Turkey	Mann-whitney	Kruskal-wallis
21206560 Inem kennedy	0,000	0,000	0,000	0,000	0,132
20642 Planta wiener	0,181	0,180	0,959	0,560	0,335
2120516 Ramada la	0,968	0,981	0,750	0,317	0,055
Carvajal - sevillana	0,704	0,706	0,994	0,799	0,741
Centro de alto rendimiento	0,194	0,191	0,662	0,455	0,536
Guaymaral	0,489	0,504	0,880	0,636	0,245
Kennedy	0,060	0,060	0,565	0,881	0,699
Universidad nacional	0,957	0,949	0,548	0,176	0,919
Las ferias	0,472	0,471	0,330	0,559	0,073
Ministerio de ambiente	0,280	0,232	0,590	0,164	0,329
Móvil séptima	0,130	0,125	0,287	0,088	0,871
Puente aranda	0,662	0,676	0,864	0,348	0,804

Estación	Tendencia		Estabilidad en la varianza	Estabilidad en la media	
	Spearman	Kendall	Siegel Turkey	Mann-whitney	Kruskal-wallis
San cristóbal	0,453	0,471	0,298	0,642	0,733
Suba	0,107	0,114	0,587	0,897	0,433
Tunal	0,799	0,820	0,426	0,459	0,816
Usaquén	0,478	0,489	0,764	0,339	0,231

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Temperatura mínima

Tabla 96. Resultados de las pruebas de consistencia y homogeneidad de series de temperatura mínima.

Estación	Tendencia		Estabilidad en la varianza	Estabilidad en la media	
	Spearman	Kendall	Siegel turkey	Mann-whitney	Kruskal-wallis
2120516 Ramada la	0,759	0,758	0,839	0,290	0,543

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Evaporación

Tabla 97. Resultados de las pruebas de consistencia y homogeneidad de series de evaporación.

Estación	Tendencia		Estabilidad En La Varianza	Estabilidad en la media	
	Spearman	Kendall	Siegel Turkey	Mann-Whitney	Kruskal-Wallis
20642 Planta wiener	0,071	0,069	0,140	0,312	0,469
2120516 Ramada la	0,378	0,376	0,210	0,920	0,946

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.2.3. Identificación de datos anómalos (outliers)

Dentro del análisis exploratorio se pueden encontrar datos considerados como extremos anómalos, los cuales son definidos como outliers. Para determinar si estos datos son efectivamente consecuencia de errores en el proceso de medición, registros y/o manipulación de la información, estos pueden ser evaluados mediante el test de Walsh. Este consiste en una prueba no paramétrica desarrollada por Walsh para detectar datos anómalos (outliers) en un conjunto de datos. Este test requiere de una muestra con $n > 220$ para obtener un nivel de significancia del $\alpha = 0,05$, $n > 60$ para un nivel de significancia $\alpha = 0,10$.

Para la serie que representa el conjunto de datos ordenados ascendentemente, se identifican los números de posibles outliers.

$$C = ceiling\left(\sqrt{2n}\right)$$ Ecuación 3. Parámetro C del test de Walsh

$$k = r + c$$ Ecuación 4. Parámetro k del test de Walsh

$$b^2 = \frac{1}{\alpha}$$ Ecuación 5. Parámetro b del test de Walsh

$$\alpha = \frac{1 + b\sqrt{(c - b^2)/(c - 1)}}{c - b^2 - 1}$$ Ecuación 6. Nivel de significancia

Donde *ceiling* representa el número entero superior más próximo.

1. Los *r* valores más pequeños son outliers con nivel de significancia *α* siempre y cuando se cumpla que:

$$X_r - (1 + \alpha) \cdot X_{r+1} + aX_k < 0$$ Ecuación 7. Condición de los valores mínimos

2. Los *r* valores más grandes son outliers con nivel de significancia *α* siempre y cuando se cumpla que:

$$X_{n+1-r} - (1 + a)X_{n-r} + aX_{n+a-k} > 0$$ Ecuación 8. Condición de los valores máximos

Datos detectados como anómalos en la aplicación de cada una de las técnicas utilizadas fueron definidos como posiblemente erróneos y fueron contrastados con los registros históricos de años clasificados como Niño y Niña de acuerdo con el índice ONI (Oceanic Niño Index). Si el valor no se encuentra asociado a ningún tipo de evento microclimático fue removido de las series. Este test fue aplicado a las series de precipitación diaria, el resultado se presenta en el Anexo 5.2 -5.1 - Hidrología. Con estas series de precipitación se realizó la caracterización espacial y temporal para condiciones promedio y máximas.

5.2.2.1.2.4. Curvas de doble masa

Esta metodología supone una proporcionalidad en la variación temporal de la acumulación de la variable en consideración; por lo que la variable acumulada en tiempos consecutivos en una estación contra la acumulación de los datos en otra – o el promedio acumulado en una misma cuenca – debe representarse como una línea recta en un gráfico cartesiano. Los cambios en la pendiente de la curva de doble masa pueden asociarse a cambios en las magnitudes de la variable registrada en las estaciones, que no fueron detectados por aquella que se está analizando, estas anomalías pueden obedecer a cambios naturales o alteraciones en la estación y sus instrumentos de medición o por el contrario se consideran anómalos si no pueden ser explicados por fenómenos naturales. El análisis fue desarrollado sólo para los períodos en que todas las estaciones poseen registros comunes con el fin de no inducir errores en la acumulación de la masa. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

- Series de temperatura

El análisis de dobles masas para las series de temperatura se realizó a partir de los datos de las estaciones que caracterizan la temperatura del trazado. La Figura 90 presenta el resultado del análisis de dobles masas para las estaciones Planta Wiesner, La Ramada e INEM Kennedy, seleccionadas para la caracterización de la temperatura con un periodo común entre los años 1998-2019; mientras que la Figura 91 presenta el resultado del análisis de dobles masas para las estaciones complementarias con un periodo común entre los años 2010-2021.

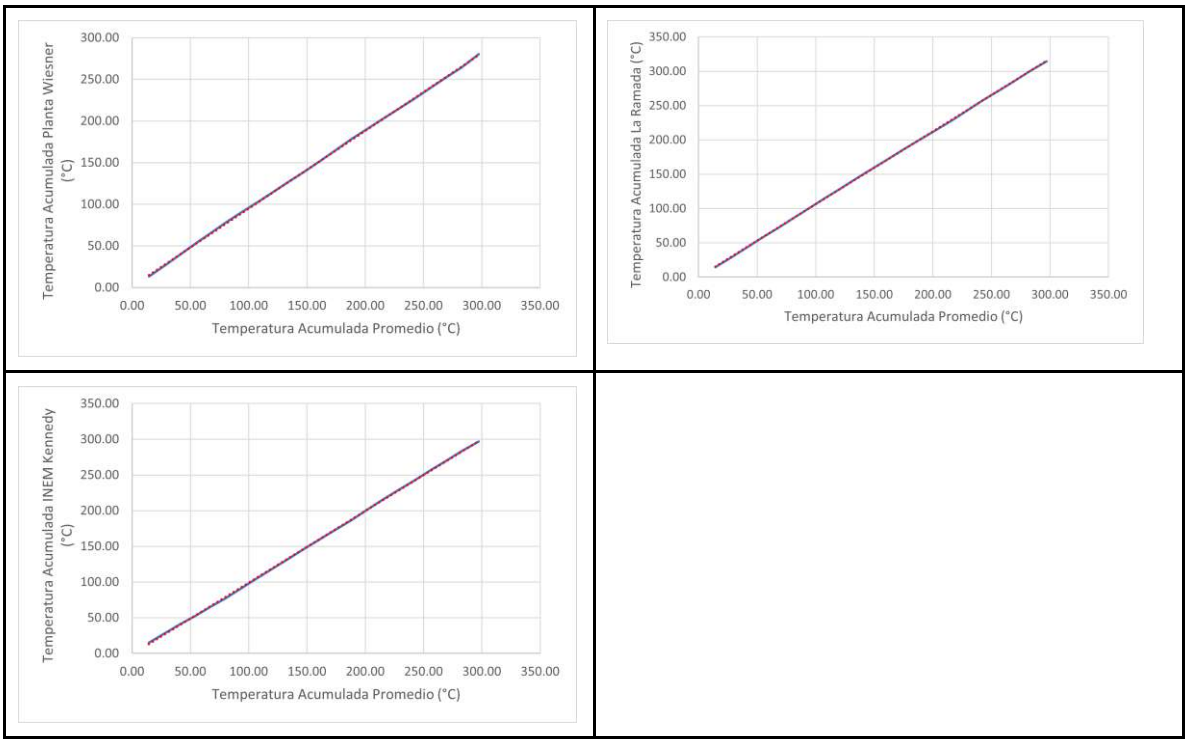
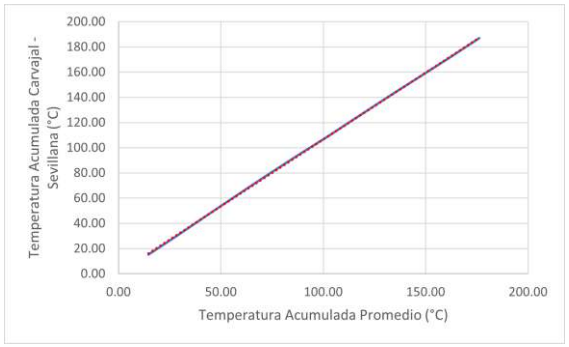
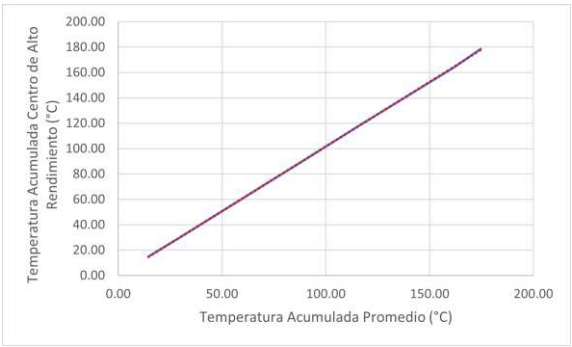
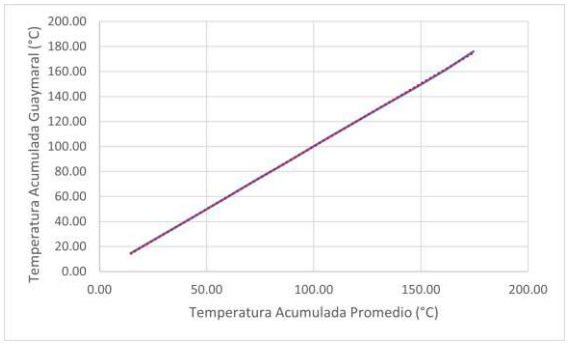
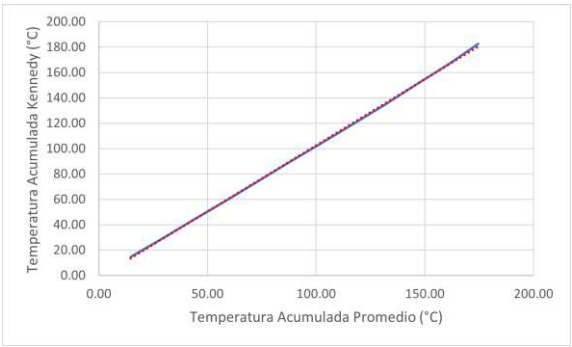


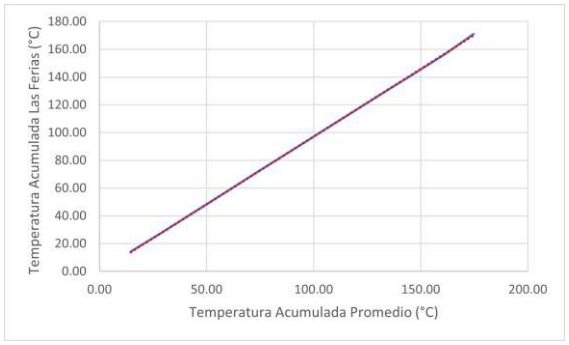
Figura 90. Análisis de Dobles Masas - Estaciones de Caracterización - Temperatura.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

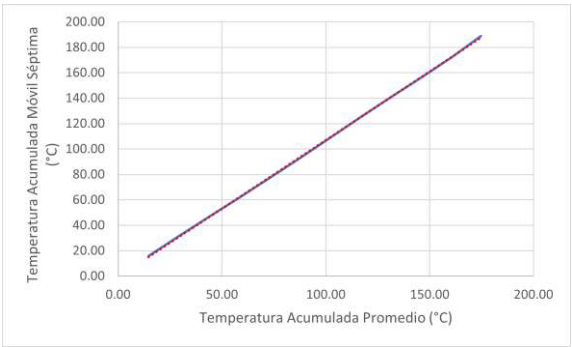

Temperatura Acumulada Carvajal - Sevillana (°C)
Temperatura Acumulada Promedio (°C)


Temperatura Acumulada Centro de Alto Rendimiento (°C)
Temperatura Acumulada Promedio (°C)


Temperatura Acumulada Guaymaral (°C)
Temperatura Acumulada Promedio (°C)


Temperatura Acumulada Kennedy (°C)
Temperatura Acumulada Promedio (°C)


Temperatura Acumulada Las Ferias (°C)
Temperatura Acumulada Promedio (°C)


Temperatura Acumulada Móvil Séptima (°C)
Temperatura Acumulada Promedio (°C)

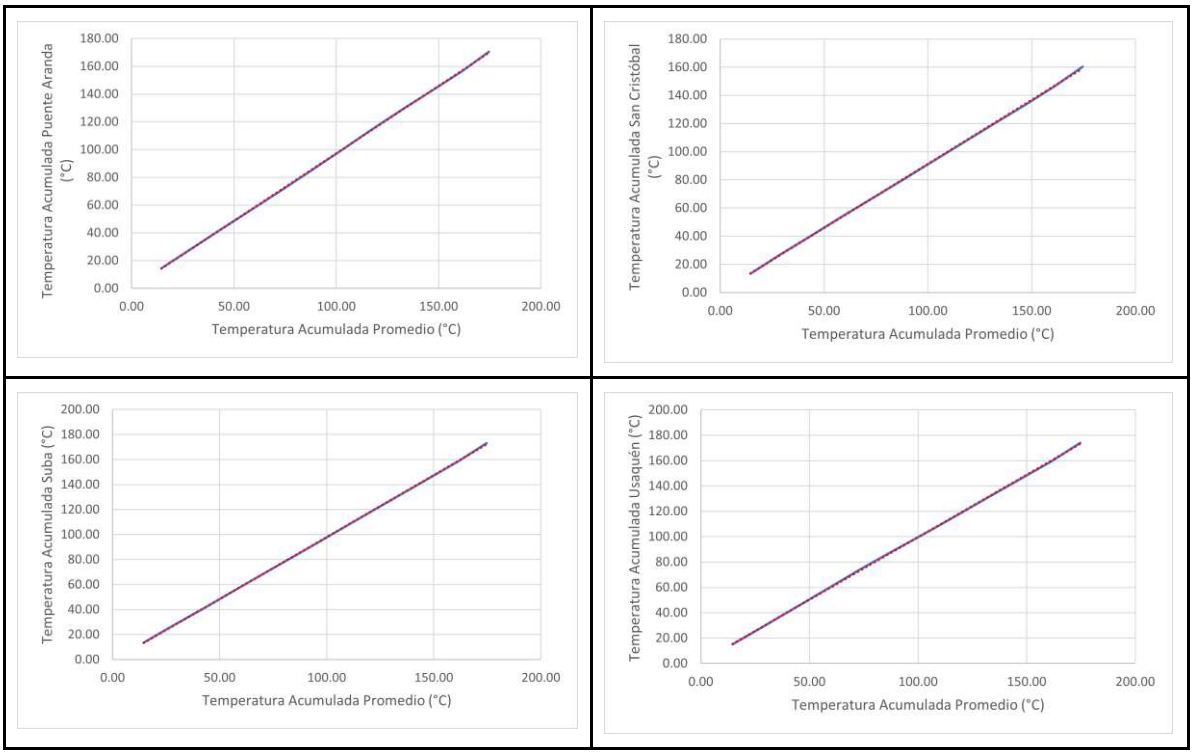
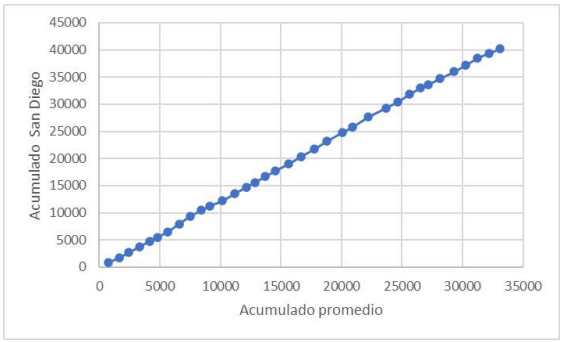


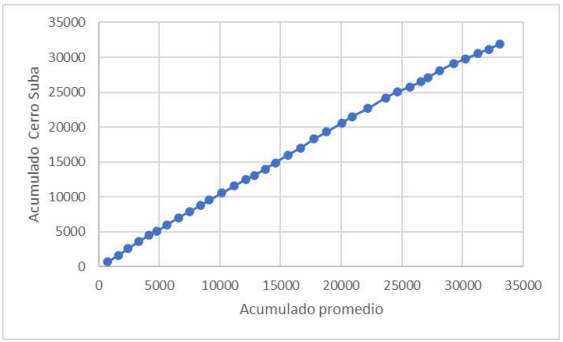
Figura 91. Análisis de Dobles Masas - Estaciones Complementarias - Temperatura.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

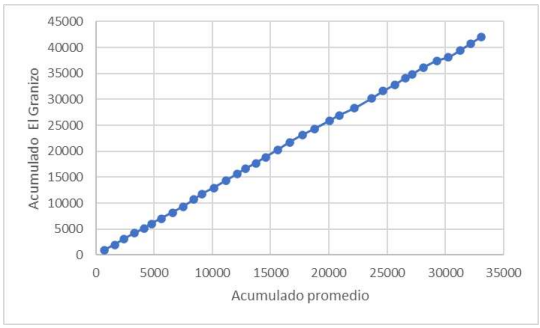
Los resultados de los análisis de dobles masas para la temperatura muestran que los datos de las estaciones son homogéneos, dado que no se identifican cambios en la pendiente.

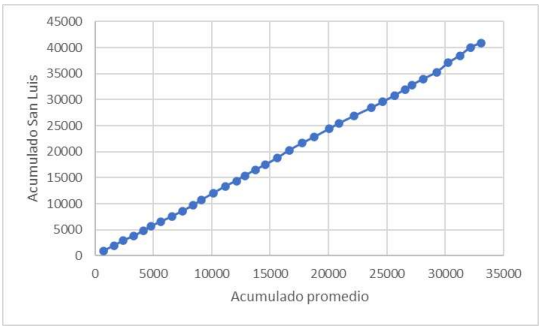
- Series de precipitación

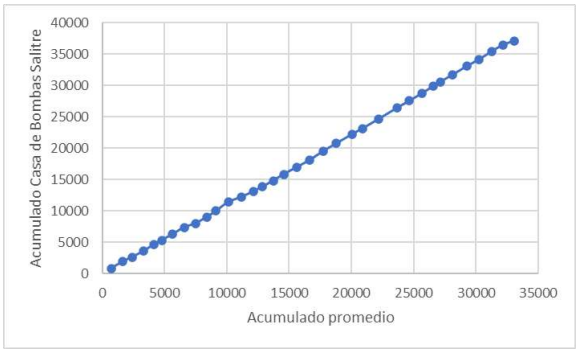
El análisis de dobles masas para las series de precipitación se realizó a partir de los datos de las estaciones que caracterizan la precipitación del trazado. La Figura 92 presenta el resultado del análisis de dobles masas.

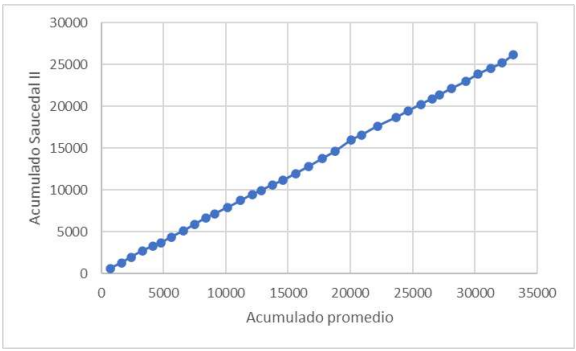

Acumulado San Diego
Acumulado promedio
0
5000
10000
15000
20000
25000
30000
35000
40000
45000

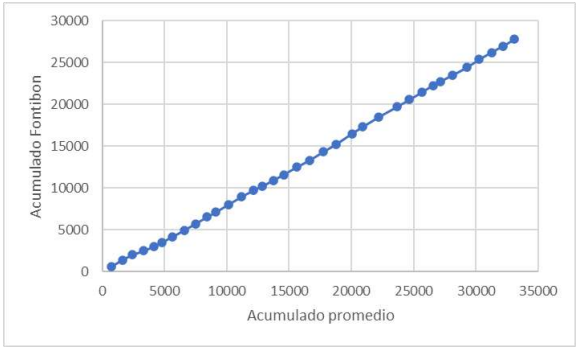

Acumulado Cerro Suba
Acumulado promedio
0
5000
10000
15000
20000
25000
30000
35000

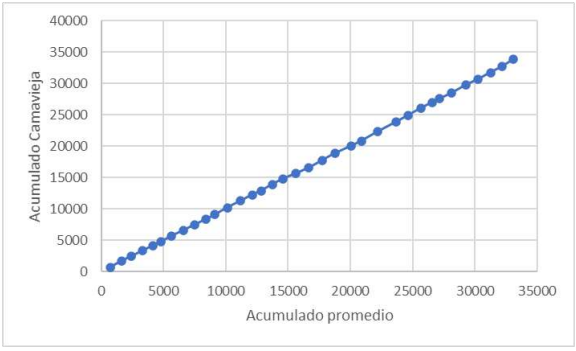

Acumulado El Granizo
Acumulado promedio
0
5000
10000
15000
20000
25000
30000
35000
40000
45000

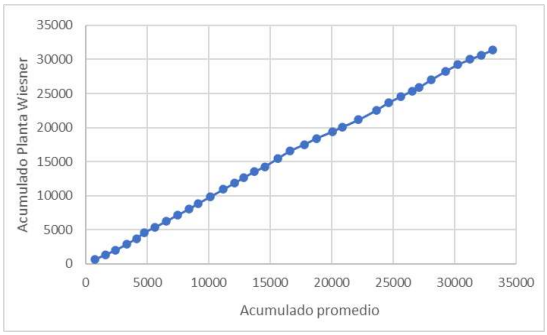

Acumulado San Luis
Acumulado promedio
0
5000
10000
15000
20000
25000
30000
35000
40000
45000

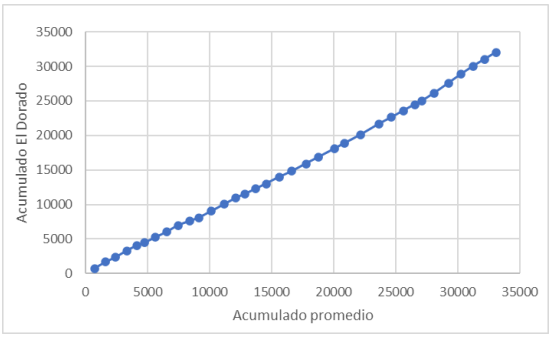

Acumulado Casa de Bombas Salitre
Acumulado promedio
0
5000
10000
15000
20000
25000
30000
35000
40000

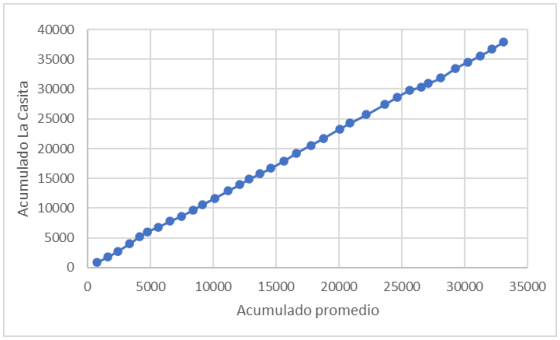

Acumulado Saucedal II
Acumulado promedio
0
5000
10000
15000
20000
25000
30000
35000

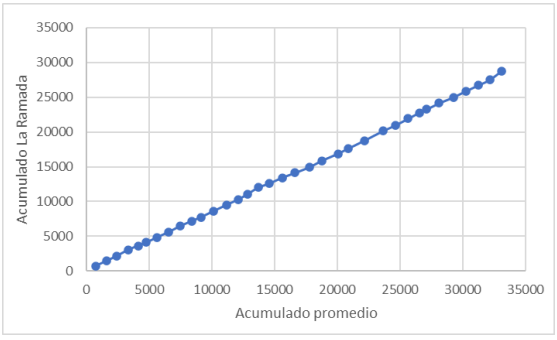

Acumulado Fontibon
Acumulado promedio

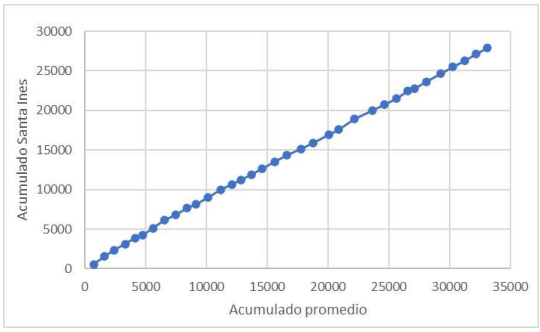

Acumulado Camavieja
Acumulado promedio

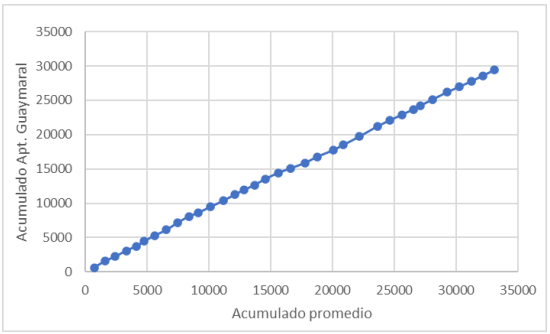

Acumulado Planta Wiesner
Acumulado promedio


Acumulado El Dorado
Acumulado promedio


Acumulado La Casita
Acumulado promedio


Acumulado La Ramada
Acumulado promedio


Acumulado Santa Ines
Acumulado promedio


Acumulado Apt. Guaymaral
Acumulado promedio

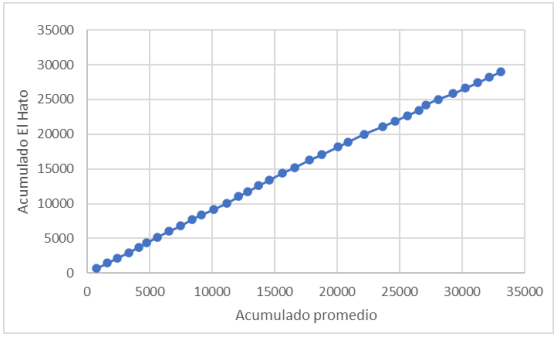


Figura 92. Análisis de Dobles Masas - Precipitación.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Los resultados de los análisis de dobles masas para la precipitación muestran que los datos de las estaciones son homogéneos. Se identifican algunos cambios leves de pendiente que pueden estar asociados a la falta de datos en años específicos lo que disminuye el valor en algunos años.

5.2.2.1.2.5. Correlación con indicadores de fenómenos macro climáticos ONI, SOI, y SST3-4

- Registro de precipitación

El efecto del fenómeno ENSO sobre el territorio nacional se ve reflejado en la magnitud y temporalidad del ciclo hidrológico. Se analizaron los efectos de dicho fenómeno sobre las precipitaciones de las estaciones base para la caracterización, mediante rangos de correlaciones significativas de las variables asociadas a ENSO (ONI, SOI y SST 3-4). En la Figura 93 se presentan los correlogramas analizados para la estación de precipitación San Diego. Los correlogramas para las demás estaciones son presentados en el Anexo 5.2 -5.1 - Hidrología.

En la gráfica de la estación de San Diego (2120023), se observa una correlación[3] entre el índice SOI y la precipitación mensual, no obstante es de un valor de -0,213 clasificándose como una correlación mala, por lo tanto, en este caso se determina que no tiene una influencia significativa el fenómeno de la niña sobre la precipitación. El comportamiento es similar para los índices ONI y SST 3-4. De igual forma, las demás estaciones presentan un comportamiento semejante al de la estación San Diego.

[3] Se correlacionan las precipitaciones totales mensuales con los índices de ONI (Oceanic Niño Index), SOI (Southern Oscillation Index) y SST 3-4 (Equatorial Pacific Sea Surface Temperatures).

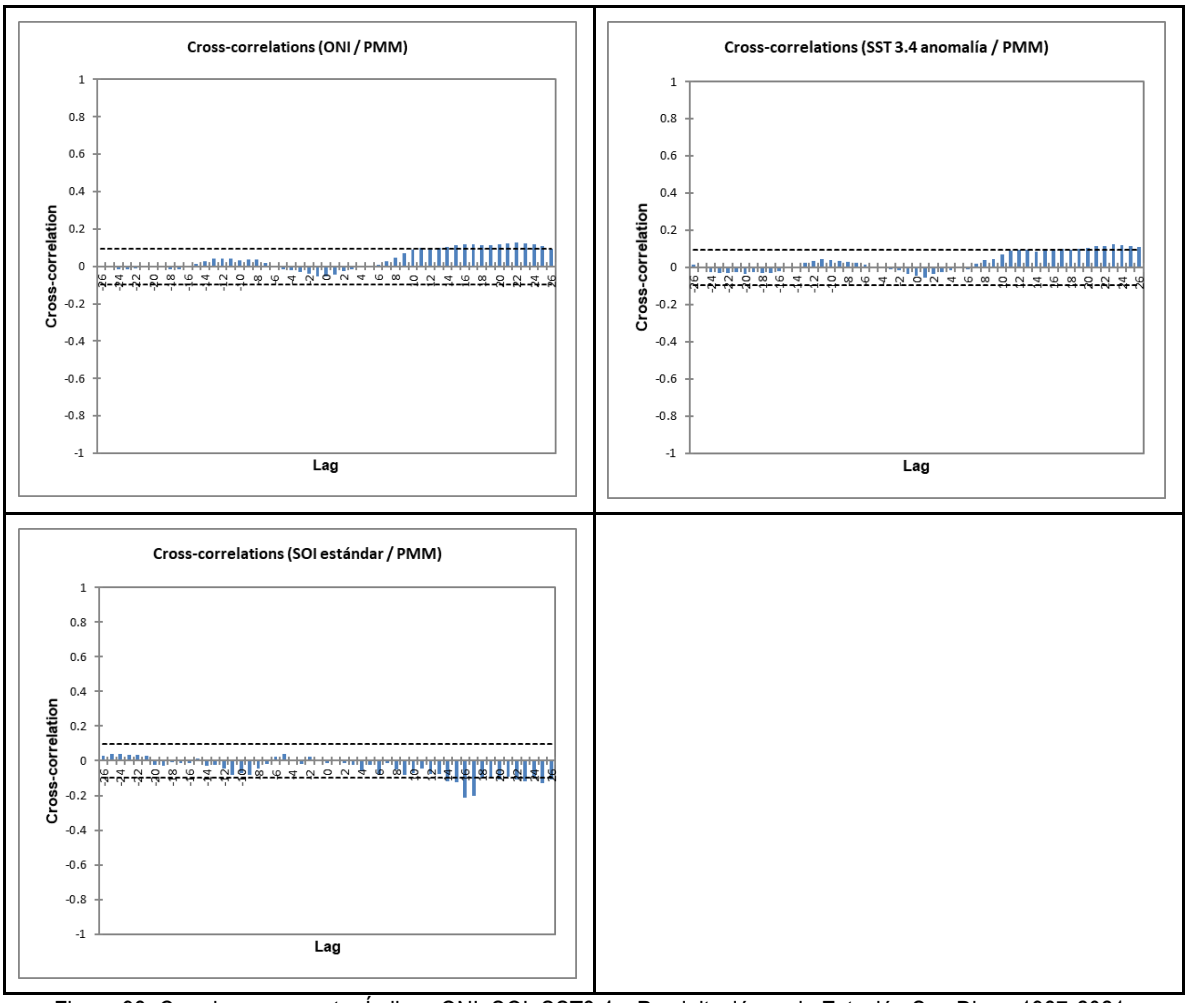


Figura 93. Correlogramas entre Índices ONI, SOI, SST3.4 y Precipitación en la Estación San Diego 1987-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Posteriormente, se realizó el mismo análisis para las estaciones del EAAB, las cuales tienen registros de datos desde el año 1947 hasta el 2021. En la Figura 94, se presentan las correlaciones para los índices ONI, SOI, SST3.4, se evidencia que estos son menores a 0,3, por lo que termina siendo irrelevante con respecto a la influencia del fenómeno ENSO. Este comportamiento es semejante al de las demás estaciones analizadas (San Diego, Cerro Suba, El Granizo, San Luis).

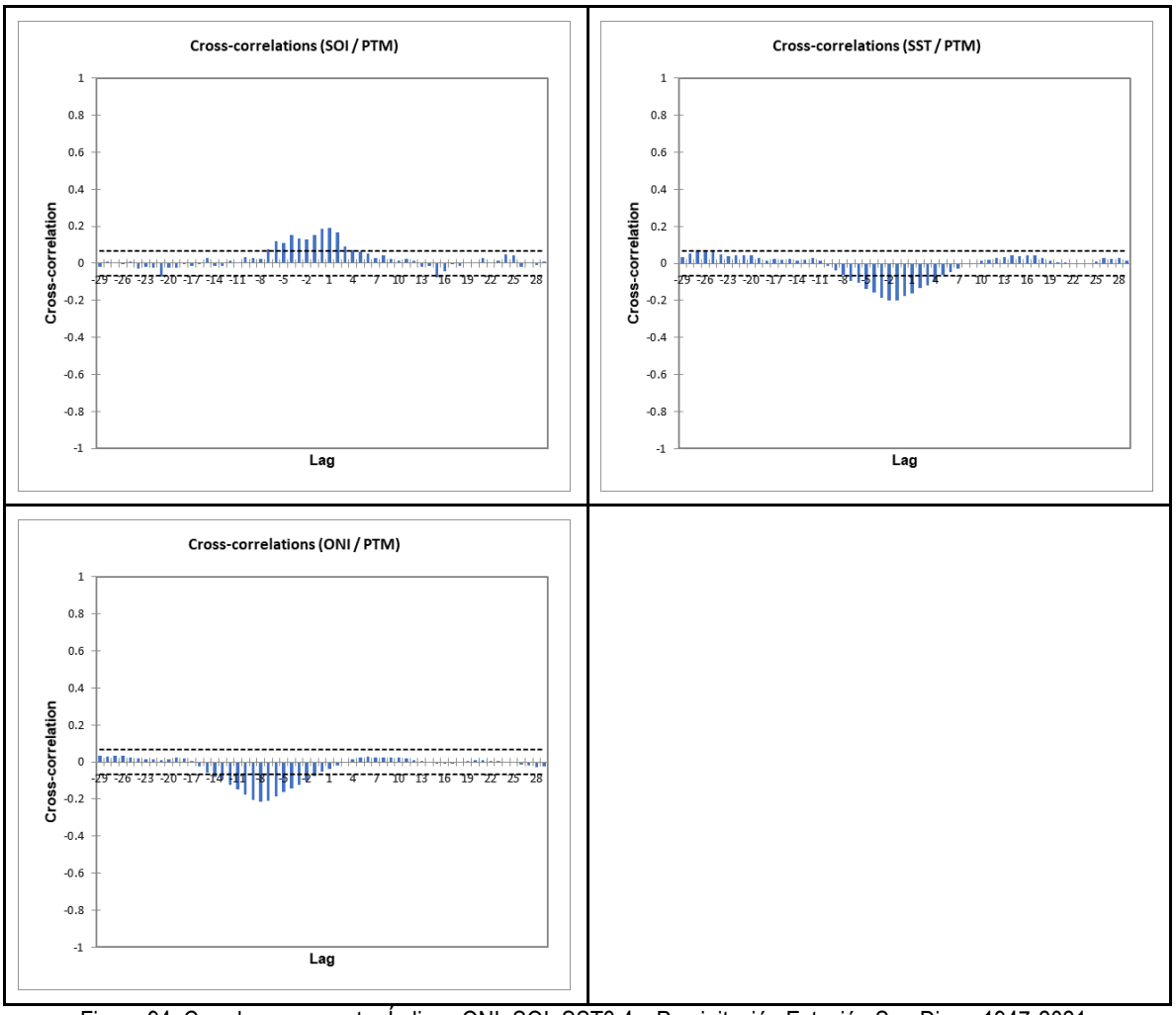


Figura 94. Correlogramas entre Índices ONI, SOI, SST3.4 y Precipitación Estación San Diego 1947-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Registro de caudales

En la Figura 95 se presentan los correlogramas[4] analizados para la estación de caudal Parque Nacional - Río Arzobispo. Los correlogramas para las demás estaciones son presentados en el Anexo 5.2 -5.1 - Hidrología. En la gráfica de la estación Parque Nacional - Río Arzobispo (20951), se observa una correlación entre el índice SOI y la precipitación mensual, no obstante es de un valor de 0,103 clasificándose como una correlación mala, por lo tanto, en este caso se determina que no tiene una influencia significativa el fenómeno del niño sobre el caudal. El comportamiento es similar para

[4] Se correlacionan los caudales medios mensuales con los índices de ONI (Oceanic Niño Index), SOI (Southern Oscillation Index) y SST 3-4 (Equatorial Pacific Sea Surface Temperatures).

los índices ONI y SST 3.4. De igual forma, las demás estaciones presentan un comportamiento semejante a la de Parque Nacional - Río Arzobispo.

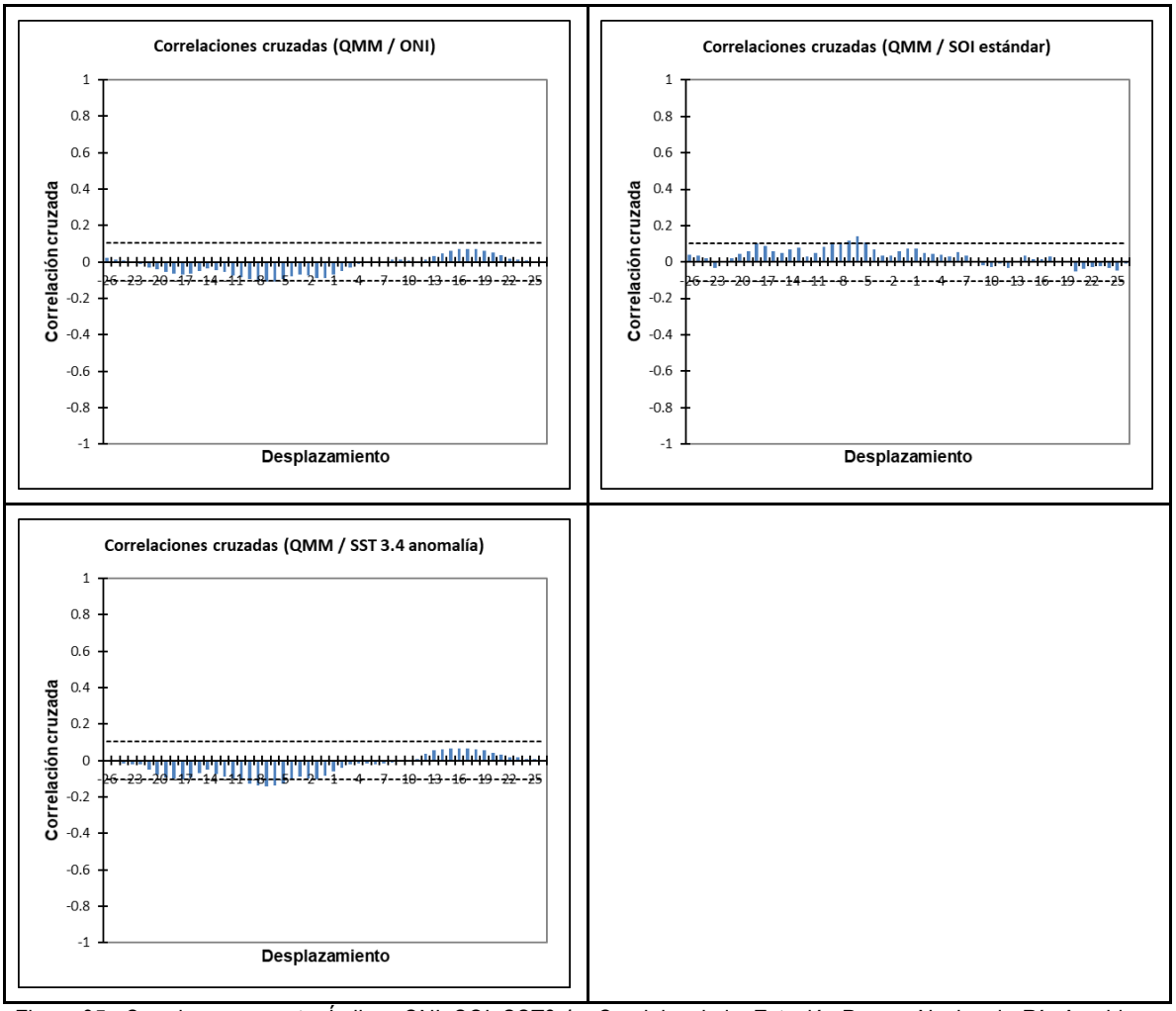


Figura 95. Correlogramas entre Índices ONI, SOI, SST3.4 y Caudales de la Estación Parque Nacional - Río Arzobispo 1992-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.3. Complementación de vacíos de series de precipitación total

Previo a la caracterización temporal de la precipitación se realizó la complementación de vacíos a nivel diario utilizando el método de la proporción media, el cual se describe mediante la Ecuación 1. En esta metodología se indica que si existen estaciones pluviométricas con datos faltantes en sus registros, para los análisis de caracterización se debe tener series

continuas, por lo que se puede utilizar la Ecuación 9 para complementar los vacíos, siempre y cuando se conozcan datos durante ese periodo en otras estaciones pluviométricas cercanas.

$$P_x = \frac{1}{n}\left[\left(\frac{N_x}{N_1}\right)\cdot P_1 + \left(\frac{N_x}{N_2}\right)\cdot P_2 + \ldots + \left(\frac{N_x}{N_n}\right)\cdot P_n\right]$$

Ecuación 9. Método de la proporción media

Donde:
n = Número de estaciones pluviométricas con datos de registros continuos cercanas a la estación "x", la cual va a ser completada en su registro.
P_x= Precipitación de la estación "x" durante el periodo de tiempo por completar.
$P_1\ a\ P_n$ = Precipitación de las estaciones 1 a n durante el periodo de tiempo por completar.
N_x = Precipitación media anual a nivel multianual de la estación "x".
$N_1\ a\ N_n$ = Precipitación media anual a nivel multianual de las estaciones 1 a n.

En la Tabla 98 se presenta el porcentaje de vacíos identificados en cada estación con datos de precipitación para el período común:

Tabla 98. Porcentaje de vacíos en estaciones analizadas - Periodo 1987-2021.

Estación	% Vacíos
20031 CERRO DE SUBA	5,0%
20032 EL GRANIZO	10,5%
20040 SAN LUIS	4,5%
20196 CASA DE BOMBAS SALITRE	10,6%
20207 SAUCEDAL II	10,8%
20547 FONTIBÓN	1,1%
20569 CAMAVIEJA	1,3%
20642 PLANTA WIESNER	2,0%
21205791 ELDORADO CATAM AUT	18,6%
2120112 CASITA LA	13,6%
2120516 RAMADA LA	14,8%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Según la recomendación dada en la Guía de prácticas hidrológicas (Organización Meteorológica Mundial, 2011) se sugiere complementar el 10% de los valores de una serie de precipitación, sin embargo, para este caso particular las estaciones que presentan un porcentaje de vacíos mayor, no fueron eliminadas ya que por su localización la información es representativa para la zona de análisis y además permiten caracterizar espacialmente el parámetro en las cuencas hidrográficas delimitadas para la red de drenaje que cruza el proyecto.

Posterior a la complementación de vacíos se estimaron los parámetros estadísticos: media y desviación estándar de las series de precipitación diaria con y sin complementar. En la Tabla 99 se presentan las variaciones identificadas para cada una de las estaciones.

Tabla 99. Comparación de parámetros estadísticos para datos complementados y sin complementar en las estaciones analizadas - Precipitación diaria, periodo 1987-2021.

Estación	Sin complementar		Complementados		Variación Porcentual	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media (%)	Desviación estándar
SAN DIEGO	3,14	7,41	3,14	7,04	0,1%	-5,2%
CERRO DE SUBA	2,48	5,61	2,50	5,55	0,6%	-1,1%
EL GRANIZO	3,21	6,96	3,29	6,87	2,5%	-1,2%
SAN LUIS	3,22	7,18	3,20	7,08	-0,5%	-1,4%
CASA DE BOMBAS SALITRE	2,87	6,53	2,91	6,39	1,3%	-2,2%
SAUCEDAL II	2,07	4,61	2,05	4,47	-1,0%	-3,1%
FONTIBÓN	2,17	4,93	2,17	4,92	-0,1%	-0,2%
CAMAVIEJA	2,65	6,11	2,65	6,10	0,2%	-0,1%
PLANTA WIESNER	2,46	5,59	2,45	5,57	-0,4%	-0,4%
APTO EL DORADO AUTOMATICA	2,38	5,30	2,51	5,20	5,1%	-2,0%
CASITA LA	3,00	6,81	2,96	6,54	-1,1%	-4,1%
RAMADA LA	2,26	4,99	2,25	4,83	-0,6%	-3,5%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Considerando los datos presentados en la Tabla 99, se aprecia que el mayor aumento porcentual en la media de los registros de precipitación total se presenta en la estación Apto El Dorado con 5,10%, y la mayor disminución porcentual en la media se presenta en la estación La Ramada con un valor de - 0,60%. En términos de la desviación estándar, la disminución máxima se presentó en la estación San Diego con un valor de -5,20%.

Para los registros de precipitación de las estaciones El Hato, Santa Inés y Apto. Guaymaral, el llenado de datos se realizó con el promedio mensual multianual ya que en las estaciones Santa Inés y Apto. Guaymaral los registros se tienen a escala

mensual. En cuanto a la estación El Hato, esta no se incluyó dentro del método de la proporción media puesto que su localización está muy distante de las estaciones analizadas en la Tabla 99, se aclara que para el método de la proporción media se busca que las estaciones que se apliquen estén cercanas a la zona de estudio y con un bajo porcentaje de vacíos.

El desarrollo de la metodología empleada para la complementación de registros y los resultados obtenidos se presentan en el Anexo 5.2 -5.1 - Hidrología.

5.2.2.1.4. Distribución temporal de la precipitación total

Con los registros de precipitación recopilados y complementados se determinó la distribución temporal de la precipitación total, los resultados de estos análisis para cada estación se presentan a continuación. En la Figura 96 se presenta la localización de las estaciones analizadas respecto a la Línea 2 del Metro.

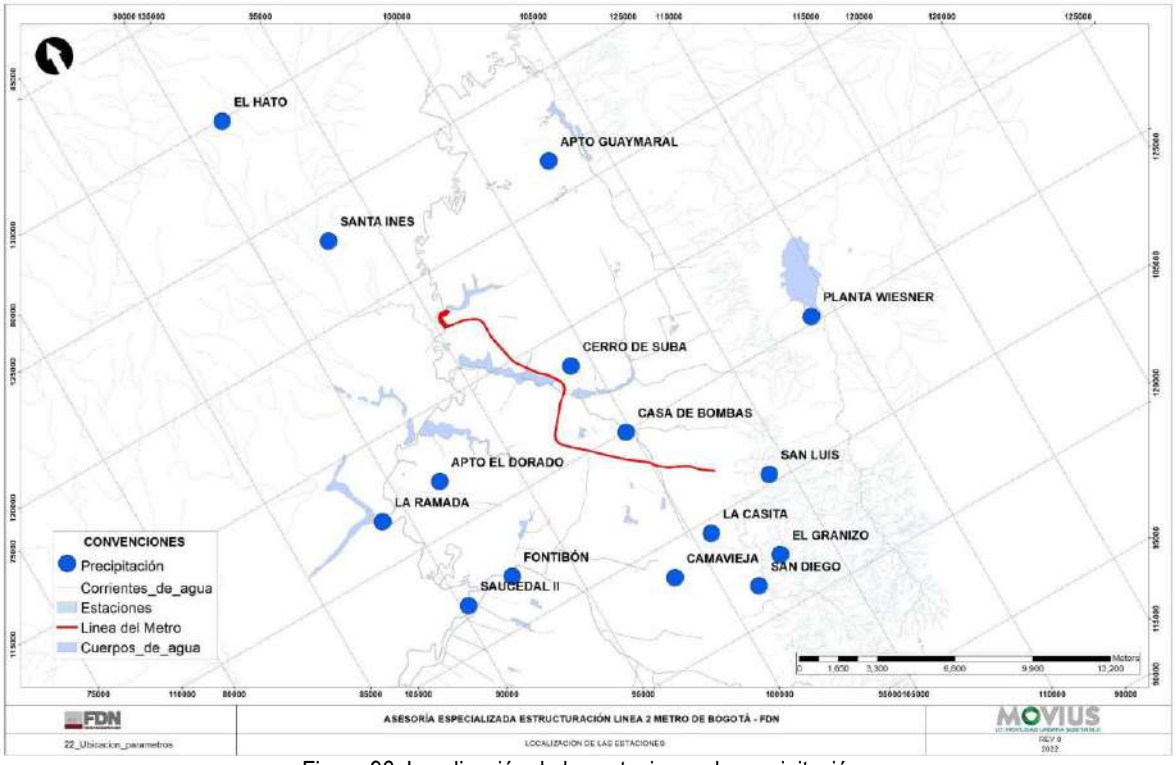


Figura 96. Localización de las estaciones de precipitación.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120023 SAN DIEGO

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación San Diego presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 160,1 mm, mientras que el registro más bajo se presenta en septiembre con un valor de 54,74 mm. La precipitación media mensual multianual es de 95,68 mm y la precipitación total anual multianual es de 1 148,20 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2 010 se presentó el registro más alto con un valor de 345,2 mm. En la Figura 97 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación San Diego.

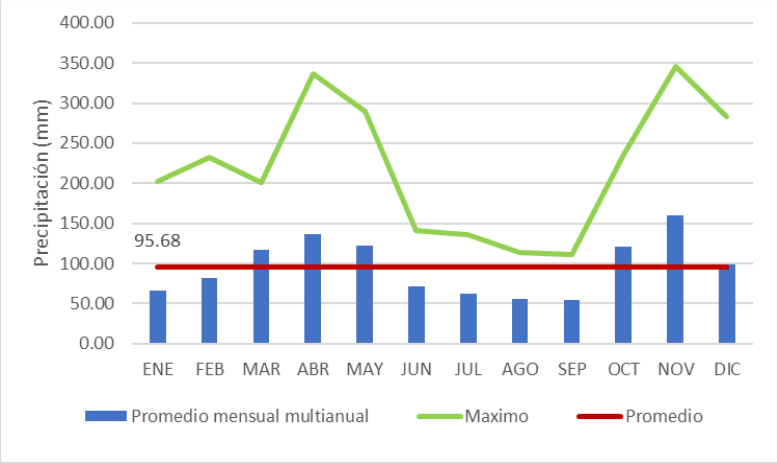


Figura 97. Distribución temporal precipitación total estación San Diego. Periodo 1987 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120031 CERRO DE SUBA

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Cerro de Suba presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 123,74 mm mientras que el registro más bajo se presenta en julio con un valor de 42,3 mm. La precipitación media mensual multianual es de 76,00 mm y la precipitación total anual multianual es de 911,98 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2011 se presentó el registro más alto con un valor de 261,8 mm. En la Figura 98 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Cerro de Suba.

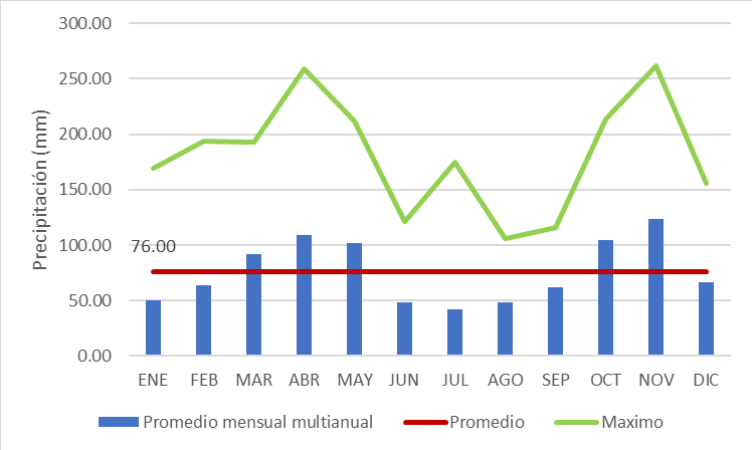


Figura 98. Distribución temporal precipitación total estación Cerro de Suba. Periodo 1987 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120032 EL GRANIZO

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación El Granizo presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 157,49 mm mientras que el registro más bajo se presenta en septiembre con un valor de 59,59 mm. La precipitación media mensual multianual es de 100,17 mm y la precipitación total anual multianual es de 1 202,05 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2016 se presentó el registro más alto con un valor de 343,92 mm. En la Figura 99 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación El Granizo.

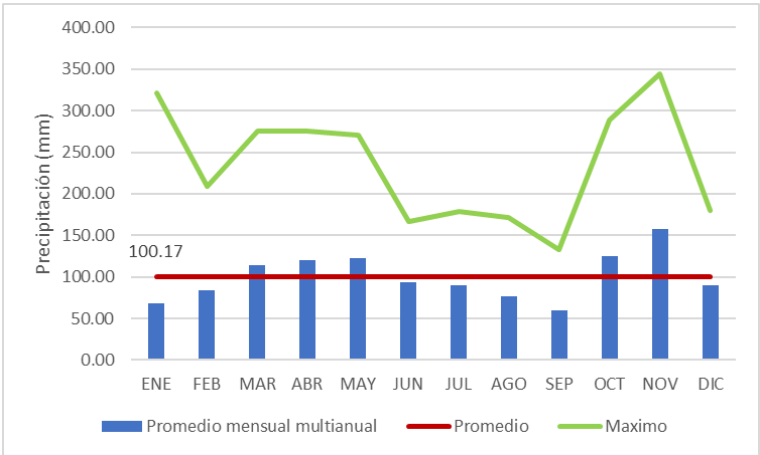


Figura 99. Distribución temporal precipitación total estación El Granizo. Periodo 1987 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120040 SAN LUIS

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación San Luis presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 155,8 mm mientras que el registro más bajo se presenta en septiembre con un valor de 58,67 mm. La precipitación media mensual multianual es de 97,38 mm y la precipitación total anual multianual es de 1168,6 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en enero de 2017 se presentó el registro más alto con un valor de 341,6 mm. En la Figura 100 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación San Luis.

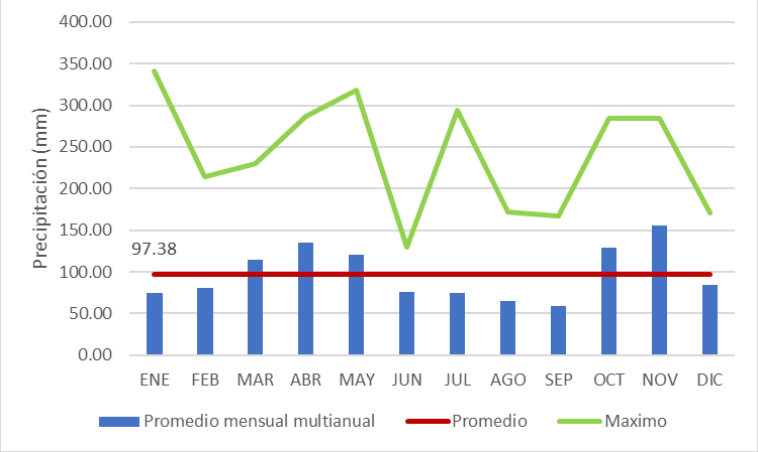


Figura 100. Distribución temporal precipitación total estación 2120040 San Luis. El Periodo 1987 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120196 CASA DE BOMBAS SALITRE

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Casa de Bombas Salitre presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 153,13 mm mientras que el registro más bajo se presenta en agosto con un valor de 47,73 mm. La precipitación media mensual multianual es de 88,47 mm y la precipitación total anual multianual es de 1 061,69 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2016 se presentó el registro más alto con un valor de 331,7 mm.

En la Figura 101 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Casa de Bombas Salitre.

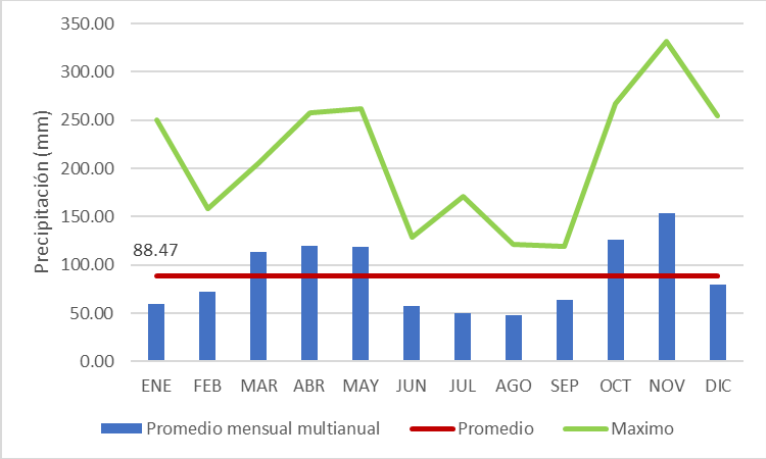


Figura 101. Distribución temporal precipitación total estación 2120196 Casa de Bombas Salitre. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120207 SAUCEDAL II

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Saucedal II presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En mayo se presenta la precipitación más alta con un valor de 101,68 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 22,19 mm. La precipitación media mensual multianual es de 62,44 mm y la precipitación total anual multianual es de 749,23 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en abril de 2012 se presentó el registro más alto con un valor de 235,3 mm. En la Figura 102 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Saucedal II.

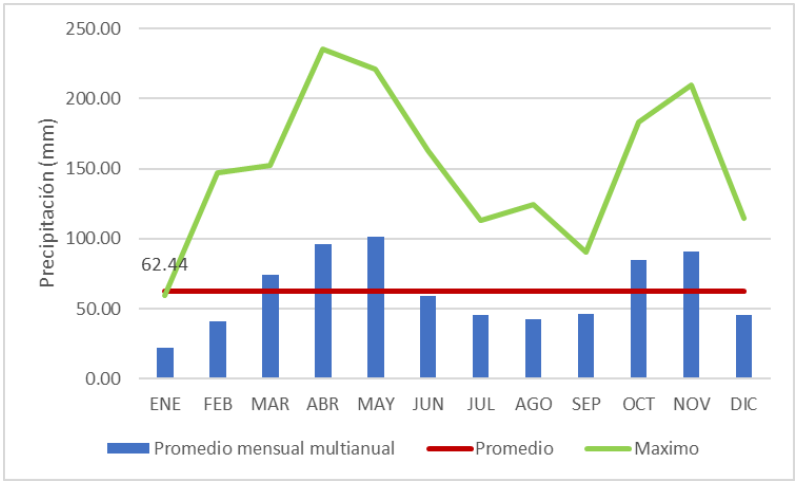


Figura 102. Distribución temporal precipitación total estación 20207 Saucedal II. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120547 FONTIBÓN

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Fontibón presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En abril se presenta la precipitación más alta con un valor de 103,41 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 26,1 mm. La precipitación media mensual multianual es de 66,14 mm y la precipitación total anual multianual es de 793,71 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en diciembre de 2010 se presentó el registro más alto con un valor de 251,6 mm. En la Figura 103 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Fontibón.

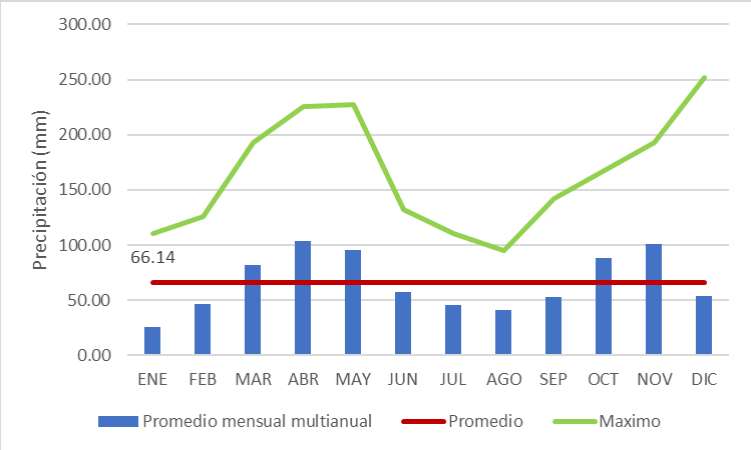


Figura 103. Distribución temporal precipitación total estación 2120547 Fontibón. El Periodo 1987 - 2021
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120569 CAMAVIEJA

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Camavieja presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 135,0 mm mientras que el registro más bajo se presenta en julio con un valor de 44,7 mm. La precipitación media mensual multianual es de 80,72 mm y la precipitación total anual multianual es de 968,68 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2010 se presentó el registro más alto con un valor de 294,1 mm. En la Figura 104 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Camavieja.

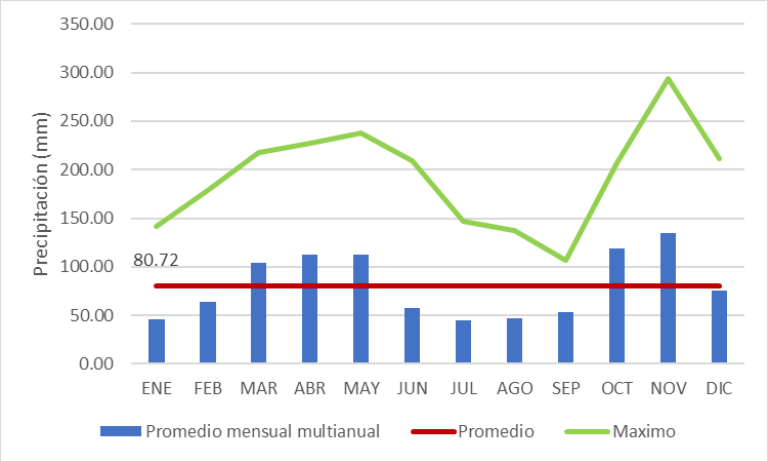


Figura 104. Distribución temporal precipitación total estación 2120569 Camavieja. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120642 PLANTA WIESNER

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Planta Wiesner presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 113,59 mm mientras que el registro más bajo se presenta en septiembre con un valor de 45,7 mm. La precipitación media mensual multianual es de 74,69 mm y la precipitación total anual multianual es de 896,25 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2011 se presentó el registro más alto con un valor de 296 mm. En la Figura 105 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Planta Wiesner.

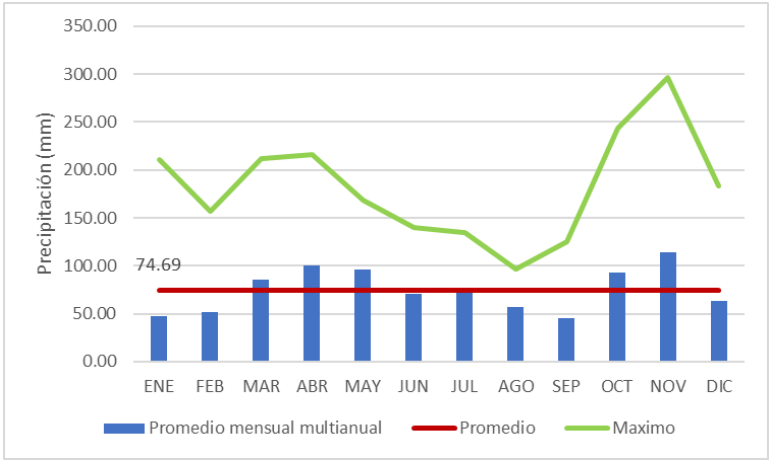


Figura 105. Distribución temporal precipitación total estación 2120642 Planta Wiesner. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 21205791 APTO EL DORADO AUTOMATICA

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Apto. El Dorado presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En abril se presenta la precipitación más alta con un valor de 117,54 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 33,87 mm. La precipitación media mensual multianual es de 76,26 mm y la precipitación total anual multianual es de 915,08 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2016 se presentó el registro más alto con un valor de 266,19 mm. En la Figura 106 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Apto. El Dorado.

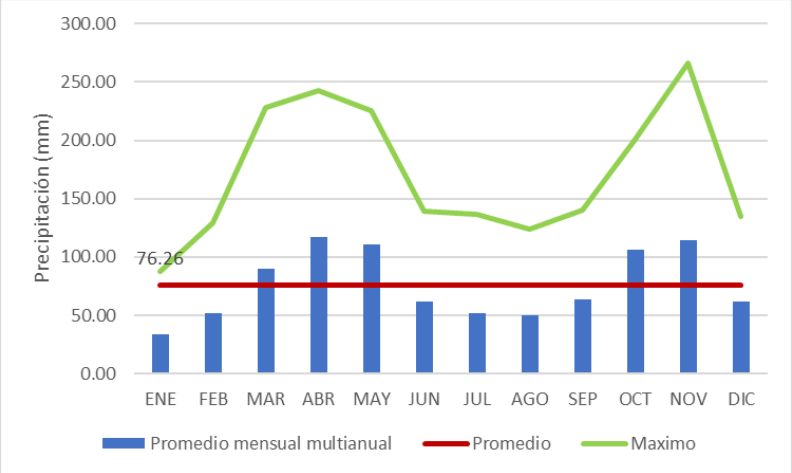


Figura 106. Distribución temporal precipitación total estación 21205791 Apto. El Dorado Auto. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120112 LA CASITA

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación La Casita presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 144,35 mm mientras que el registro más bajo se presenta en septiembre con un valor de 49,17 mm. La precipitación media mensual multianual es de 90,25 mm y la precipitación total anual multianual es de 1 082,96mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2 020 se presentó el registro más alto con un valor de 449,6 mm. En la Figura 107 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación La Casita.

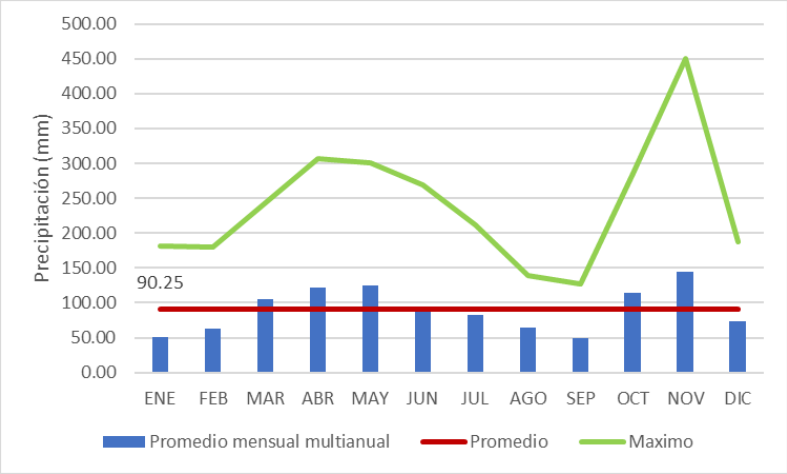


Figura 107. Distribución temporal precipitación total estación 2120112 La Casita. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120516 LA RAMADA

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación La Ramada presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En mayo se presenta la precipitación más alta con un valor de 105,2 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 28,64 mm. La precipitación media mensual multianual es de 68,46 mm y la precipitación total anual multianual es de 821,58 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2011 se presentó el registro más alto con un valor de 252,5 mm. En la Figura 108 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación La Ramada.

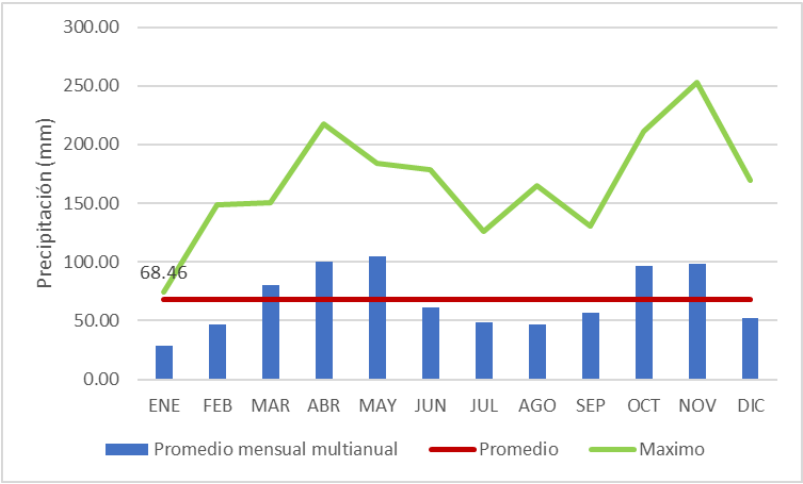


Figura 108. Distribución temporal precipitación total estación 2120516 La Ramada. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120136 SANTA INÉS

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Santa Inés presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En octubre se presenta la precipitación más alta con un valor de 102,73 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 29,19 mm. La precipitación media mensual multianual es de 66,42 mm y la precipitación total anual multianual es de 797,07 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en octubre de 2005 se presentó el registro más alto con un valor de 324,2 mm. En la Figura 109 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Santa Inés.

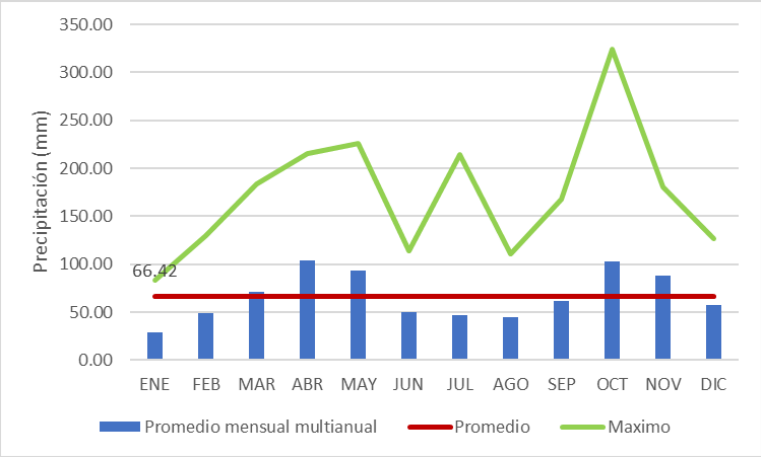


Figura 109. Distribución temporal precipitación total estación 2120136 Santa Inés. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120559 APTO GUAYMARAL - USTA

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Apto Guaymaral - Usta (2120559). El presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de abril a mayo y octubre a noviembre. En octubre se presenta la precipitación más alta con un valor de 104,43 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 32,67 mm. La precipitación media mensual multianual es de 67,69 mm y la precipitación total anual multianual es de 812,24 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en octubre 2007 se presentó el registro más alto con un valor de 287,9 mm. En la Figura 110 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Apto. Guaymaral - Usta.

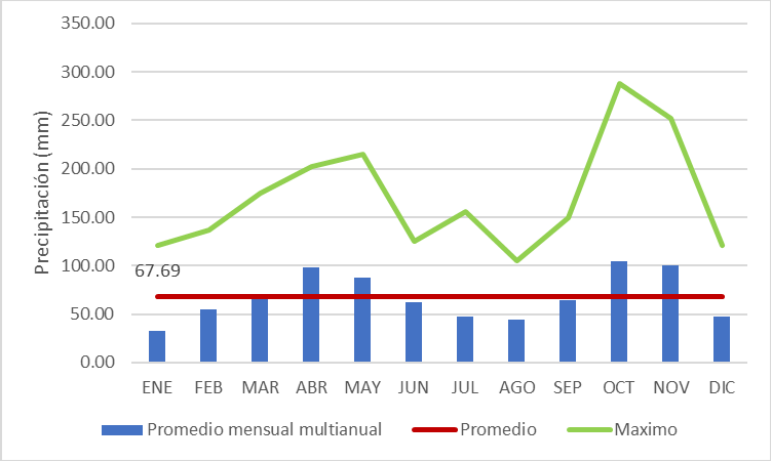


Figura 110. Distribución temporal precipitación total estación 2120559 Apto. Guaymaral - Usta. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 21201210 HATO EL

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación El Hato presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de abril a julio y octubre. En mayo se presenta la precipitación más alta con un valor de 120,38 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 19,37 mm. La precipitación media mensual multianual es de 68,98 mm y la precipitación total anual multianual es de 827,73 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en abril de 2011 se presentó el registro más alto con un valor de 208,5 mm. En la Figura 111 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación El Hato.

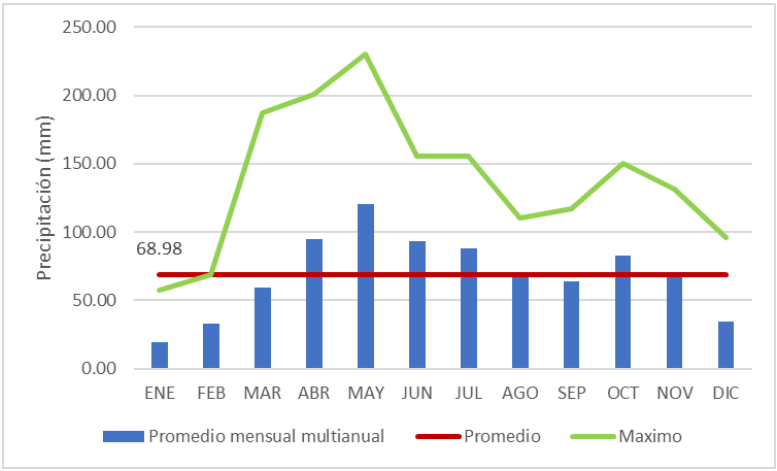
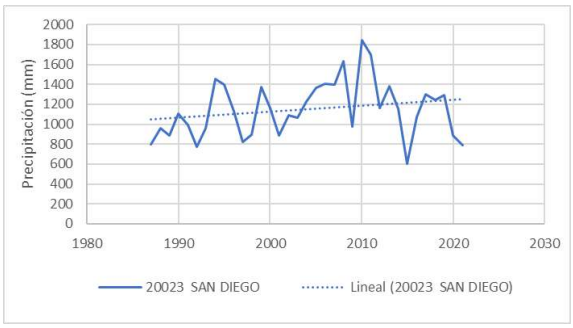
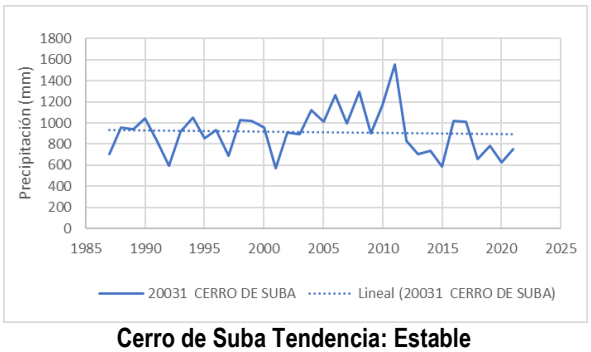


Figura 111. Distribución temporal precipitación total estación 21201210 El Hato. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

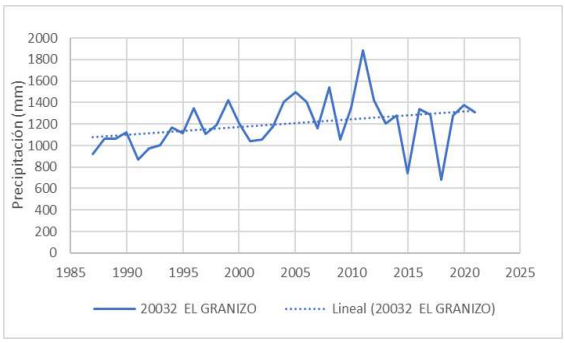
Con los registros del periodo común se graficó el comportamiento anual y la tendencia de las series de precipitación total mensual de las estaciones base. Los resultados se presentan en la Figura 112. En las gráficas de tendencia de las distintas estaciones se observa que todas tienen una tendencia positiva, pero con un comportamiento no estable o oscilante a lo largo de los años. Con esto se concluye que la precipitación es variable de acuerdo a la época del año y de que aumentará con el paso del tiempo.



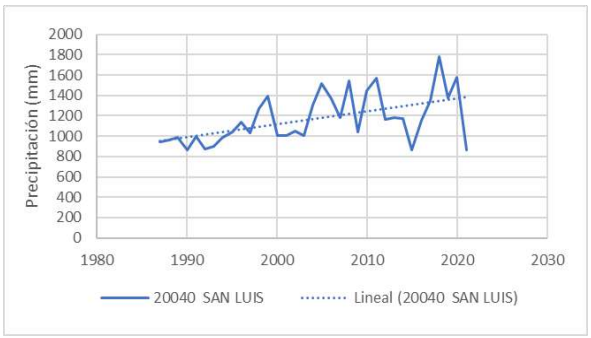
San Diego Tendencia: Creciente



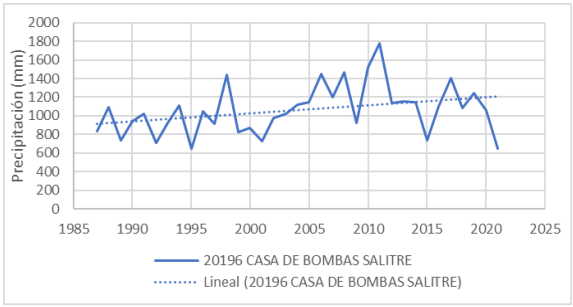
Cerro de Suba Tendencia: Estable



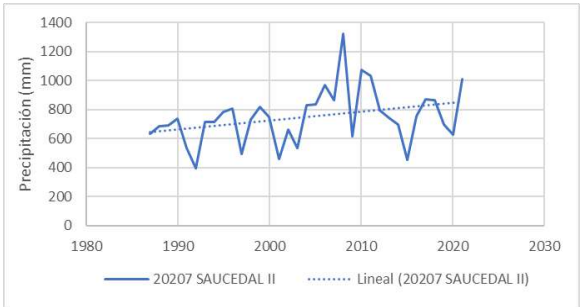
El Granizo Tendencia: Creciente



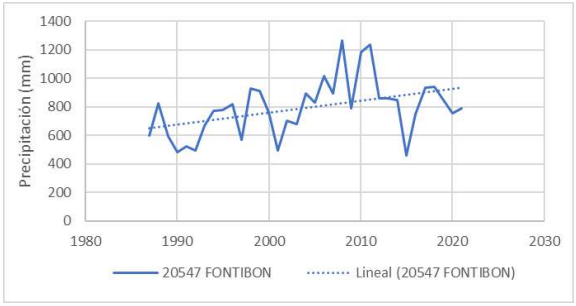
San Luis Tendencia: Creciente



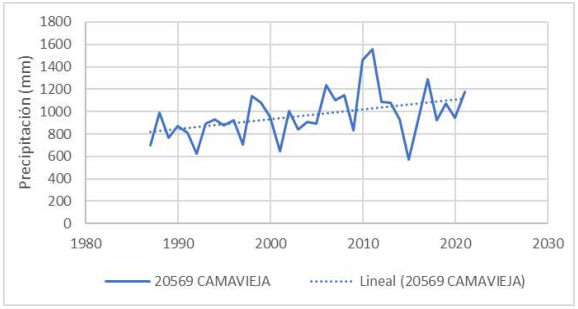
Casa de Bombas Tendencia: Creciente



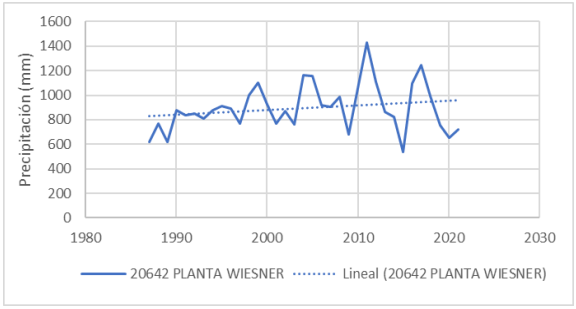
Saucedal II Tendencia: Creciente



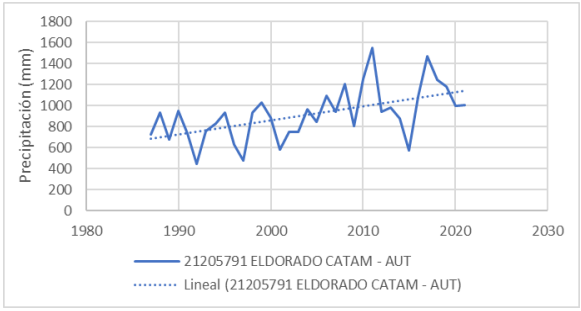
Fontibón Tendencia: Creciente



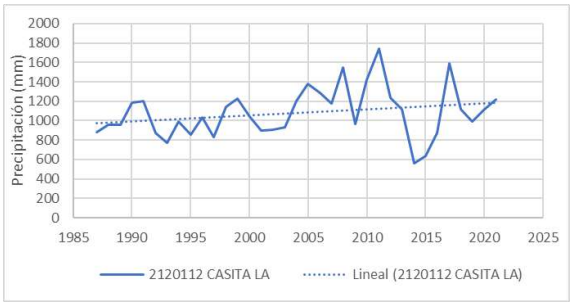
Camavieja Tendencia: Creciente



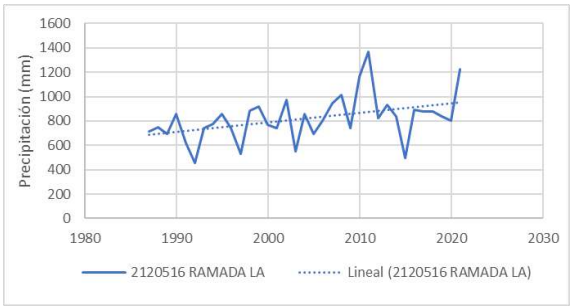
Planta Wiesner Tendencia: Creciente



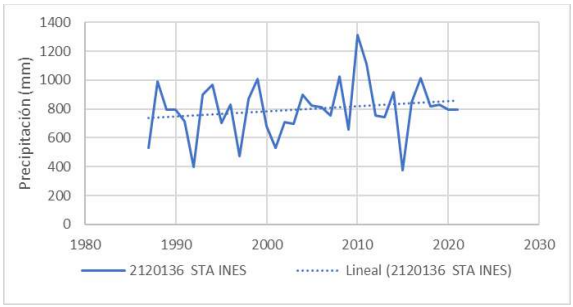
El Dorado Tendencia: Creciente



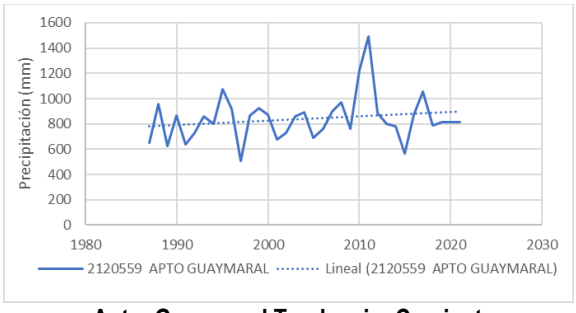
La Casita Tendencia: Creciente



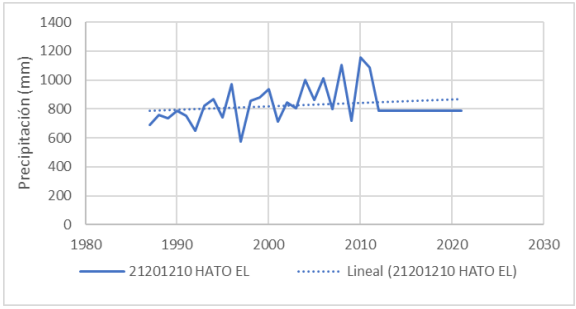
La Ramada Tendencia: Creciente



Santa Ines Tendencia: Creciente



Apto. Guaymaral Tendencia: Creciente



El Hato Tendencia: Creciente

Figura 112. Variación anual y tendencia de la precipitación total de las estaciones base.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.5. Distribución temporal de la evaporación total diaria

Para la caracterización de la evaporación total en la zona de proyecto se consideraron dos estaciones y se estableció a partir de los registros recopilados un periodo común entre los años 1991 - 2019, en la Figura 113 se presenta la localización de las estaciones analizadas. A continuación, se presentan los resultados de los análisis realizados para determinar la distribución temporal de este parámetro.

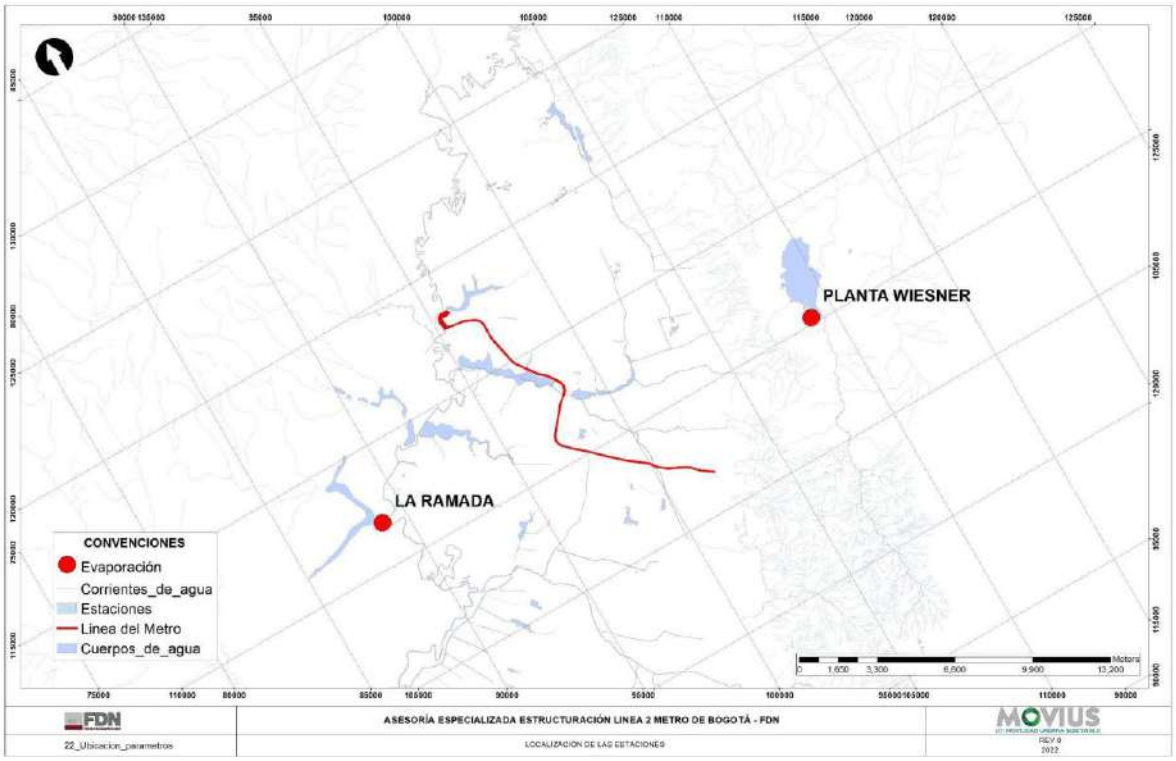


Figura 113. Localización de las estaciones analizadas con registros de evaporación.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 20642 PLANTA WIESNER

La evaporación en la estación Planta Wiesner tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 74,45 mm. En los meses de octubre a marzo los registros superan el promedio, mientras que en los meses de abril a septiembre, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 65,62 mm en el mes de junio y el máximo registro se presentó en el mes enero (90,85 mm). En la Figura 114 se presenta la distribución temporal de la evaporación en esta estación:

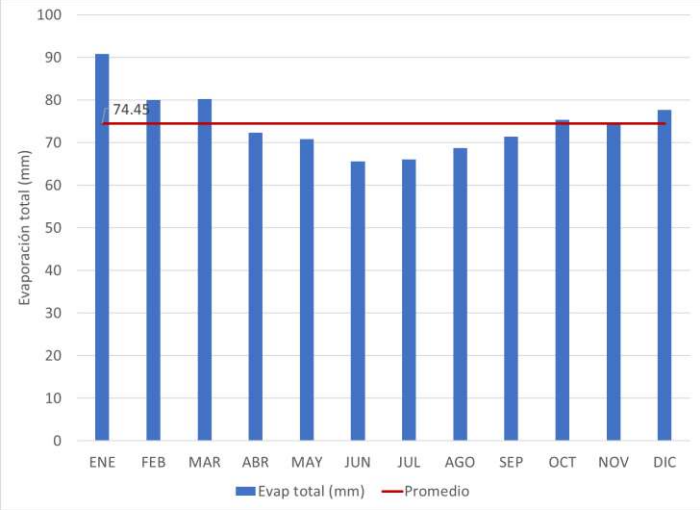


Figura 114. Distribución temporal de la evaporación total diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1991 - 2019
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120516 RAMADA LA

La evaporación en la estación La Ramada tiene un comportamiento bimodal, donde el valor promedio multianual es de 82,90 mm. En los meses de diciembre a marzo y de agosto a octubre los registros superan el promedio, mientras que en los meses de abril a julio y noviembre, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 73,02 mm en el mes de mayo y el máximo registro se presentó en el mes enero (93,85 mm). En la Figura 115 se presenta la distribución temporal de la evaporación en esta estación:

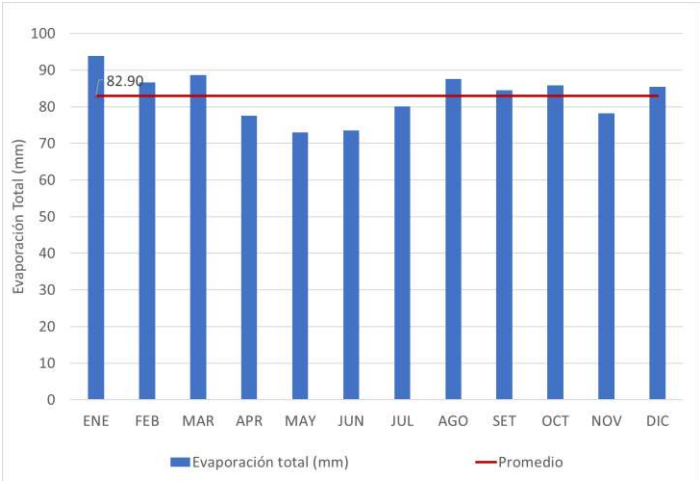


Figura 115. Distribución temporal evaporación total diaria estación La Ramada. Periodo 1991 - 2019.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.6. Distribución temporal de la temperatura

A continuación se presentan los resultados de los análisis realizados para determinar la distribución temporal de la temperatura media, mínima y máxima de las estaciones base y complementarias analizadas para el periodo común de análisis definido para los registros. En la Figura 116 se presenta la localización de las estaciones analizadas.

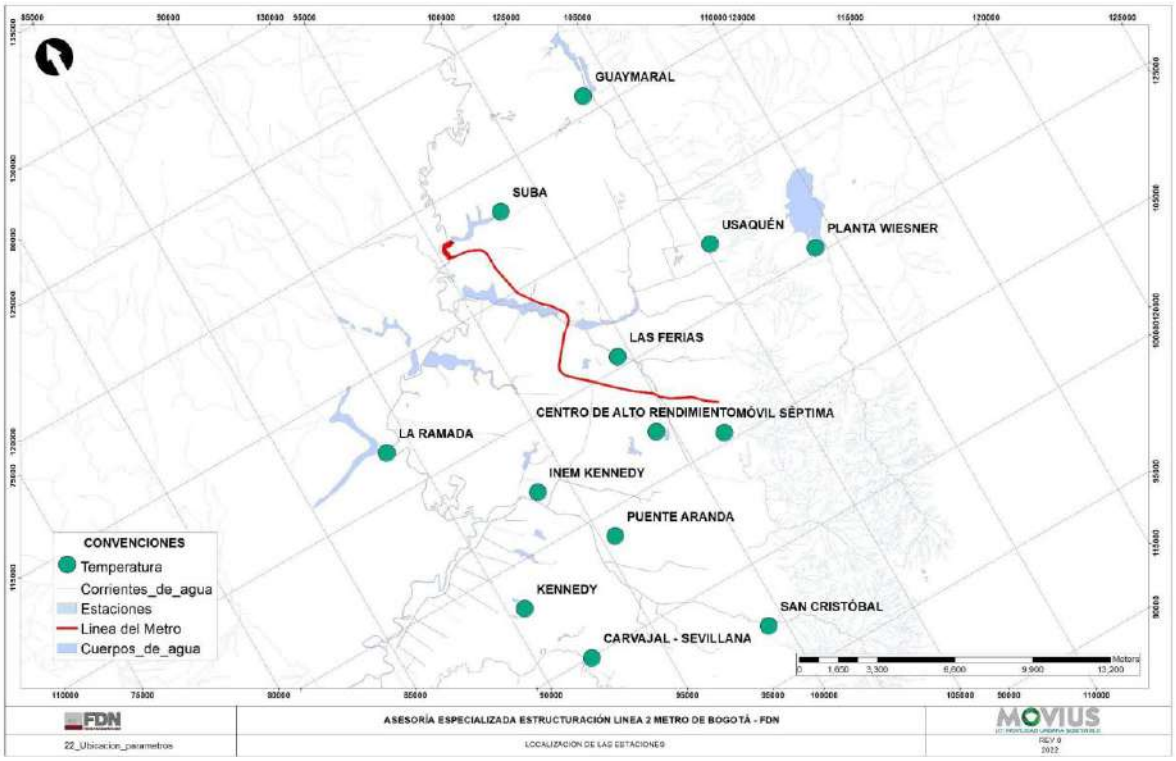


Figura 116. Localización de las estaciones de temperatura.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.6.1. Variación anual de la temperatura media

Tomando como base los registros históricos de temperatura media recopilados, se identificó que las estaciones Planta Wiesner, La Ramada e INEM Kenndy, cuentan con registros a partir del año 1956 hasta el año 2021, sin embargo, se presentan algunas discontinuidades en los registros y valores fuera de tendencia, por esta razón, se definió un periodo común entre los años 1998-2019, y se complementaron los datos faltantes. En el caso de otras estaciones que también registran este parámetro como lo son Carvajal - Sevillana, Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, Kennedy, Las Ferias, Ministerio de Ambiente, Móvil Séptima, Puente Aranda, San Cristóbal, Suba, Tunal y Usaquén, el registro de datos se tiene entre los años 2010 - 2021, sin embargo, estas se utilizaron para la caracterización de la temperatura como estaciones

complementarias para dar soporte a los análisis, teniendo en cuenta que las estaciones base para la caracterización corresponden a Planta Wiesner, La Ramada e Inem Kennedy.

5.2.2.1.6.2. Distribución temporal de la temperatura media

- 20642 PLANTA WIESNER

Los registros de temperatura media de la estación Planta Wiesner (20642) tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 12,74°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y los registros menores se presentan en los meses de junio a enero. El registro promedio más alto corresponde al mes de abril con un valor de 13,45°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de julio con un valor de 12,06°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes de noviembre del año 2019 (22°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de diciembre del año 2008 (1,8 ºC). A continuación en la Figura 117, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.



Figura 117. Distribución temporal temperatura media diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120516 LA RAMADA

Los registros de temperatura media de la estación La Ramada (2120516) tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 14,3°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de abril a mayo y los registros menores se presentan en los meses de junio a marzo. El registro promedio más alto corresponde a los meses de abril y mayo con un valor de 14,61°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de julio con un valor de 13,9°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes enero del año 2008 (26,6°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de enero del año 2012 (0ºC). A continuación en la Figura 118, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.



Figura 118. Distribución temporal temperatura media diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 21206560 INEM KENNEDY

Los registros de temperatura media de la estación Inem Kennedy (21206560) tienen un comportamiento bimodal, con un valor promedio multianual de 13,5°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de abril a junio y octubre a noviembre, y los registros menores se presentan en los meses de julio a septiembre y diciembre a marzo. El registro promedio más alto corresponde al mes de mayo con un valor de 14,08°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de enero con un valor de 12,95°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes febrero del año 2007 (22,8°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de enero del año 2001 (5,4ºC). A continuación en la Figura 119, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

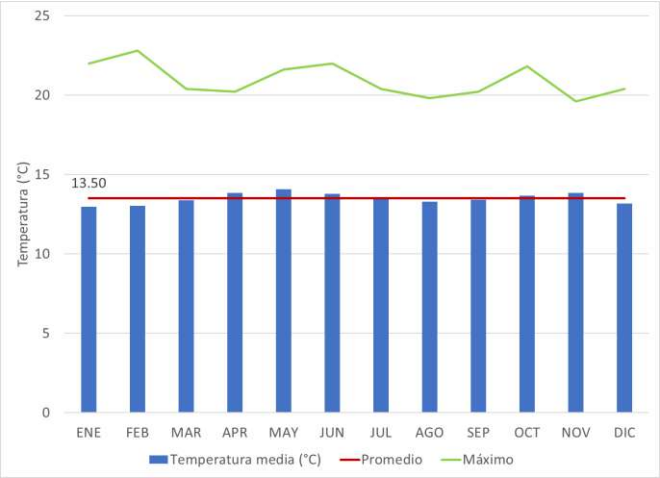


Figura 119. Distribución temporal temperatura media diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- CARVAJAL-SEVILLANA

Los registros de temperatura media de la estación Carvajal - Sevillana tienen un comportamiento bimodal, con un valor promedio multianual de 15,58°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de marzo a agosto y octubre a noviembre y los registros menores se presentan en los meses de septiembre y de diciembre a febrero. El registro promedio más alto corresponde al mes de marzo con un valor de 15,58°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de septiembre con un valor de 15,49°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes abril del año 2019 (18,5°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de enero del año 2017 (11,6 ºC). A continuación en la Figura 120, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

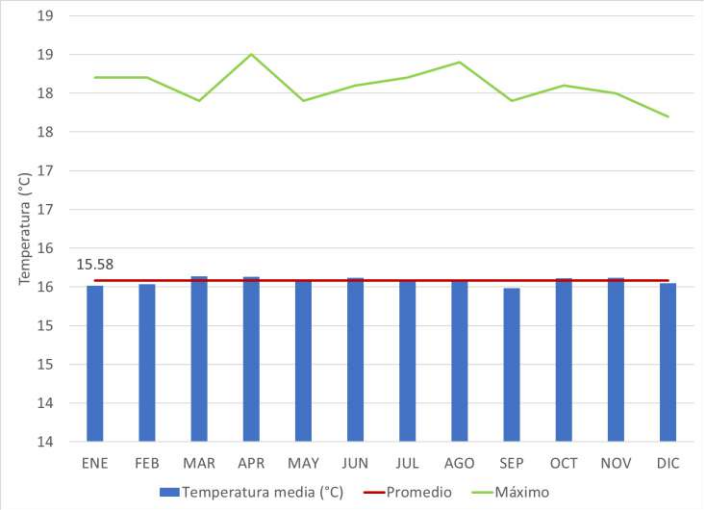


Figura 120. Distribución temporal temperatura media diaria estación Carvajal-Sevillana. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO

Los registros de temperatura media de la estación Centro de alto rendimiento tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 14,88°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y los registros menores se presentan en los meses de junio a enero. El registro promedio más alto corresponde al mes de mayo con un valor de 15,26°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de diciembre con un valor de 14,62°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes marzo del año 2016 (17,8°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de octubre del año 2011 (11,3 ºC). A continuación en la Figura 121, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

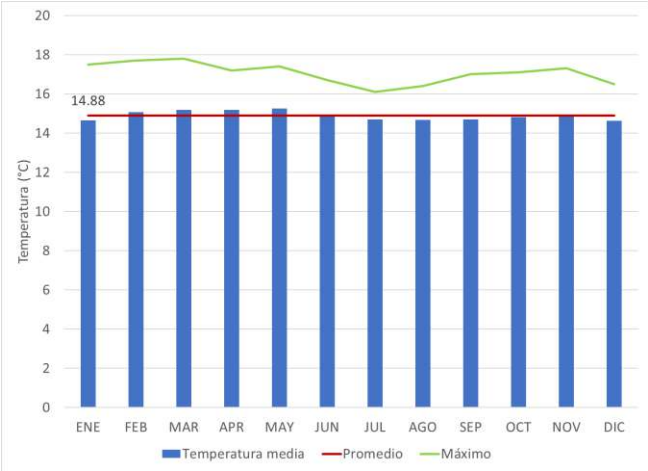


Figura 121. Distribución temporal temperatura media diaria estación Centro de Alto Rendimiento. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- GUAYMARAL

Los registros de temperatura media de la estación Guaymaral tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 14,65°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y los registros menores se presentan en los meses de junio a enero. El registro promedio más alto corresponde al mes de marzo con un valor de 15,16°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de julio con un valor de 14,2°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes febrero del año 2016 (17,9°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de octubre del año 2011 (11,2 ºC). A continuación en la Figura 122, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

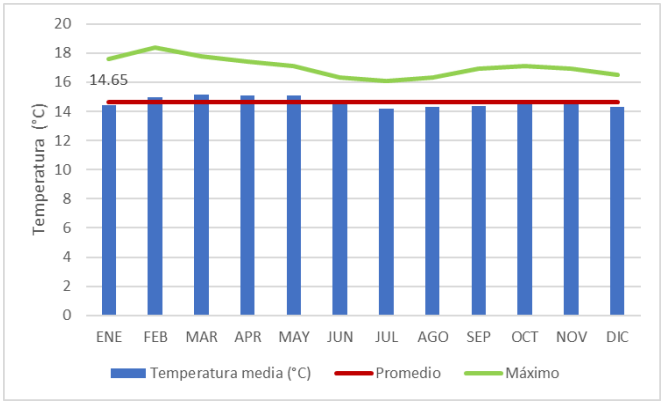


Figura 122. Distribución temporal temperatura media diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- KENNEDY

Los registros de temperatura media de la estación Kennedy tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 15,18°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y los registros menores se presentan en los meses de junio a enero. El registro promedio más alto corresponde a los meses de abril y mayo con un valor de 15,33°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de enero con un valor de 14,94°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes diciembre del año 2019 (20,6°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de octubre del año 2011 (11,2 ºC). A continuación en la Figura 123, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

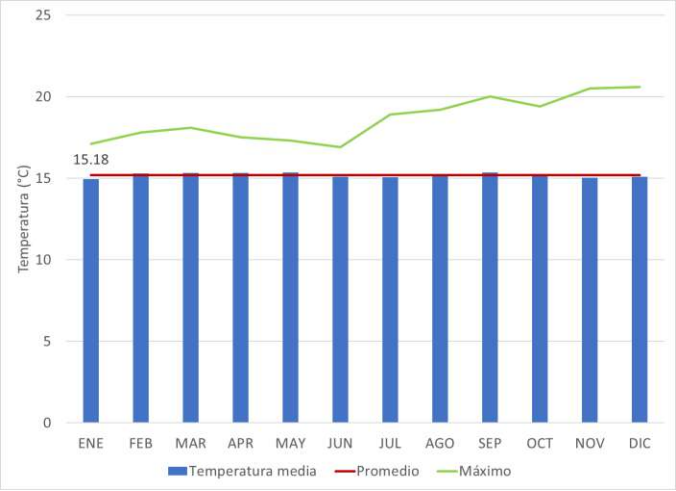


Figura 123. Distribución temporal temperatura media diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- MÓVIL SÉPTIMA

Los registros de temperatura media de la estación Móvil Séptima tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 15,8°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de enero a mayo y diciembre, y los registros menores se presentan en los meses de junio a octubre y noviembre. El registro promedio más alto corresponde a los meses de abril y mayo con un valor de 16,1°C y el registro promedio mínimo se observa en los meses de julio y agosto con un valor de 15,3°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes enero del año 2016 (19,3°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de agosto del año 2012 (11,9 ºC). A continuación en la Figura 124, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

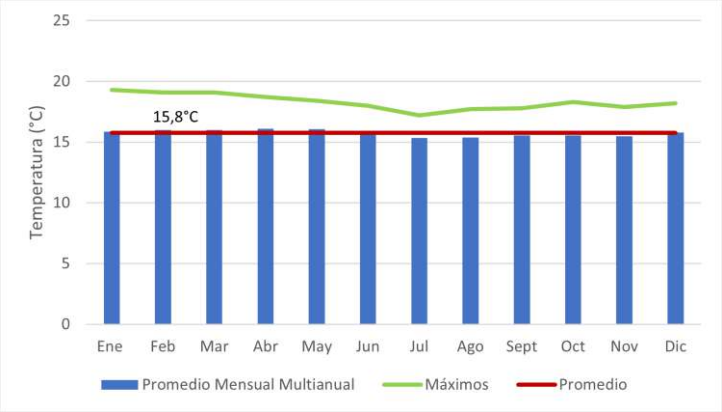


Figura 124. Distribución temporal temperatura media diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- PUENTE ARANDA

Los registros de temperatura media de la estación Puente Aranda tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 14,2°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y noviembre, y los registros menores se presentan en los meses de enero, junio a octubre y diciembre. El registro promedio más alto corresponde al mes de febrero con un valor de 14,5°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de julio con un valor de 13,68°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes febrero del año 2010 (17,5°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de octubre del año 2011 (10,6 °C). A continuación en la Figura 125, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

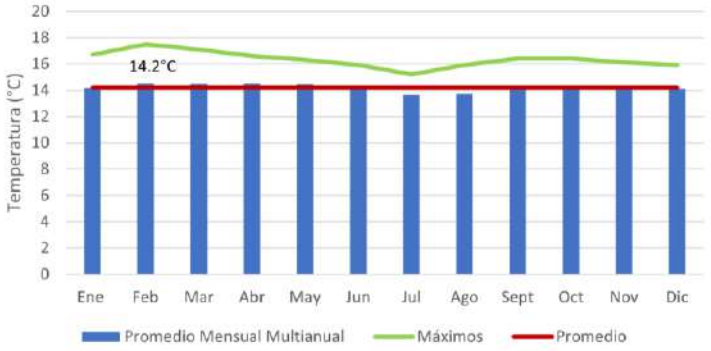


Figura 125. Distribución temporal temperatura media diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- SAN CRISTÓBAL

Los registros de temperatura media de la estación San Cristóbal tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 13,35°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y octubre, y los registros menores se presentan en los demás meses. El registro promedio más alto corresponde al mes de febrero con un valor de 13,8°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de julio con un valor de 12,77°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes febrero del año 2016 (16,5°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de agosto del año 2012 (10,2 ºC). A continuación en la Figura 126, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

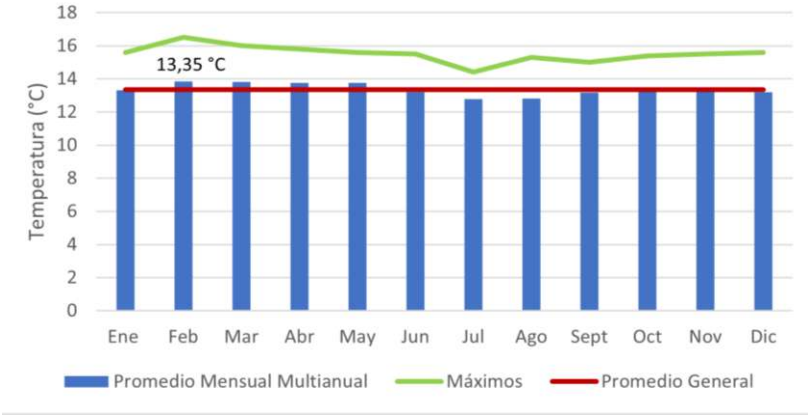


Figura 126. Distribución temporal temperatura media diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- SUBA

Los registros de temperatura media de la estación Suba tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 14,3°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo, y los registros menores se presentan en los meses de enero, junio a octubre y noviembre a diciembre. El registro promedio más alto corresponde a los meses de abril con un valor de 14,76°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de diciembre con un valor de 13,9°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes febrero del año 2016 (17,9°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de septiembre del año 2010 (11,4 ºC). A continuación en la Figura 127, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

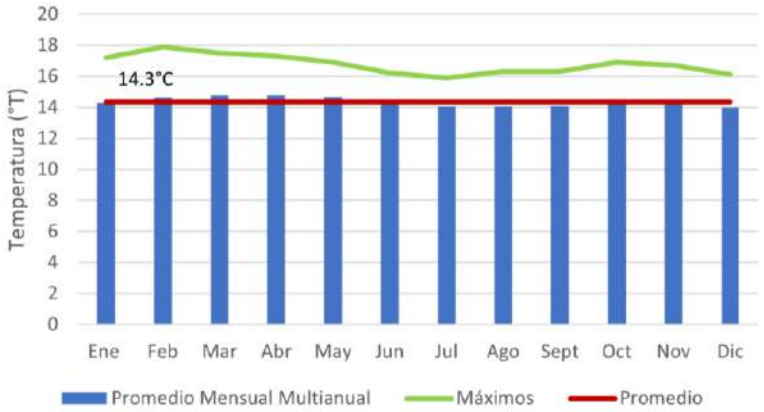


Figura 127. Distribución temporal temperatura media diaria estación Suba. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- USAQUÉN

Los registros de temperatura media de la estación Usaquén tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 14,17°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de enero a junio y agosto, y los registros menores se presentan en los meses de julio a diciembre. El registro promedio más alto corresponde al mes de abril con un valor de 14,5°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de diciembre con un valor de 13,48°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes febrero del año 2010 (17,7°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de octubre del año 2011 (10,7 ºC). A continuación en la Figura 128, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

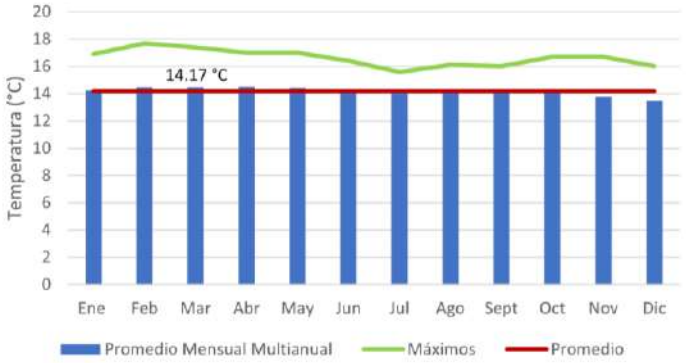
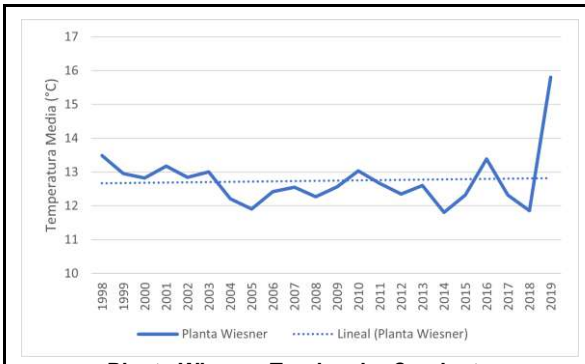


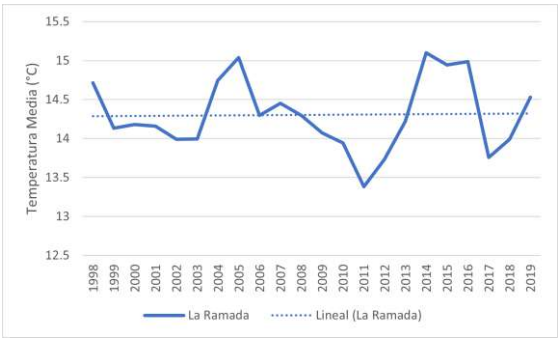
Figura 128. Distribución temporal temperatura media diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

A partir de los registros del periodo común se definió el comportamiento anual y la tendencia de las series de temperatura media de las estaciones base y de las estaciones complementarias. Como resultado del análisis se identificó que la tendencia de la serie anual de temperatura para las tres estaciones base, es creciente (ver Figura 129), en cuanto a la

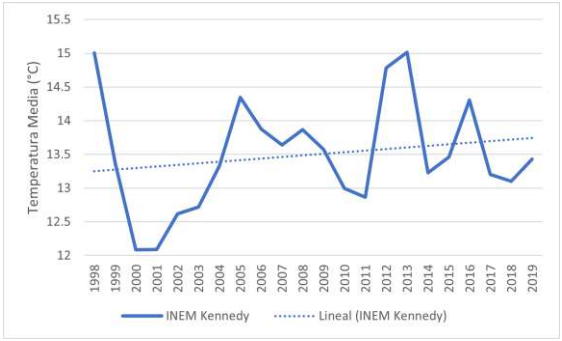
tendencia de la mayoría de las estaciones complementarias esta también es creciente (ver Figura 130). En cuanto al comportamiento de estas estaciones se presenta oscilante a lo largo de los años. Con esto se concluye que la temperatura no es constante, y que aumentará con el paso del tiempo.



Planta Wiesner Tendencia: Creciente



La Ramada Tendencia: Creciente



INER Kennedy Tendencia: Creciente

Figura 129. Variación anual y tendencia de la temperatura media de las estaciones base. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

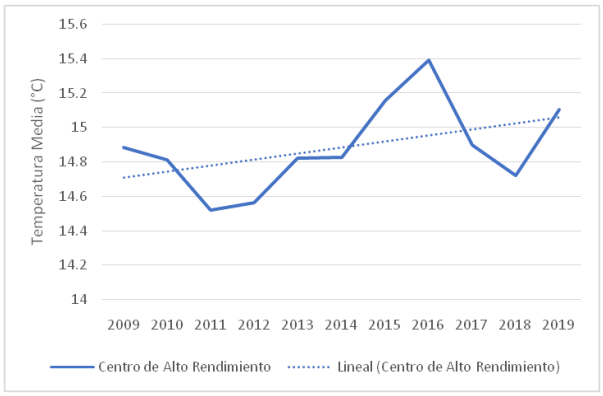
En la Tabla 100, se presentan los valores anuales de temperatura para el periodo común de las estaciones base. Se identifica que la estación con los mayores registros es La Ramada, y que su mayor registro fue de 15,1°C en el año 2014 y su menor registro 13,4°C en el año 2011, los menores registros anuales se presentaron en la estación INEM Kennedy, con el menor registro en el año 2001 con el valor de 5,4°C y el mayor registro 9,8°C en el año 2013.

Tabla 100. Valores anuales de temperatura media para estaciones base para caracterización.

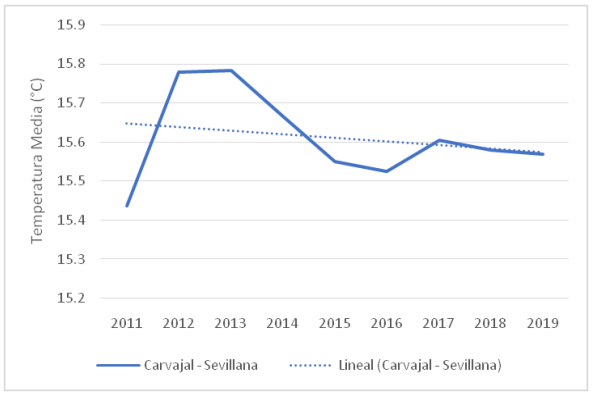
Año	Planta Wiesner (°C)	La Ramada (°C)	INEM Kennedy (°C)
1998	13,5	14,7	6,3
1999	13,0	14,1	8,6
2000	12,8	14,2	6,4

Año	Planta Wiesner (°C)	La Ramada (°C)	INEM Kennedy (°C)
2001	13,2	14,2	5,4
2002	12,8	14,0	6,6
2003	13,0	14,0	6,0
2004	12,2	14,7	7,4
2005	11,9	15,0	8,2
2006	12,4	14,3	8,4
2007	12,6	14,5	6,4
2008	12,3	14,3	7,4
2009	12,6	14,1	7,4
2010	13,0	13,9	8,0
2011	12,7	13,4	7,2
2012	12,4	13,7	7,4
2013	12,6	14,2	9,8
2014	11,8	15,1	8,4
2015	12,3	14,9	9,0
2016	13,4	15,0	8,8
2017	12,3	13,8	9,4
2018	11,9	14,0	8,6
2019	15,8	14,5	9,4

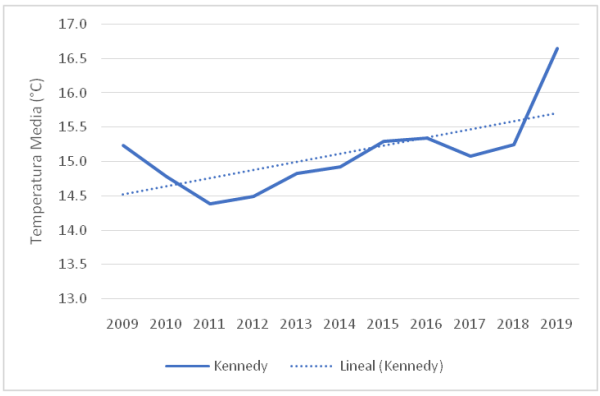
Fuente: UT MOVIUS, 2022.



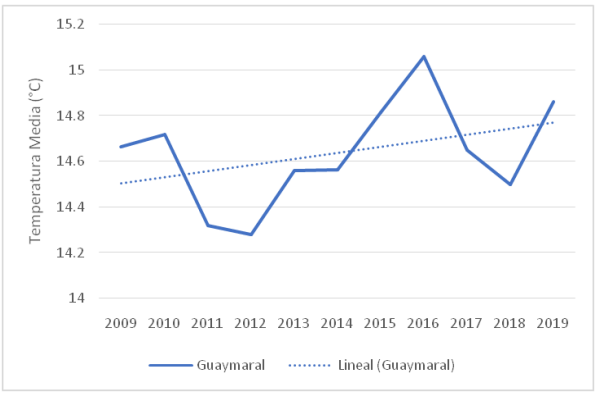
Centro de alto rendimiento Tendencia: Creciente



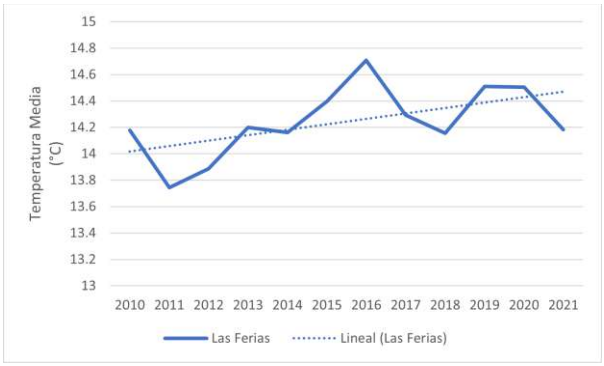
Carvajal - Sevillana Tendencia: Decreciente



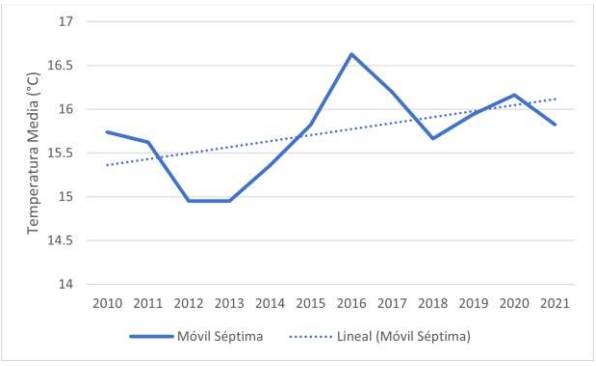
Kennedy Tendencia: Creciente



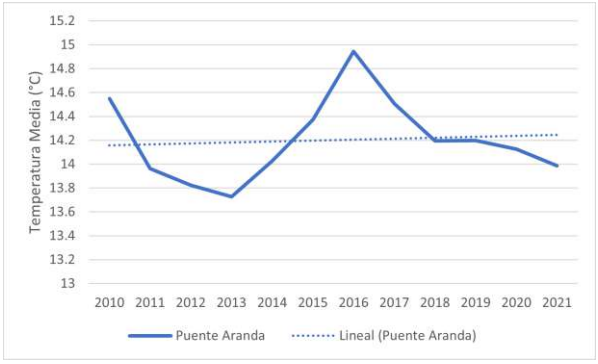
Guaymaral Tendencia: Creciente



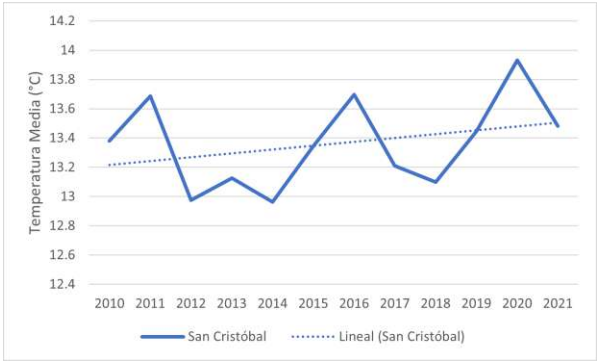
Las Ferias Tendencia: Creciente



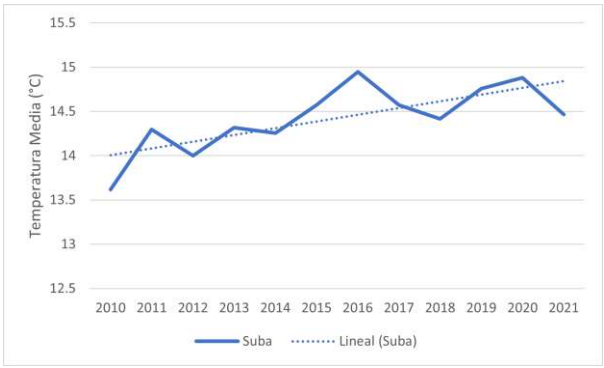
Móvil Séptima Tendencia: Creciente



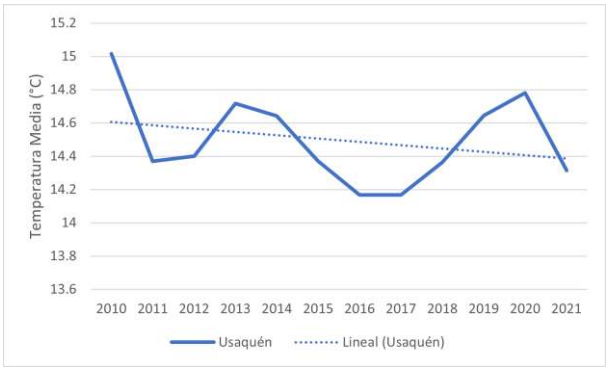
Puente Aranda Tendencia: Creciente



San Cristóbal Tendencia: Creciente



Suba Tendencia: Creciente



Usaquén Tendencia: Decreciente

Figura 130. Variación anual y tendencia de la temperatura media de las estaciones complementarias. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 101 se presentan los valores anuales de temperatura para el periodo común de las estaciones complementarias. Se identifica que la estación con los mayores registros es Móvil Séptima, y su mayor registro fue de 16,6°C en el año 2016 y su menor registro 15°C en los años 2012 y 2013, los menores registros anuales se presentaron en la estación San Cristóbal, con el menor registro en el año 2012 con un valor de 13°C y el mayor registro 13,9°C en el año 2020.

Tabla 101. Valores anuales de temperatura media para estaciones base para caracterización.

Año	Carvajal-Sevillana (°C)	Centro de Alto Rendimiento (°C)	Guaymaral (°C)	Kennedy (°C)	Las Ferias (°C)	Móvil Séptima (°C)	Puente Aranda (°C)	San Cristóbal (°C)	Suba (°C)	Usaquén (°C)
2010	15,3	14,8	14,7	14,8	14,2	15,7	14,5	13,4	13,6	15,0
2011	15,4	14,5	14,3	14,4	13,7	15,6	14,0	13,7	14,3	14,4

Año	Carvajal-Sevillana (°C)	Centro de Alto Rendimiento (°C)	Guaymaral (°C)	Kennedy (°C)	Las Ferias (°C)	Móvil Séptima (°C)	Puente Aranda (°C)	San Cristóbal (°C)	Suba (°C)	Usaquén (°C)
2012	15,8	14,6	14,3	14,5	13,9	15,0	13,8	13,0	14,0	14,4
2013	15,8	14,8	14,6	14,8	14,2	15,0	13,7	13,1	14,3	14,7
2014	15,7	14,8	14,6	14,9	14,2	15,4	14,0	13,0	14,3	14,6
2015	15,6	15,2	14,8	15,3	14,4	15,8	14,4	13,3	14,6	14,4
2016	15,5	15,4	15,1	15,3	14,7	16,6	14,9	13,7	14,9	14,2
2017	15,6	14,9	14,6	15,1	14,3	16,2	14,5	13,2	14,6	14,2
2018	15,6	14,7	14,5	15,2	14,2	15,7	14,2	13,1	14,4	14,4
2019	15,6	15,1	14,9	16,6	14,5	15,9	14,2	13,4	14,8	14,6
2020	15,5	15,0	15,0	16,2	14,5	16,2	14,1	13,9	14,9	14,8
2021	15,6	14,8	14,7	15,5	14,2	15,8	14,0	13,5	14,5	14,3

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.6.3. Distribución temporal de la temperatura máxima diaria

A partir de los registros de temperatura máxima diaria del período histórico de las estaciones recopiladas, se realizó la distribución temporal de este parámetro, considerando el valor máximo mensual de cada mes. Así mismo, se presenta el promedio de los valores máximos y el máximo de la serie de temperaturas máximas recopiladas durante cada mes. A continuación, se presenta lo descrito para cada una de las estaciones tomadas para la caracterización del parámetro.

- 2120516 LA RAMADA

La estación La Ramada tiene un comportamiento monomodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 20,16°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de enero con un valor de 21,17°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es julio con un valor de 18,89°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a octubre a abril y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de mayo a septiembre (ver Figura 131).



Figura 131. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 20642 PLANTA WIESNER

La estación Planta Wiesner tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 14,75°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de abril con un valor de 15,45°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es agosto con un valor de 14,2°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a febrero a mayo y octubre a noviembre, y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de junio a septiembre y diciembre a enero (ver Figura 132).

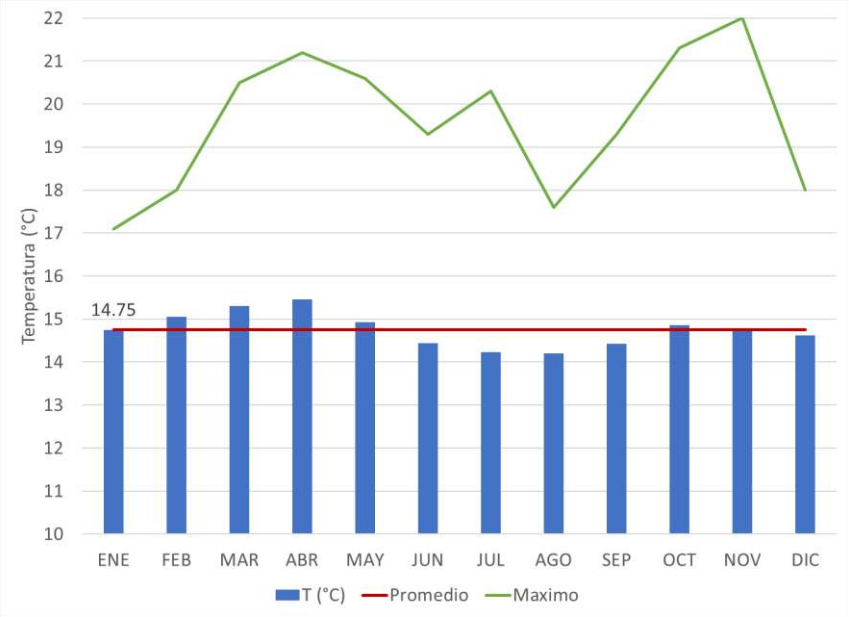


Figura 132. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 21206560 INEM KENNEDY

La estación Inem Kennedy tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 16,49°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de octubre con un valor de 17,28°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es agosto con un valor de 15,91°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a enero, mayo, octubre y noviembre y los demás meses están por debajo del promedio (ver Figura 133).

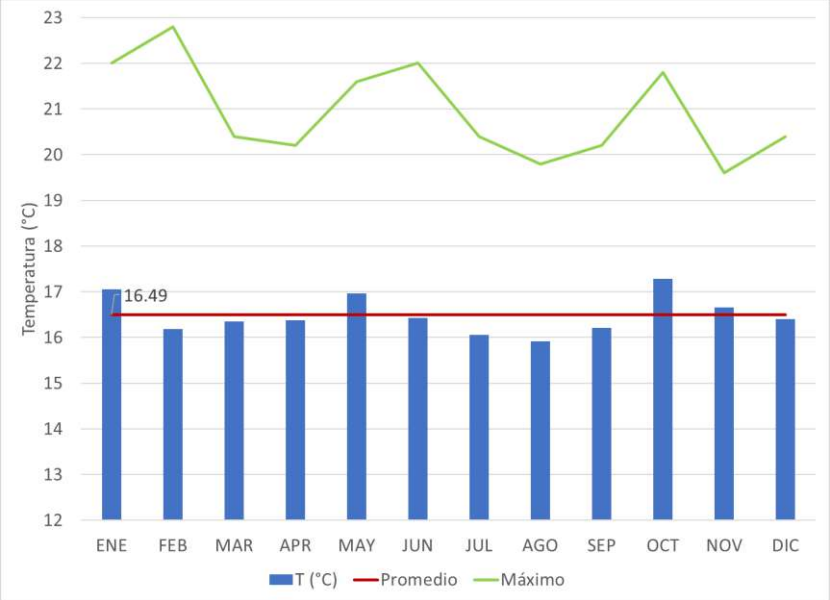


Figura 133. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- CARVAJAL SEVILLANA

La estación Carvajal Sevillana tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 17,24°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de abril con un valor de 17,44°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es septiembre con un valor de 17,05°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a abril, junio a agosto y octubre, mientras que los demás meses están por debajo del promedio (ver Figura 134).

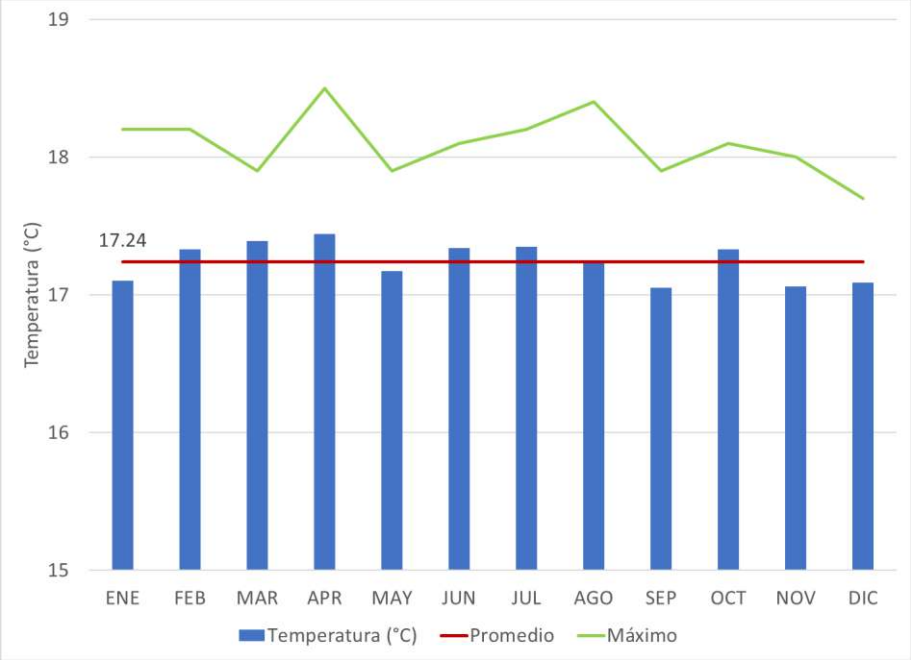


Figura 134. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Carvajal Sevillana. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO

La estación Centro de alto rendimiento tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 16,31°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de mayo con un valor de 16,75°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es julio con un valor de 15,77°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a febrero a mayo y octubre a noviembre y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de junio a septiembre y diciembre a enero (ver Figura 135).

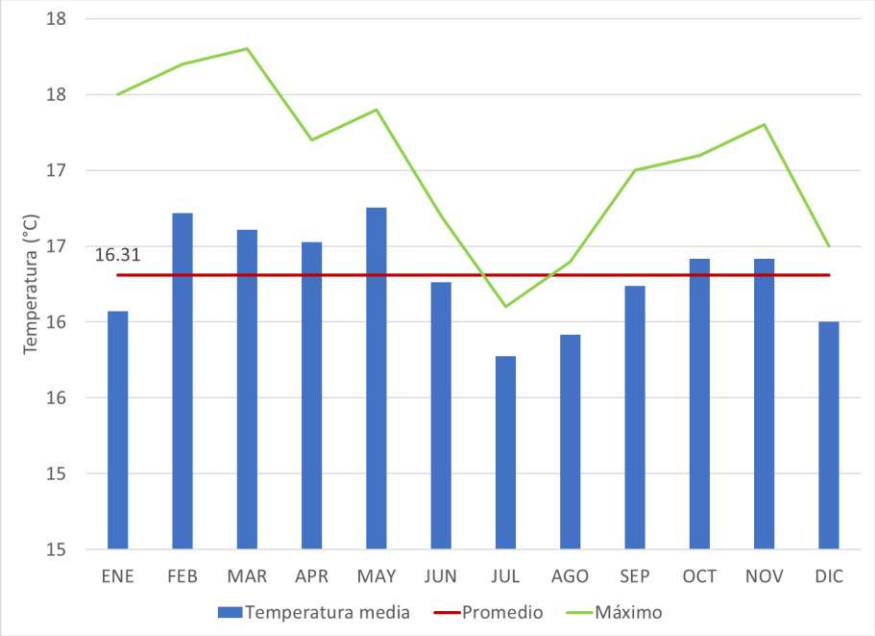


Figura 135. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Centro de alto rendimiento. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- GUAYMARAL

La estación Guaymaral tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 12,99°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,69°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es enero con un valor de 12,52°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a febrero a junio y noviembre, los demás meses tienen temperaturas máximas por debajo del promedio (ver Figura 136).

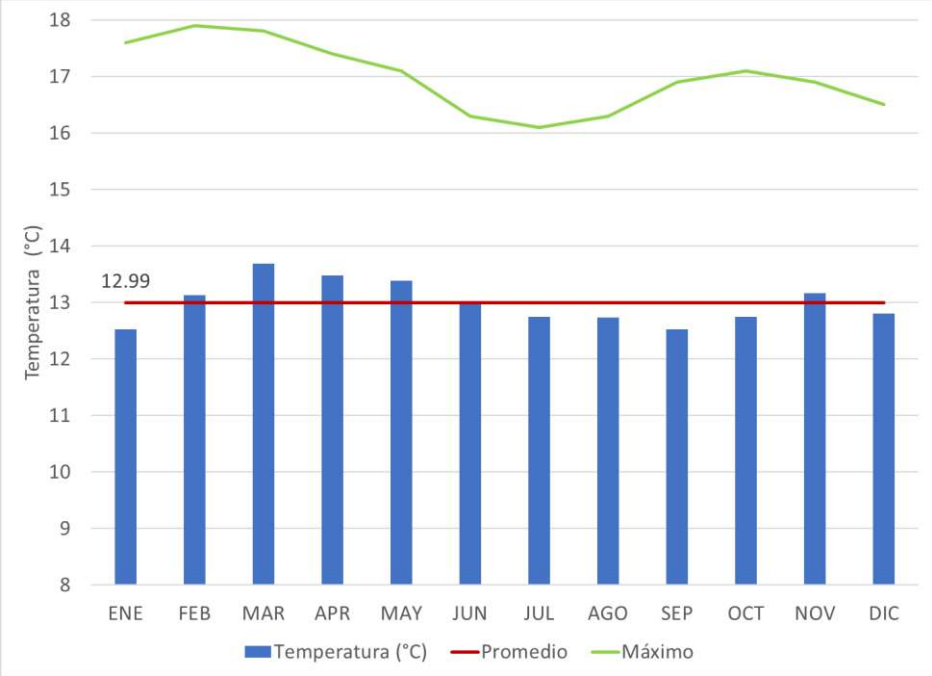


Figura 136. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- KENNEDY

La estación Kennedy tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 16,18°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de septiembre con un valor de 16,78°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es agosto con un valor de 14,55°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a febrero a abril, junio y septiembre a diciembre, los demás meses tienen temperaturas máximas por debajo del promedio (ver Figura 137).



Figura 137. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- MÓVIL SÉPTIMA

La estación Móvil séptima tiene un comportamiento monomodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 16,61°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de mayo con un valor de 17,08°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es julio con un valor de 16,07°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a enero a mayo y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de junio a diciembre (ver Figura 138).

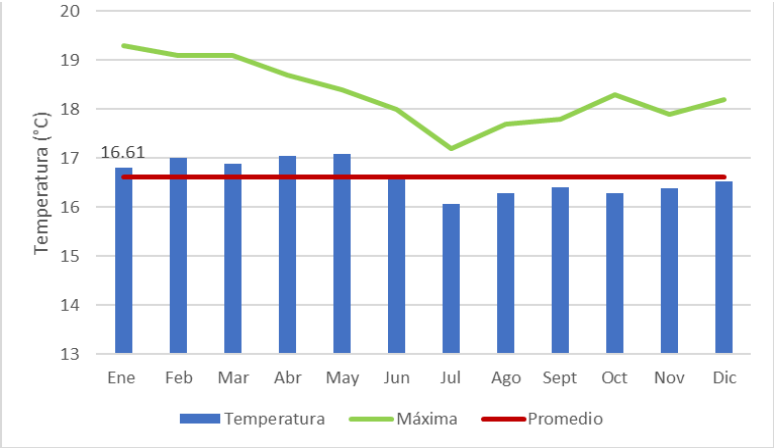


Figura 138. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- PUENTE ARANDA

La estación Puente Aranda tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 15,38°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de mayo con un valor de 15,76°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es julio con un valor de 14,76°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a febrero a mayo y noviembre, los demás meses tienen temperaturas máximas por debajo del promedio (ver Figura 139).

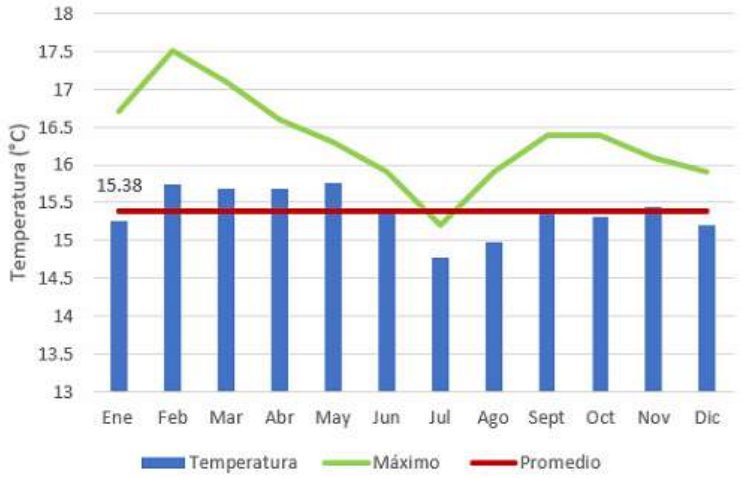


Figura 139. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- SAN CRISTÓBAL

La estación San Cristóbal tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 11,19°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de marzo con un valor de 12,66°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es agosto con un valor de 11,32°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a los meses de enero a mayo y octubre a diciembre, los demás meses tienen temperaturas máximas por debajo del promedio (ver Figura 140).

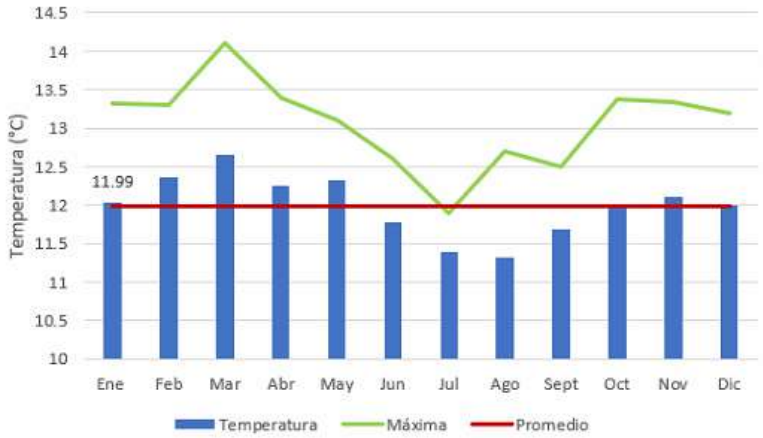


Figura 140. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- SUBA

La estación Suba tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 15,62°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de mayo con un valor de 16,09°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es julio con un valor de 15,07°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a enero a mayo y noviembre, los demás meses tienen temperaturas máximas por debajo del promedio (ver Figura 141).

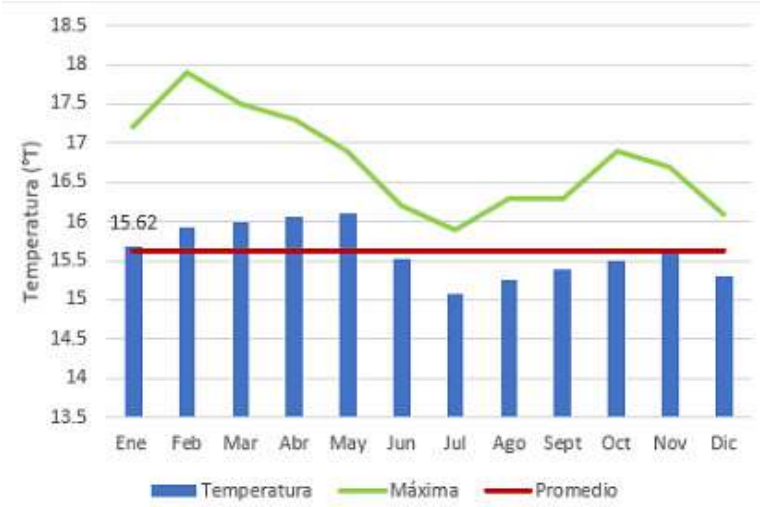


Figura 141. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Suba. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- USAQUÉN

La estación Usaquén tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 15,41°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de mayo con un valor de 15,46°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es julio con un valor de 14,96°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a enero a junio y noviembre, los demás meses tienen temperaturas máximas por debajo del promedio (ver Figura 142).

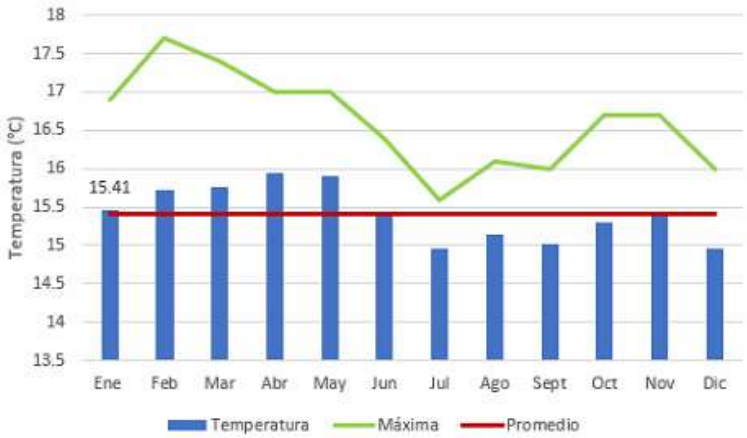
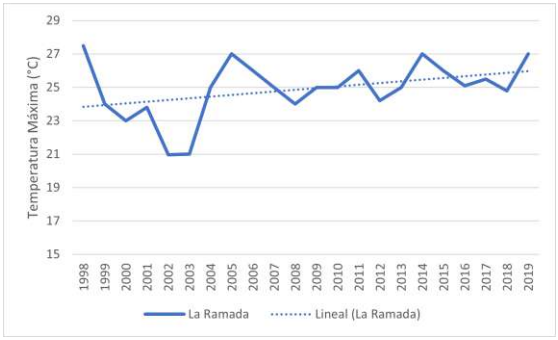
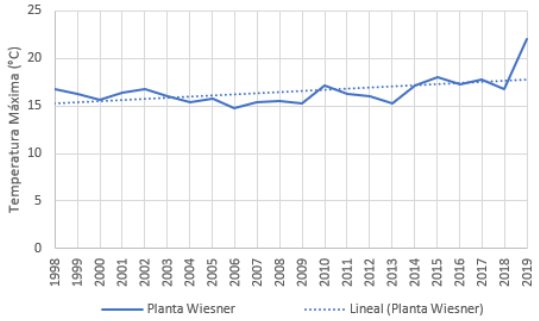


Figura 142. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

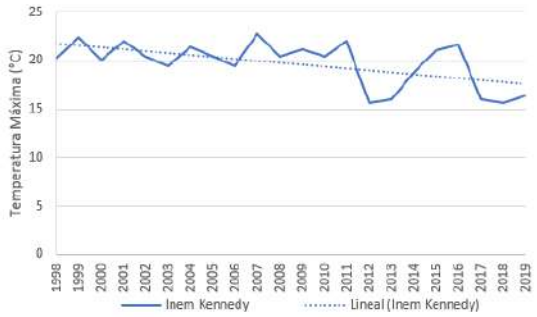
Con los registros del periodo común se definió el comportamiento anual y la tendencia de las series de temperatura máxima de las estaciones base y complementarias evaluadas. De este análisis se identificó una tendencia creciente para las series de temperatura máxima de las estaciones previamente mencionadas (ver Figura 143). Observando las tendencias, la mayoría son crecientes, con la excepción de Inem Kennedy, Puente Aranda y Usaquén.



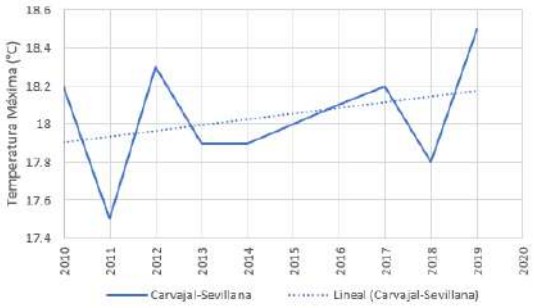
Estación base La Ramada Tendencia: Creciente



Estación base Planta Wiesner Tendencia: Creciente



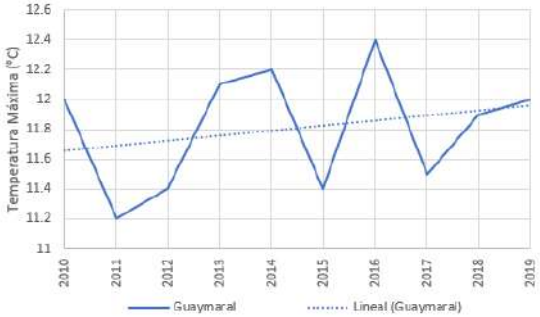
Estación base Inem Kennedy Tendencia: Decreciente



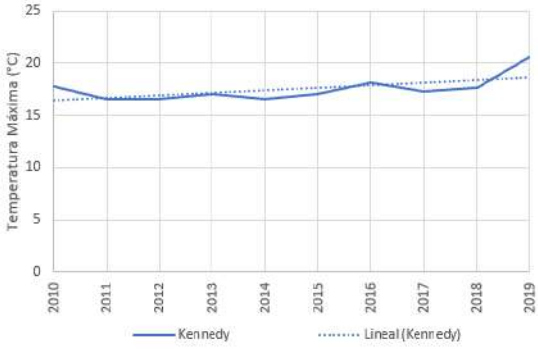
Estación complementaria Carvajal - Sevillana Tendencia: Creciente



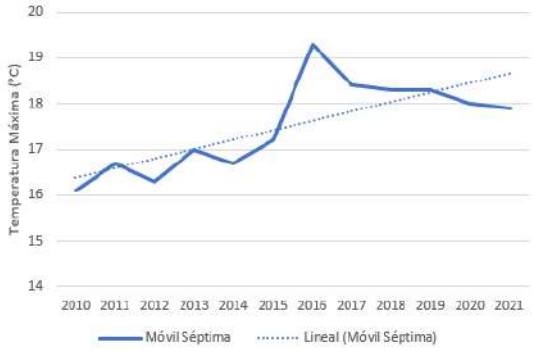
Estación complementaria Centro de alto rendimiento Tendencia: Creciente



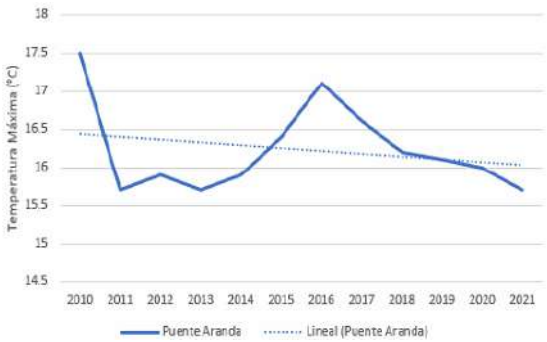
Estación complementaria Guaymaral Tendencia: Creciente



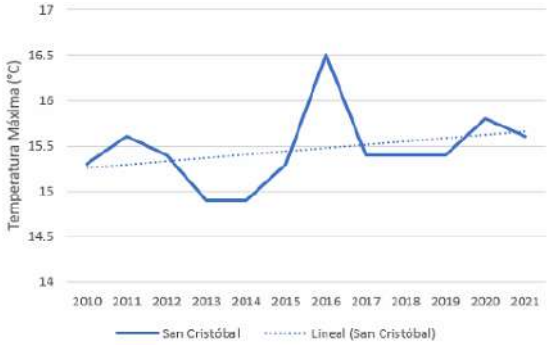
Estación complementaria Kennedy Tendencia: Creciente



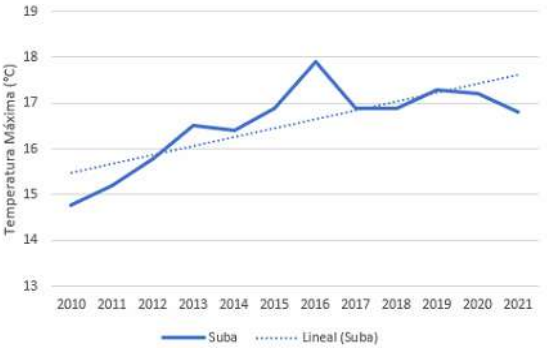
Estación complementaria Móvil séptima Tendencia: Creciente



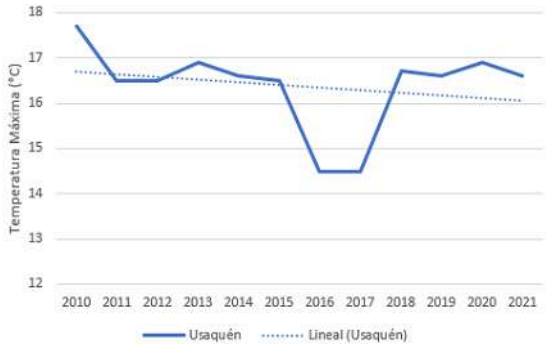
Estación complementaria Puente Aranda Tendencia: Decreciente



Estación complementaria San Cristóbal Tendencia: Creciente



Estación complementaria Suba Tendencia: Creciente



Estación complementaria Usaquén Tendencia: Decreciente

Figura 143. Variación anual y tendencia de la temperatura máxima. Estaciones base (Periodo 1998-2019) y Estaciones complementarias (2010-2021).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.6.4. Distribución temporal de la temperatura mínima diaria

A partir de los registros de temperatura diaria del período histórico de las estaciones recopiladas, se realizó la distribución temporal de este parámetro, considerando el valor mínimo mensual de cada mes. Así mismo, se presenta el promedio de los valores mínimos y el máximo de la serie de temperaturas mínimas recopiladas durante cada mes. A continuación, se presentan los resultados de los análisis para cada una de las estaciones base y estaciones complementarias utilizadas para la caracterización del parámetro.

- 2120516 LA RAMADA

La estación La Ramada tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 9,21°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de mayo con un valor de 10,15°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es enero con un valor de 7,81°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de marzo a agosto y octubre a noviembre y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de diciembre a febrero y noviembre. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 144.



Figura 144. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 20642 PLANTA WIESNER

La estación Planta Wiesner tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 10,51°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de febrero con un valor de 11,12°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es agosto con un valor de 9,83°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y octubre a noviembre y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de junio a septiembre y diciembre a enero. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 145.

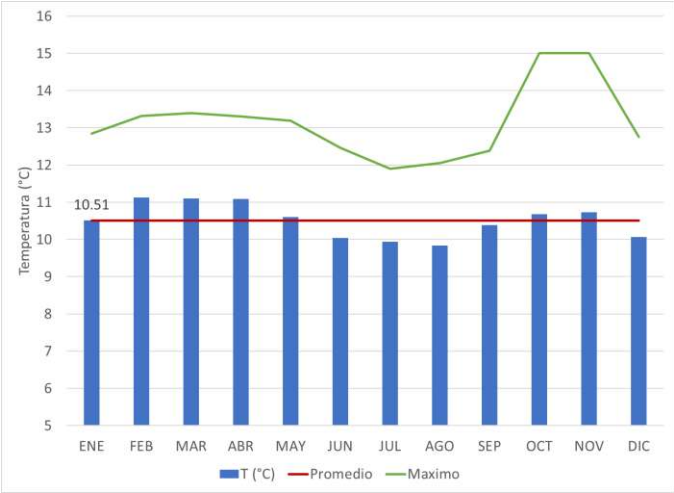


Figura 145. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 21206560 INEM KENNEDY

La estación Inem Kennedy tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 10,85°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de mayo con un valor de 10,98°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es enero con un valor de 9,68°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de abril a agosto y noviembre y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de diciembre a marzo y octubre. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 146.

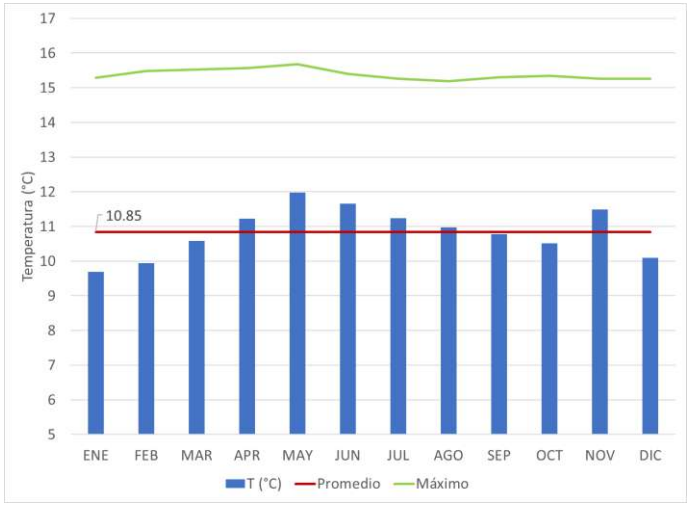


Figura 146. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- CARVAJAL-SEVILLANA

La estación Carvajal - Sevillana tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 13,75°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de noviembre con un valor de 14,04°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es febrero con un valor de 13,44°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de abril a junio, agosto a septiembre y noviembre, los demás meses están por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 147.

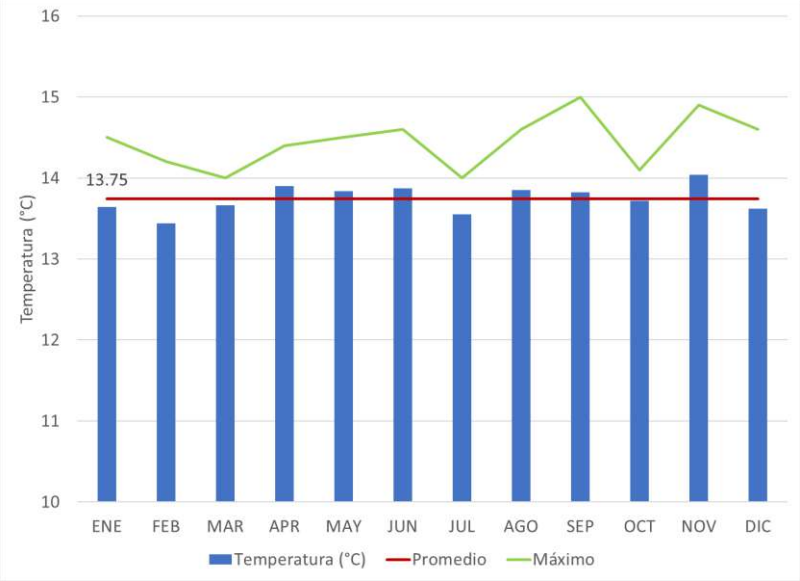


Figura 147. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Carvajal - Sevillana. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO

La estación Centro de alto rendimiento tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 13,17°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,57°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es septiembre con un valor de 12,82°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y noviembre, los demás meses presentan temperaturas por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 148.

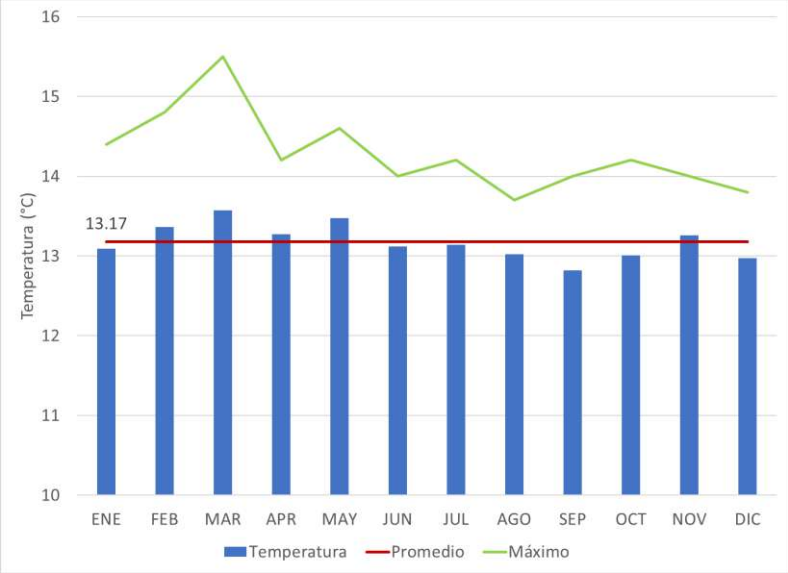


Figura 148. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Centro de Alto Rendimiento. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- GUAYMARAL

La estación Guaymaral tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 12,99°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,69°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es enero con un valor de 12,52°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a junio y noviembre, los demás meses presentan temperaturas por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 149.



Figura 149. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- KENNEDY

La estación Kennedy tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 13,39°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,91°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es agosto con un valor de 12,03°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de enero a abril, junio a julio y septiembre a diciembre, los demás meses presentan temperaturas por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 150.

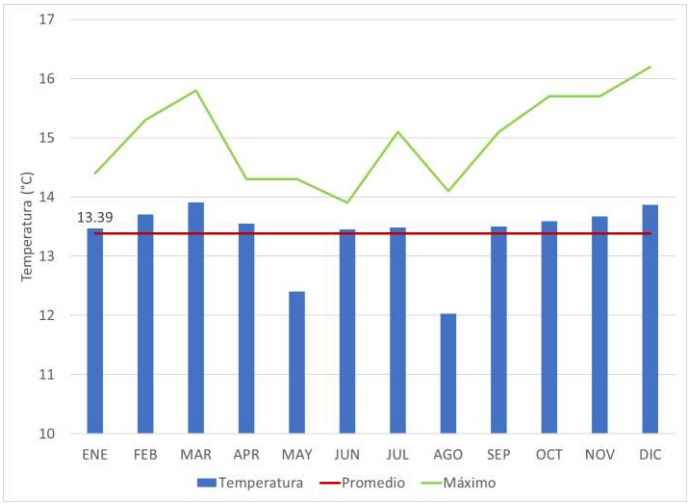


Figura 150. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- MÓVIL SÉPTIMA

La estación Móvil Séptima tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 14,69°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de diciembre con un valor de 15,02°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es agosto con un valor de 14,26°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de enero a marzo, mayo y diciembre, los demás meses tienen temperaturas mínimas por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 151.

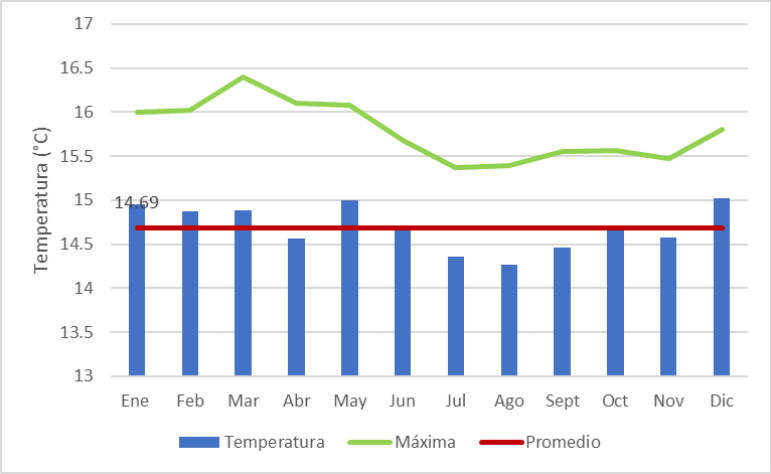


Figura 151. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- PUENTE ARANDA

La estación Puente Aranda tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 12,84°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,12°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es agosto con un valor de 12,27°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre, los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de junio a septiembre. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 152.

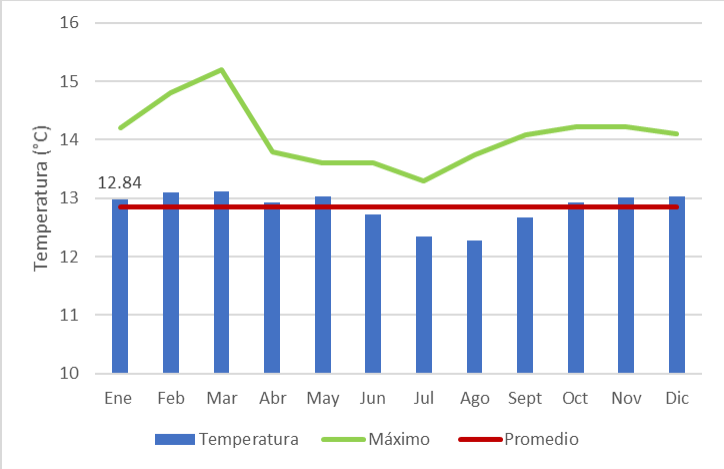


Figura 152. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- SAN CRISTÓBAL

La estación San Cristóbal tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 11,99°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 12,66°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es agosto con un valor de 11,32°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de enero a mayo y octubre a diciembre, y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de junio a septiembre. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 153.

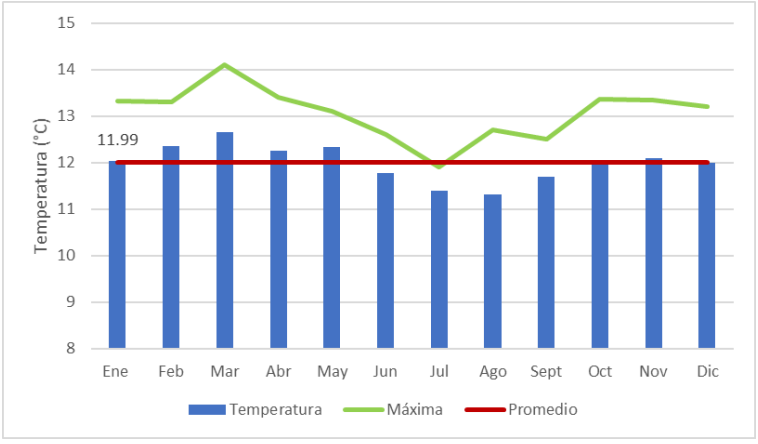


Figura 153. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- SUBA

La estación Suba tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 13,04°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,59°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es septiembre con un valor de 12,50°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y noviembre, los demás meses presentan temperaturas mínimas por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 154.

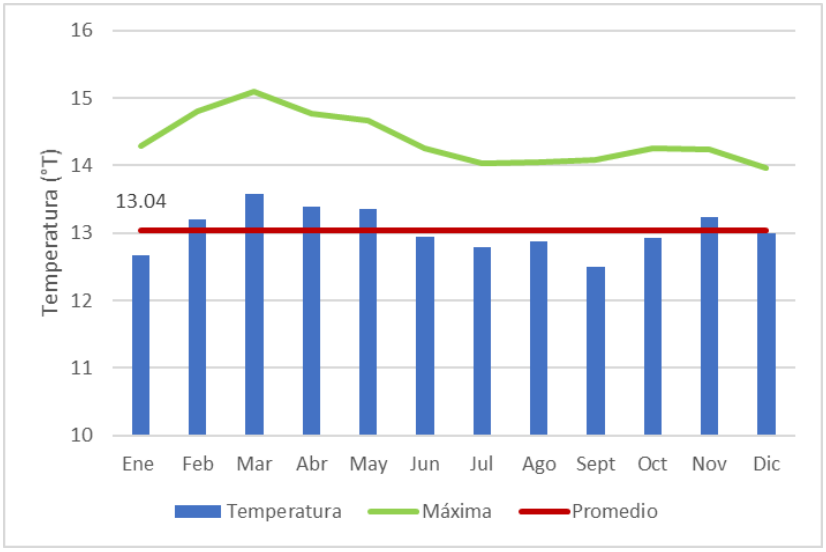


Figura 154. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Suba. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- USAQUÉN

La estación Usaquén tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 13,45°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,87°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es julio con un valor de 13,06°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de enero a junio y octubre, los demás meses presentan temperaturas por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 155.

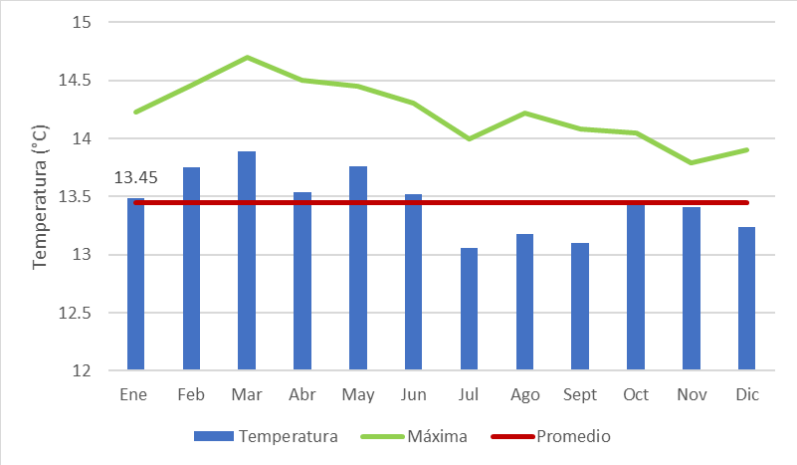
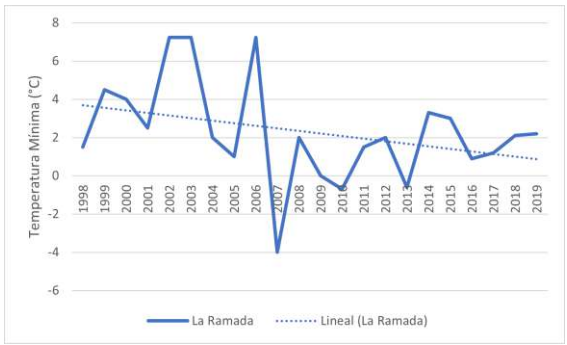
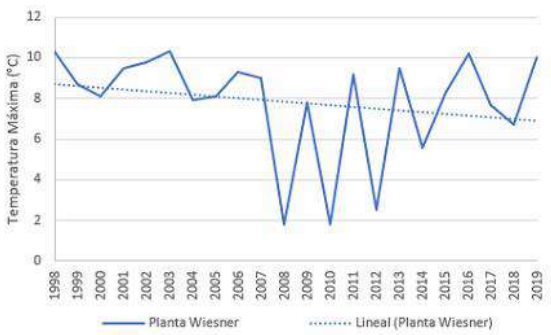


Figura 155. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

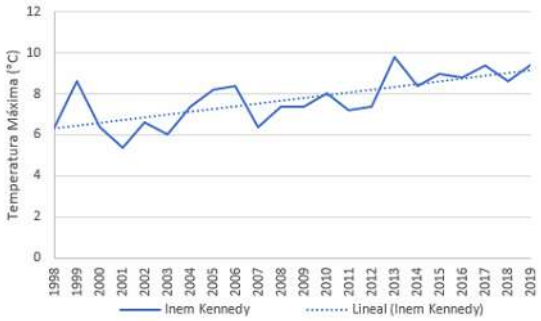
Con los registros del periodo común se definió el comportamiento anual y la tendencia de las series de temperatura mínima de las estaciones base y de las estaciones complementarias evaluadas. De este análisis se identificó que la tendencia en la mayoría de las estaciones es creciente, con la excepción de La Ramada, Planta Wiesner, Carvajal-Sevillana y Móvil Séptima (ver Figura 156).

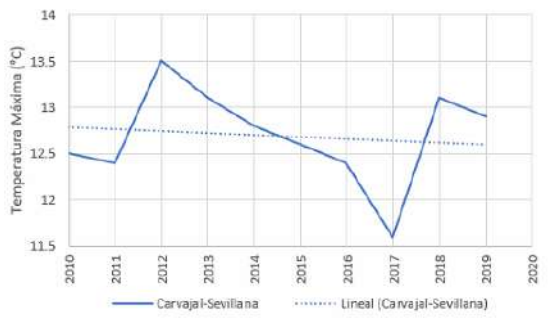


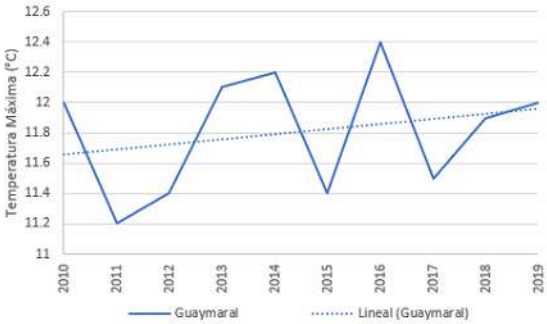
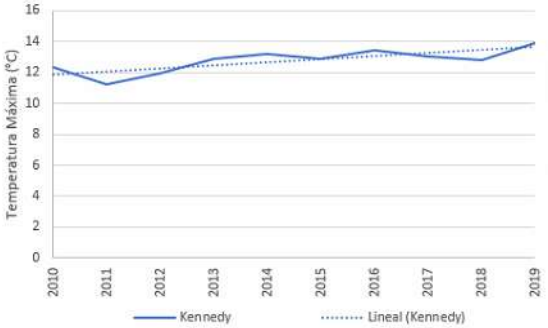
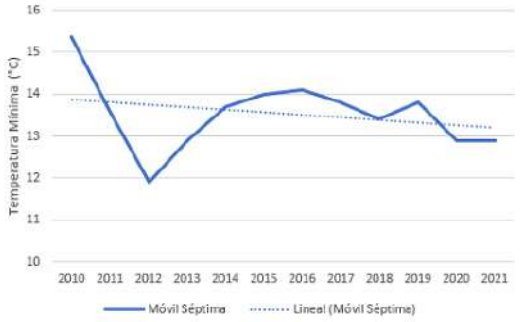
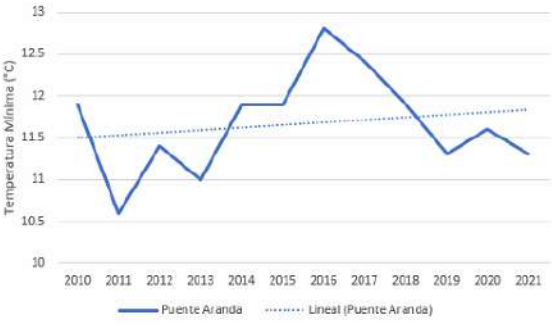
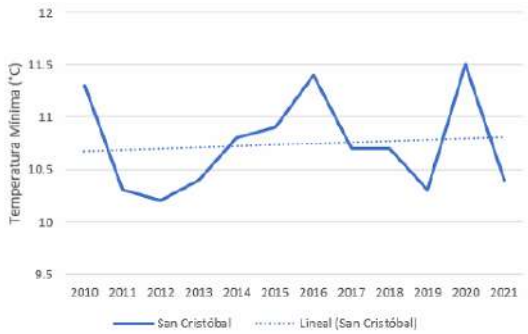
Estación base La Ramada Tendencia: Decreciente

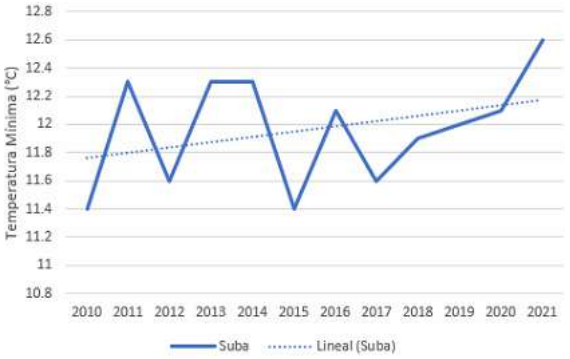


Estación base Wiesner Tendencia: Decreciente

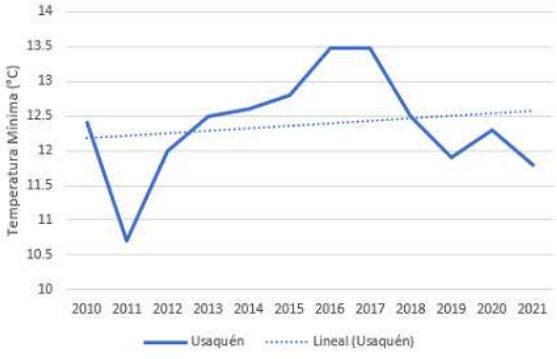




Estación base Inem Kennedy Tendencia: Creciente	Estación complementaria Carvajal-sevillana Tendencia: Decreciente
 **Estación complementaria centro de alto rendimiento Tendencia: Creciente**	 **Estación complementaria Guaymaral Tendencia: Creciente**
 **Estación complementaria Kennedy Tendencia: Creciente**	 **Estación complementaria Móvil Séptima Tendencia: Decreciente**
 **Estación complementaria Puente Aranda Tendencia: Creciente**	 **Estación complementaria San Cristóbal Tendencia: Creciente**



Estación complementaria Suba Tendencia: Creciente



Estación complementaria Usaquén Tendencia: Creciente

Figura 156. Variación anual y tendencia de la temperatura mínima. Estaciones base (Periodo 1998-2019) y Estaciones complementarias (2010-2021).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.7. Distribución espacial de precipitación

Para conocer la variación espacial de la precipitación en la zona del trazado proyectado para la línea 2 del metro, se analizaron dos escenarios con el fin de considerar tanto la variación histórica de los registros como el cubrimiento espacial del trazado y las cuencas de los cauces que lo cruzan. Los escenarios analizados fueron denominados como: i) Escenario Período común y ii) Escenario período histórico. A continuación, se describen las consideraciones de cada escenario y los resultados obtenidos:

- Variación espacial de la precipitación para el período común

Tomando como base los registros de precipitación complementados para las estaciones base que se presentan en el numeral 5.2.3.1 Meteorologia para el periodo común establecido entre 1987 - 2021, el cual fue seleccionado para poder realizar la caracterización espacial de esta variable en la zona del trazado y en las cuencas de los cauces que cruzan con el mismo, se generaron las isoyetas de precipitación total media mensual con la ayuda del software Surfer 7, el cual aplica el método de interpolación de Kriging.

Como resultado del análisis se puede evidenciar en la Figura 157 que la precipitación total media multianual en la zona de Bogotá al inicio del trazado proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá, presenta valores de precipitación de 1150 mm en la zona de la iglesia de La Porciúncula que disminuyen a lo largo del eje del metro hasta llegar a valores de 850 mm en la zona cercana al humedal La Conejera. Las representación espacial de la precipitación mensual en la zona del proyecto se presenta en el Anexo 5.2 -5.1 - Hidrología.

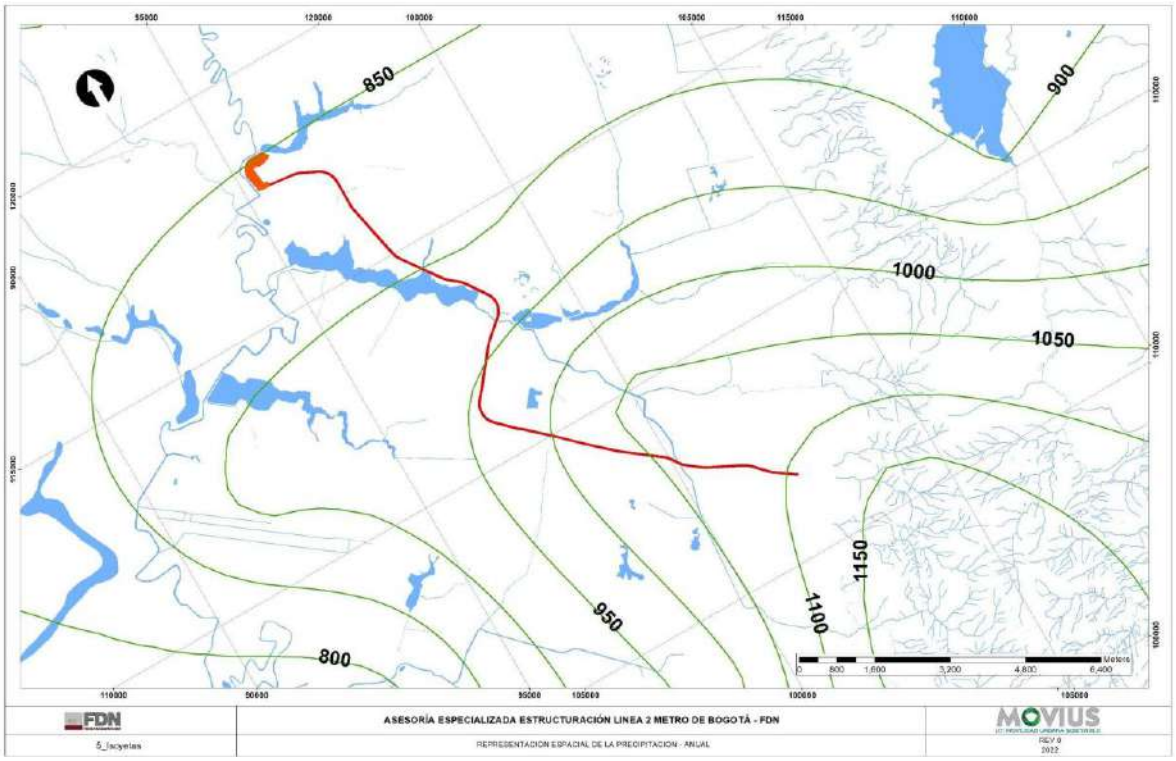


Figura 157. Comportamiento espacial de la precipitación total media multianual (mm) - Periodo común 1987-2021 . Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Variación espacial de la precipitación para el período histórico de las estaciones

Posterior al análisis realizado para el periodo común, se evaluó el comportamiento espacial de la precipitación para el periodo histórico, esta vez utilizando las registros de estaciones de la EAAB (San Diego, Cerro de Suba,El Granizo, y San Luis), las cuales cuentan con datos desde el año 1947 hasta 2021, esto se realizó con el fin de evidenciar posibles cambios en la distribución mensual de la precipitación entre uno y otro periodo de análisis. Además de que es muy inusual tener registros con tantos años, que puedan ayudar a evidenciar la variabilidad climática y los cambios de las tendencias a lo largo del tiempo.

En la Figura 158 se presenta la distribución espacial de la precipitación total media multianual realizada a partir de la precipitación promedio multianual, esta presenta un valor de 1 020 mm al inicio del trazado en el sector de la iglesia de La Porciúncula y descienden hasta 880 mm en el sector del humedal La Conejera. Las representación espacial de la precipitación mensual en la zona del proyecto utilizando solo las estaciones operadas por la EAAB se presenta en el Anexo 5.2 -5.1 - Hidrología.

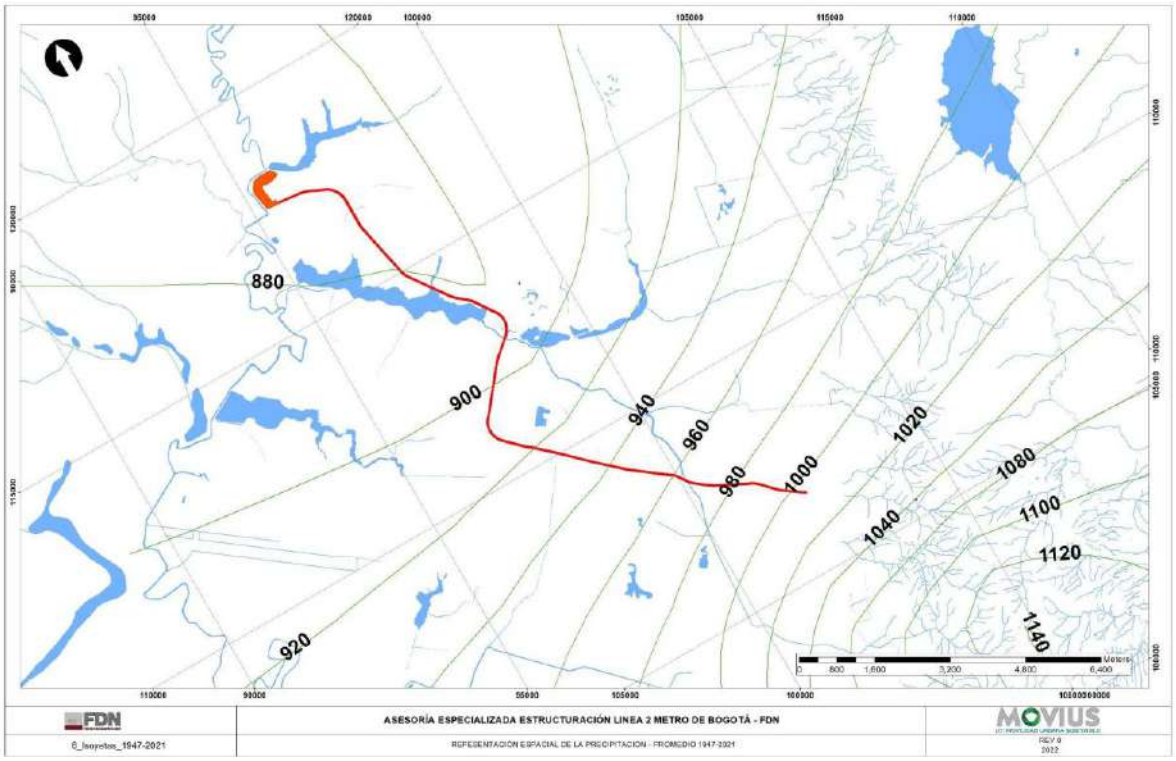


Figura 158. Comportamiento espacial de la precipitación total media multianual (mm) - Periodo histórico 1947-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.8. Representación espacial de la temperatura

A partir de los valores mínimos, medios y máximos diarios de temperatura de las estaciones base para la caracterización INEM Kennedy, La Ramada y Planta Wiesner para el periodo (1998-2019), y las estaciones tomadas como complementarias para el periodo (2010-2021) con sus respectivas elevaciones, se determinó la relación existente para definir el comportamiento espacial de las tres temperaturas para cada grupo de estaciones. En la Figura 159 y en la Figura 163 se presenta el comportamiento de los registros de temperatura mínima, media y máxima para las estaciones base y para las estaciones complementarias respectivamente.

A partir de las curvas de nivel y las relaciones obtenidas para cada temperatura, se obtuvo un raster con la herramienta "Map Algebra/Raster Calculator" del software ArcMap 10 para cada una de las variables mencionadas, los resultados de este análisis se presentan en la Figura 160 para la temperatura mínima, en la Figura 161 para la temperatura media y en la Figura 162 para la temperatura máxima para las estaciones base de la caracterización, y para las estaciones complementarias se presentan en la Figura 56 para la temperatura mínima, en la Figura 57 para la temperatura media y en la Figura 58 para la temperatura máxima .

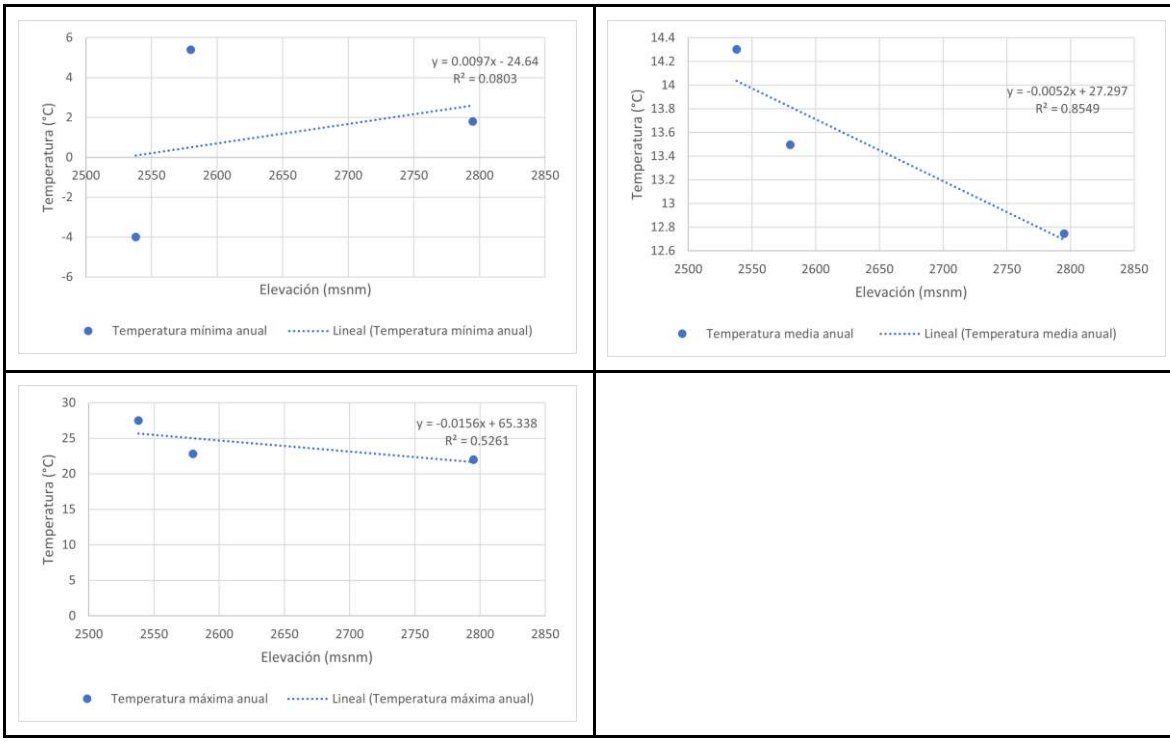


Figura 159. Relaciones Elevación - Temperatura mínima, media y máxima anual para estaciones base.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 52 se presenta el comportamiento espacial de la temperatura mínima, en esta se evidencia que la temperatura mínima anual a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá varía en el rango de -0,1 ºC a 10,9ºC.

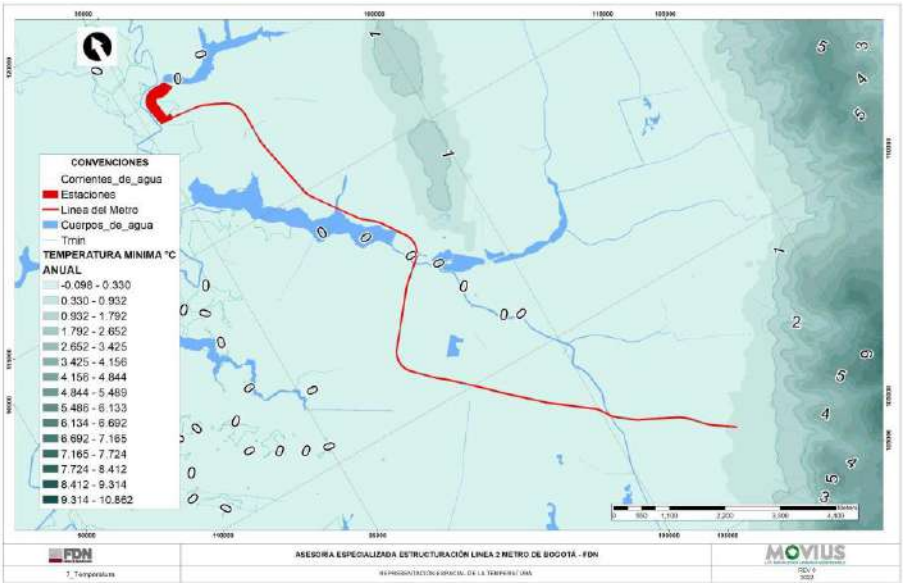


Figura 160. Comportamiento espacial de la temperatura mínima anual para estaciones base (°C).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 161 se presenta el comportamiento espacial de la temperatura media, en esta se evidencia que la temperatura media anual a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá varía en el rango de 8,3 ºC a 14,1 ºC.



Figura 161. Comportamiento espacial de la temperatura media anual para estaciones base (°C).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 162 se presenta el comportamiento espacial de la temperatura máxima anual, en esta se evidencia que la temperatura máxima anual a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá varía en un rango de 8,2 ºC a 25,9 ºC.

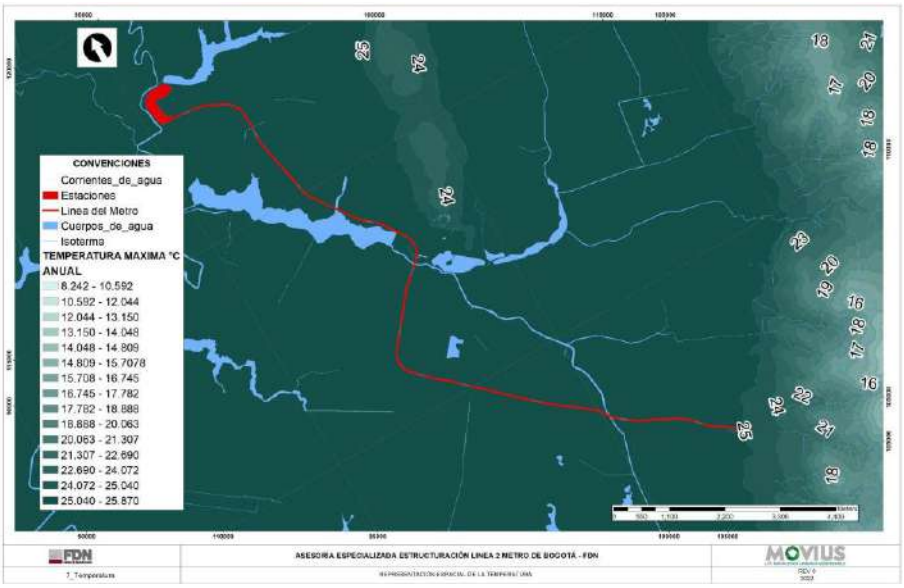
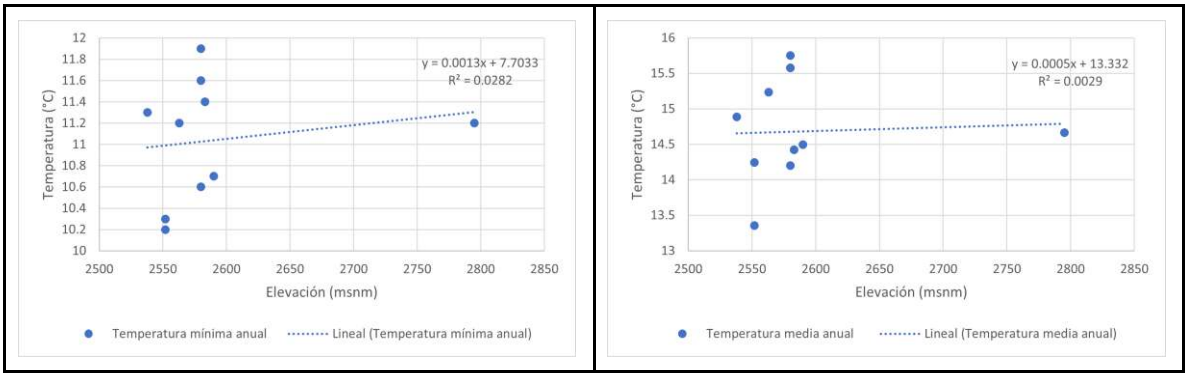


Figura 162. Comportamiento espacial de la temperatura máxima anual para estaciones base (°C).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se indicó anteriormente, las estaciones complementarias también se analizaron de la misma manera que las estaciones base, los resultados de dicho análisis se presentan a continuación.



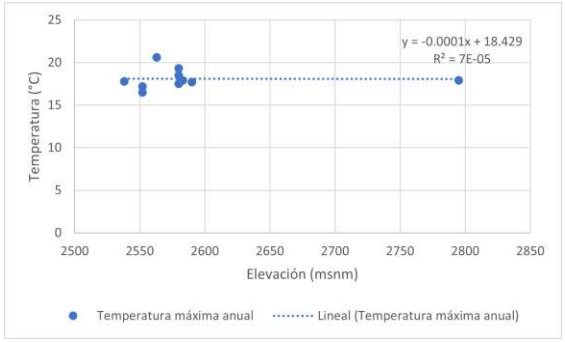


Figura 163. Relaciones Elevación - Temperatura mínima, media y máxima anual para estaciones complementarias. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 164 se presenta el comportamiento espacial de la temperatura mínima anual, en esta se evidencia que la temperatura mínima anual a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá varía en un rango de 11 ºC a 12,5 ºC.

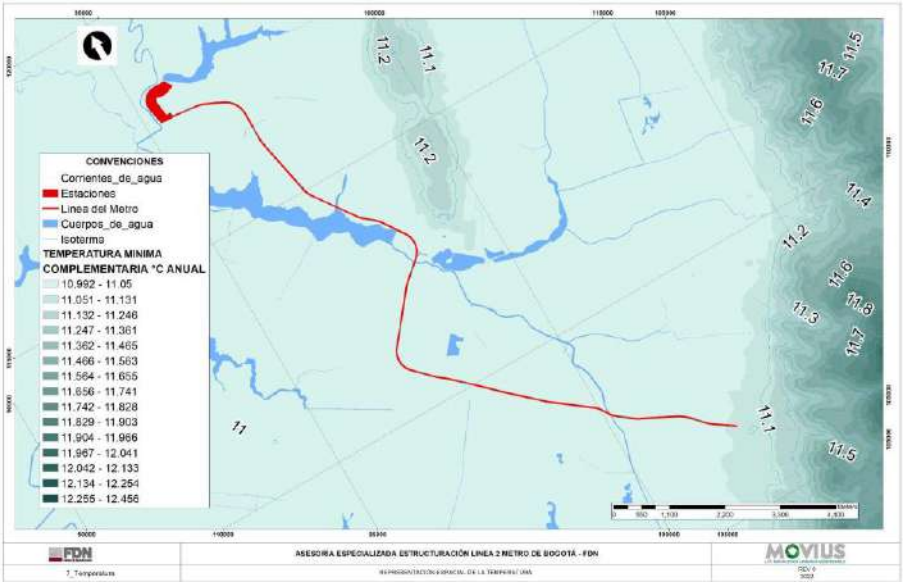


Figura 164. Comportamiento espacial de la temperatura mínima anual (°C) - Estaciones complementarias. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 165 se presenta el comportamiento espacial de la temperatura media anual, en esta se evidencia que la temperatura media anual a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá varía en un rango de 14,6 ºC a 15,2 ºC.

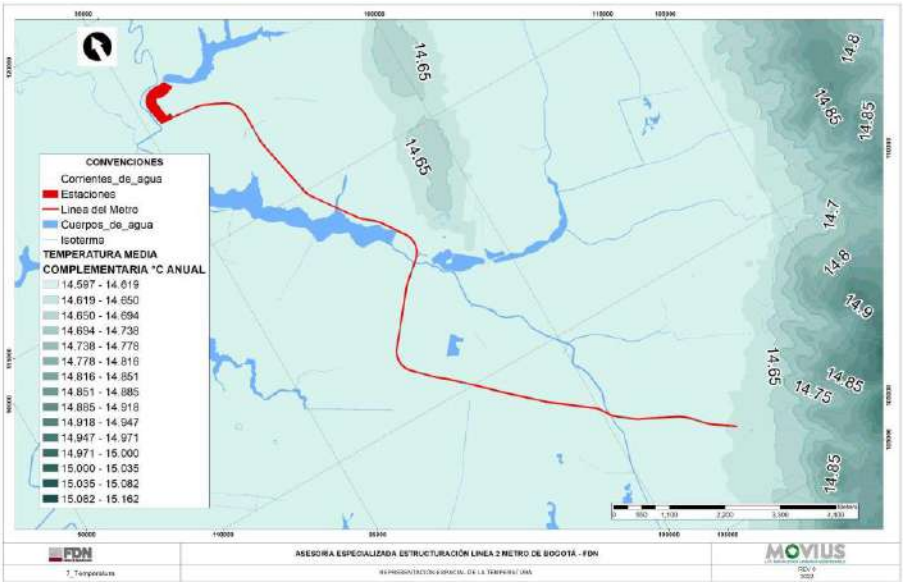


Figura 165. Comportamiento espacial de la temperatura media anual (°C) - Estaciones complementarias.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 166 se presenta el comportamiento espacial de la temperatura máxima anual, en esta se evidencia que la temperatura máxima anual a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá varía en un rango de 18 ºC a 18,2 ºC.

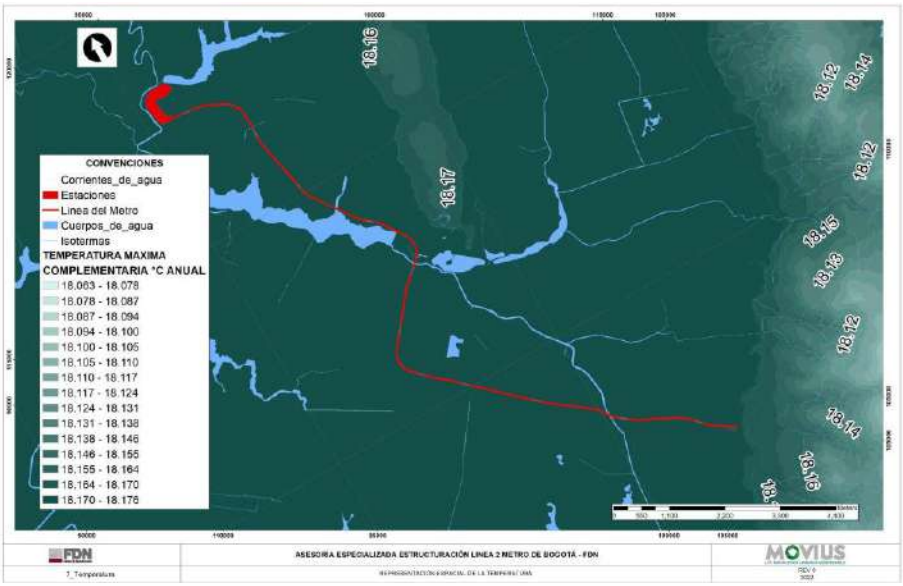


Figura 166. Comportamiento espacial de la temperatura máxima anual (°C) - Estaciones complementarias.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Sin embargo, analizando la relación entre elevación y temperatura de las estaciones se nota que no hay una correlación estadística, no obstante, se presenta Figura 164, Figura 165 y Figura 166 de carácter informativo.

5.2.2.1.9. Representación espacial de la evaporación

A partir de la relación entre la elevación de las estaciones La Ramada y Planta Wiesner y los valores medios anuales multianuales de evaporación, se realizó el análisis de comportamiento espacial a nivel anual. Con la relación estimada se obtuvo un raster con la herramienta "Map Algebra/Raster Calculator" del software ArcMap 10, a continuación en la Figura 167 se presenta la relación identificada:

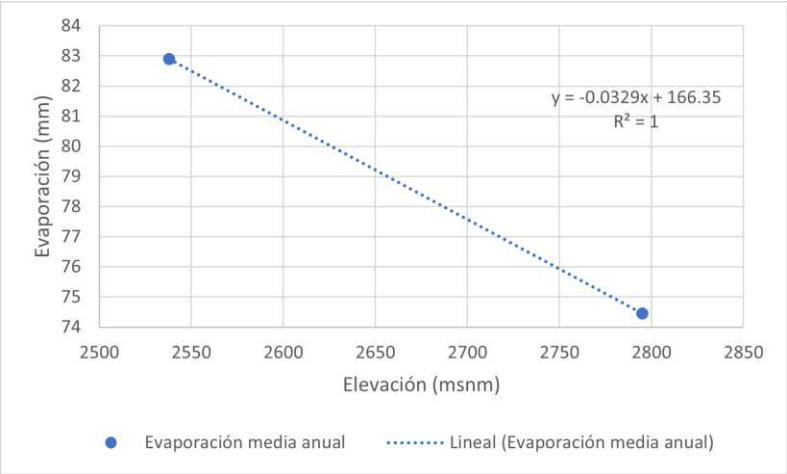


Figura 167. Relación Elevación - Evaporación.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 168 se presenta el comportamiento espacial de la evaporación anual, en esta se evidencia que la evaporación a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá se ubica en un rango de 45 mm a 84 mm.

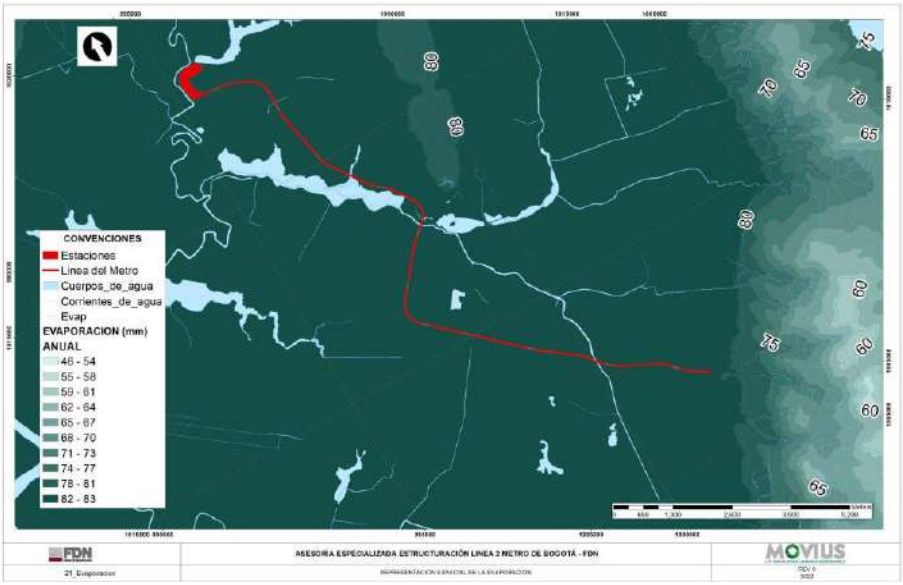


Figura 168. Comportamiento espacial de la evaporación anual (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.10. Localización del proyecto en zonificación nacional

El sistema hídrico analizado está compuesto principalmente por la cuenca del río Bogotá y afluentes tales como: San Francisco, Juan Amarillo, Jaboque y los Rosales. En la Figura 169, Figura 170 y Figura 171 se presenta la localización del proyecto en la zonificación nacional en sus diferentes niveles.

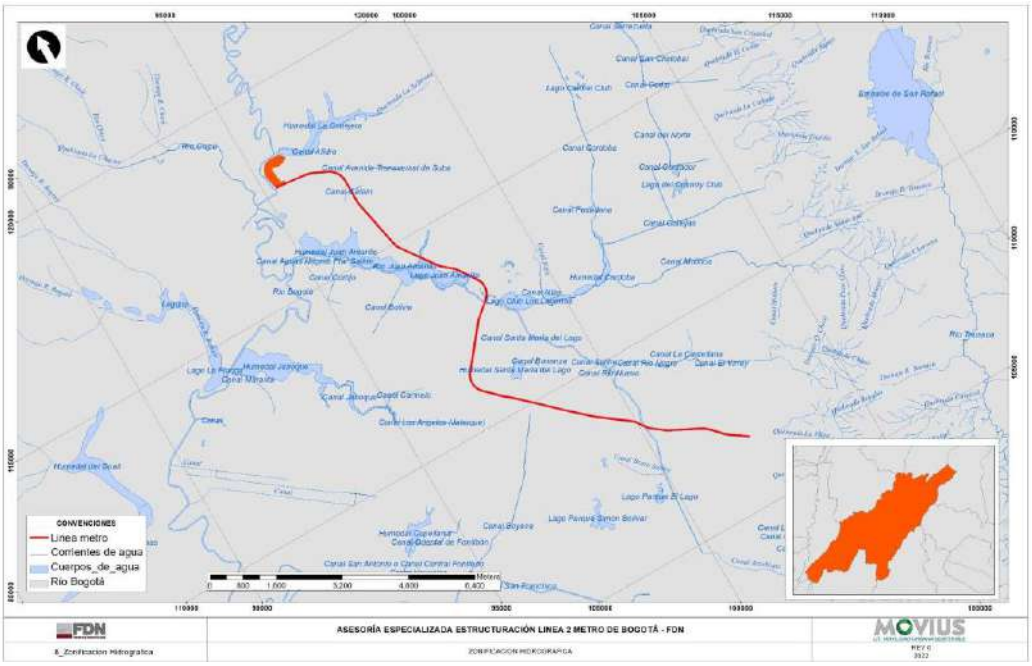


Figura 169. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, subzona hidrográfica.
Fuente: SIAC.*Zonificación hidrográfica año 2013*. (2013).

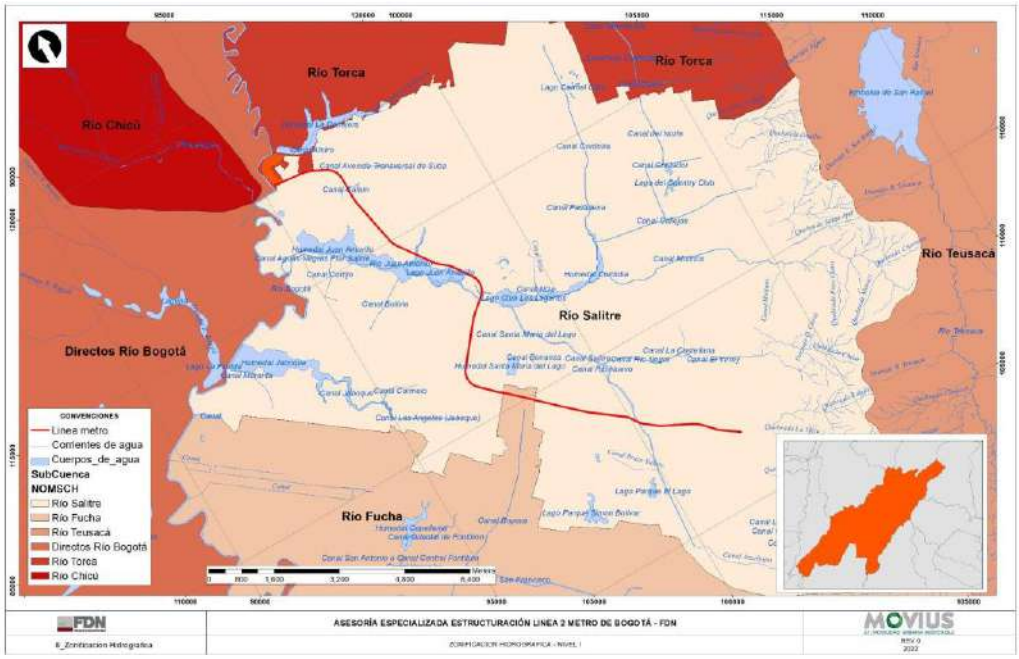


Figura 170. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, unidad hidrológica nivel I.
Fuente: IDIGER. *Microcuenca. Bogotá D.C.*(2021).

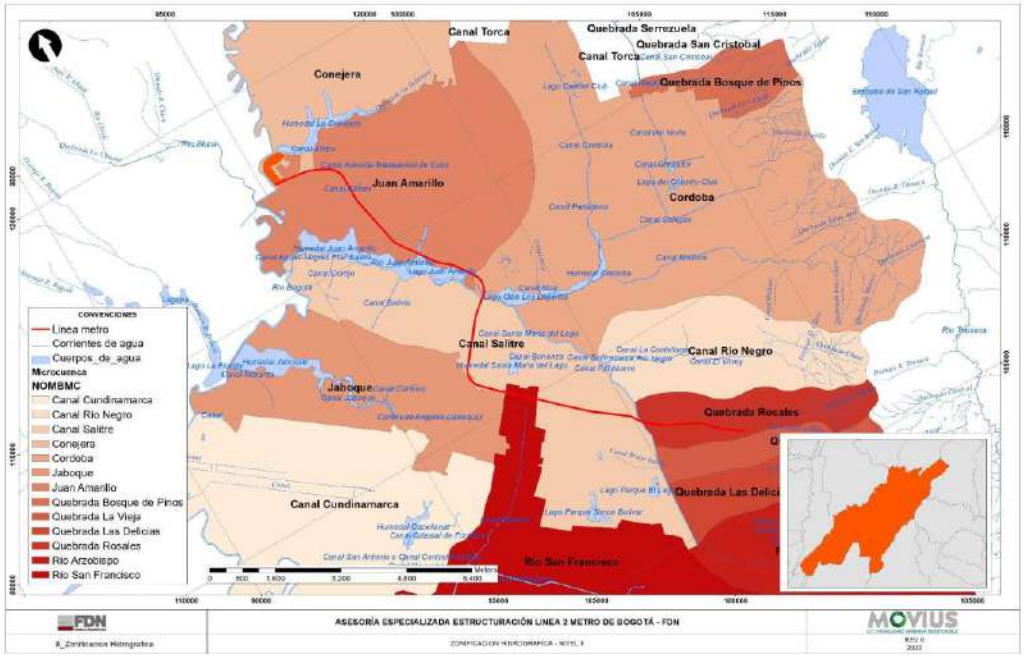


Figura 171. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, unidad hidrológica nivel II
Fuente: IDIGER. *SubCuenca. Bogotá D.C.*(2021).

Se realizó la clasificación hidrográfica de las subcuencas con base en lo establecido en el mapa de Zonificación Ambiental de Colombia[5], mencionado dentro de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, expedida en marzo de 2010 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y plasmadas igualmente dentro del Decreto 1640 del 2 de agosto de 2012 del MADS y la Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia del IDEAM (2013), de los cuales se derivan para el territorio colombiano: 5 Áreas Hidrográficas, 41 Zonas Hidrográficas y 309 Subzonas Hidrográficas.

De acuerdo con la zonificación hidrográfica establecida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el informe de "Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia" (IDEAM, 2014), el proyecto se localiza en el área hidrográfica Magdalena Cauca (Código IDEAM 2), Zona hidrográfica Alto Magdalena (Código IDEAM 21) y la subzona hidrográfica río Bogotá (Código IDEAM 2120). Para los niveles subsiguientes se utilizarán los presentados en la Tabla 102:

Tabla 102. Localización del proyecto en la zonificación Nacional.

[5] IDEAM, Mapa de Zonificación Ambiental de Colombia, 2013.

Área hidrográfica	Zona hidrográfica	Subzona hidrográfica	Unidad hidrográfica nivel I	Unidad hidrográfica nivel II	Código unidad hidrográfica nivel II
Magdalena Cauca (2)	Alto Magdalena (21)	Río Bogotá (2120)	Río Fucha (212008)	Río San Francisco	21200809
			Río Salitre (212009)	Juan Amarillo	21200909
				Canal Salitre	21200901
				Jaboque	21200902
				Quebrada Los Rosales	21200906
				Quebrada La Vieja	21200905

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.11. Identificación de sistemas lenticos y loticos

Se hace la aclaración de que a pesar de los cuerpos de agua o cauces que se encuentren, no se generará área de influencia con relación al proyecto, a razón de que el trazado del metro es subterráneo. En otras palabras, no hay intervención en la fuente con respecto a la línea 2 del metro, por lo tanto no se generarán conflictos sobre la disponibilidad y usos de agua. A continuación, se presenta la identificación de sistemas lénticos y lóticos localizados en el corredor del proyecto:

5.2.2.1.11.1. Sistemas Lóticos

Se identificó que los sistemas lóticos que cruzan el trazado del proyecto son: Canal Salitre, Canal Cafam y el Brazo del Humedal Juan Amarillo. En cuanto a la Quebrada La Vieja, esta no cruza con el proyecto pero su recorrido con sección natural antes de ser canalizado hasta el canal salitre está próximo al trazado de la línea 2 del metro en la zona de la iglesia de la porciúncula, adicionalmente se hace una descripción del río de Bogotá por su cercanía a la zona del patio taller del proyecto. Se resalta que los cruces con estos cuerpos de agua son solo en la vista en planta ya que estos se localizan a nivel de terreno y el trazado para la línea 2 del metro se proyecta de forma subterránea en gran parte de su recorrido incluidos los pasos con los cuerpos de agua mencionados. En la Figura 123 se presenta la localización de los sistemas lóticos identificados.

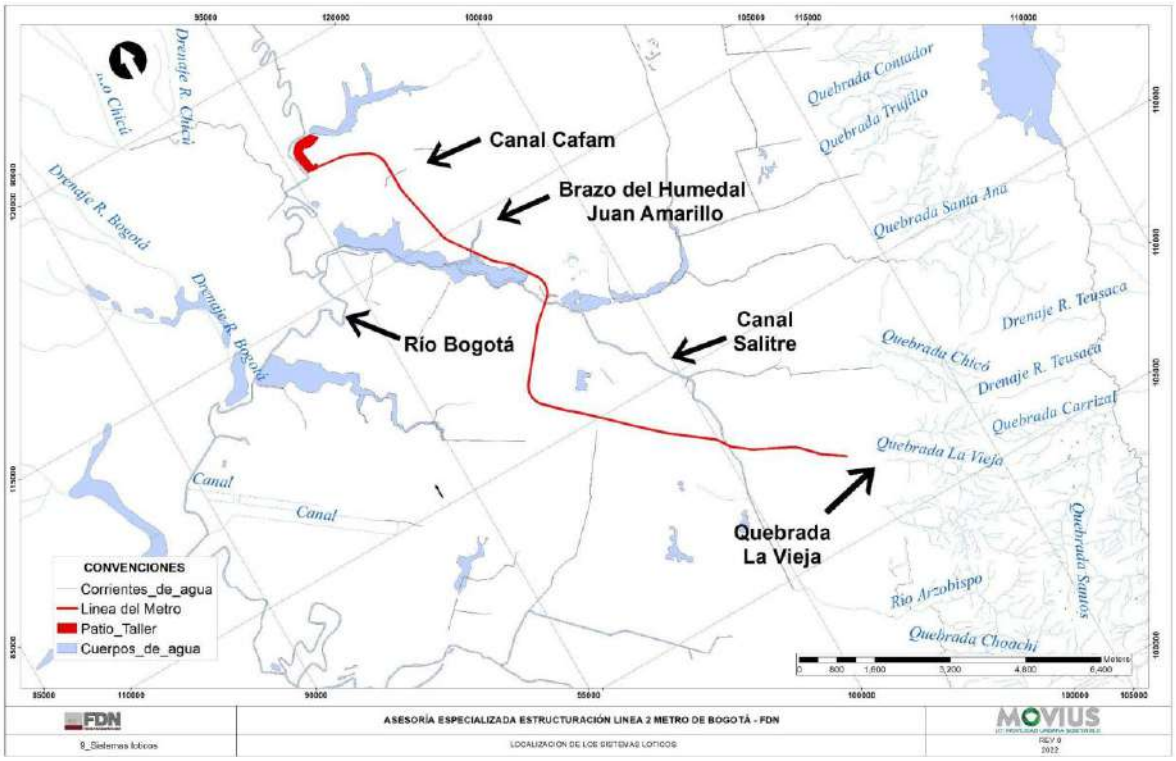


Figura 172. Ubicación de los sistemas lóticos que cruzan con el proyecto.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

A continuación se presenta una descripción de los sistemas lóticos identificados en la zona del proyecto.

- Quebrada La Vieja

La Quebrada La Vieja nace a 3200 metros sobre el nivel del mar y desemboca en el río Bogotá, hace parte de la cuenca Salitre, y está incluida en la Reserva Forestal de los Cerros Orientales de Bogotá. Debido a su ubicación permite el aprovechamiento del servicio ecosistémico cultural por medio de recreación, observación y apreciación de la naturaleza. La longitud de esta quebrada con sección natural es de aproximadamente 3 025 m, iniciando en los cerros orientales de Bogotá hasta aproximadamente la coordenada 4 883 365E, 2 072 193N, luego de este punto, la quebrada la vieja se incorpora al sistema de alcantarillado sanitario combinado mediante el colector la vieja el cual tiene una sección circular de 1,30 m de diámetro revestida con la ladrillo. En la Figura 173 se presenta una imagen de la sección natural de la quebrada La Vieja.



Figura 173. Quebrada La Vieja.
Fuente: Google Earth

- Canal Salitre

También conocido como río Arzobispo, río Salitre y río Juan Amarillo, nace como río Arzobispo en los cerros orientales de Bogota a 3200 msnm en la laguna del Verjón, que se encuentra en el páramo de Cruz verde en la cordillera oriental. El canal Salitre desciende por el costado del cerro de Monserrate y bordea el pico Salto de la Ninfa marcando el costado norte del parque nacional tomando el nombre de río Salitre, luego atraviesa las localidades de Santa Fe, Chapinero, Teusaquillo, Barrios Unidos, Engativá y Suba, y en el cruce con la carrera 68 toma finalmente el nombre de río Juan Amarillo, terminando su recorrido en el humedal Tibabuyes y desemboca finalmente en el río Bogotá.

Este canal pertenece a la cuenca Salitre que cuenta con un área de drenaje de 13,96 ha, una longitud de cauce principal de 19,76 km y pendiente media de cauce de 3,32%, su elevación promedio es la 2 879 msnm, donde su cota máxima está por el orden de los 3 200 msnm y la mínima está por el orden de los 2 540 msnm.

En los últimos años los canales de este tipo han sido recubiertos con concreto debido al incremento del riesgo de inundaciones, perdiendo el área permeable, aumentando la escorrentía superficial y reduciendo el tiempo de concentración, además se ha perdido la necesidad de espacio y biodiversidad alrededor de estos; el canal río Salitre presenta problemas de acumulación de sedimentos, contaminación del agua y malos olores, esto debido a la intención de solucionar la conducción de aguas lluvias de forma artificial. Se ha eliminado el drenaje urbano natural en el sitio, lo que ha aumentado las velocidades de escorrentía hacia el borde occidental de la ciudad con destino al río Bogotá sin utilizar los humedales como zonas de amortiguación natural. En la Figura 174 se presenta una imagen del Canal Salitre.



Figura 174. Canal Salitre.
Fuente: Google Earth

- Canal Cafam

Este canal pertenece a la cuenca Canal Cafam, tiene una longitud aproximada de 1 259 m y un área de aporte de 4 365 m^2. En la zona de cruce con el proyecto el canal tiene una sección trapezoidal de 1,0 m de base y 2,15 m de profundidad (ver Figura 175) y en el cruce con la línea 2 del metro el paso se realiza con un Box Culvert de 2 celdas de aproximadamente 2,0 m de base y 2,15 m de altura (ver Figura 176).



Figura 175. Canal Cafam - Paso con Canal

Fuente: Google Earth



Figura 176. Canal Cafam - Paso con Box Culvert.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Río Bogotá

Está ubicado en el altiplano cundiboyacense en el departamento de Cundinamarca, es el principal cauce fluvial de la sabana de Bogotá, nace en el páramo de Guacheneque en el municipio de Villapinzón a 3 300 msnm y su desembocadura es en el río Magdalena a la altura del municipio de Girardot a 280 msnm, subcuenca río Bajo Bogotá Apulo – Girardot. Cuenta con 347 km longitudinales, un área aportante de 6 000 km^2 aproximadamente y su caudal medio es de 27 m/s.

Según el documento POMCA del río Bogotá, el 30% de la cuenca se caracteriza por presentar un relieve fuertemente ondulado a fuertemente quebrado, con pendientes entre 12 y 25%, le sigue en importancia el relieve Fuertemente Quebrado con pendientes entre 25 y 50%. Estas condiciones de relieve y pendiente se presentan de forma general en toda la cuenca, con excepción del área comúnmente denominada como sabana y en la parte baja de la cuenca, donde predominan las pendientes entre 0 y 7% y los relieves planos, ligeramente plano, ligeramente inclinado y ligeramente ondulado. En la actualidad la Corporación Autónoma Regional CAR ha realizado obras de adecuación hidráulica en varios tramos a lo largo del recorrido del río.

El río Bogotá es muy importante para Colombia ya que en sus zonas aledañas se desarrollan actividades económicas (agrícola, pecuaria e industrial) que representan el 26% del total a nivel nacional. El río se divide en tres cuencas, alta comprendida por 170 km entre Villapinzón – Puente La Virgen Cota, media comprendida por 90 km entre Cota – Salto del Tequendama donde las aguas reciben una fuerte carga de contaminación debido a los asentamientos y los afluentes como los ríos Salitre, Fucha, y Tunjuelo, y finalmente la cuenca baja comprendida por 120 km entre el Salto del Tequendama –

Girardot, atraviesa 47 municipios del departamento de Cundinamarca. En la Figura 177 se presenta una imagen del río Bogotá a su paso en la zona del proyecto.



Figura 177. Río Bogotá
Fuente: Google Earth

- Brazo del humedal Juan Amarillo

El brazo del humedal Juan Amarillo pertenece a la cuenca asociada al Humedal Juan Amarillo, este canal tiene una longitud de aproximadamente 2 661 m desde el inicio hasta su descarga aproximada al humedal juan amarillo en la coordenada 4 877 363E, 2 080 411N, su sección transversal es trapezoidal cubierta con pastos y vegetación en el inicio de su recorrido y con abundante vegetación en las bancas en su recorrido hasta el sitio de descarga. En la Figura 178 se presenta una imagen del brazo del humedal Juan Amarillo a su paso en la zona del proyecto.



Figura 178. Brazo del humedal Juan Amarillo.
Fuente: Google Earth

5.2.2.1.11.2. Sistemas Lénticos

A partir de la cartografía base y datos obtenidos del recorrido de campo realizado, se identificaron los sistemas lénticos que corresponden al Lago Club los Lagartos, el Humedal Juan Amarillo y el Humedal La Conejera (ver Figura 179). Se resalta que los cruces con estos cuerpos de agua son solo en la vista en planta ya que estos se localizan a nivel de terreno y el trazado para la línea 2 del metro se proyecta de forma subterránea en gran parte de su recorrido incluidos los pasos con los cuerpos de agua mencionados.

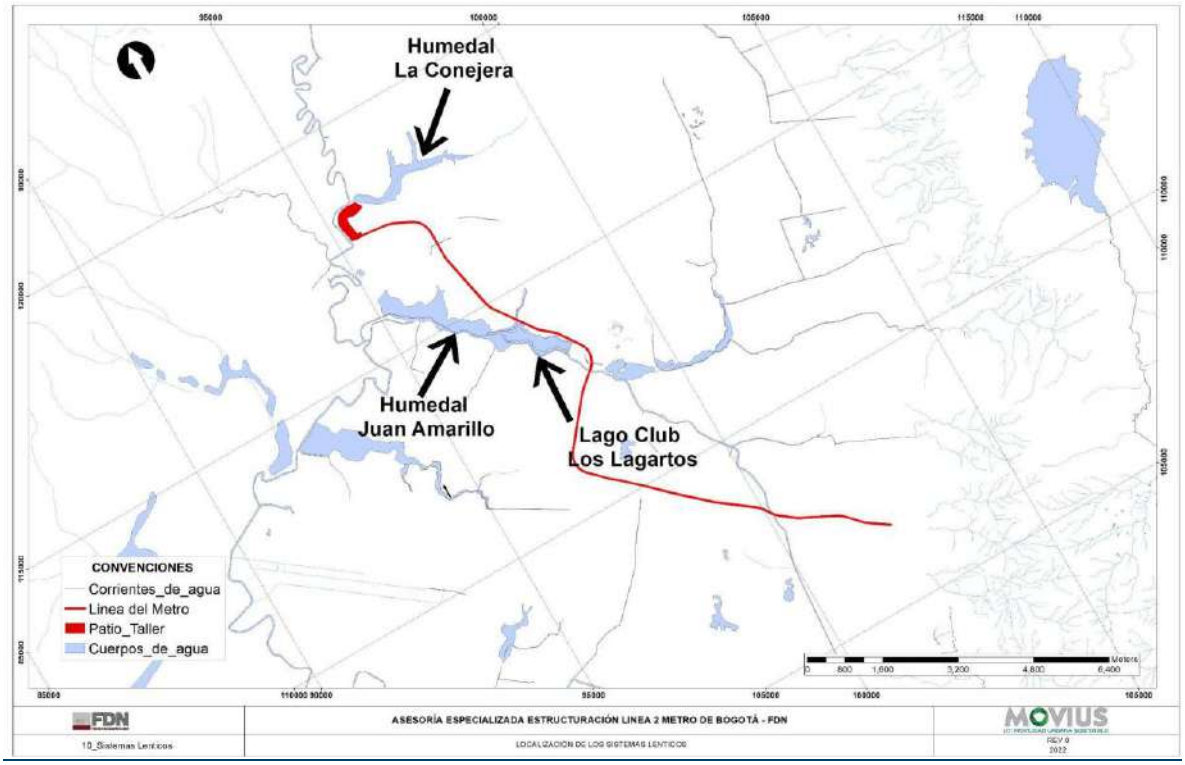


Figura 179. Ubicación de los sistemas lénticos que cruzan con el proyecto.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Lago Club Los Lagartos

El Lago Club Los Lagartos está ubicado en un predio privado y no está definido como Parque Ecológico DIstrital Humedal, hace parte de un corredor conformado por el Humedal Córdoba y el Humedal Juan Amarillo, ya que los tres hacen conforman un mismo sistema biofísico en el que el canal salitre es el eje integrador. El Parque Ecológico Distrital de Humedal Córdoba se encuentra ubicado al noroccidente de Bogotá en la localidad de Suba, es un humedal de planicie que forma parte de la subcuenca Salitre, su área protegida es de 40,4 ha, actualmente se encuentra fragmentado en tres partes y está conectado con el “Parque Urbano Canal Córdoba” y el “Parque Metropolitano Canal de los Molinos”, continúa al occidente con el lago del Club Choquenzá, Los Lagartos, y el Humedal TIbabuyes formando el sistema Córdoba - Juan Amarillo, siendo alimentado por las aguas de los canales Molinos, Callejas y Córdoba. Su temperatura es de 12,6 °C y su precipitación es de 1000 mm por año, la humedad relativa es del 64,3% y la velocidad del viento es de 1,8 m/s en dirección noreste. En la Figura 180 se presentan imágenes del Lago Club Los Lagartos y en la Figura 181 una imagen de su localización en planta.



Figura 180. Lago Club los Lagartos
Fuente: Secretaría de Ambiente Bogotá. (2019).

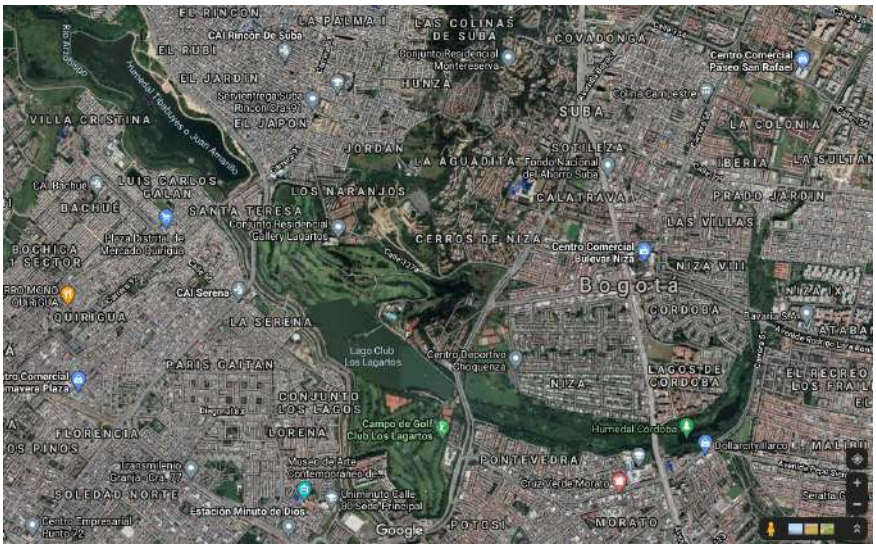


Figura 181. Lago Club Los Lagartos ubicación
Fuente: Google Earth. (2022).

- Humedal Juan Amarillo

Este humedal se encuentra ubicado al noroccidente de Bogotá entre las localidades de Suba y Engativá entre la transversal 91 y la carrera 140 aproximadamente, siendo el más extenso de la sabana de Bogotá. En su parte final se conecta con la cuenca Salitre y desemboca en el río Bogotá. El humedal Juan Amarillo tiene un área de 2,22 km^2 y fue decretado como Parque Ecológico Distrital Humedal Juan Amarillo, cuenta con un área de 222,74 ha y está declarado como Reserva Ambiental Natural. Su tamaño y posición geográfica favorecen la conectividad entre los humedales de La Conejera, Jaboque y La Florida a través del río Bogotá y Córdoba a través del río Juan Amarillo. Su cercanía con los cerros favorece el tránsito de especies entre estos dos ecosistemas, siendo un hidrosistema en una matriz urbana que presenta un alto grado de intervención y deterioro, aún así, conserva una serie de atributos ambientales (hidrológicos, ecológicos y sociales)

de gran importancia. Este espacio, que se encuentra dividido en tres tercios: alto, medio y bajo, cuenta con una gran variedad de flora y fauna y posee las siguientes características:

- Tercio alto: se conoce como la laguna de Tibabuyes y es el hábitat de aves endémicas como la garza buyera, garza real, tingüa de pico amarillo, patico zambullidor y garza nocturna; aves migratorias nacionales como el alcaraván, ibis de cara roja y cormorán; e internacionales como las tringas. También cuenta con vegetación acuática con plantas como enea, buchón y helecho de agua, y vegetación terrestre con plantas como el nogal, el roble, el cedro, entre otros.
- Tercio medio: en este tercio, se encuentran animales como la chucua de los curies y se evidencia la presencia de avifauna con especies como la tingüa de pico rojo, el garrapatero, chirlobirlo, bichofué, gavilán maromero y pato turrio; en uno de los canales afluentes a este tercio, se localizan los peces guppys. En cuanto a la vegetación acuática se incluyen el junco, la enea, botoncillo y barbasco, y en cuanto a la vegetación terrestre se incluyen especies como la higuerilla, la zarzamora, pasto kikuyo, uchuva, entre otras.
- Tercio bajo: en el tercio bajo hay presencia de especies de avifauna como la focha, tingüa de pico rojo, tingüa bogotana, monjitas y cucarachero, con respecto a la vegetación acuática cuenta con el junco, la enea, el buchón y botoncillo, y la vegetación terrestre, es conformada por los asilos y especies de porte alto.

En la Figura 182 se presentan imágenes del humedal Juan Amarillo y en la Figura 183 una imagen de su localización en planta.



Figura 182. Humedal Juan Amarillo.
Fuente: Secretaría de Ambiente Bogotá, (2019).

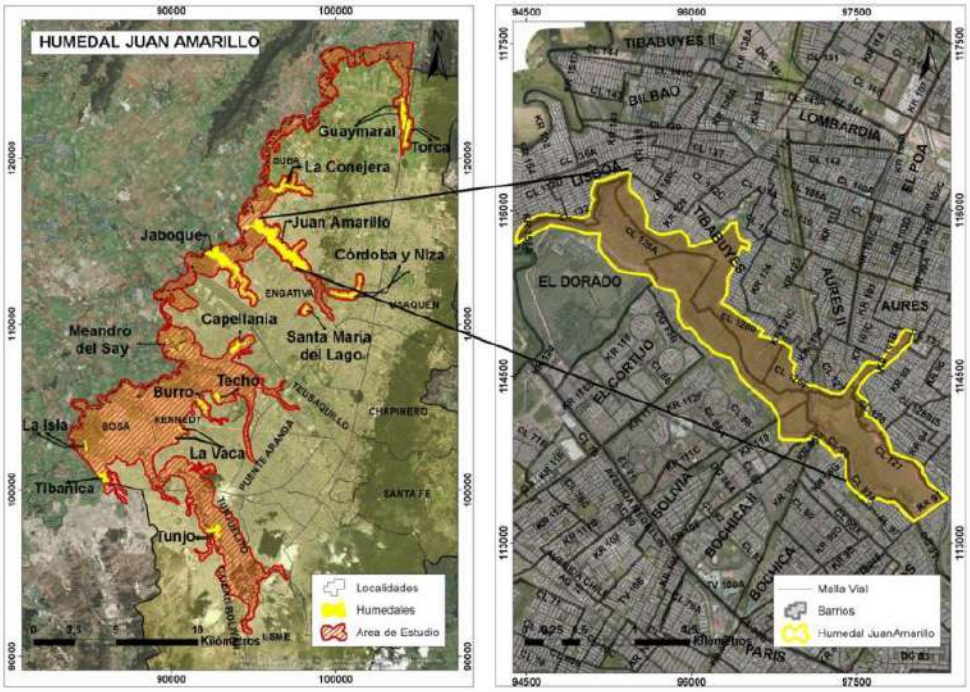


Figura 183. Humedal Juan Amarillo ubicación.
Fuente: Secretaría de Ambiente Bogotá. (2019).

- Humedal La Conejera

El humedal La Conejera fue decretado Parque Ecológico Distrital de Humedal La Conejera, cuenta con un área de 58,9 ha incluyendo el Área Forestal Protectora o Zona de Manejo y Preservación Ambiental, se encuentra ubicado en la localidad de Suba en la sabana de Bogotá entre la quebrada La Salitrosa al oriente y el río Bogotá al occidente, el sector norte del humedal está rodeado en su mayoría por predios rurales, mientras que, al sur y al oriente se rodea por predios urbanizados; el humedal pertenece a la cuenca de Torca y a la subcuenca del río Bogotá, cuenta con una temperatura de 12,6°C y su precipitación es de 1000 mm por año, la humedad relativa es de 65%, velocidad del viento de 2,0 m/s dirección noreste, y además cuenta con suelos arcillosos con ciento de metros de profundidad. El principal afluente del humedal es la Quebrada La Salitrosa, que nace en el Cerro La Conejera; el humedal contribuye a la regulación del caudal del río Bogotá, tanto en época de lluvias como en temporadas de estiaje, y mantiene un nivel hídrico estable. Actualmente, su capacidad de regulación se ha visto afectada por la desecación de sus afluentes primarios y nacederos que captan el agua de los cerros de La Conejera y El Indio.

Actualmente el PEDH La Conejera, cuenta con algunas problemáticas como lo son afectación de la calidad del agua debido a las conexiones erradas y a los residuos sólidos que llegan por el sistema pluvial de áreas aledañas, problemas de seguridad, deterioro y transgresión de la malla de cerramiento, presencia de habitantes de calle y zonas de consumo de sustancias psicoactivas, viviendas ubicadas al interior del límite legal, competencia agresiva con la flora típica por parte de pastos y especies acuáticas y forestales introducidas, presencia de animales domésticos, colmatación del humedal por

aportes de sedimentos, entre otras. En la Figura 184 se presentan imágenes del humedal La Conejera y en la Figura 185 una imagen de su localización en planta.



Figura 184. Humedal La Conejera.
Fuente: Secretaría de Ambiente Bogotá. (2019).

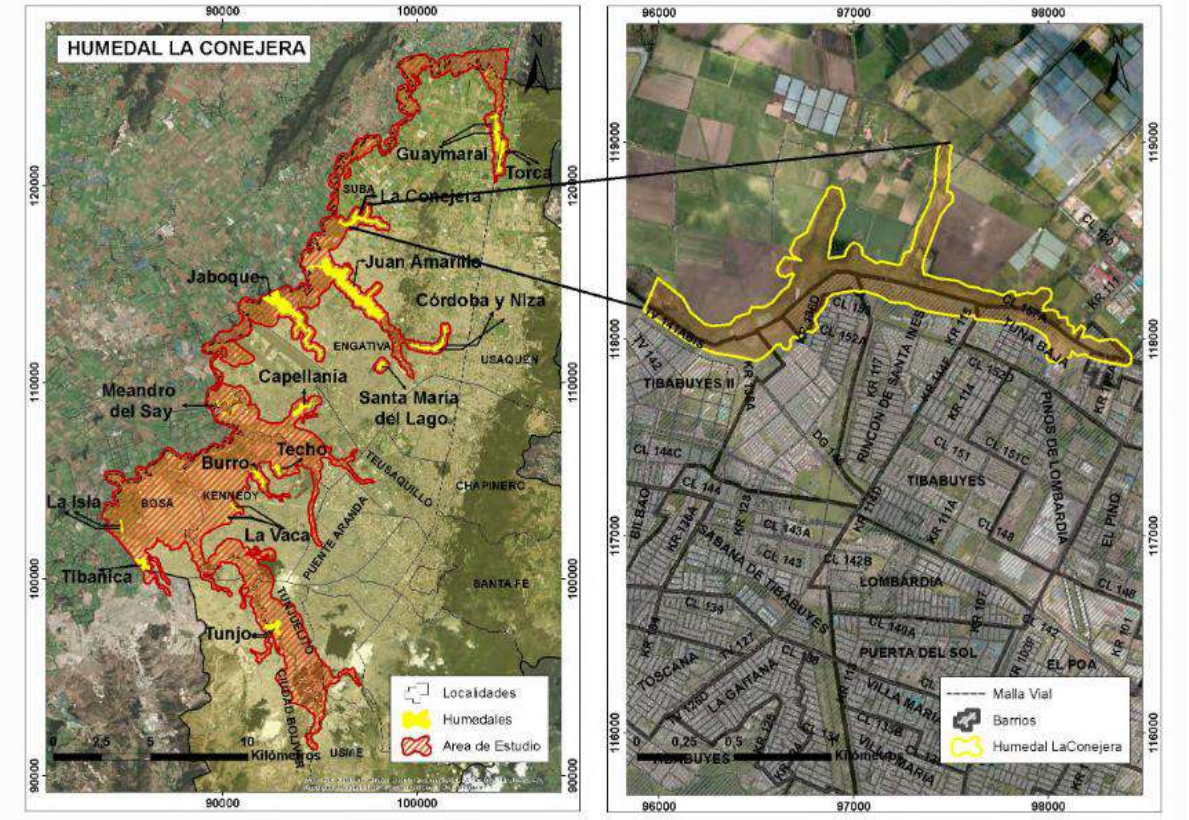


Figura 185. Ubicación Humedal La Conejera.
Fuente: Secretaría de Ambiente Bogotá. (2019).

5.2.2.1.12. Características morfométricas de las subcuencas analizadas

Se estimaron las principales características morfométricas para las subcuencas de los sistemas lóticos identificados. Las características estimadas para los sistemas lóticos corresponden a: área, perímetro, longitud, factor de forma, índice de compacidad, pendiente del cauce principal, densidad de drenaje, densidad de corrientes, tiempo de concentración. Estas características fueron identificadas teniendo en cuenta la cartografía base a escala 1:10 000, considerando la complementación mediante fotointerpretación y la revisión con imagen satelital. En la Figura 186 se presenta la delimitación de cuencas realizados para los sitios de cruce con la línea 2 del metro de Bogotá, se resalta que los cruces con los cuerpos de agua son solo en la vista en planta ya que estos se localizan a nivel de terreno y el trazado para la línea 2 del metro se proyecta de forma subterránea en gran parte de su recorrido incluidos los pasos con los cuerpos de agua.

Adicionalmente, se hace la aclaración que no se va a intervenir ninguna fuente o cuerpo de agua, a razón de que la línea 2 del metro es subterránea. En otras palabras, no se tienen áreas de influencia, por lo tanto no se generarán conflictos sobre la disponibilidad y usos de agua.

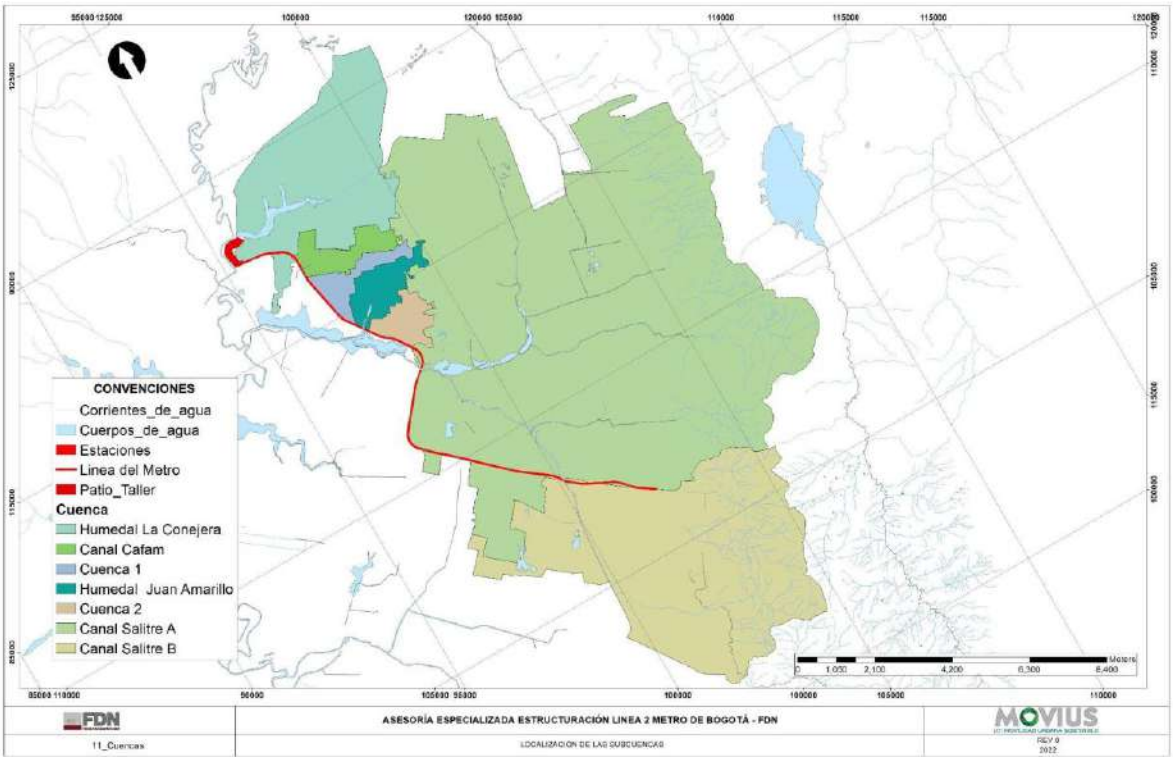


Figura 186. Localización de las subcuencas delimitadas para la línea 2 del metro.[6]
Fuente: Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.12.1. Área de drenaje

Es la superficie del terreno que contribuye al escurrimiento, hacia el cauce principal y sus tributarios, delimitada por la divisoria de aguas o línea imaginaria que se ubica en los puntos de mayor elevación topográfica. En la Tabla 103 se presentan las áreas de drenaje para las cuencas delimitadas con el trazado del proyecto.

Tabla 103. Área de drenaje de las subcuencas.

No.	Subcuenca	A (km^2)
1	Humedal La Conejera	16,37
2	Canal Cafam	2,02
3	Cuenca 1	1,64

[6] *Nota: La pendiente promedio, la densidad de corrientes y la densidad de drenajes de la subcuenca del río Bogotá fueron estimadas usando cartografía 1:10.000 del Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC).*

No.	Subcuenca	A (km²)
4	Humedal Juan Amarillo	2,17
5	Cuenca 2	1,64
6	Canal Salitre B	32,47
7	Canal Salitre Completo[7]	121,30

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.12.2. Perímetro

Corresponde a la longitud de la línea divisoria de la cuenca de drenaje, en la Tabla 104 se presenta el perímetro para las cuencas delimitadas con el trazado del proyecto.

Tabla 104. Perímetro de las subcuencas.

No.	Subcuenca	P (km)
1	Humedal La Conejera	24,54
2	Canal Cafam	9,7
3	Cuenca 1	9,75
4	Humedal Juan Amarillo	10,11
5	Cuenca 2	8,26
6	Canal Salitre B	33,72
7	Canal Salitre Completo	71,95

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.12.3. Longitud del cauce principal

Es la distancia medida desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de confluencia con otro cauce o hasta el punto de interés a caracterizar. En la Tabla 105 se presentan las longitudes de los cauces principales definidos para las cuencas delimitadas con el trazado del proyecto.

[7] El Canal Salitre Completo es el conjunto del canal salitre A y Salitre B.

Tabla 105. Longitud del cauce principal.

No.	Subcuenca	Lc (km)
1	Humedal La Conejera	4,57
2	Canal Cafam	0,30
3	Cuenca 1	2,30
4	Humedal Juan Amarillo	0,60
5	Cuenca 2	0,97
6	Canal Salitre B	10,41
7	Canal Salitre Completo	15,85

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.12.4. Factor de forma

Se realizó además la estimación del factor de forma de la cuenca, el cual relaciona el ancho y su longitud, mediante la Ecuación 10:

$$F = \frac{A_c}{L_c^2}$$

Ecuación 10. Factor forma

Dónde:
A= Área de la cuenca (km²)
L= Longitud de la subcuenca (km)

Dependiendo del valor del factor de forma la cuenca se clasifica como se presenta en la Tabla 106.

Tabla 106. Clasificación del factor de forma de la cuenca.

F	Forma
<1	Tiende a ser alargada
1	Cuadrada
>1	Tiende a ser cuadrada

Fuente: FAO. *Unasylva - No. 147 - IX Congreso forestal mundial México*. (1985)

A partir de los parámetros determinados previamente y empleando la Ecuación 10, se estableció el factor forma de cada una de las subcuencas delimitadas con el trazado del proyecto. En la Tabla 107 se presentan los resultados del factor de forma:

Tabla 107. Factor de forma de las subcuencas.

No.	Subcuenca	F	Clasificación F
1	Humedal La Conejera	0,78	Tiende a ser alargada
2	Canal Cafam	22,73	Tiende a ser cuadrada
3	Cuenca 1	0,31	Tiende a ser alargada
4	Humedal Juan Amarillo	5,92	Tiende a ser cuadrada
5	Cuenca 2	1,74	Tiende a ser cuadrada
6	Canal Salitre B	0,30	Tiende a ser alargada
7	Canal Salitre Completo	0,48	Tiende a ser alargada

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.12.5. Índice de compacidad

El índice de compacidad de una cuenca está definido como:

$$Kc = 0{,}282 \cdot \frac{P}{A^{0{,}5}}$$

Ecuación 11. Índice de compacidad

Donde:
Kc: Índice de compacidad
P: Perímetro de la cuenca, en (km).
A: Área de la cuenca, en (km²)

Dependiendo del valor del índice de compacidad la cuenca se clasifica como se presenta en la Tabla 108.

Tabla 108. Clasificación del índice de compacidad de la cuenca.

Índice de compacidad	Forma
1,00 < Kc < 1,25	Redonda a oval redonda
1,25 <Kc < 1,50	Oval redonda a oval oblonga
1,50 <Kc < 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga

Kc > 1,75	Rectangular oblonga

Fuente: FAO. *Unasylva - No. 147 - IX Congreso forestal mundial México*. (1985)

A partir de los parámetros previamente determinados se estimó el valor del índice de compacidad para las cuencas delimitadas. En la Tabla 109 se presentan los resultados estimados para este parámetro.

Tabla 109. Índice de compacidad de las subcuencas.

No.	Subcuenca	Kc	Clasificación Kc
1	Humedal La Conejera	1,71	Oval oblonga a rectangular oblonga
2	Canal Cafam	1,92	Rectangular oblonga
3	Cuenca 1	2,15	Rectangular oblonga
4	Humedal Juan Amarillo	1,94	Rectangular oblonga
5	Cuenca 2	1,82	Rectangular oblonga
6	Canal Salitre B	1,67	Oval oblonga a rectangular oblonga
7	Canal Salitre Completo	1,84	Rectangular oblonga

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.12.6. Pendiente del cauce (S)

La pendiente media del cauce principal se determinó mediante la metodología de Taylor - Schwartz, que tiene la formulación mostrada a continuación en la Ecuación 12.

$$S = \left[\frac{L}{\Sigma\left(\frac{L_i}{\sqrt{Si}}\right)}\right]^2$$

Ecuación 12. Pendiente del cauce

Donde:

S: Pendiente media del cauce principal (m/m)
Li: Longitud del tramo entre las curvas de nivel (m)
Si: Pendiente media del tramo (m/m)

A partir de la longitud definida para cada uno de los cauces analizados y la diferencia de nivel entre el inicio y final de estos, se determinó la pendiente media de cada cauce. En la Tabla 110 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 110. Pendientes de las subcuencas.

No.	Subcuenca	S (m/m)
1	Humedal La Conejera	0,10%
2	Canal Cafam	0,10%
3	Cuenca 1	0,60%
4	Humedal Juan Amarillo	0,20%
5	Cuenca 2	0,30%
6	Canal Salitre B	9,50%
7	Canal Salitre Completo	1,90%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.12.7. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que toma el agua superficial en llegar desde el punto más alejado de la subcuenca hasta el sitio de interés. Para las subcuencas en estudio el tiempo de concentración se calculó utilizando diferentes metodologías con el fin de aumentar el grado de certeza. En la Tabla 111 se presentan las diferentes metodologías utilizadas:

Tabla 111. Formulaciones empíricas para el cálculo del tiempo de concentración.

Fórmula	Ecuación	Parámetros
Kirpich	$Tc = 0{,}06628 \cdot \left(\frac{L_D}{S^{0,5}}\right)^{0,77}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)
Temez	$Tc = 0{,}3 \cdot \left(\frac{L_D}{S^{0,25}}\right)^{0,76}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (%)
Williams	$Tc = 0{,}683 \cdot \left(\frac{LA^{0,4}}{DS^{0,25}}\right)$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) D = Diámetro de una cuenca circular con área A (km) A = Área de la cuenca (km²)
Bransby - Williams	$Tc = \frac{14{,}6L}{(A^{0,1}) \cdot (S^{0,2})}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (min) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m) A = Área de la cuenca (km²)

Fórmula	Ecuación	Parámetros
Giandotti	$Tc = \left(\frac{4\sqrt{A} + 1{,}5L}{25{,}3\sqrt{LS}}\right)$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m) A = Área de la cuenca (km²)
Johnstone y Cross	$Tc = 2{,}6 \cdot \left(\frac{L}{S^{0,5}}\right)^{0,5}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/km)
SCS - Ranser	$Tc = 0{,}947 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) H = Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente principal (m)
Ventura - Heras	$Tc = 0{,}3 \cdot \left(\frac{L}{S^{0,25}}\right)^{0,75}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (%)
Ven Te Chow	$Tc = 0{,}73 \cdot \left(\frac{L}{S^{0,5}}\right)^{0,64}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)
Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos	$Tc = 0{,}28 \cdot \left(\frac{L}{S^{0,25}}\right)^{0,76}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)

Fuente: Adaptada de Germán Monsalve Sáenz, 1995, Chow, Maidment, & Mays, 1994 e INVIAS, 2009,

En el caso del cálculo de tiempos de concentración se aplicaron varias metodologías empíricas deducidas en otros países cuyas cuencas de estudio poseen características diferentes entre sí; por ejemplo, el método de Kirpich fue deducido en pequeñas cuencas agrícolas (áreas entre 0,004 y 0,453 km²) de Tennesse y Pensilvania, mientras que el SCS desarrolló su ecuación como la suma de tiempos de viaje individual para diferentes regiones (áreas menores a 8 km²), desde zonas boscosas con cauces pendientes a planicies con escorrentía lenta y zonas impermeables. Por otro lado, las ecuaciones empíricas no tienen en cuenta el efecto de la vegetación, a excepción de las que involucran número de curva o coeficiente de escorrentía. Estos aspectos aumentan el grado de incertidumbre en el cálculo del tiempo de concentración.

De acuerdo con estudios realizados en Colombia, como la Hidrología de Antioquia y el artículo de Vélez et. al. (2010) sobre estimación de tiempos de concentración, se recomienda el uso del mayor número de metodologías para estimar el tiempo de concentración, descartando los resultados que estén por fuera del rango medio, con el fin de reducir la incertidumbre asociada.

Teniendo en cuenta los anteriores estudios y las restricciones que tienen los métodos en su etapa de deducción tanto en área de drenaje como en pendiente del cauce y cobertura vegetal, se adopta la recomendación de emplear el promedio de los tiempos de concentración estimados con las diferentes metodologías empíricas presentadas, descartando previamente los valores que se encuentran por fuera del rango de confianza definido por la media aritmética y la desviación estándar de los resultados mencionados (media menos desviación estándar hasta media más desviación estándar).

En la Tabla 112 se presentan los resultados de los tiempos de concentración estimados con cada método, indicando que para los posteriores análisis se utilizará el valor estimado mediante el método de Kirpich.

Tabla 112. Tiempos de concentración de las subcuencas.

No.	Subcuenca	Tiempos de concentración Tc (Min)									
		Kirpich	Témez	Williams	Bransby-williams	Giandotti	Johnstone y cross	Scs - ranser	Ventura - heras	Ven te chow	C.I.E.E.U
1	Humedal La Conejera	194,63	218,8	734,62	207,44	870,58	1951,27	125,55	211,73	134,22	204,22
2	Canal Cafam	25,66	28,53	62,04	17,35	1001,78	523,51	37,17	28,36	24,14	26,63
3	Cuenca 1	55,6	90,82	290,73	90,19	178,37	864,95	41,8	88,91	64,01	84,77
4	Humedal Juan Amarillo	29,46	39,95	95,97	28,29	459,69	572,62	27,95	39,53	32,05	37,29
5	Cuenca 2	38,89	54,8	149,58	44,58	314,65	685,8	24,86	54	41,83	51,14
6	Canal Salitre B	59,85	167,1	481,12	171,91	91,42	907,34	402,11	162,27	106,96	155,96
7	Canal Salitre Completo	153,64	312,2	959,86	316,48	292,26	1673,49	569,45	300,7	181,06	291,39

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.12.8. Índice de sinuosidad

El índice de sinuosidad se define mediante la Ecuación 13:

$$Ks = \frac{Lr}{L}$$

Ecuación 13. Índice de sinuosidad

Donde:
Ks: Índice de sinuosidad.
Lr: Longitud en línea recta del cauce principal (km).
L: Longitud del cauce principal (km).

Dependiendo del valor del índice de sinuosidad las subcuencas se clasifican como se indica en la Tabla 113.

Tabla 113. Clasificación del índice de sinuosidad de la subcuenca.

Índice de sinuosidad	Tipo de drenaje
Ks < 1,05	Drenaje rectilíneo

Índice de sinuosidad	Tipo de drenaje
1,05 < Ks < 1,5	Drenaje transicional
1,5 < Ks < 1,8	Drenaje regular
1,8 < Ks < 2,0	Drenaje irregular
Ks > 2,0	Drenaje tortuoso

Fuente: FAO. *Unasylva - No. 147 - IX Congreso forestal mundial México*. (1985)

A partir de los parámetros determinados previamente, se calcula el índice de sinuosidad para cada una de las subcuencas, los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 114.

Tabla 114. Índice de sinuosidad de las subcuencas.

No.	Subcuenca	Ks	Clasificación Ks
1	Humedal La Conejera	0,88	Drenaje rectilíneo
2	Canal Cafam	0,87	Drenaje rectilíneo
3	Cuenca 1	0,70	Drenaje rectilíneo
4	Humedal Juan Amarillo	0,97	Drenaje rectilíneo
5	Cuenca 2	0,97	Drenaje rectilíneo
6	Canal Salitre B	0,70	Drenaje rectilíneo
7	Canal Salitre Completo	0,76	Drenaje rectilíneo

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.12.9. Densidad de drenaje

Corresponde a la relación entre la longitud total de los cuerpos de agua dentro de la cuenca en km y el área total de ésta en km^2. Generalmente se expresa en km/km^2 y es calculado mediante la Ecuación 14.

$$D_d = \frac{\Sigma L}{A}$$

Ecuación 14. Densidad de drenaje

Donde:
Dd es la densidad de drenaje en km/km²
L es la longitud de cauces en km
A es el área del cauce en km²

En la Tabla 115 se presentan los resultados obtenidos para determinar la densidad de drenaje para cada subcuenca.

Tabla 115. Densidad de drenaje de las subcuencas.

No.	Subcuenca	Dd (km/km²)
1	Humedal La Conejera	0,28
2	Canal Cafam	0,15
3	Cuenca 1	1,40
4	Humedal Juan Amarillo	0,28
5	Cuenca 2	0,59
6	Canal Salitre B	0,32
7	Canal Salitre Completo	0,13

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.12.10. Patrones de drenaje

Los patrones de drenaje establecen la forma como una red se aprecia en una determinada zona; son influenciados por el clima y el relieve, pero principalmente la estructura geológica subyacente resulta ser un factor clave. Teniendo en cuenta la clasificación gráfica presentada en la Figura 187, se define el patrón de drenaje para cada una de las cuencas delimitadas con el proyecto. Para el humedal La Conejera y Cuenca 2 se determina que estas son de tipo angular, para el canal Cafam, Cuenca 1 y el canal Salitre B el patrón de drenaje es de tipo rectangular, y para la cuenca canal Salitre Completo el patrón es es rectangular y dendrítico.

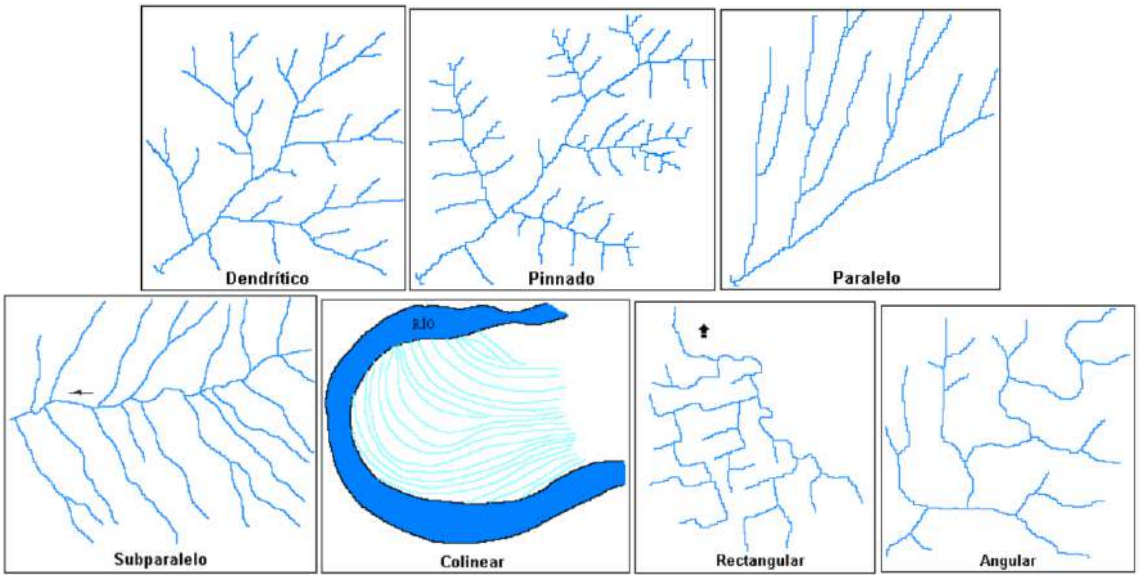


Figura 187. Patrones de drenaje de tipo Erosional
Fuente: Londoño. *Cuencas Hidrográficas: Bases Conceptuales - Caracterización Planificación - Administración*. (2001).

El cálculo de los parámetros morfométricos para las subcuencas delimitadas y analizadas se presentan detallado en el Anexo 5.2 -5.1 - Hidrología.

5.2.2.1.13. Zonas de recarga

Se identifican las zonas de recarga a partir del POMCA del río Bogotá. En la Figura 189 se observa que las zonas de recarga aparecen parcialmente al sureste de todas las subcuencas. En la parte alta de las las cuencas salitre A y B se evidencia la formación de una zonas de recarga la cual está relacionada con la formación rocosa de los cerros orientales y en la parte baja también se evidencia zonas de recarga asociadas a los caudales transportados por el río bogotá. En la zona de transición entre los cerros y el río de Bogotá, se presentan zonas de recarga. El análisis del nivel freático del área de estudio se encuentra en el capítulo 5.2.2.5. Hidrogeología (5.2.2.5.10. Nivel freático).

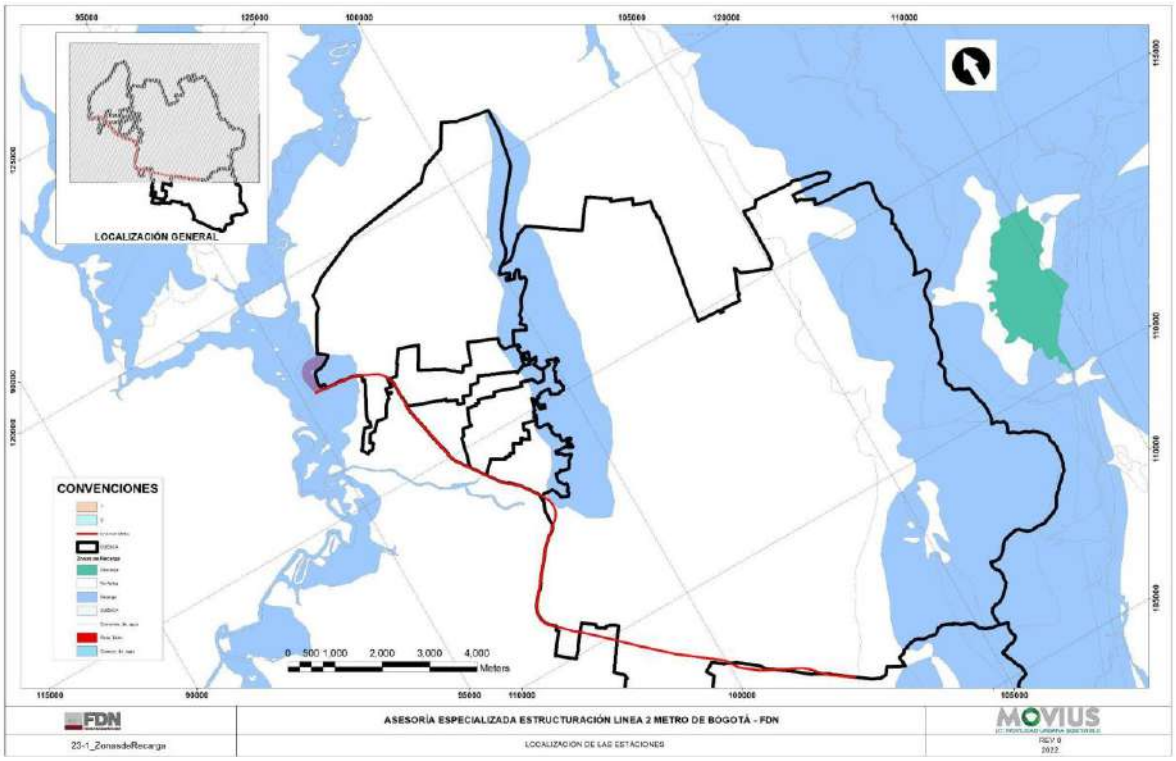


Figura 188. Zonas de recarga 1/2.
Fuente: POMCA. *POMCA Río Bogotá*, (2017).

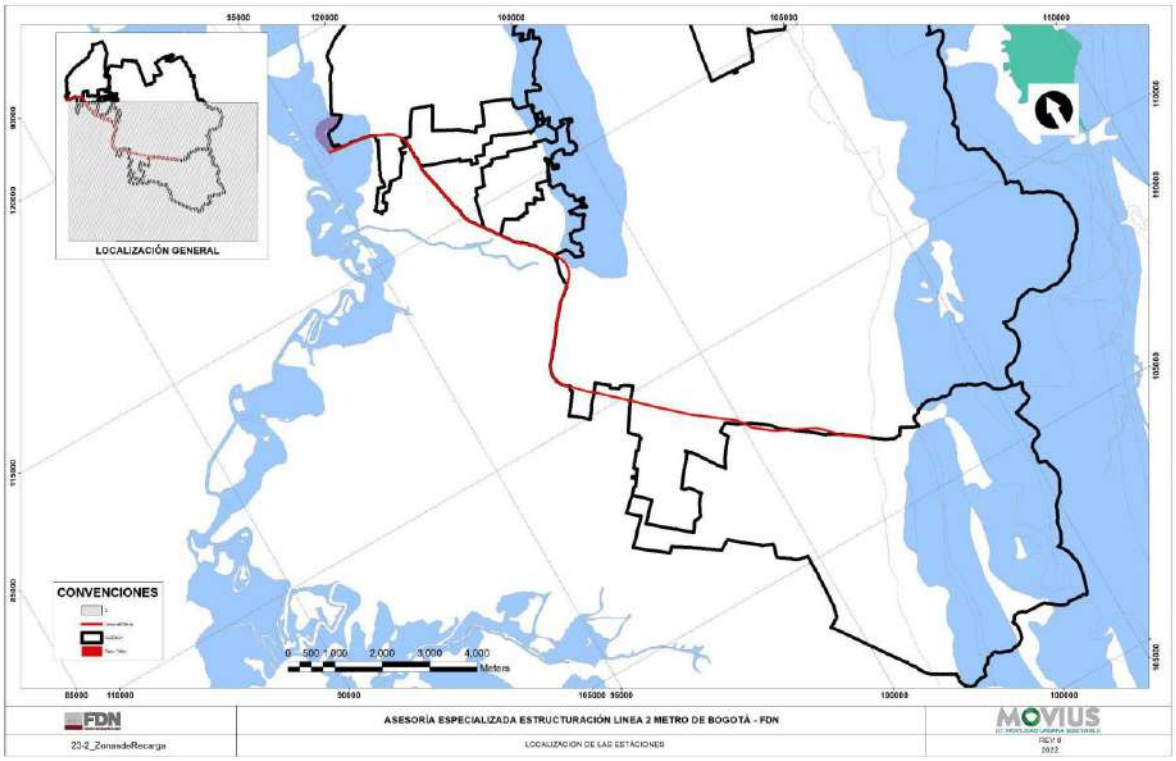


Figura 189. Zonas de recarga 2/2.
Fuente: POMCA. *POMCA Río Bogotá*, (2017).

5.2.2.1.14. Tasa de cambio

5.2.2.1.14.1. Precipitación

A partir de la revisión realizada a la información disponible en la página del IDEAM se obtiene la tasa de cambio en la precipitación como una representación de la variación de la precipitación entre los años 2011 a 2040 vs 1976 a 2005 (ver Figura 190) y como una representación de la variación de la precipitación entre los años 2041 a 2070 vs 1976 a 2005 (ver Figura 191).

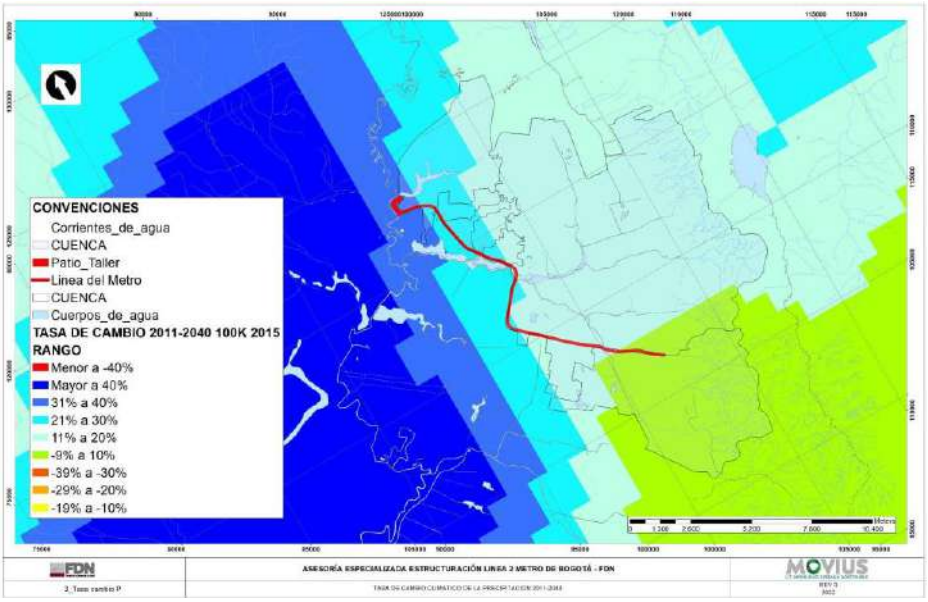


Figura 190. Tasa de cambio climático de la precipitación 2011-2040.
Fuente: IDEAM - Cambio precipitación 2011-2040 vs 1976-2005, (2015).

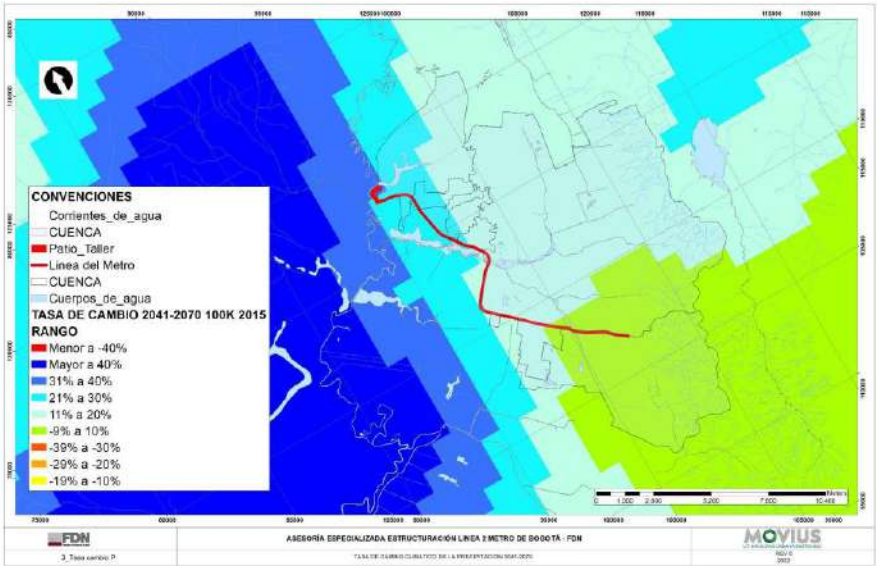


Figura 191. Tasa de cambio climático de la precipitación 2041-2070.
Fuente: IDEAM - Cambio precipitación 2041-2070 vs 1976-2005, (2015).

Del análisis e interpretación a los dos escenarios evaluados se obtienen los resultados indicados en la Tabla 116, de estos resultados los posibles efectos que se pueden tener a mediano y largo plazo en el comportamiento de las precipitaciones es el aumento en la intensidad de las mismas, generando aumento en la posibilidad de inundaciones dentro de la zona urbana, afectando la movilidad, las viviendas o estructuras. En los numerales 5.1.2.1.23. Susceptibilidad por inundaciones

y 5.1.2.1.24. Susceptibilidad por avenidas torrenciales se analizan en detalle la susceptibilidad por inundación y avenidas torrenciales respectivamente. Otra posible consecuencia asociada al aumento de las precipitaciones es la erosión de las calles sin pavimentar, por el transporte de sedimentos, no obstante, revisando la dinámica fluvial en la zona del proyecto (5.1.2.1.17. Dinámica fluvial), se determina que para las subcuencas analizadas que cruzan con la línea del metro, estas no se ven afectadas por el transporte de sedimentos teniendo en cuenta que se tienen coberturas impermeables tipo concreto las cuales permiten mantener la estabilidad de la sección y el trazado de los drenajes tanto en planta como en perfil.

Tabla 116. Tasa de cambio de la precipitación.

Subcuenca	2011 - 2040	2041-2070
Humedal La Conejera	21% a 30%	21% a 30%
Canal Cafam	21% a 30%	21% a 30%
Cuenca 1	21% a 30%	21% a 30%
Humedal Juan Amarillo	11% a 20%	11% a 20%
Cuenca 2	11% a 20%	11% a 20%
Canal Salitre B	-9% a 10%	-9% a 10%
Canal Salitre Completa	11% a 20%	11% a 20%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.14.2. Temperatura

Al igual que para la precipitación, de la revisión realizada a la información disponible en la página del IDEAM se obtiene la tasa de cambio en la temperatura como una representación de la variación de esta entre los años 2011 a 2040 vs 1976 a 2005 (ver Figura 192). En la Tabla 117 se presentan los resultados de los análisis realizados, los posibles efectos a mediano o largo plazo asociados al aumento de la temperatura pueden llevar a un mayor consumo del recurso hídrico e incremento en los valores de evapotranspiración.

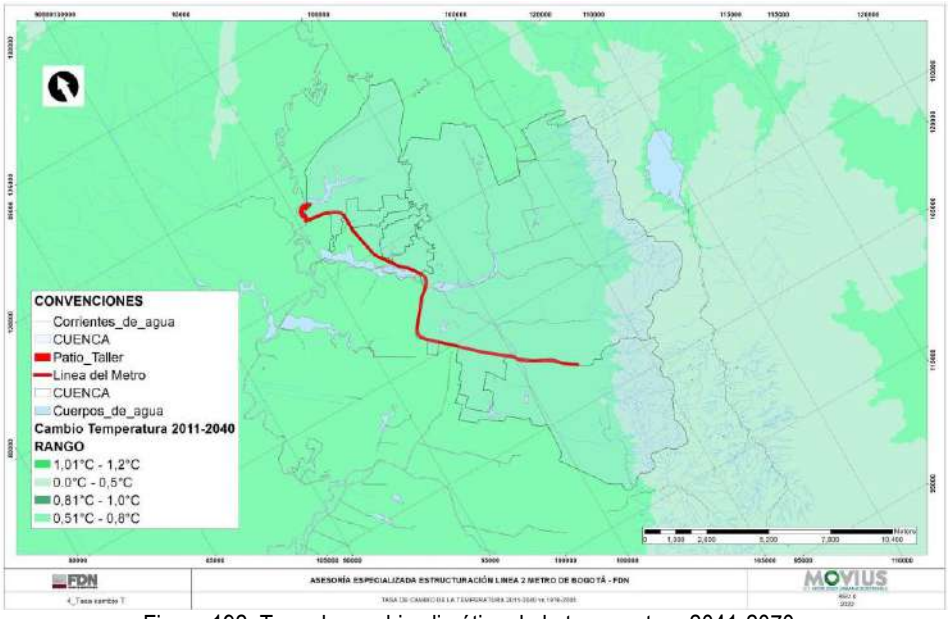


Figura 192. Tasa de cambio climático de la temperatura 2041-2070.
Fuente: IDEAM - Cambio temperatura 2041-2070 vs 1976-2005, (2015).

Tabla 117. Tasa de cambio de la temperatura.

Subcuenca	2011 - 2040
Humedal Juan Amarillo	0,51°C - 0,8°C
Canal Cafam	0,51°C - 0,8°C
Cuenca 1	0,51°C - 0,8°C
Humedal La Conejera	0,51°C - 0,8°C
Cuenca 2	0,51°C - 0,8°C
Canal Salitre B	0,51°C - 0,8°C
Canal Salitre Completa	0,51°C - 0,8°C

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.14.3. Caudal

Teniendo en cuenta que la información de caudales no se encuentra disponible para estimar la tasa de cambio, esta se definirá a partir de la precipitación, en donde se supondrá que el coeficiente de escorrentía (C) será constante, por lo que la tasa de cambio en los valores de caudal se podría considerar como se indica en la Tabla 118.

Tabla 118. Tasa de cambio de los caudales.

Subcuenca	2011 - 2040	2041-2070
Humedal La Conejera	21% a 30%	11% a 20%
Canal Cafam	21% a 30%	21% a 30%
Cuenca 1	21% a 30%	21% a 30%
Humedal Juan Amarillo	11% a 20%	11% a 20%
Cuenca 2	11% a 20%	11% a 20%
Canal Salitre B	-9% a 10%	-9% a 10%
Canal Salitre Completa	11% a 20%	11% a 20%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.15. Caracterización hidrológica

Se caracterizaron hidrológicamente las subcuencas de los cauces hasta el cruce con el trazado en términos de caudales medios, máximos y mínimos. Además se realizó la estimación del caudal ambiental mediante la metodología ANLA 2013, así como la estimación de los índices hidrológicos de uso del agua, índice de regulación hídrica, índice de aridez y de vulnerabilidad hídrica. Los registros recopilados en el IDEAM, EAAB, CAR y La Secretaria Distrital de Ambiental para la caracterización hidrológica se presentan en el Anexo 5.2 -5.1 - Hidrología. Se resalta que los cruces con los cuerpos de agua son solo en la vista en planta ya que estos se localizan a nivel de terreno y el trazado para la línea 2 del metro se proyecta de forma subterránea en gran parte de su recorrido incluidos los pasos con los cuerpos de agua.

5.2.2.1.15.1. Caudales medios

Para la estimación de los caudales medios inicialmente se identificaron las estaciones limnimétricas y limnigráficas en la zona de estudio (ver Tabla 119), sin embargo, se evidencia que estas quedan fuera de las cuencas analizadas o en zonas donde sus áreas de drenaje no son representativas.

Tabla 119. Estaciones de caudal.

Código	Entidad	Nombre	Categoría[8]	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Norte	Este
2120810	EAAB	Río Bogotá - Vuelta Grande	LG	Susp	Río Bogotá	2570	117103,44	94800,44
2120888	EAAB	Río Bogotá El Cortijo	LG	Activa	Río Bogotá	2540	115002,58	94600,56
2120889	EAAB	Rio Bogota Chicu	LG	Activa	Río Bogotá	2550	117353,53	94750,40
2120948	EAAB	Qda. Chico - Tramonti	LG	Activa	Quebrada Chico	2760	107730,62	104455,16
2120949	EAAB	Qda. La Vieja - Ventana - Captación	LG	Activa	Quebrada La Vieja	2850	105239,58	103925,18
2120951	EAAB	Arzobispo - Parque Nacional	LG	Activa	Río Arzobispo	2730	102928,27	99803,76

Fuente: EAAB, (2022)

Teniendo en cuenta que la zona donde se proyecta el patio taller para la línea 2 del metro de Bogotá se localiza en las proximidades del río Bogotá, se realizó una evaluación de esta con el fin de revisar si la Ronda Hídrica y la Zona de Manejo de Prevención Ambiental (ZMPA) se cruzan con la franja proyectada para la línea 2 del metro o con el polígono definido para el patio taller. De acuerdo con lo plasmado en la Figura 193, Figura 194 y Figura 195, se confirma que no existen interferencias con la ronda hídrica y con la zona de manejo de prevención ambiental del río Bogotá, por lo que las estaciones Vuelta Grande, El Cortijo y Chicu se utilizarán únicamente para calcular el rendimiento hídrico de ese sector.

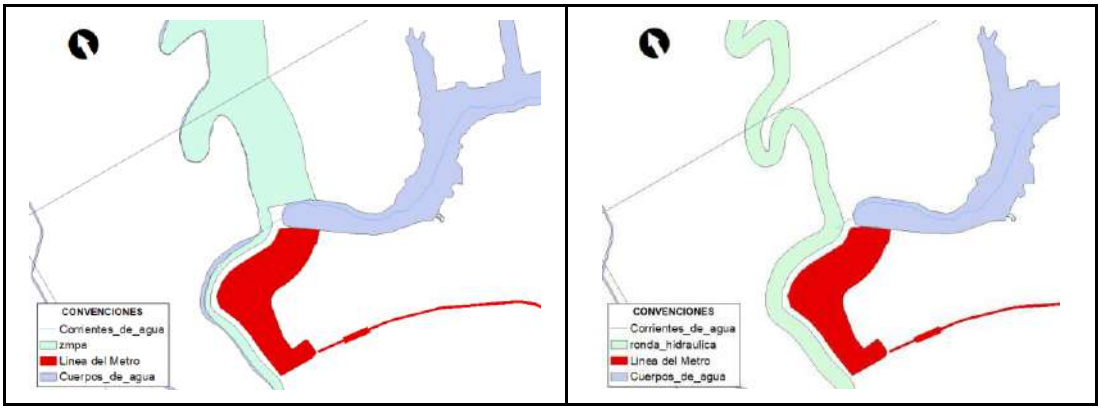


Figura 193. Ronda hidráulica y ZMPA en el Río Bogotá
Fuente: IDIGER. *Ronda Hidráulica Bogotá D.C y Zona de manejo y preservación ambiental*, (2019).

[8] LM: Limnimétrica, LG:Limnigráfica

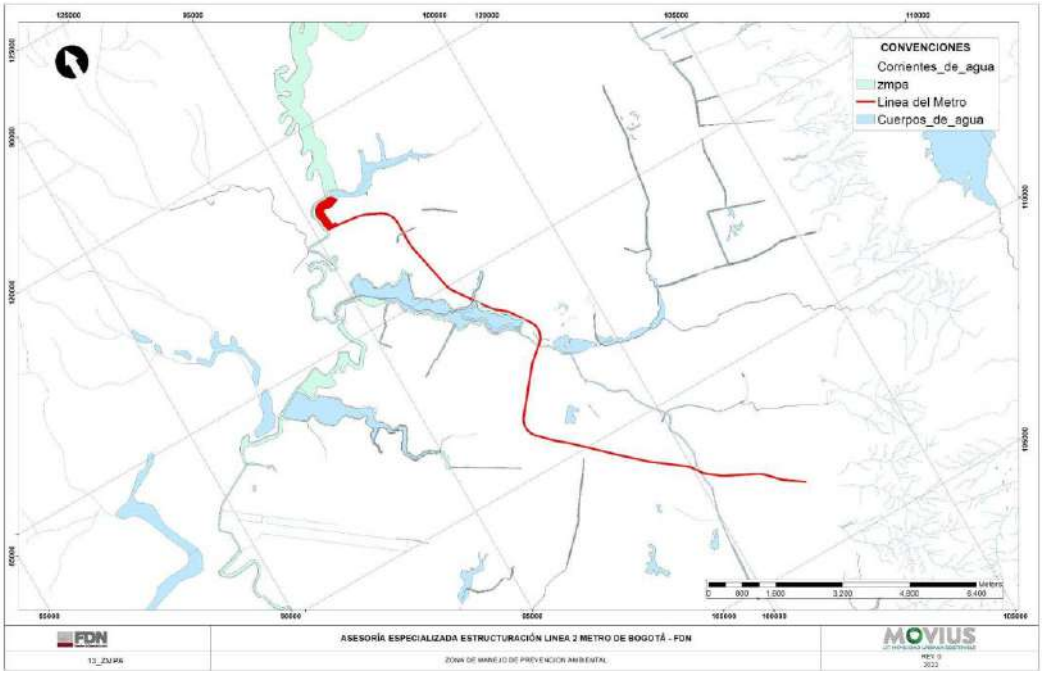


Figura 194. Localización de ZMPA y línea 2 del metro
Fuente: IDIGER. *Zona de manejo y preservación ambiental*, (2019).

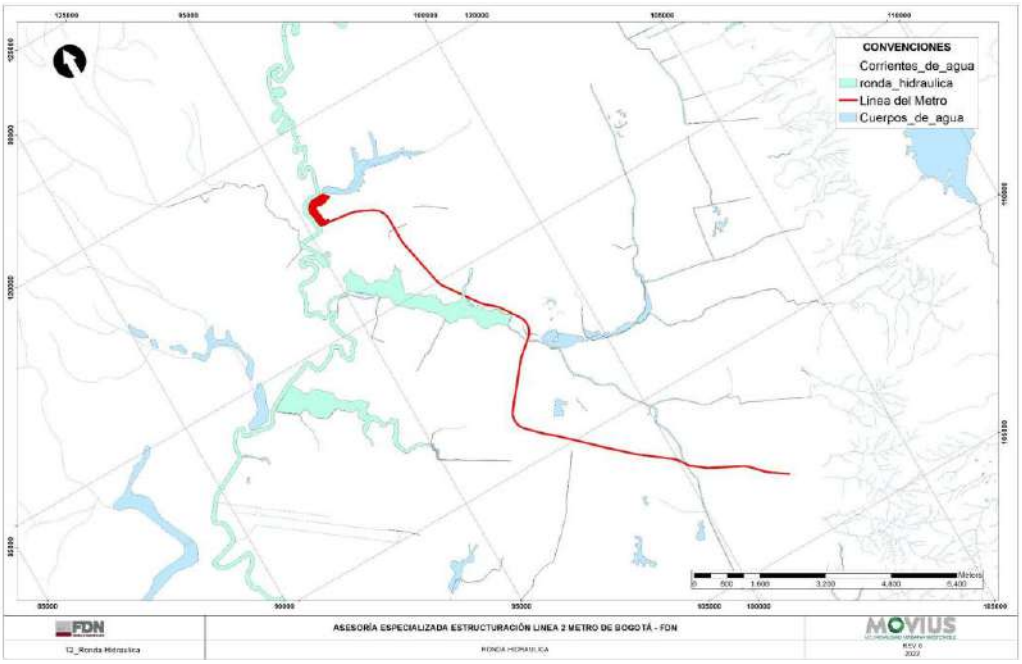


Figura 195. Localización de Ronda Hidráulica y línea 2 del metro

Fuente: IDIGER. *Ronda Hidráulica. Bogotá D.C*., (2018).

La definición de los caudales medios para cada subcuenca y para cada mes se realizó a partir de los registros para la precipitación media, el coeficiente de escorrentía y el área de las cuencas delimitadas. A continuación se presentan los criterios utilizados y los resultados de los análisis realizados.

- **Precipitación media:** Para el cálculo de la precipitación media se utilizará el método de las isoyetas siguiendo la formulación presentada en la Ecuación 15.

$$P = \frac{\sum_{j=1}^{m} \left[\left(P_j + P_{j+1}\right)/2\right] \cdot A_j}{\sum_{j=1}^{m} A_j}$$

Ecuación 15. Método de Isoyetas

Donde:
Pj: Precipitación de la Isoyeta
Aj: Área entre las isoyetas consecutivas (j y j+1)
m: Número total de isoyetas

En la Tabla 120 se presentan las precipitaciones medias mensuales para cada subcuenca delimitada.

Tabla 120. Resultados de la precipitación media mensual por el método de las isoyetas.

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Humedal La Conejera	37,81	56,27	78,32	104,67	94,65	53,46	44,58	45,64	63,38	103,33	106,23	57,3
Canal Cafam	41,78	58,62	83,87	107,39	97,98	50,81	43,90	46,36	63,20	104,21	112,63	61,23
Cuenca 1	43,10	59,42	86,00	108,43	99,43	50,38	44,00	46,78	63,20	104,58	115,11	62,54
Humedal Juan Amarillo	45,12	60,67	87,59	108,41	99,87	50,07	43,99	47,17	62,90	104,49	117,70	63,53
Cuenca 2	47,65	62,40	91,00	109,58	102,06	49,76	44,05	47,65	62,80	105,13	122,18	65,92
Canal Salitre B	61,52	73,03	109,98	124,61	121,16	79,64	73,53	62,81	55,93	121,83	150,12	81,69
Canal Salitre Completo	55,52	66,61	100,14	115,43	110,24	66,04	60,96	54,83	57,67	113,85	136,29	72,68

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Coeficiente de escorrentía:** Para el cálculo del coeficiente de escorrentía, se utilizarán las tablas de referencia presentadas en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS (ver Tabla 121) y el shape de coberturas disponible en el Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia del año 2017 del SIAC (ver Figura 196).

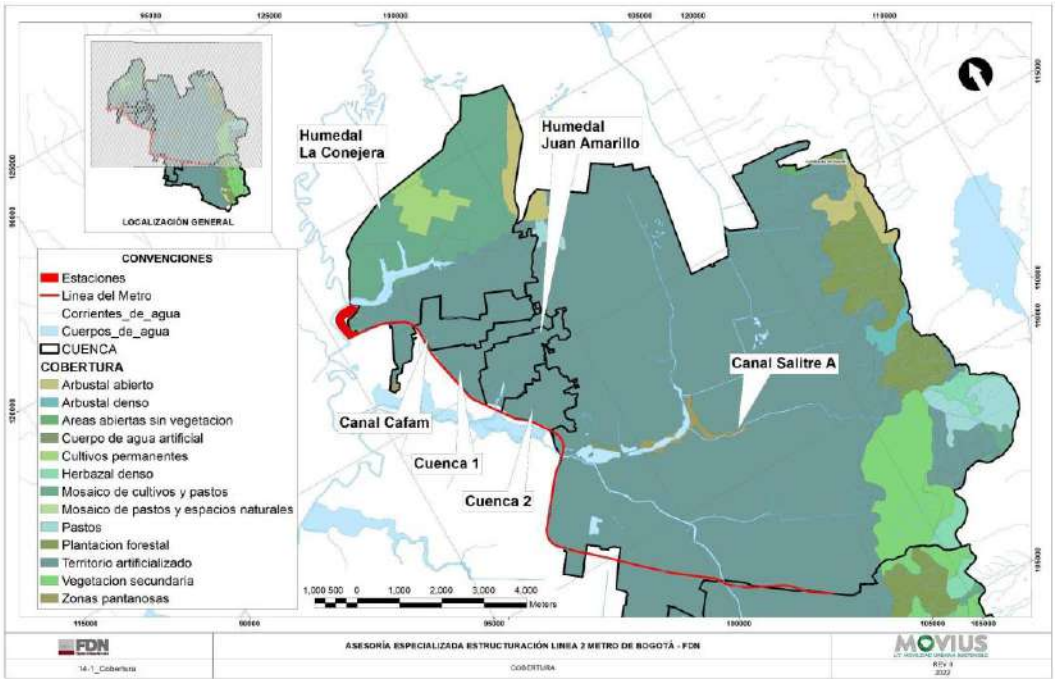


Figura 196. Cobertura de las subcuencas 1/2.
Fuente: SIAC. *Mapa de ecosistemas continentales, marinos y costeros de Colombia 2017. Versión 2.1*. (2017).

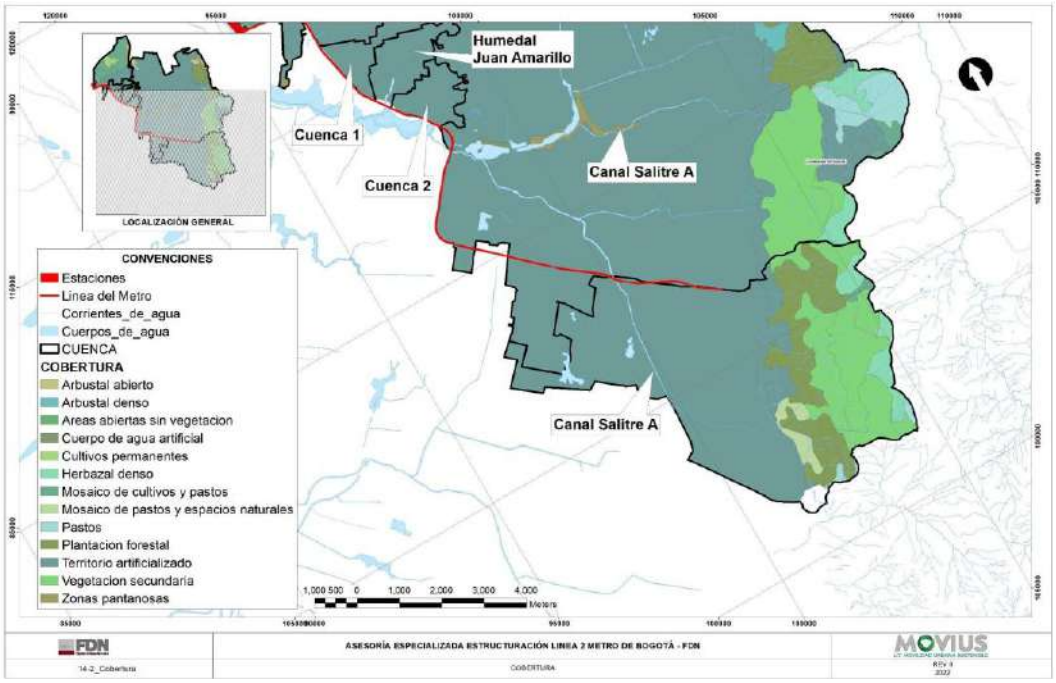


Figura 197. Cobertura de las subcuencas 2/2.

Fuente: SIAC. *Mapa de ecosistemas continentales, marinos y costeros de Colombia 2017. Versión 2.1*. (2017).

Tabla 121. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas urbanas y rurales.

TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C
PRADOS	
Suelos arenosos, planos, 2%	0.05 - 0.10
Suelos arenosos, promedio, 2 -7 %	0.15 - 0.20
Suelos pesados (arcillosos), planos, 2%	0.13 - 0.17
Suelos pesados (arcillosos), promedio, 2 -7 %	0.18 - 0.22
Suelos pesados (arcillosos), pendientes, 7%	0.25 - 0.35
DISTRITOS COMERCIALES	
Áreas de centro de ciudad	0.70 - 0.95
Áreas vecinas	0.50 - 0.70
RESIDENCIAL	
Casas individuales separadas	0.30 - 0.50
Casas multifamiliares separadas	0.40 - 0.60
Casas multifamiliares unidas	0.60 - 0.75
Suburbana	0.25 - 0.40
Áreas de apartamentos de vivienda	0.50 - 0.70
INDUSTRIAL	
Áreas livianas	0.50 - 0.80
Áreas pesadas	0.60 - 0.90
PARQUES CEMENTERIOS	0.10 - 0.25
CAMPOS DE JUEGOS	0.20 - 0.35
ÁREAS DE PATIOS DE FERROCARRILES	0.20 - 0.40
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0.10 - 0.30
CALLES	
Asfaltadas	0.70 - 0.95
Concreto	0.80 - 0.95
Ladrillo	0.70 - 0.85
CALZADAS Y ALAMEDAS	0.75 - 0.85
TECHOS	0.75 - 0.95

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82

Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.

Fuente: INVIAS. *Manual de Drenaje para Carreteras*. (2009).

A partir de la información del shape de coberturas y las recomendaciones del Manual de drenajes, se obtuvieron los resultados de coeficientes para cada subcuenca (ver Tabla 122).

Tabla 122. Coeficientes de escorrentía para cada subcuenca.

Cuencas	C
Humedal La Conejera	0,65
Canal Cafam	0,85
Cuenca 1	0,85
Humedal Juan Amarillo	0,85
Cuenca 2	0,85

Canal Salitre B	0,66
Canal Salitre Completo	0,73

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Adicionalmente, para establecer el porcentaje de error de los valores estimados para el coeficiente de escorrentía, se determina a partir de los registros de las estaciones de caudal dentro de las subcuencas el coeficiente de escorrentía calculado (C cal) definido con la Tabla 121 y el coeficiente de escorrentía real (C real) despejando este parámetro de la Ecuación 16, y utilizando los valores de precipitación media, área, y caudal registrado, obteniendo los resultados presentados en la Tabla 123.

Tabla 123. Cálculo del porcentaje de error del coeficiente de escorrentía.

Estación	A (km²)	P (mm)	Q (m³/s)	C Cal	C Real	Error
Tramonti -QDA. Chico (2120948)	1,81	1092,75	0,02	0,38	0,37	3%
Ventana-Captación - QDA. La Vieja (2120949)	1,26	1159,02	0,02	0,38	0,41	7%
Parque Nacional - Río Arzobispo (2120951)	2,87	1169,15	0,03	0,36	0,32	11%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Una vez definidos los parámetros requeridos para el cálculo del caudal medio; precipitación media (ver Tabla 120), coeficiente de escorrentía (ver Tabla 121) y áreas de drenaje para cada cuenca (ver Tabla 103), mediante la Ecuación 16 se calcula el caudal medio. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 124.

$$Q = C \cdot P \cdot A$$ Ecuación 16. Caudal medio

Tabla 124. Caudal medio mensual multianual y medio multianual.

Subcuenca	Caudal (m³/s)												Q (m³/s)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Humedal La Conejera	0,15	0,23	0,32	0,43	0,39	0,22	0,18	0,19	0,26	0,42	0,43	0,23	0,29
Canal Cafam	0,03	0,04	0,06	0,07	0,06	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,07	0,04	0,05
Cuenca 1	0,02	0,03	0,05	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,06	0,06	0,03	0,04
Humedal Juan Amarillo	0,03	0,04	0,06	0,08	0,07	0,04	0,03	0,03	0,04	0,07	0,08	0,04	0,05
Cuenca 2	0,03	0,03	0,05	0,06	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,06	0,06	0,03	0,04
Canal Salitre B	0,5	0,6	0,9	1,02	0,99	0,65	0,6	0,51	0,46	0,99	1,23	0,67	0,76

Canal Salitre Completo	1,89	2,26	3,4	3,92	3,75	2,24	2,07	1,86	1,96	3,87	4,63	2,47	2,86

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

A partir de los valores presentados en la Tabla 124, se define el rendimiento hídrico para cada cuenca en donde el rendimiento es igual al caudal sobre el área de la cuenca (ver Tabla 125). De este análisis se evidencia que el Humedal La Conejera tiene el menor rendimiento con un valor de 17,61 l/s/km^2 y la Cuenca 2 tiene el mayor rendimiento con un valor de 24,76 l/s/km^2.

Tabla 125. Resultados del rendimiento hídrico de cada subcuenca.

Subcuenca	Q (m^3/s)	A (km^2)	Q (l/s)	Rend. H (l/s/km^2)
Humedal La Conejera	0,29	16,35	287,89	17,61
Canal Cafam	0,05	2,02	48,11	23,83
Cuenca 1	0,04	1,61	38,73	24,13
Humedal Juan Amarillo	0,05	2,13	51,58	24,25
Cuenca 2	0,04	1,62	40,00	24,76
Canal Salitre B	0,76	32,43	758,83	23,4
Canal Salitre Completo	2,86	121,37	2861,30	23,57

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Con los valores obtenidos para el rendimiento hídrico (ver Tabla 125) se realizó una comparación con los valores de Rendimiento hídrico total para condiciones de año medio presentados en el Estudio Nacional del Agua (ENA, 2014[9]), los cuales se muestran en la Figura 198. De la comparación entre los valores calculados y los presentados en el Estudio Nacional del Agua, se concluye que el rendimiento calculado se encuentra en el mismo orden de estos, por lo que se aceptan los valores calculados.

[9] SIAC. Rendimiento hídrico total condiciones año medio. ENA 2014. (2014)

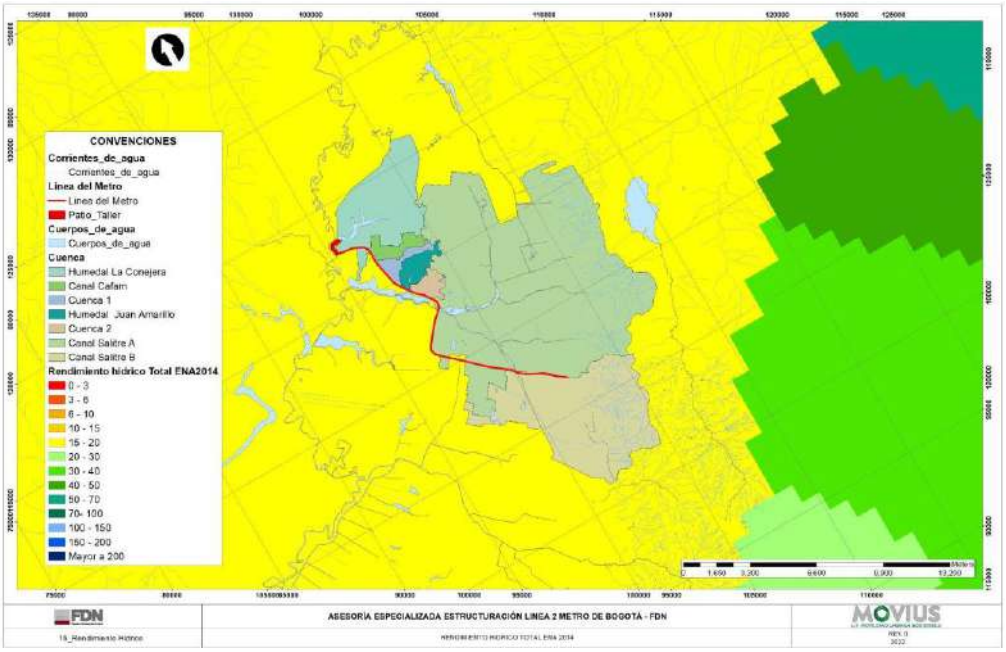


Figura 198. Rendimiento hídrico total año medio.
Fuente: SIAC. *Rendimiento hídrico total condiciones año medio. ENA 2014*, (2014).

Para las estaciones Río Bogotá Chicú, Río Bogotá Vuelta Grande y Río Bogotá El Cortijo relacionadas con el Río Bogotá, se hallaron los caudales medios con un periodo independiente para cada estación y con base en estos, se calculó el rendimiento hidráulico de cada una. Los resultados de los caudales medios y el rendimiento hídrico se presentan en la Tabla 126.

Tabla 126. Resultados del rendimiento hídrico de las subcuencas río Bogotá.

Subcuenca	Q (m^3/s)	A (km^2)	Q (l/s)	Rend. H ($l/s/km^2$)
Estación Río Bogotá Chicú	13,33	2478,16	13333,07	5,38
Estación Río Bogotá Vuelta Grande	9,61	2479,07	9611,69	3,88
Estación Río Bogotá El Cortijo	22,48	2618,20	22482,19	8,59

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Al comparar los resultados de la Tabla 125 con los resultados de la Tabla 126, se evidencia una diferencia en los valores estimados de caudal, esto se debe a que la cuenca del río Bogotá tiene un área de drenaje mayor con relación a las cuencas analizadas que cruzan con la línea 2 del metro. No obstante, se evidencia que los datos de Vuelta Grande no son confiables dado a que al tener un área de drenaje similar al de Chicú, el caudal no debería variar tanto, además por lo que Vuelta Grande está localizado a 254 m aproximadamente posterior del río Chicú.

Adicionalmente, se hace la aclaración que no se va a intervenir ninguna fuente o cuerpo de agua, a razón de que la línea 2 del metro es subterránea. En otras palabras, no se generarán conflictos potenciales sobre la disponibilidad y usos del agua, al no tener área de influencia.

En resumen, se establece la Tabla 127, acorde a los caudales medios calculados y las características principales de los sistemas hídricos identificados.

Tabla 127. Resumen de los sistemas hídricos identificados.

No.	Subcuenca	Sistema	Patrón	Q med (m^3/s)
1	Humedal La Conejera	Natural	Angular	0,29
2	Canal Cafam	Artificial	rectangular	0,05
3	Cuenca 1	Artificial	rectangular	0,04
4	Humedal Juan Amarillo	Natural	Rectangular	0,05
5	Cuenca 2	Artificial	Angular	0,04
6	Canal Salitre B	Artificial y natural	rectangular	0,76
7	Canal Salitre Completo	Artificial y natural	Rectangular y dendrítico	2,86

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.15.2. Distribuciones temporales

A partir de los caudales diarios estimados se generaron las distribuciones temporales de caudales para las cuencas estudiadas.

- Humedal La Conejera

De la distribución temporal de caudales medios realizada para el Humedal La Conejera se identifica que los caudales tienen un régimen bimodal. En los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre se presentan valores de caudal que superan el promedio, el mayor registro se presenta en el mes de abril con un registro de 0,43 m^3/s. Los periodos secos se presentan de enero a febrero, de junio a septiembre y en diciembre, el menor valor se presenta en el mes de enero con un registro de 0,15 m^3/s. El caudal promedio mensual multianual es de 0,29 m^3/s. En la Figura 199 se presenta la distribución temporal de caudales medios para el humedal la Conejera.

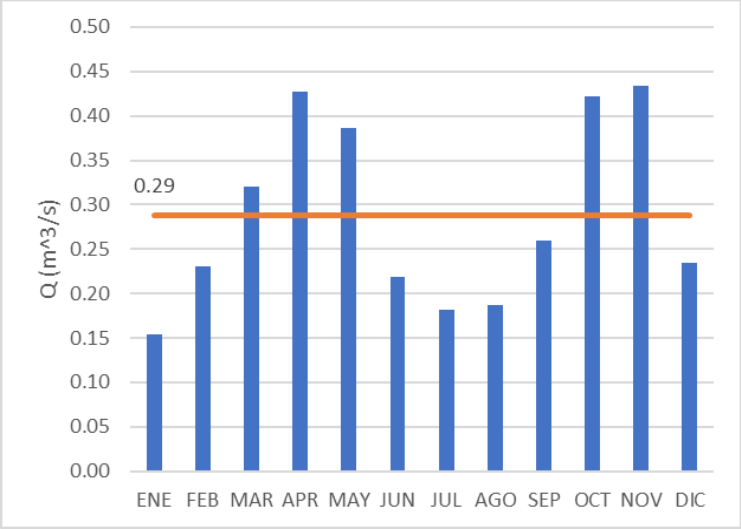


Figura 199. Distribución temporal de caudales medios en el Humedal La Conejera.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Canal Cafam

De la distribución temporal de caudales medios realizada para el Canal Cafam, se identifica que los caudales tienen un régimen bimodal. En los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre se presentan valores de caudal que superan el promedio, el mayor registro se presenta en el mes de noviembre con un valor de 0,07 m^3/s. Los periodos secos se presentan de enero a febrero, de junio a septiembre y en diciembre, el menor valor se presenta en el mes de enero con un registro de 0,03 m^3/s. El caudal promedio mensual multianual es de 0,05 m^3/s. En la Figura 200 se presenta la distribución temporal de caudales medios para el Canal Cafam.

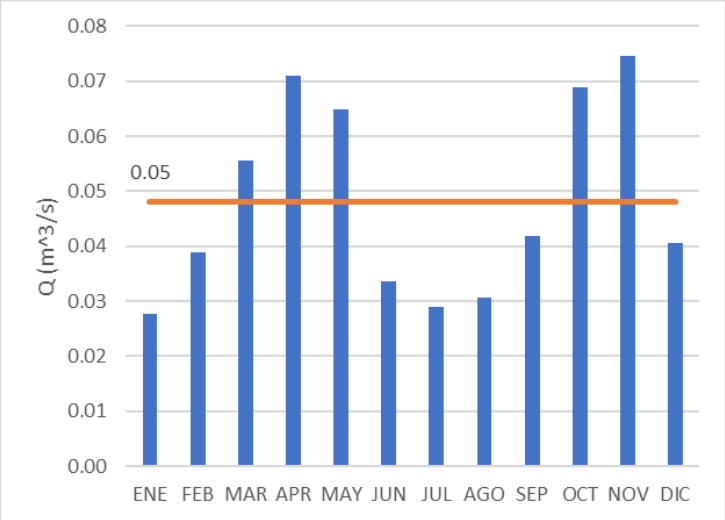


Figura 200. Distribución temporal de caudales medios en el Canal Cafam.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Cuenca 1

De la distribución temporal de caudales medios realizada para la Cuenca 1 se identifica que los caudales tienen un régimen bimodal. En los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre se presentan valores de caudal que superan el promedio, el mayor registro se presenta en el mes de noviembre con un valor de 0,06 m^3/s. Los periodos secos se presentan de enero a febrero, de junio a septiembre y en diciembre, el menor registro se presenta en el mes de enero con un valor de 0,02 m^3/s. El caudal promedio mensual multianual es de 0,04 m^3/s. En la Figura 201 se presenta la distribución temporal de caudales medios para la Cuenca 1.

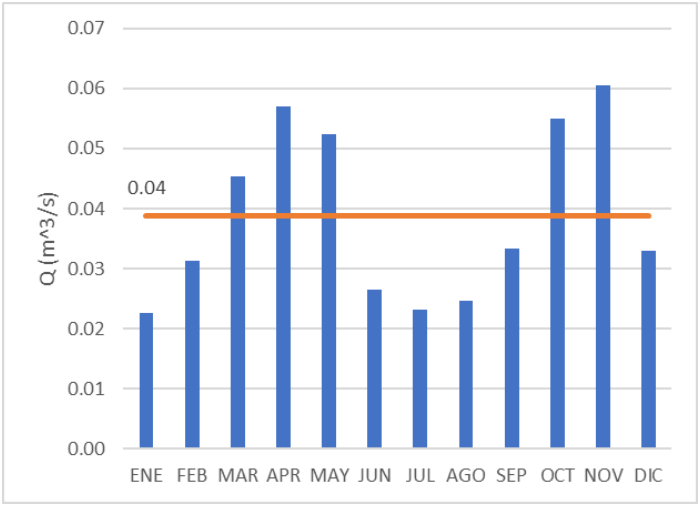


Figura 201. Distribución temporal de caudales medios en Cuenca 1.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Humedal Juan Amarillo

De la distribución temporal de caudales medios realizada para el Humedal Juan Amarillo se identifica que los caudales tienen un régimen bimodal. En los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre se presentan valores de caudal que superan el promedio, el mayor registro se presenta en el mes de noviembre con un valor de 0,08 m^3/s. Los periodos secos se presentan de enero a febrero, de junio a septiembre y en diciembre, el menor registro se presenta en el mes de enero con un valor de 0,031 m^3/s. El caudal promedio mensual multianual es de 0,05 m^3/s. En la Figura 202 se presenta la distribución temporal de caudales medios para el Humedal Juan Amarillo.

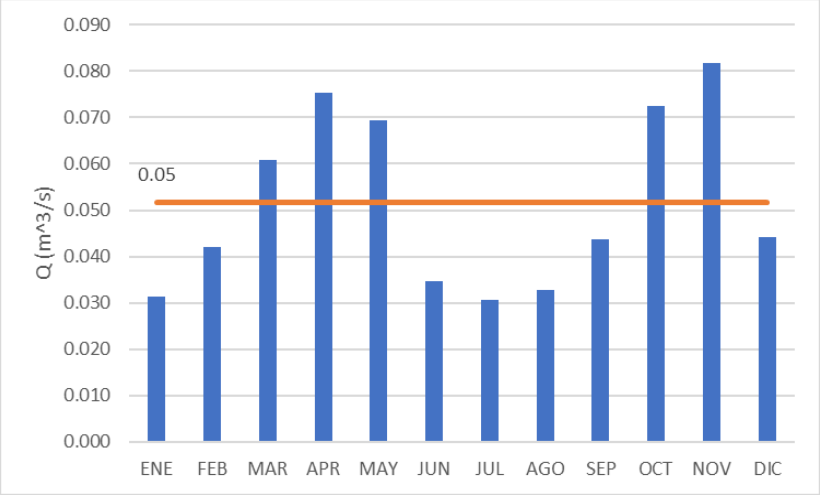


Figura 202. Distribución temporal de caudales medios en el Humedal Juan Amarillo.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Cuenca 2

De la distribución temporal de caudales medios realizada para la Cuenca 2 se identifica que los caudales tienen un régimen bimodal. En los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre se presentan valores de caudal que superan el promedio, el mayor registro se presenta en el mes de noviembre con un valor de 0,06 m^3/s. Los periodos secos se presentan de enero a febrero, de junio a septiembre y en diciembre, el menor registro se presenta en el mes de julio con un valor de 0,02 m^3/s. El caudal promedio mensual multianual es de 0,04 m^3/s. En la Figura 203 se presenta la distribución temporal de caudales medios para la Cuenca 2.

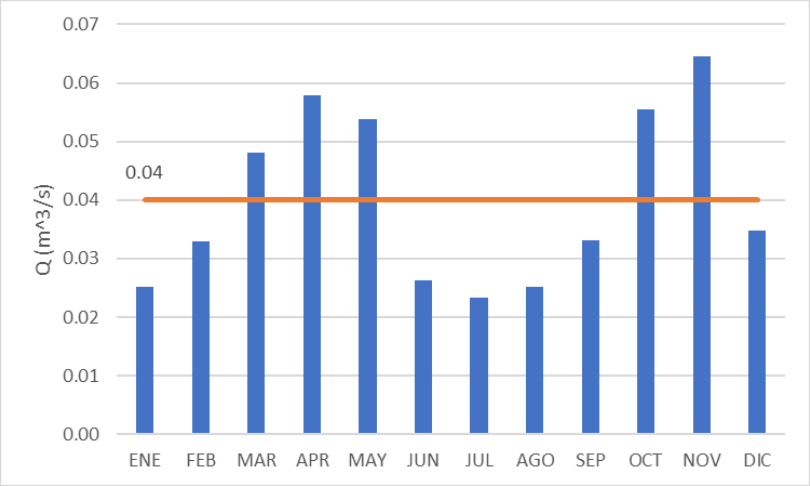


Figura 203. Distribución temporal de caudales medios en Cuenca 2.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Canal Salitre B

De la distribución temporal de caudales medios realizada para el Canal Salitre B se identifica que los caudales tienen un régimen bimodal. En los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre se presentan valores de caudal que superan el promedio, el mayor registro se presenta el mes de noviembre con un valor de 1,23 m^3/s. Los periodos secos se presentan de enero a febrero, junio a septiembre y en diciembre, el menor registro se presenta en el mes de septiembre con un valor de 0,46 m^3/s. El caudal promedio mensual multianual es de 0,76 m^3/s. En la Figura 204 se presenta la distribución temporal de caudales medios para la Cuenca Salitre B.

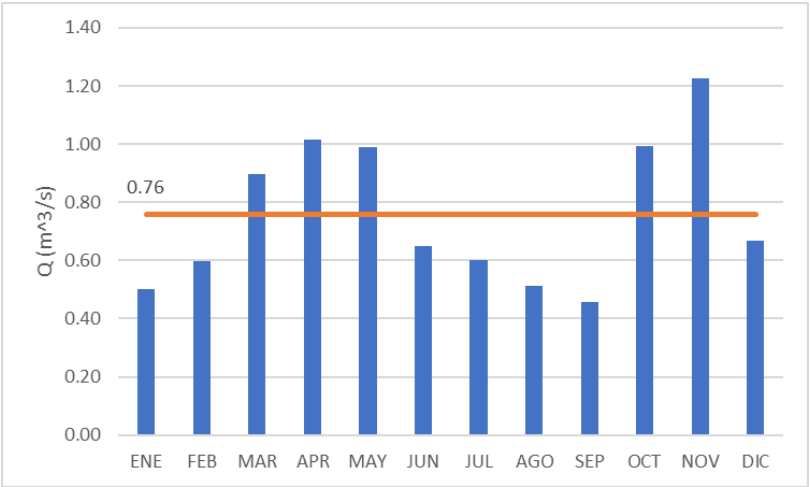


Figura 204. Distribución temporal de caudales medios en el Canal Salitre B.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Canal Salitre Completo

De la distribución temporal de caudales medios realizada para el Canal Salitre Completo se identifica que los caudales tienen un régimen bimodal. En los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre se presentan valores de caudal que superan el promedio, el mayor registro se presenta en el mes de noviembre con un valor de 4,63 m³/s. Los periodos secos se presentan de enero a febrero, de junio a septiembre y en diciembre, el menor registro se presenta en el mes de agosto con un valor de 1,86 m³/s. El caudal promedio mensual multianual es de 2,86 m³/s. En la Figura 205 se presenta la distribución temporal de caudales medios para la Cuenca Canal Salitre Completo.

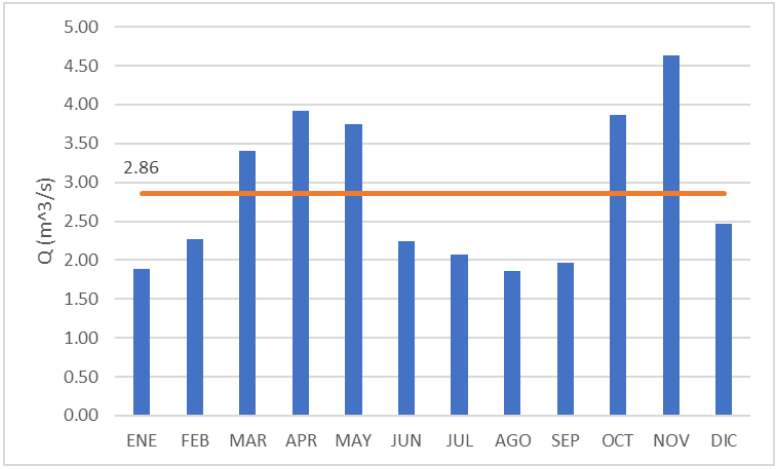


Figura 205. Distribución temporal de caudales medios en el Canal Salitre Completo.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.15.3. Curvas de duración de caudales medios

Para determinar los caudales característicos de las corrientes en estudio, se elaboró la curva de duración de caudales a nivel diario. Para la elaboración de esta curva se analizaron las estaciones disponibles dentro del área de interés (Parque Nacional - Río Arzobispo, Ventana-Captación - QDA. La Vieja y Tramonti - QDA. Chico), evaluando qué estaciones son las más representativas para tomar como caudal base y así aplicar la metodología para estimar el caudal diario de cada subcuenca mediante la Ecuación 17.

$$Qd_{i,n} = \frac{Qe_{i,n}}{Qe_{prom\ n}} \cdot Qc_n$$

Ecuación 17. Caudales medios diarios

Donde:
$Qd_{i,n}$: es el caudal diario para un día i, y mes n de la subcuenca
$Qe_{i,n}$: es el caudal diario para un día i, y mes n de la estación limnimétrica o limnigrafica
$Qe_{prom\ n}$: es el caudal promedio mensual multianual para el mes n de la estación limnimétrica o limnigrafica

Qc_n: es el caudal mensual multianual para un mes n de la subcuenca

La estimación de los caudales se realizó utilizando la información de la estación Parque Nacional - Río Arzobispo, teniendo en cuenta que su área al ser mayor es más representativa en comparación con las demás estaciones identificadas en la zona. A partir de estos caudales se determinaron las curvas de duración y los diagramas boxplot. En la Figura 206 se indica la localización de las áreas de drenaje para las estaciones de caudal en la zona de estudio.

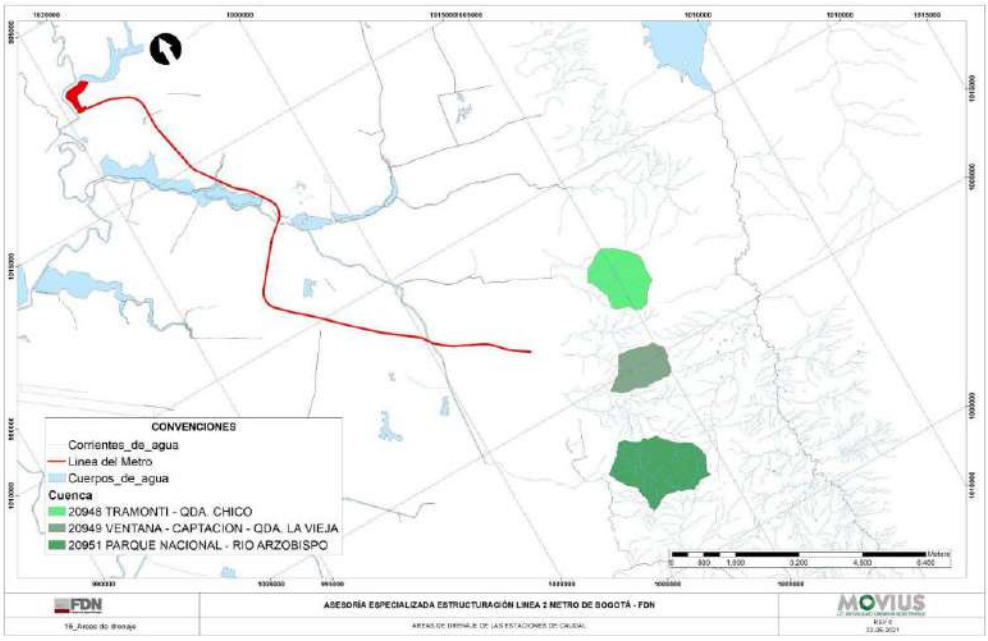


Figura 206. Localización de las áreas de drenaje de las estaciones de caudal
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

A continuación, se presenta el resumen de los caudales característicos clasificados de acuerdo con lo recomendado por la metodología del Índice de Alteración Hidrológica[10] para el análisis de los componentes del caudal ecológico. En la Tabla 128 se presenta la clasificación mencionada que fue tomada como referencia:

Tabla 128. Caudales característicos (m³/s) de subcuencas en estudio.

Cauces	Extremos Altos		Altos		Estacionales		Bajos		Extremos Bajos
% Probabilidad de Frecuencia de Excedencia	0	5	5	10	10,00	75	75	95	95
Humedal La Conejera	8,75	0,84	0,84	0,51	0,51	0,1	0,1	0,04	0,04
Canal Cafam	1,47	0,14	0,14	0,09	0,09	0,02	0,02	0,01	0,01
Cuenca 1	1,18	0,11	0,11	0,07	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01

[10] The Nature Conservancy. Metodología del Índice de Alteración Hidrológica (IHA).2011.

Cauces	Extremos Altos		Altos		Estacionales		Bajos		Extremos Bajos
Humedal Juan Amarillo	1,57	0,15	0,15	0,09	0,09	0,02	0,02	0,01	0,01
Cuenca 2	1,22	0,12	0,12	0,07	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01
Canal Salitre B	22,36	2,18	2,18	1,34	1,34	0,27	0,27	0,11	0,11
Canal Salitre Completo	83,97	5,64	16,56	18,29	16,15	18,05	3,65	0,74	77,97

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

La forma de la curva de duración de caudales es un indicativo del proceso de drenaje en la subcuenca y permite tener una idea cualitativa del comportamiento de un drenaje, por ejemplo, la pendiente pronunciada en subcuencas de montaña en el tramo inicial de la curva indica que los caudales altos se presentan durante períodos cortos mientras que en los ríos de llanura no existen diferencias muy notables en las pendientes de los diferentes tramos de la curva.

Las curvas que presentan una pendiente pronunciada (entre el percentil del 20% y el 70% de excedencia) representan una corriente con gran variabilidad entre los caudales transportados lo que significa que su caudal proviene principalmente de la escorrentía superficial. El valor que se obtiene para el 50% del tiempo igualado o excedido es el caudal medio de la serie. Lo anterior tomando como referencia lo presentado en la metodología para la estimación de curvas de duración de caudales (CDC) en subcuencas no instrumentadas Caso de aplicación para Colombia en los departamentos de Santander y Norte de Santander, desarrollada por la Universidad Nacional de Colombia en el año 2016. A continuación se presentan las curvas de duración de caudales medios correspondientes a cada subcuenca evaluada:

- Humedal La Conejera

En la subcuenca del Humedal La Conejera se identifica una pendiente alta en el tramo inicial de caudales, lo cual indica que sus caudales altos se presentan en periodos cortos. El caudal medio estimado para la cuenca es de 0,29 m³/s, el cual corresponde al caudal con una probabilidad de excedencia del 31%. En la Figura 207 se presenta la curva de duración de caudales para el cauce en estudio.

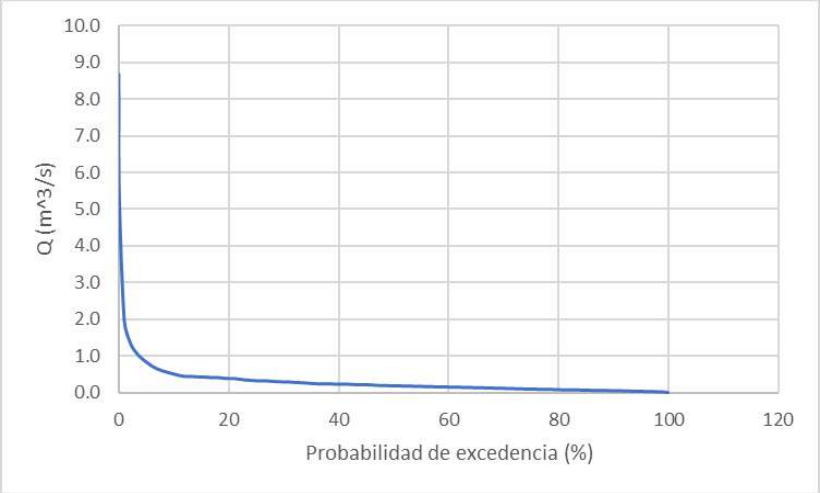


Figura 207. Curva de Duración de Caudales subcuenca Humedal La Conejera.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Canal Cafam

En la subcuenca del Canal Cafam se identifica una pendiente alta en el tramo inicial de caudales, lo cual indica que sus caudales altos se presentan en períodos cortos. El caudal medio estimado para la cuenca es de 0,048 m³/s, el cual corresponde al caudal con una probabilidad de excedencia del 29%. En la Figura 45 se presenta la curva de duración de caudales para el cauce en estudio.

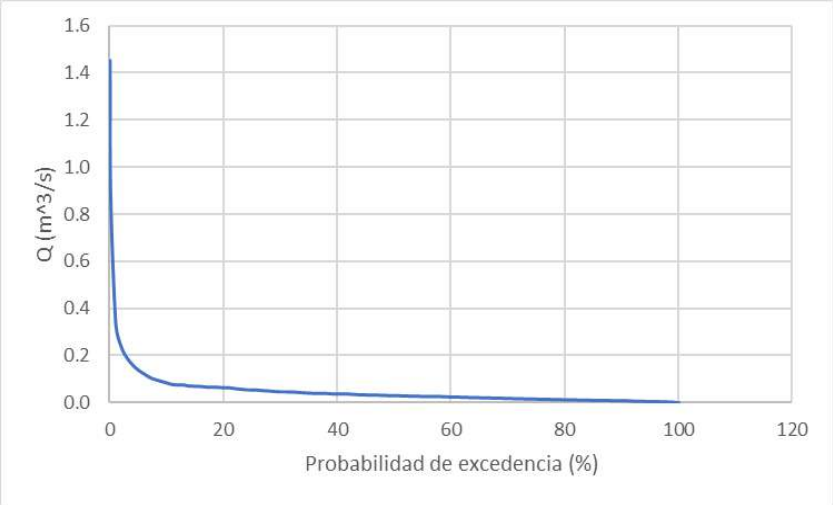


Figura 208. Curva de Duración de Caudales subcuenca Canal Cafam.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Cuenca 1

En la subcuenca Cuenca 1 se identifica una pendiente alta en el tramo inicial de caudales, lo cual indica que sus caudales altos se presentan en cortos periodos. El caudal medio estimado para la cuenca es de 0,039 m³/s, el cual corresponde al caudal con una probabilidad de excedencia del 29%. En la Figura 209 se presenta la curva de duración de caudales para el cauce en estudio.

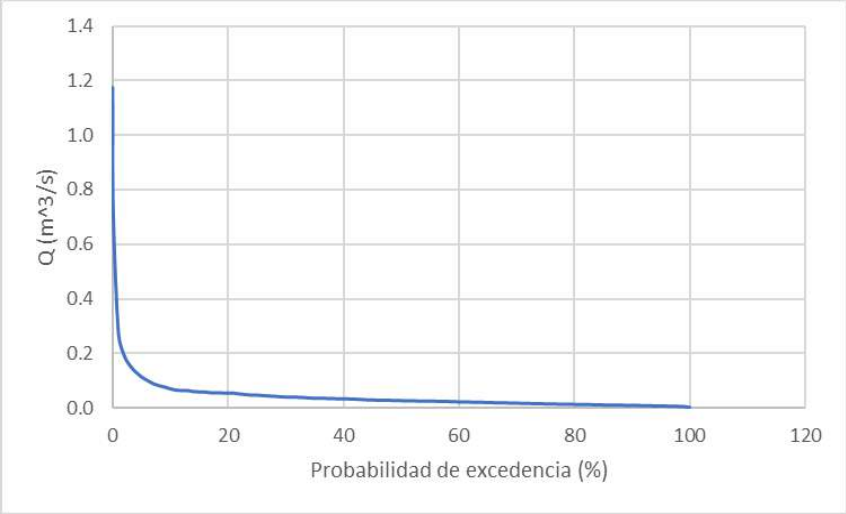


Figura 209. Curva de Duración de Caudales subcuenca Cuenca 1.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Humedal Juan Amarillo

En la subcuenca del Humedal Juan Amarillo se identifica una pendiente alta en el tramo inicial de caudales, lo cual indica que sus caudales altos se presentan en cortos periodos. El caudal medio estimado para la cuenca es de 0,052 m³/s, el cual corresponde al caudal con una probabilidad de excedencia del 29%. En la Figura 47 se presenta la curva de duración de caudales para el cauce en estudio.

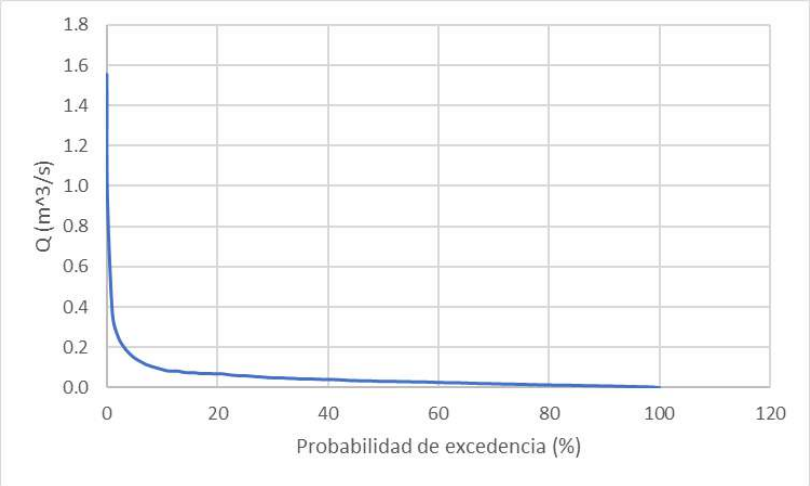


Figura 210. Curva de Duración de Caudales subcuenca Humedal Juan Amarillo.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Cuenca 2

En la subcuenca Cuenca 2 se identifica una pendiente alta en el tramo inicial de caudales, lo cual indica que sus caudales altos se presentan en períodos cortos. El caudal medio estimado para la cuenca es de 0,040 m³/s, el cual corresponde al caudal con una probabilidad de excedencia del 29%. En la Figura 48 se presenta la curva de duración de caudales para el cauce en estudio.

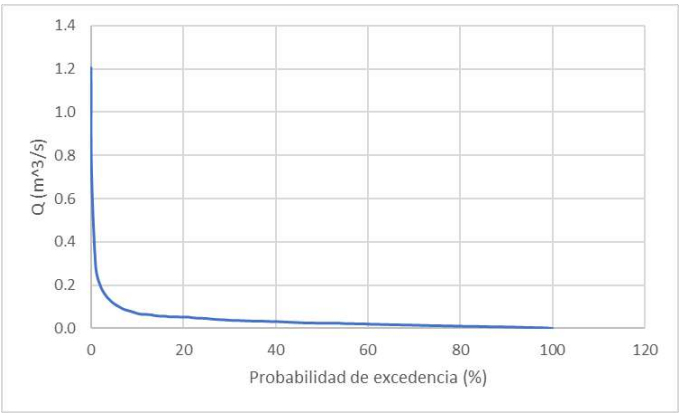


Figura 211. Curva de Duración de Caudales subcuenca Cuenca 2.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Canal Salitre B

En la subcuenca del Canal Salitre B se identifica una pendiente alta en el tramo inicial de caudales, lo cual indica que sus caudales altos se presentan en períodos cortos. El caudal medio estimado para la cuenca es de 0,759 m³/s, el cual corresponde al caudal con una probabilidad de excedencia del 29%. En la Figura 212 se presenta la curva de duración de caudales para el cauce en estudio.

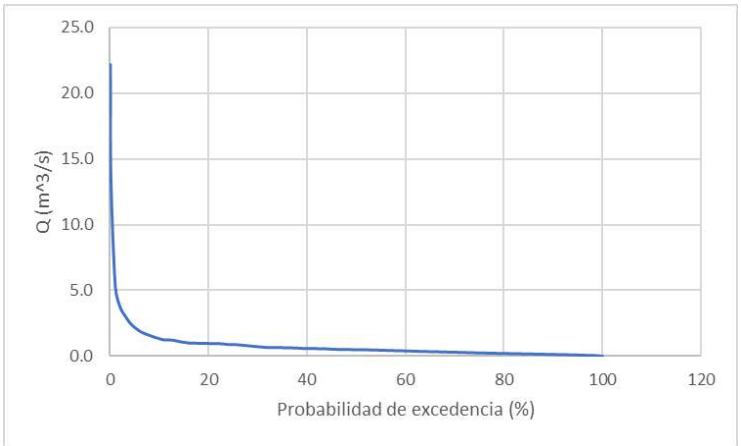


Figura 212. Curva de Duración de Caudales subcuenca Canal Salitre B
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Canal Salitre Completo

En la subcuenca del Canal Salitre Completo se identifica una pendiente alta en el tramo inicial de caudales, lo cual indica que sus caudales altos se presentan en períodos cortos. El caudal medio estimado para la cuenca es de 2,86 m³/s, el cual corresponde al caudal con una probabilidad de excedencia del 29%. En la Figura 213 se presenta la curva de duración de caudales para el cauce en estudio.

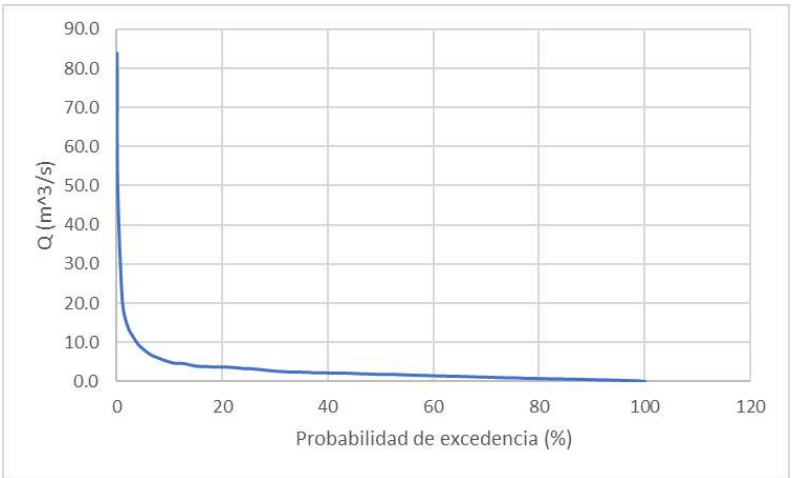


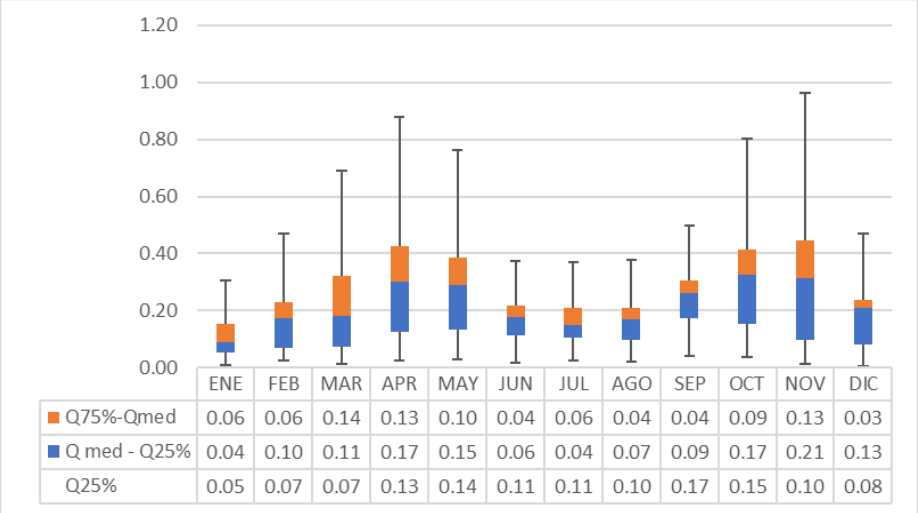
Figura 213. Curva de Duración de Caudales subcuenca Canal Salitre Completo.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.15.4. Diagramas Boxplots

A continuación se presentan los diagramas Boxplots los cuales sirven para entender el comportamiento, porcentaje de error máximo o mínimo de los datos diarios estimados para cada subcuenca.

- Humedal La Conejera

En la subcuenca Humedal La Conejera se tiene que la mediana anual es de 0,22 m³/s. El mes con mayor rango de datos es abril. La mayor barra de error ocurre en el mes de abril (0,52 m³/s) en la parte positiva y el negativo ocurre en mayo (0,13 m³/s). En la Figura 214 se presenta el comportamiento descrito.

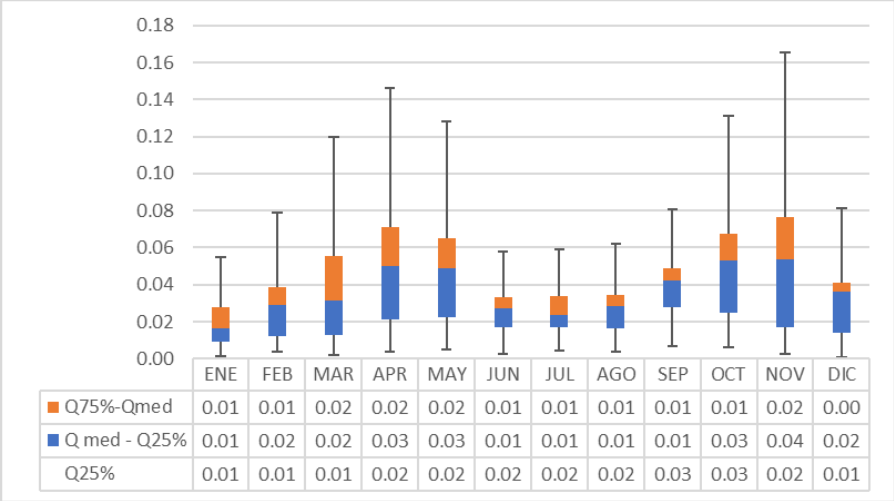


	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q75%-Qmed	0.06	0.06	0.14	0.13	0.10	0.04	0.06	0.04	0.04	0.09	0.13	0.03
Q med - Q25%	0.04	0.10	0.11	0.17	0.15	0.06	0.04	0.07	0.09	0.17	0.21	0.13
Q25%	0.05	0.07	0.07	0.13	0.14	0.11	0.11	0.10	0.17	0.15	0.10	0.08

Figura 214. Diagrama boxplot para el Humedal La Conejera (m³/s).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Canal Cafam

En la subcuenca Canal Cafam se tiene que la mediana anual es de 0,04 m³/s. El mes con mayor rango de datos es el de noviembre. La mayor barra de error ocurre en el mes de noviembre (0,9 m³/s) en la parte positiva y el negativo ocurre en septiembre (0,02 m³/s). En la Figura 215 se presenta el comportamiento descrito.

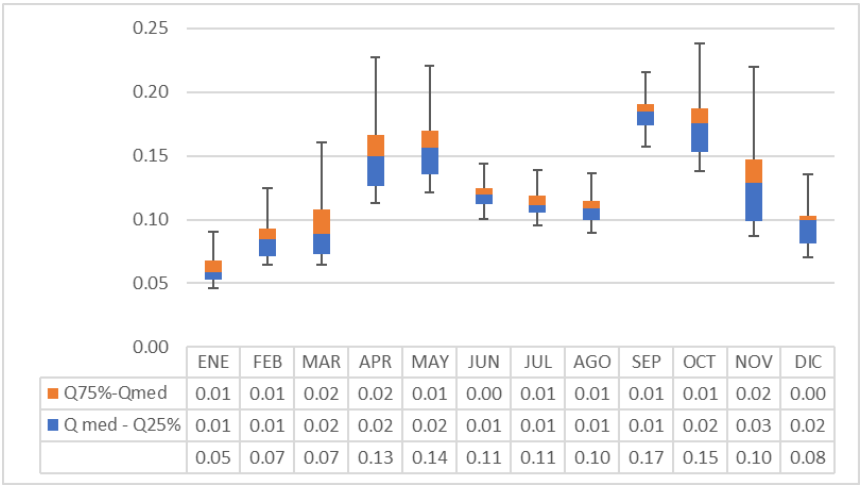


	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q75%-Qmed	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00
Q med - Q25%	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.02
Q25%	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01

Figura 215. Diagrama boxplot para el Canal Cafam (m³/s).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Cuenca 1

En la subcuenca Cuenca 1 se tiene que la mediana anual es de 0,03 m³/s. El mes con mayor rango de datos es el de noviembre. La mayor barra de error ocurre en el mes de noviembre (0,07 m³/s) en la parte positiva y el negativo ocurre en septiembre (0,02 m³/s). En la Figura 216 se presenta el comportamiento descrito.

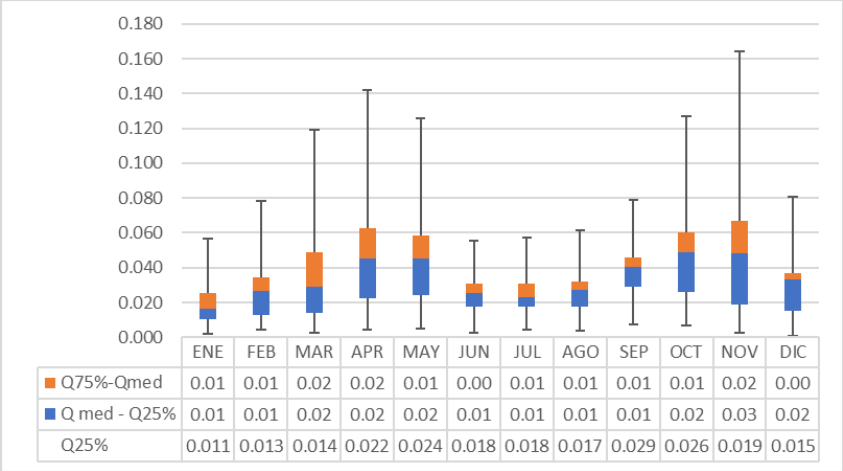


	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q75%-Qmed	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00
Q med - Q25%	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02
	0.05	0.07	0.07	0.13	0.14	0.11	0.11	0.10	0.17	0.15	0.10	0.08

Figura 216. Diagrama boxplot para la Cuenca 1 (m³/s).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Humedal Juan Amarillo

En la subcuenca Humedal Juan Amarillo se tiene que la mediana anual es de 0,04 m³/s. El mes con mayor rango de datos es el de noviembre. La mayor barra de error ocurre en el mes de noviembre (0,10 m³/s) en la parte positiva y el negativo ocurre en octubre (0,02 m³/s). En la Figura 217 se presenta el comportamiento descrito.

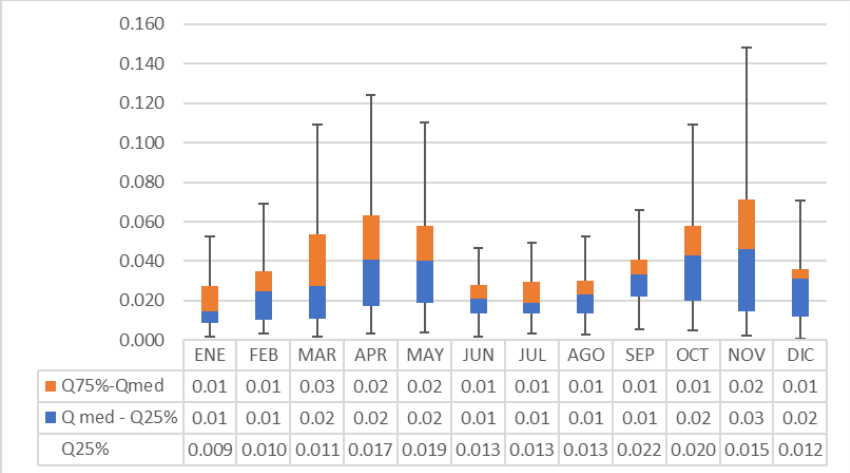


	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q75%-Qmed	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00
Q med - Q25%	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02
Q25%	0.011	0.013	0.014	0.022	0.024	0.018	0.018	0.017	0.029	0.026	0.019	0.015

Figura 217. Diagrama boxplot del Humedal La Conejera (m³/s).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Cuenca 2

En la subcuenca Cuenca 2 se tiene que la mediana anual es de 0,03 m³/s. El mes con mayor rango de datos es el de noviembre. La mayor barra de error ocurre en el mes de noviembre (0,08 m³/s) en la parte positiva y el negativo ocurre en septiembre (0,017 m³/s). En la Figura 218 se presenta el comportamiento descrito.

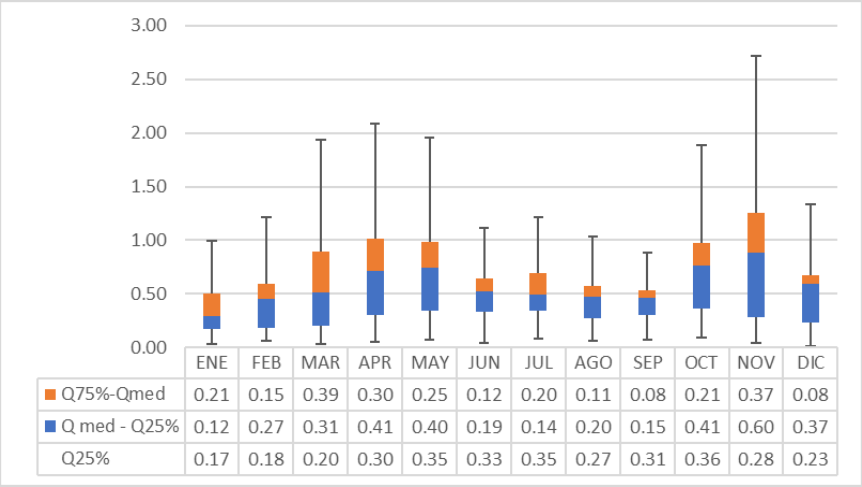


	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q75%-Qmed	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
Q med - Q25%	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02
Q25%	0.009	0.010	0.011	0.017	0.019	0.013	0.013	0.013	0.022	0.020	0.015	0.012

Figura 218. Diagrama boxplot para la Cuenca 2 (m³/s).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Canal Salitre B

En la subcuenca Canal Salitre B se tiene que la mediana anual es de 0,58 m³/s. El mes con mayor rango de datos es el de noviembre. La mayor barra de error ocurre en el mes de noviembre (1,46 m³/s) en la parte positiva y el negativo ocurre en junio (0,29 m³/s). En la Figura 219 se presenta el comportamiento descrito.

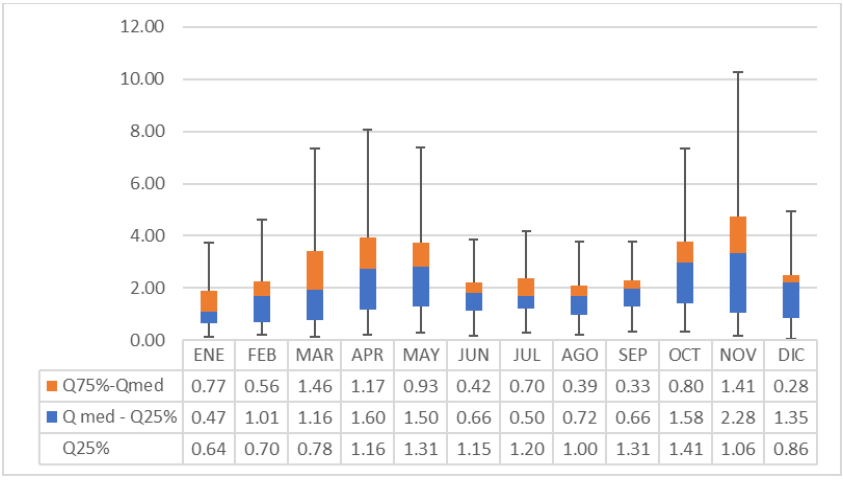


	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q75%-Qmed	0.21	0.15	0.39	0.30	0.25	0.12	0.20	0.11	0.08	0.21	0.37	0.08
Q med - Q25%	0.12	0.27	0.31	0.41	0.40	0.19	0.14	0.20	0.15	0.41	0.60	0.37
Q25%	0.17	0.18	0.20	0.30	0.35	0.33	0.35	0.27	0.31	0.36	0.28	0.23

Figura 219. Diagrama boxplot para el Canal Salitre B (m³/s).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Canal Salitre Completo

En la subcuenca Canal Salitre Completo se tiene que la mediana anual es de 2,17 m³/s. El mes con mayor rango de datos es el de noviembre. La mayor barra de error ocurre en el mes de noviembre (5,53 m³/s) en la parte positiva y el negativo ocurre en octubre (1,05 m³/s). En la Figura 220 se presenta el comportamiento descrito.



	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q75%-Qmed	0.77	0.56	1.46	1.17	0.93	0.42	0.70	0.39	0.33	0.80	1.41	0.28
Q med - Q25%	0.47	1.01	1.16	1.60	1.50	0.66	0.50	0.72	0.66	1.58	2.28	1.35
Q25%	0.64	0.70	0.78	1.16	1.31	1.15	1.20	1.00	1.31	1.41	1.06	0.86

Figura 220. Diagrama boxplot para el Canal Salitre Completo (m³/s).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.15.5. Análisis Patios y Talleres

Como complemento a los análisis realizados en el estudio hidrológico, se hace la revisión de niveles de lámina de agua en el río Bogotá, específicamente en la zona del patio taller, esto con la finalidad de verificar niveles y generar las alertas asociadas al riesgo de inundaciones en la zona del Patio Taller para la línea 2 del metro de Bogotá. Para iniciar la revisión, en primera instancia se identifican las estaciones disponibles en la zona, para a partir de sus registros realizar la estimación del caudal máximo instantáneo. En la Figura 221 se presenta la ubicación de la estación Puente La Virgen, la cual es operada por la EAAB y se indica la ubicación del patio taller.

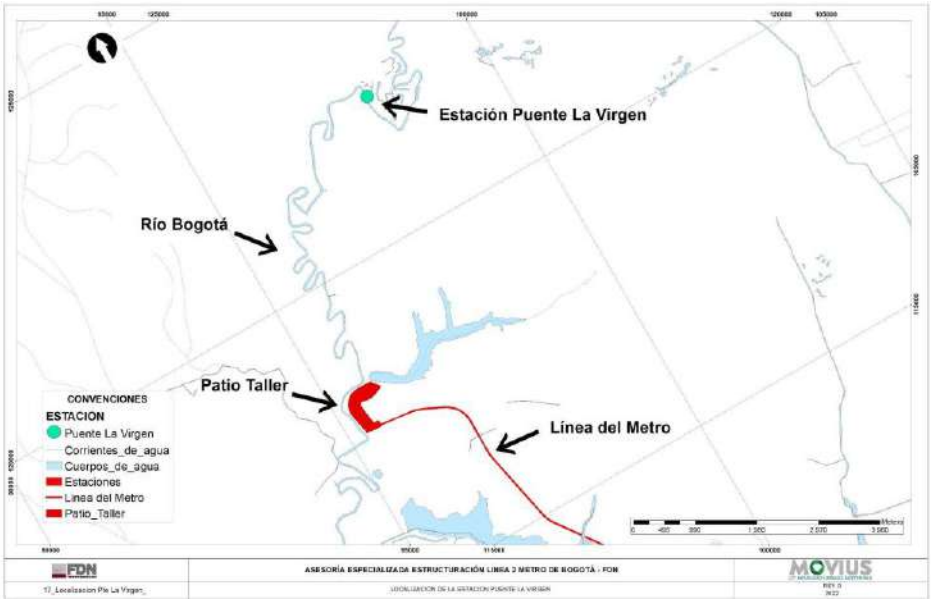


Figura 221. Localización de la estación Puente La Virgen.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

A partir de los valores de caudales máximos instantáneos registrados en la estación Puente Virgen, se definió su distribución o ajuste por los métodos Log Normal, Gumbel, Pearson, Log Pearson y EV3 (ver Figura 222). De los ajustes realizados se selecciona el de Log-Pearson, posteriormente, aplicando un factor de mayoración de 1,52 (representando el ajuste del modelo en HEC-RAS en comparación con el modelo hidráulico de la CAR), se obtiene un caudal máximo instantáneo de 165,896 m³/s para un periodo de retorno de 1000 años y de 105,50 m³/s para un periodo de retorno de 100 años. Se resalta que la evaluación de niveles se realizará para el caudal de 1000 años de periodo de retorno, teniendo en cuenta la importancia de la infraestructura en la zona.

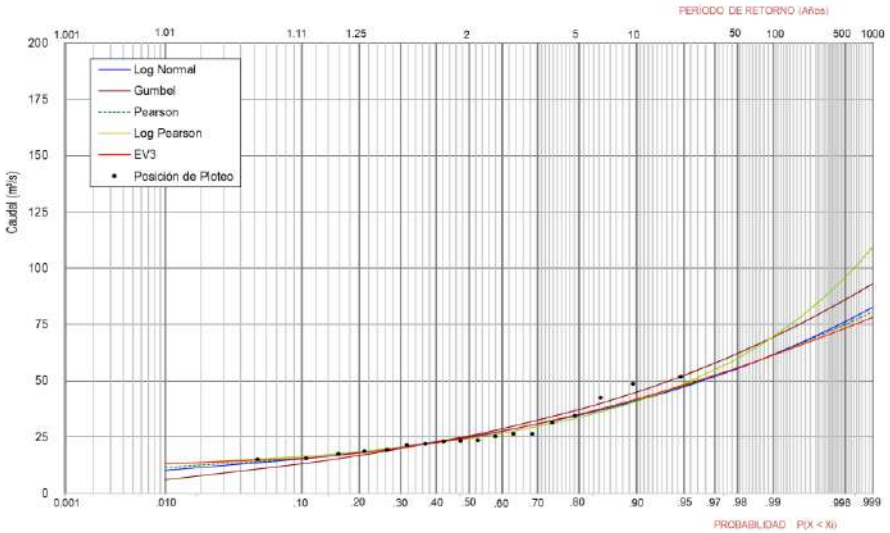


Figura 222. Ajuste de caudales máximos instantáneos.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tomando como base la información del modelo digital del río Bogotá realizado por la CAR en el software HEC-RAS y el valor de caudal previamente definido para un periodo de retorno de 1000 años, se determina que el nivel de la lámina de agua en la abscisa K68+619[11] alcanza la cota 2545,21 msnm (ver Figura 223). Esta sección se utiliza para el análisis de niveles teniendo en cuenta que se localiza justo enfrente del sitio de implantación proyectado para el patio taller y corresponde a la sección natural del río Bogotá.

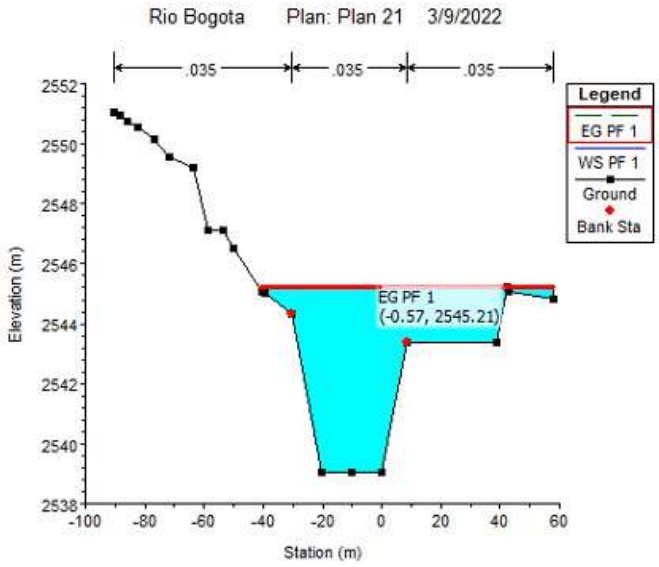


Figura 223. Nivel del agua para un periodo de retorno de 1000 años, con el modelo digital HEC-RAS de la CAR.

[11] El abscisado corresponde al desarrollado por la CAR dentro del modelo hidráulico en HEC-RAS para el río Bogotá.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Posteriormente se realiza el mismo análisis al modelo digital en HEC-RAS, pero considerando la sección dragada proyectada para el río Bogotá, la cual está definida por la CAR y se presenta en la Figura 224. A continuación se listan los parámetros geométricos establecidos por la CAR para la sección dragada:

- Fondo del Cauce: 20 m
- Coeficiente de rugosidad de Manning: 0,035 m para el canal y 0,050 para las bancas.
- Coeficiente de expansión: 0,30
- Coeficiente de contracción: 0,10
- Pendiente longitudinal: 0,000073 m/m
- Cota Jarillón: 2544,7 m

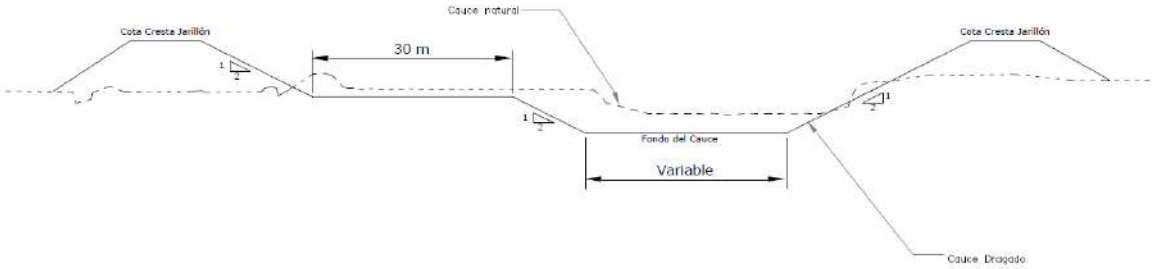


Figura 224. Sección Típica Adecuación Hidráulica del río Bogotá.
Fuente: CAR, 2018.

Luego de incluir la sección dragada dentro del modelo digital en HEC-RAS, se obtiene que para esta nueva condición el nivel de la lámina de agua alcanza la cota 2543,84 m para un periodo de retorno de 100 años y 2545,08 m para un periodo de retorno de 1000 años.

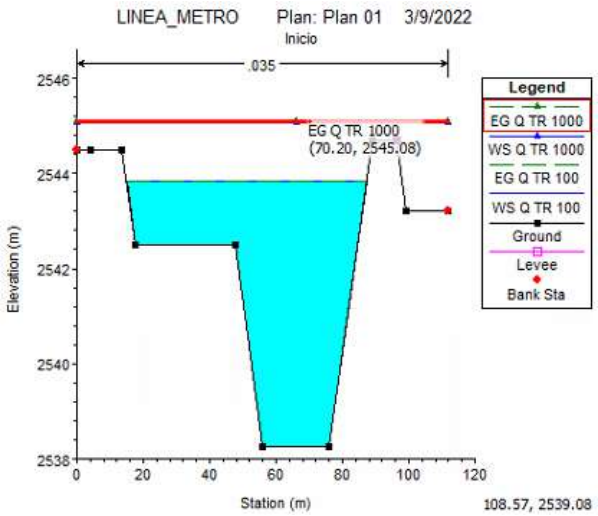


Figura 225. Figura 3. Nivel del agua para un periodo de retorno de 1000 años Y 100 años para la sección dragada.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

De los análisis realizados para evaluar el nivel de la lámina de agua en la sección natural y en la sección dragada, se evidencia que para ambas condiciones la lámina de agua para 1000 años de periodo de retorno supera la altura de los diques indicados en el modelo de la CAR.

Al analizar la cota del jarillón se notó que los niveles de este difieren entre los datos registrados por el modelo digital de la CAR y la elevación del modelo digital desarrollado por INGETEC, en este último las cotas del jarillón resultan ser mayores a lo establecido por la CAR. Al comparar las secciones del modelo digital (DTM) desarrollado por INGETEC a inicios del año 2022 (ver Figura 226) con el modelo DTM de la CAR para el río Bogotá suministrado en el año 2018, se evidencia que la altura del jarillón no coincide y tampoco es constante. En los modelos se detecta una diferencia de cotas que varían entre 0,50 m y 2,0 m, lo cual puede deberse a las diferentes causas asociadas a la tecnología utilizada en los levantamientos, amarres, triangulaciones, etc.

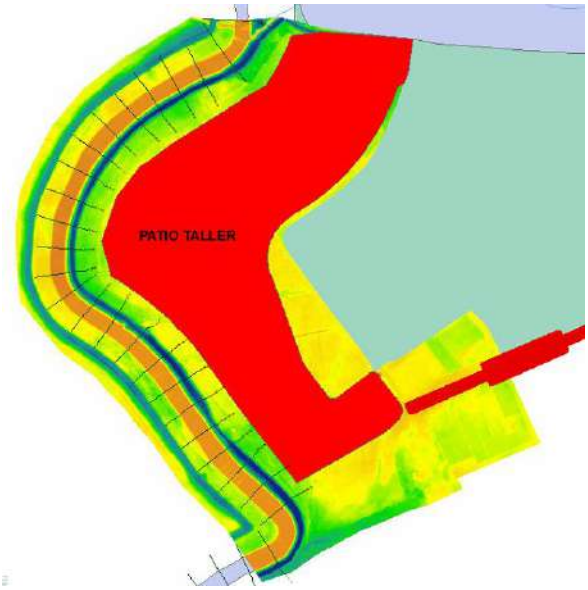


Figura 226. Modelo Digital del Terreno, 2022.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Aunque el nivel de los diques en el modelo digital de la CAR es más bajo, con los niveles del modelo digital de terreno realizada por INGETEC se evidencia que el nivel de la lámina de agua para un periodo de retorno de 1000 año no sobrepasará la altura de los dique disminuyendo el riesgo asociado a inundaciones en el patio taller para el periodo de retorno evaluado. En la Figura 227 se muestra que la cota del jarillón actual (DTM INGETEC) no es constante, pero siempre superior al nivel de la lámina de agua, mientras que, la altura del dique del modelo digital presentado por la CAR es siempre inferior al nivel del agua para 1000 años.

De lo anterior se concluye que para las condiciones presentadas por el modelo digital del terreno presentado por INGETEC, la sección del cauce puede transportar los caudales asociados a un periodo de retorno de 1000 años (ver Figura 227).

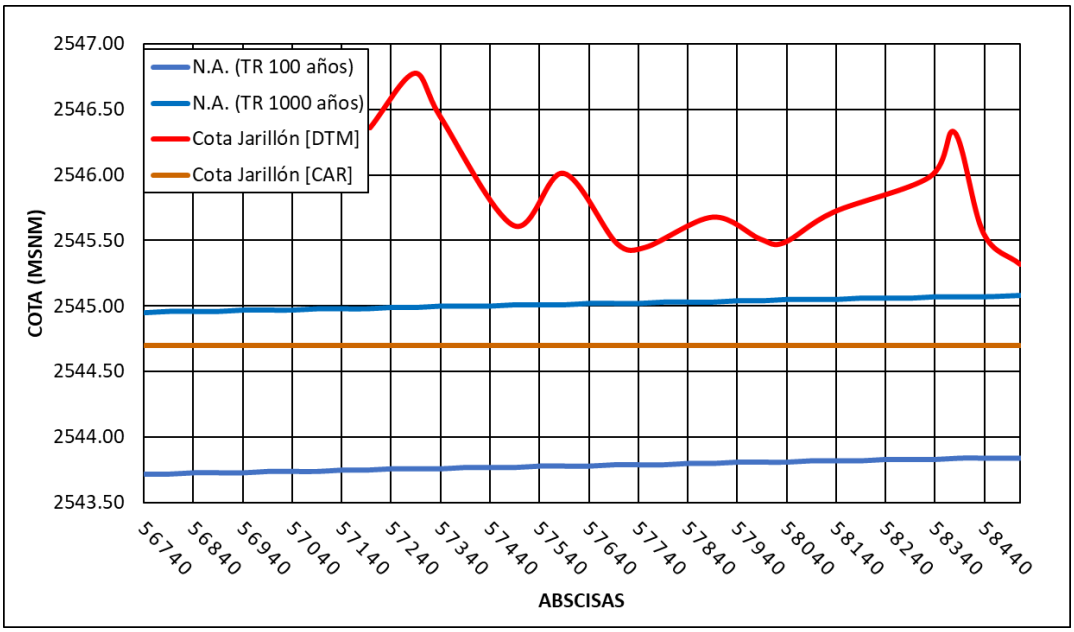


Figura 227. Nivel del agua y del Jarillón.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.15.6. Caudales máximos

Debido a que en el tramo de análisis para la línea 2 del metro de Bogotá no se cuenta con estaciones de caudales que permitan estimar los caudales máximos a partir de registros históricos, es necesario emplear metodologías indirectas. En este caso se implementó el modelo lluvia escorrentía HEC- HMS, teniendo en cuenta que el método racional aplica para subcuencas con áreas de drenaje menores a 2,5 km².

- Modelo lluvia – escorrentía HEC - HMS

Para la determinación de las crecientes asociadas a diferentes periodos de retorno se utilizaron los parámetros morfométricos de las subcuencas que han sido estimados y presentados en los numerales anteriores y se utilizó un modelo lluvia escorrentía basado en la transformación planteada en el hidrograma unitario del SCS. Esta metodología fue implementada para las subcuencas con áreas mayores a 2,5 km².

El modelo lluvia-escorrentía fue desarrollado con el software HEC-HMS v4.9, las variables de entrada requeridas para este modelo son las siguientes:

- Área de la subcuenca (km²)
- Tiempo de retardo de la subcuenca (min)
- Número de Curva (CN)
- Precipitación Máxima para diferentes periodos de retorno (mm)
- Factor de Reducción por Área

- Distribución temporal de la tormenta

A continuación, se describe cada uno de los parámetros:

- Área de la subcuenca

El área es la unidad en la que el modelo lluvia escorrentía realiza los procesos de separación de la lluvia y la estimación de la escorrentía directa. Fueron delimitadas las subcuencas hidrográficas que cruzan con el trazado (Humedal La Conejera, Canal Cafam, Cuenca 1, Humedal Juan Amarillo, Cuenca 2, y Canal Salitre) teniendo en cuenta la cartografía disponible en el IGAC a escala 1:10.000, considerando la complementación mediante fotointerpretación y la revisión con imagen satelital de Google Earth (ver Tabla 103).

- Tiempo de retardo de la subcuenca

El tiempo de retardo de la subcuenca, es equivalente a 0,6 * tiempo de concentración. En la Tabla 112 se presentan los resultados del tiempo de concentración estimado, se resalta que el método seleccionado corresponde a Kirpich.

- Número de Curva (CN)

La precipitación efectiva es la precipitación que se convierte en escorrentía directa, por lo tanto, es importante calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha.

El método implementado se denomina “Número de Curva”, propuesto por el SCS. En este método, la profundidad de escorrentía (es decir, la profundidad efectiva de precipitación) es una función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, denominado número de curva o CN. El número de curva varía en un rango de 1 a 100, existiendo una función de las siguientes propiedades productoras de escorrentía de la cuenca hidrográfica: i) tipo de suelo hidrológico, ii) utilización y tratamiento del suelo (INVIAS, 2009).

A partir de la información de coberturas consignada en el Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia del año 2017 del SIAC y las características de los suelos identificadas en Mapas de suelos del territorio Colombiano a escala 1:100.000 del IGAC para el departamento de Cundinamarca, se realizó la ponderación del valor del número de curva considerando la información presentada en la referencia (Ven Te Chow, 1994). De la información referenciada se identificó que las principales coberturas pertenecen a territorio artificializado pertenecientes al grupo hidrológico B. En la Tabla 129 se presentan los resultados de los valores de CN ponderados.

Tabla 129. Valores de CN II para las subcuencas analizadas.

Cuenca	CN Ponderado
Humedal La Conejera	86
Canal Cafam	98
Cuenca 1	98
Humedal Juan Amarillo	98
Cuenca 2	98

Cuenca	CN Ponderado
Canal Salitre B	88
Canal Salitre Completa	92

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Precipitación máxima

La precipitación es la variable más influyente en el proceso de la transformación de lluvia en escorrentía puesto que una parte de esta es la que se convierte en precipitación efectiva o escorrentía superficial. La precipitación es una variable en el espacio y el tiempo, lo cual hace que la estimación de la lluvia de diseño sea una aproximación a las condiciones reales de ocurrencia de precipitación en la subcuenca. Uno de los objetivos es determinar la lluvia de diseño que genere las crecientes de diseño en la zona del proyecto. Para conocer los valores asociados a diferentes periodos de retorno se ajustó la serie anual de precipitaciones máximas en 24 horas registrada por las dos estaciones a diferentes distribuciones de probabilidad, entre ellas Normal, Gumbel, Pearson, Log-Normal, Log Pearson y EV3.

Utilizando como criterios el resultado gráfico de los ajustes estadísticos y tomando el menor valor de Chi Cuadrado, la distribución de probabilidad que cumple estos dos criterios es Gumbel. En la Figura 228 se presenta a manera de ejemplo el gráfico del ajuste estadístico de las series anuales de precipitaciones máximas en 24 horas para la estación Cerro Suba. Los demás ajustes se presentan en el CAP5.2-CMBI-2LMB-AN#5.2.001 - Hidrología

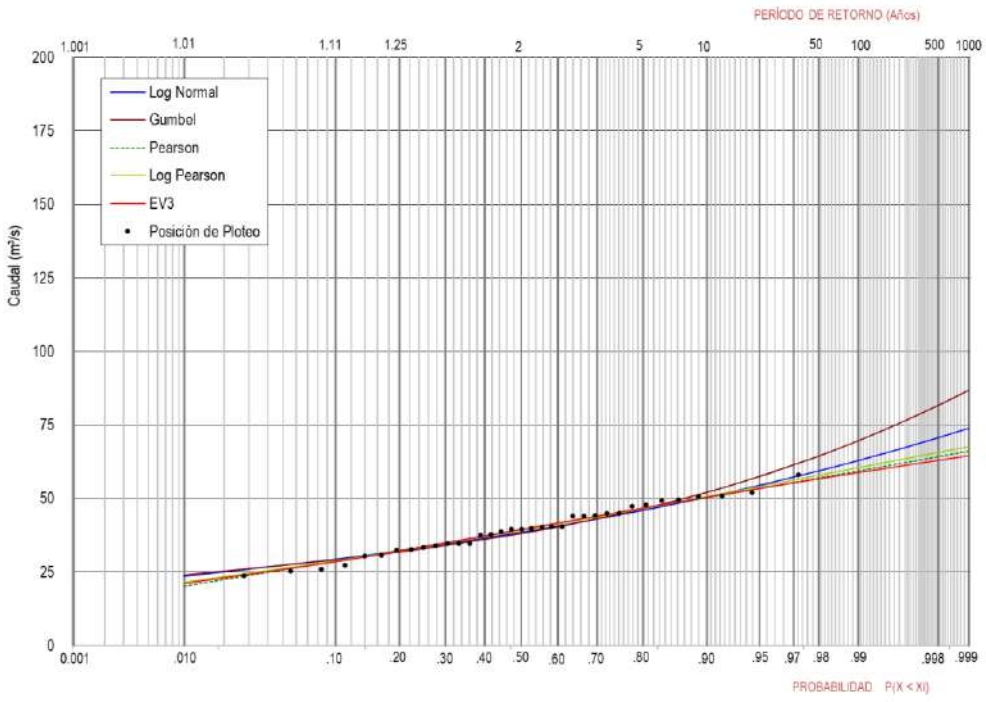


Figura 228. Distribución de probabilidad para precipitaciones máximas en 24 horas estación Cerro de Suba (20031).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 130 se presentan las precipitaciones para diferentes periodos de retorno en las estaciones de interés:

Tabla 130. Precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno estaciones zona de proyecto (mm).

Estación	2,33 Años	5 Años	10 Años	15 Años	25 Años	50 Años	100 Años
20023 San diego	55,14	70,45	82,91	89,95	98,66	110,35	121,95
20031 Cerro de suba	39,8	46,65	52,24	55,39	59,3	64,53	69,73
20032 El granizo	57,74	72,51	84,55	91,34	99,75	111,03	122,23
20040 San luis	53,35	64,33	73,27	78,32	84,57	92,96	101,28
20196 Casa de bombas salitre	47,4	56,15	63,29	67,31	72,3	78,99	85,62
20207 Saucedal II	34,31	40,86	46,2	49,21	52,94	57,94	62,91
20547 Fontibón	38,44	45,77	51,75	55,12	59,29	64,89	70,45
20569 Cama vieja	48,46	56,44	62,93	66,6	71,14	77,23	83,28
20642 Planta wiesner	45,93	54,52	61,51	65,45	70,34	76,9	83,4
21205791 Eldorado catam - aut	38,65	46,55	52,99	56,62	61,12	67,15	73,13
2120112 Casita la	57,58	78,74	95,98	105,7	117,75	133,91	149,94
2120516 Ramada la	35,4	43,52	50,14	53,87	58,5	64,7	70,85
2120136 Santa inés	47,72	62,33	74,23	80,94	89,26	100,42	111,49
2120559 Apto guaymaral - usta	39,22	49,53	57,93	62,67	68,54	76,41	84,23
21201210 Hato el	23,23	34,75	44,13	49,42	55,98	64,77	73,49
2120077 Torca	52,08	68,85	82,51	90,22	99,77	112,58	125,29

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Con los valores de precipitación máxima obtenidos para las estaciones se generaron las isomáximas para los periodos de retorno requeridos para el diseño con la ayuda del software Surfer 7, el cual aplica el método de interpolación de Kriging. Las isomáximas generadas para los periodos de retorno analizados se presentan en la Figura 229 a la Figura 235.

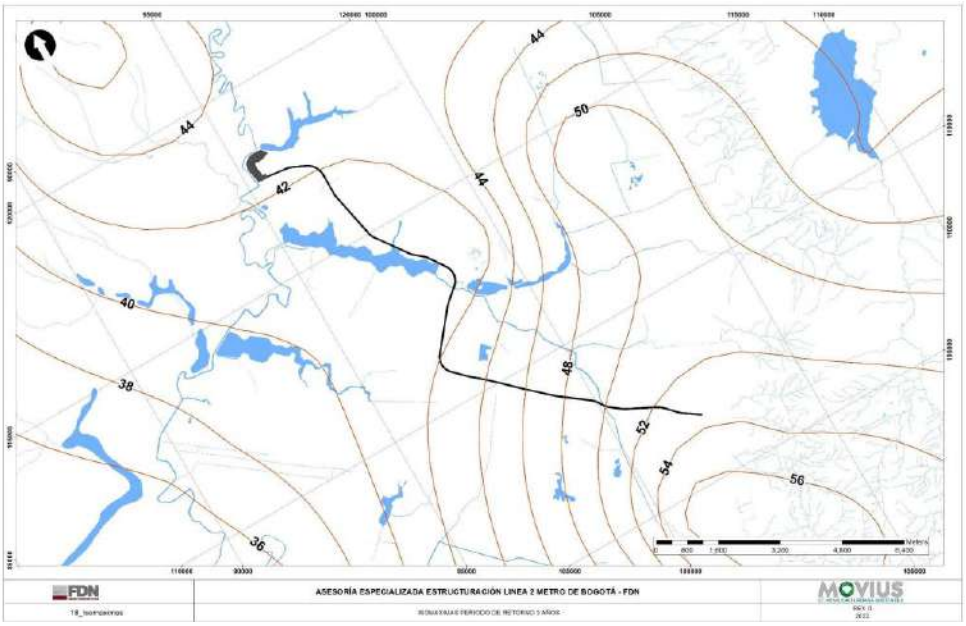


Figura 229. Isomáximas 2,33 años de periodo de retorno (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

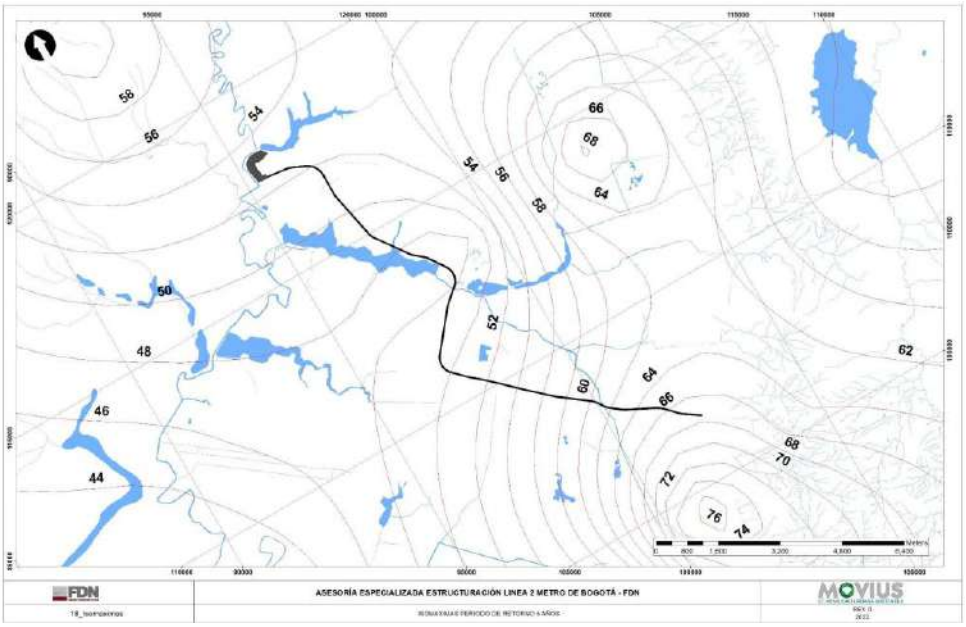


Figura 230. Isomáximas 5 años de periodo de retorno (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

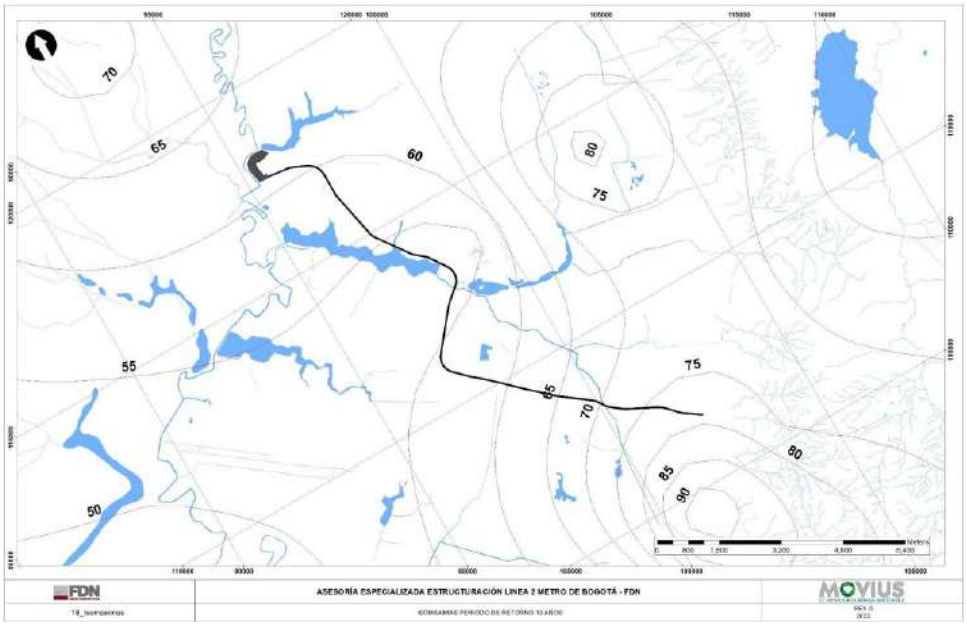


Figura 231. Isomáximas 10 años de periodo de retorno (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

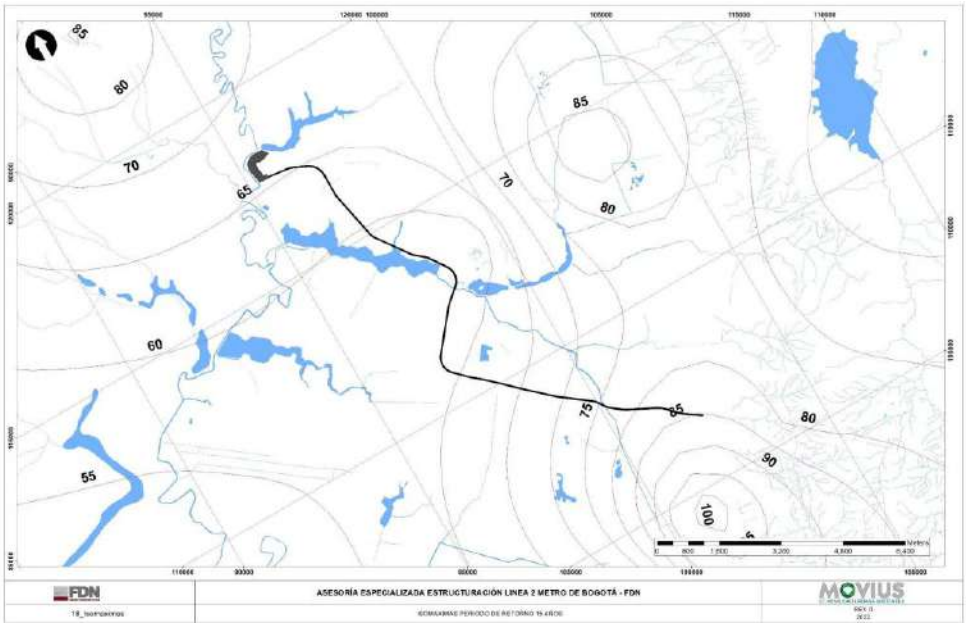


Figura 232. Isomáximas 15 años de periodo de retorno (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

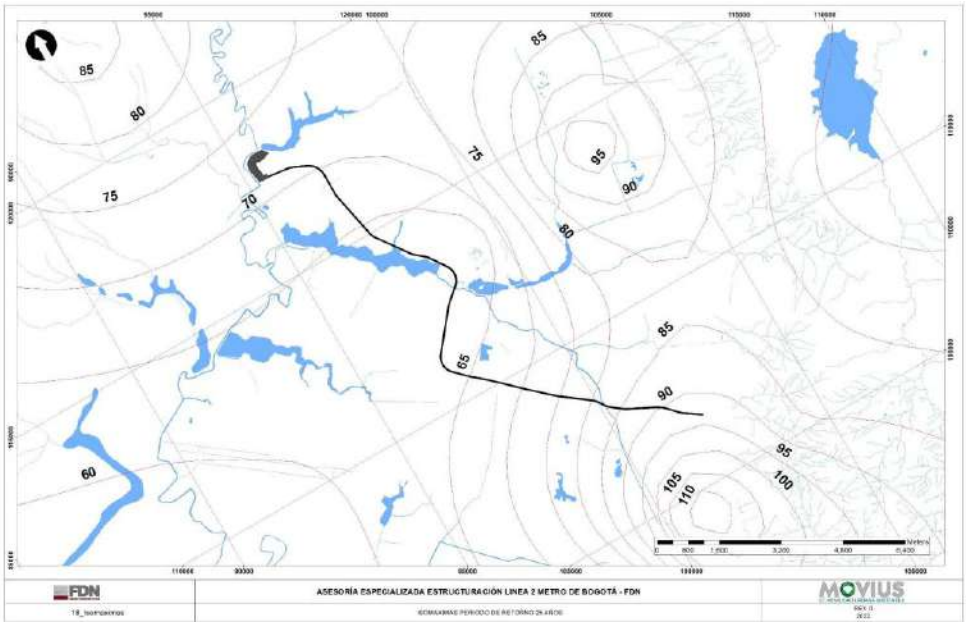


Figura 233. Isomáximas 25 años de periodo de retorno (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

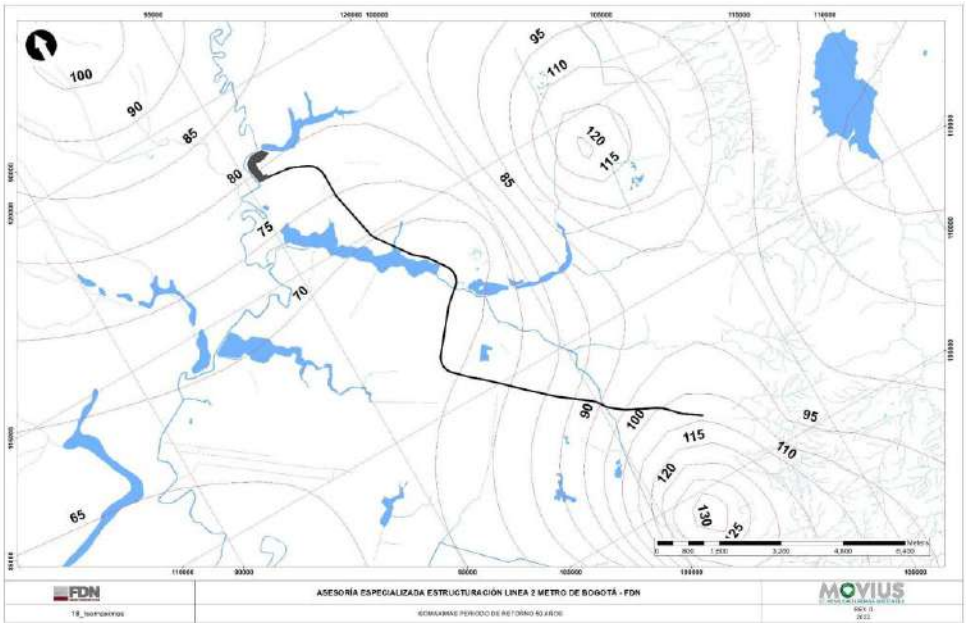


Figura 234. Isomáximas 50 años de periodo de retorno (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

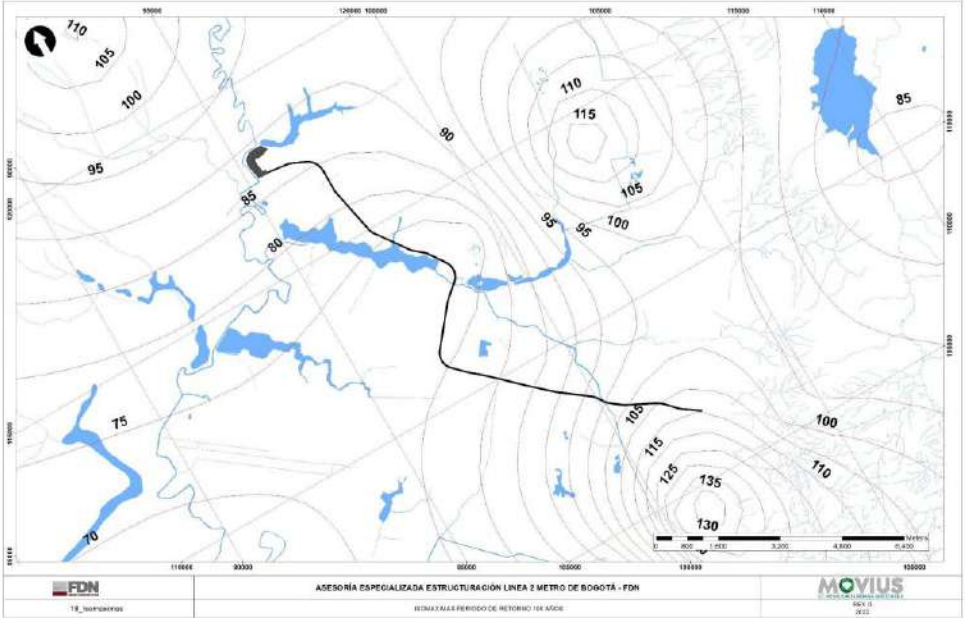


Figura 235. Isomáximas 100 años de periodo de retorno (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

A partir de las isomáximas generadas se estimó la precipitación máxima sobre cada subcuenca analizada. Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 131.

Tabla 131. Precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno de las subcuencas (mm).

Cuenca	2.33 Años	5 Años	10 Años	15 Años	25 Años	50 Años	100 Años
Humedal La Conejera	42,42	53,28	61,89	66,73	73,22	81,45	89,79
Canal Cafam	42,10	51,81	59,76	64,20	69,76	77,22	84,64
Cuenca 1	41,76	50,55	57,92	61,99	67,51	74,12	80,98
Humedal Juan Amarillo	41,92	50,21	57,43	61,56	66,66	73,28	79,82
Cuenca 2	41,63	48,46	55,15	59,6	65,09	69,88	75,41
Canal Salitre B	54,09	68,46	80,16	86,74	94,87	108,92	111,82
Canal Salitre Completa	49,56	62,12	72,16	77,82	84,84	96,18	99,95

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Factor de Reducción por Área

Para determinar la precipitación promedio en cada subcuenca se utiliza un factor de reducción por área, teniendo en cuenta que los datos de precipitación máxima en 24 horas registrados en las estaciones son puntuales y se deben obtener precipitaciones espaciales sobre las subcuencas analizadas. En la Tabla 132 se presenta el resultado del cálculo de factor de reducción por área del cual se utilizan distintos métodos. Para este caso se definió utilizar el promedio de los cuatro métodos evaluados.

Tabla 132. Cálculo del factor de reducción por área por diferentes métodos.

Cuenca	Características		Ecuación				Factor de reducción por área
	Área (km^2)	Tc (h)	Frühling	Institution of Civil Engineers	Datos Norteamérica	Curvas PADF	
Humedal La Conejera	16,35	3,24	0,66	0,94	0,84	0,82	0,81
Canal Cafam	2,02	0,43	0,80	0,96	0,96	0,95	0,92
Cuenca 1	1,61	0,93	0,81	0,97	0,94	0,98	0,92
Humedal Juan Amarillo	2,13	0,49	0,79	0,96	0,95	0,95	0,91
Cuenca 2	1,62	0,65	0,81	0,96	0,95	0,98	0,93
Canal Salitre B	32,13	1,00	0,59	0,90	0,88	0,74	0,78
Canal Salitre Completa	121,07	2,56	0,43	0,87	0,75	0,68	0,68

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Considerando los factores de reducción por área y los valores de precipitación máxima estimados para cada subcuenca, se obtuvieron los valores de precipitación para diferentes periodos de retorno en las subcuencas de estudio (ver Tabla 133).

Tabla 133. Precipitación máxima con factor de reducción de cada subcuenca para diferentes periodos de retorno (mm).

Cuenca	2.33 Años	5 Años	10 Años	15 Años	25 Años	50 Años	100 Años
Humedal La Conejera	34,5	43,34	50,35	54,28	59,56	66,26	73,04
Canal Cafam	38,55	47,44	54,73	58,79	63,89	70,72	77,51
Cuenca 1	38,61	46,73	53,55	57,31	62,42	68,53	74,87
Humedal Juan Amarillo	38,25	45,83	52,41	56,18	60,84	66,88	72,85
Cuenca 2	38,51	44,84	51,03	55,15	60,23	64,66	69,78
Canal Salitre B	41,96	53,11	62,19	67,3	73,61	84,51	86,75
Canal Salitre Completa	33,87	42,45	49,31	53,18	57,98	65,73	68,3

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Distribución temporal de la tormenta

Para realizar la distribución temporal de la precipitación se toma como referencia lo recomendado por la normativa NS-085 de la EAAB, donde se explica que se supone que la lluvia de diseño cae efectivamente en 3 horas independientemente del área en consideración, y el hietograma de diseño se obtiene utilizando la distribución de la Tabla 134, no obstante, como existen cuencas que superan las 1000 ha, se decide comparar con distribuciones temporales de las tormentas de otras estaciones cercanas. En la Figura 236, se observa que la distribución está dentro del rango en comparación de la norma, por lo que se decide utilizar para todas las subcuencas la información de la Tabla 134 o la Figura 237 para el cálculo de caudales máximos.

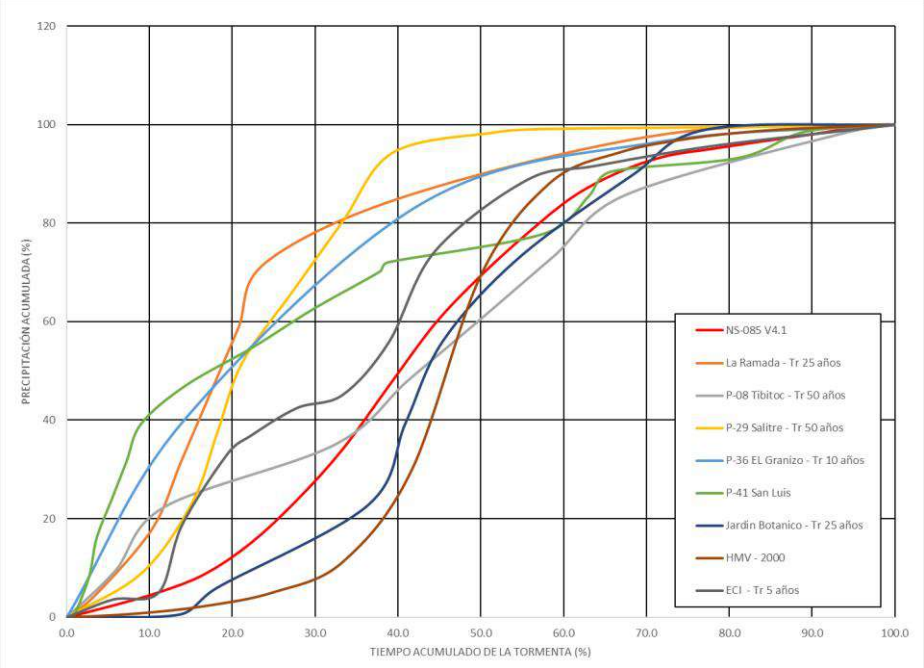


Figura 236. Distribución temporal de las tormentas.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 134. Distribución temporal de la precipitación - Duración 3 horas.

Tiempo acumulado		Precipitación acumulada (%)
(min)	(%)	
0	0	0
10	5,6	2,4

Tiempo acumulado		Precipitación acumulada (%)
(min)	(%)	
20	11,1	5,1
30	16,7	8,8
40	22,2	15,1
50	27,8	23,8
60	33,3	34,2
70	38,9	47
80	44,4	59,6
90	50	69,4
100	55,6	77,9
110	61,1	85,4
120	66,7	90,4
130	72,2	93,6
140	77,8	95,1
150	83,3	96,5
160	88,9	97,8
170	94,4	99,2
180	100	100

Fuente: EAAB.*NS-085 Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado*. (2020).

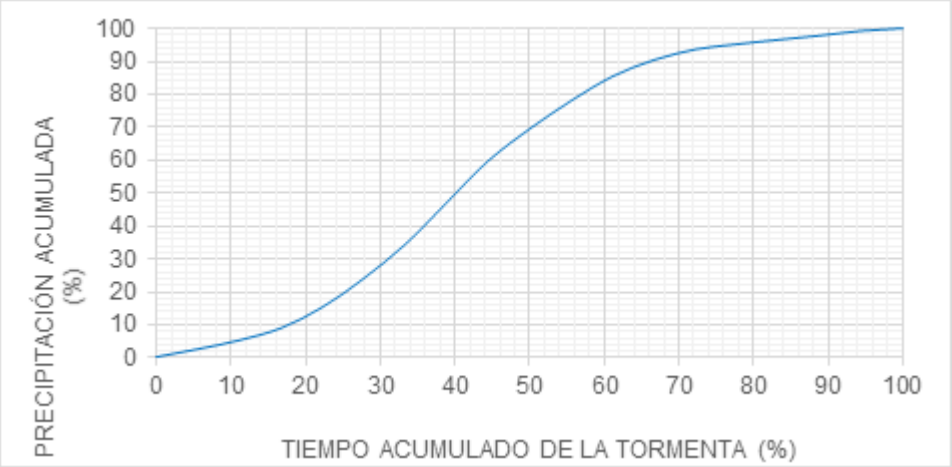


Figura 237. Distribución temporal de las tormentas - Duración 3 horas.
Fuente: *EAAB.NS-085 Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado. (2020).*

Luego de determinar cada uno de los parámetros requeridos para el cálculo de los caudales máximos, se aplica el modelo lluvia-escorrentía con el software HEC-HMS v4.9, el cual realiza la transformación de la escorrentía en caudal, utilizando el método del hidrograma unitario del SCS. En este hidrograma, el caudal se expresa por la relación entre, el caudal q, y el caudal pico qp, así como el tiempo con la relación entre, el tiempo t, respecto del tiempo de ocurrencia del caudal pico Tp. Conocidos los valores de qp y Tp se pueden encontrar las abscisas t, y las ordenadas q, del hidrograma unitario SCS (ver Figura 238).

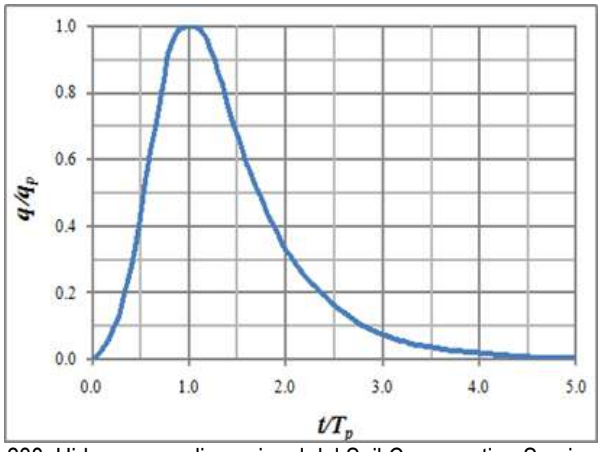


Figura 238. Hidrograma adimensional del Soil Conservation Service (SCS)
Fuente:INGETEC S.A., 2017

El caudal pico está definido por la Ecuación 18 y el tiempo de ocurrencia por la Ecuación 19.

$$q_p = \frac{0{,}2083 \cdot A \cdot E}{T_p}$$ Ecuación 18. Caudal unitario pico

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p$$

Ecuación 19. Tiempo de ocurrencia del caudal pico

Donde:

q_p= Caudal pico unitario, m³/s/mm
A= Área de drenaje, km²
E= Escorrentía unitaria, 1 mm
t_r= Duración de la lluvia efectiva, horas
t_p= Retardo de la subcuenca en horas, que es equivalente a 0,6 Tc

Se resalta que el hidrograma unitario se utiliza para estimar el caudal que se tendrá en un punto sobre la corriente a la salida de una subcuenca con base en la lluvia que se presente en dicha subcuenca para un periodo de retorno dado. Con el fin de determinar el valor del caudal máximo para los periodos de retorno de 2,33, 5, 10, 25, 50 y 100 años usando la metodología descrita anteriormente, a través del software HEC-HMS v4.9 se obtienen los resultados que se presentan en la Tabla 135, en la Tabla 136 se presentan los valores del tiempo de ocurrencia del caudal pico.

Tabla 135. Caudales máximos en las subcuencas en estudio para diferentes periodos de retorno (m³/s).

No.	Cuenca	2,33 Años	5 Años	10 Años	15 Años	25 Años	50 Años	100 Años
1	Humedal La Conejera	15,47	24,35	32,08	36,61	42,89	51,09	59,62
2	Canal Cafam	13,81	17,34	20,22	21,82	23,83	26,49	29,15
3	Cuenca 1	9,25	11,44	13,27	14,27	15,64	17,42	18,96
4	Humedal Juan Amarillo	14,04	17,15	19,85	21,39	23,31	25,75	28,18
5	Cuenca 2	10,2	12,07	13,89	15,1	17,47	17,88	19,38
6	Canal Salitre B	60,2	100,79	132,57	157,78	184,47	232,21	242,24
7	Canal Salitre Completa	144,23	223,23	291,37	331,22	381,94	449,35	494,89

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 136. Tiempo de ocurrencia del caudal pico.

Cuenca	Tp (min)						
	2,33 Años	5 Años	10 Años	15 Años	25 Años	50 Años	100 Años
Humedal La Conejera	220	220	210	210	210	210	210
Canal Cafam	90	90	90	90	90	90	90
Cuenca 1	110	110	110	110	110	120	110
Humedal Juan Amarillo	90	90	90	90	90	90	90

Cuenca	Tp (min)						
	2,33 Años	5 Años	10 Años	15 Años	25 Años	50 Años	100 Años
Cuenca 2	100	100	100	100	100	100	100
Canal Salitre B	130	130	130	130	130	130	130
Canal Salitre Completa	190	190	190	190	190	180	180

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Adicionalmente, se hace la aclaración que no se va a intervenir ninguna fuente o cuerpo de agua, a razón de que la línea 2 del metro es subterránea. En otras palabras, no se generarán conflictos potenciales sobre la disponibilidad y usos del agua, al no tener área de influencia.

5.2.2.1.15.7. Caudales mínimos

La estimación de los caudales mínimos para diferentes periodos de retorno se realizó a partir de la serie anual de caudales medios mínimos diarios. Se estimaron los caudales mínimos para diferentes periodos de retorno para cada estación disponible; Parque Nacional - Río Arzobispo, Ventana-Captación - QDA. La Vieja, y Tramonti - QDA. Chico. S. Analizando los registros de estas estaciones, se evidencia que para la estación Tramonti - QDA. Chico. S existen registros donde el caudal es 0, siendo este el valor mínimo, lo que quiere decir que en alguna época del año se secan. Para las demás estaciones, se realizó un análisis de frecuencias de caudales mínimos de la estación. En la estación Parque Nacional - Río Arzobispo, el mejor ajuste fue el realizado por método de Log-Pearson (ver Figura 239).

Adicionalmente, se hace la aclaración que no se va a intervenir ninguna fuente o cuerpo de agua, a razón de que la línea 2 del metro es subterránea. En otras palabras, no se generarán conflictos potenciales sobre la disponibilidad y usos del agua.

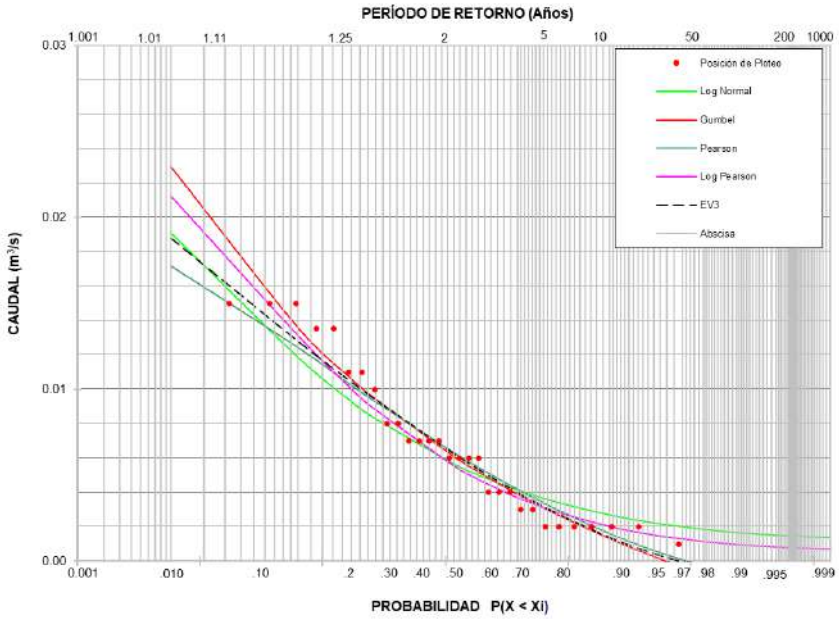


Figura 239. Análisis de frecuencias de caudales mínimos de la estación de Parque Nacional - Río Arzobispo (20951). Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la estación Ventana-Captación - QDA. La Vieja, el mejor ajuste fue por el realizado por el método de EV3 (ver Figura 240), al obtener un menor chi cuadrado en comparación con los otros métodos utilizados.

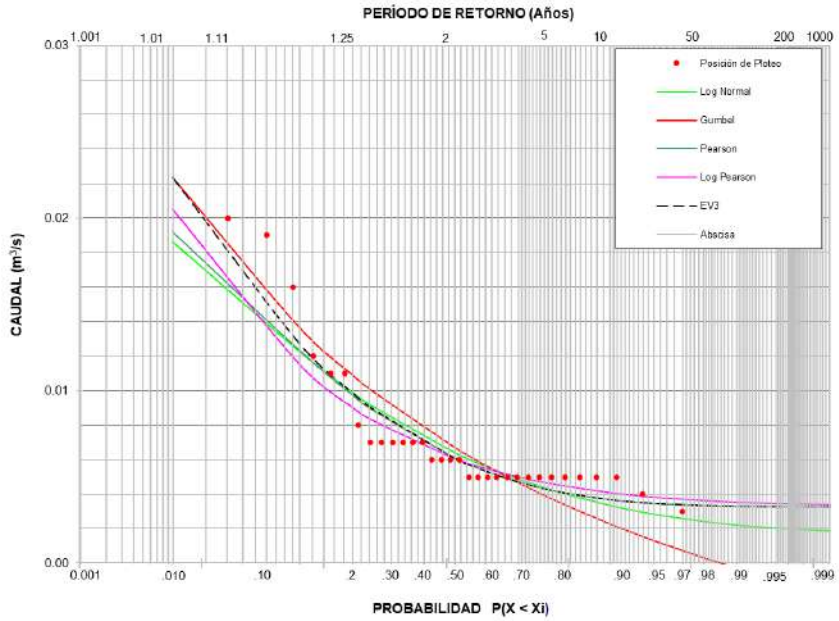


Figura 240. Análisis de frecuencias de caudales mínimos de la estación de Ventana-Captación - QDA. La Vieja (20949). Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Una vez seleccionado el método para el análisis de frecuencias de caudales mínimos, se determinan los valores de caudales mínimos para las estaciones analizadas, estos resultados se presentan en la Tabla 137.

Tabla 137. Caudales mínimos (m^3/s) para diferentes periodos de retorno de las estaciones dentro de la zona de estudio.

Estación	2 Años	5 Años	10 Años	15 Años	20 Años	25 Años	50 Años	100 Años
20949 VENTANA - CAPTACIÓN - QDA. LA VIEJA	0,0061	0,0041	0,0037	0,0035	0,0035	0,0034	0,0033	0,0033
20951 PARQUE NACIONAL - RÍO ARZOBISPO	0,0056	0,0029	0,0020	0,0017	0,0015	0,0014	0,0012	0,0010

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.15.8. Caudal ambiental

El procedimiento utilizado para determinar el caudal ambiental corresponde al componente hidrológico de la metodología recomendada por la ANLA en el año 2013, la cual lo define como el caudal de 95% de probabilidad de excedencia de las series de caudales diarios de cada mes. En la Tabla 116 se presentan los resultados de los análisis realizados.

Tabla 138. Caudal ambiental para cada subcuenca en estudio.

Subcuenca	Caudal Ambiental (m^3/s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Humedal La Conejera	0,02	0,03	0,03	0,06	0,04	0,06	0,06	0,03	0,07	0,06	0,04	0,04
Canal Cafam	0,004	0,005	0,005	0,009	0,006	0,01	0,01	0,005	0,011	0,009	0,007	0,007
Cuenca 1	0,004	0,004	0,004	0,007	0,005	0,008	0,008	0,004	0,008	0,007	0,005	0,005
Humedal Juan Amarillo	0,005	0,006	0,005	0,01	0,007	0,01	0,01	0,006	0,011	0,01	0,007	0,007
Cuenca 2	0,004	0,005	0,004	0,007	0,005	0,008	0,008	0,004	0,008	0,008	0,006	0,006
Canal Salitre B	0,08	0,08	0,07	0,13	0,10	0,19	0,20	0,09	0,11	0,14	0,11	0,11
Canal Salitre Completo	0,29	0,31	0,28	0,51	0,38	0,66	0,70	0,33	0,49	0,53	0,41	0,41

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Adicionalmente, se hace la aclaración que no se va a intervenir ninguna fuente o cuerpo de agua, a razón de que la línea 2 del metro es subterránea. En otras palabras, no se generarán conflictos potenciales sobre la disponibilidad y usos del agua.

5.2.2.1.16. Oferta hídrica

Luego de cuantificar el caudal medio y el caudal ambiental, se determina la diferencia entre estos dos caudales a escala media multianual con la finalidad de obtener la oferta hídrica de cada subcuenca. Los resultados de esta se presentan en la Tabla 139.

Tabla 139. Oferta hídrica de cada subcuenca.

Subcuenca	Q med (m^3/s)	Q amb (m^3/s)	Oferta hídrica (m^3/s)
Humedal La Conejera	0,29	0,04	0,24
Canal Cafam	0,05	0,01	0,04
Cuenca 1	0,04	0,01	0,03
Humedal Juan Amarillo	0,05	0,01	0,04
Cuenca 2	0,04	0,01	0,03
Canal Salitre B	0,76	0,12	0,64
Canal Salitre Completo	2,86	0,44	2,42

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.17. Dinámica fluvial

5.2.2.1.17.1. Caracterización morfológica

La caracterización morfológica parte de la cuantificación de las variables morfológicas dependientes e independientes del tramo de cruce. Las variables independientes corresponden al caudal y al volumen de sedimentos transportados; mientras que las variables dependientes están representadas por la sección transversal, la forma en planta, la pendiente longitudinal y tamaño representativo del sedimento. Para los cauces en estudio no se hicieron levantamientos batimétricos. En la caracterización morfológica se aplicará el sistema de clasificación de Rosgen, el cual es ampliamente aceptado para este tipo de estudios y se basa en el análisis detallado de ríos alrededor del mundo permitiendo analizar la estabilidad de los cauces. El primer paso es determinar el tipo base a partir de la pendiente, en el siguiente paso se usa la relación ancho sobre profundidad de la sección para seleccionar el tipo de cauce entre los identificados en el paso anterior usando el índice de sinuosidad y el tipo de material en el lecho para establecer el tipo final de cauce.

En la Figura 179 se muestra el sistema de clasificación nivel I de Rosgen, el cual está en función de la pendiente, vista en planta y la sección transversal. El sistema es utilizado usualmente para redes naturales, no obstante, para este caso se define el tipo de corriente o red buscando el más semejante posible. En Tabla 140, se indica el resultado de esta clasificación, de los resultados se puede observar que todos mantienen una baja sinuosidad, velocidad y pendiente, la variación se da principalmente en la sección transversal y en la vista en planta de cada cuerpo de agua. En la Tabla 140 se presenta el ancho superficial (W), la base (B) para las secciones circulares o trapezoidales, la profundidad hidráulica (H), la pendiente (S) y el coeficiente de sinuosidad (Ks).

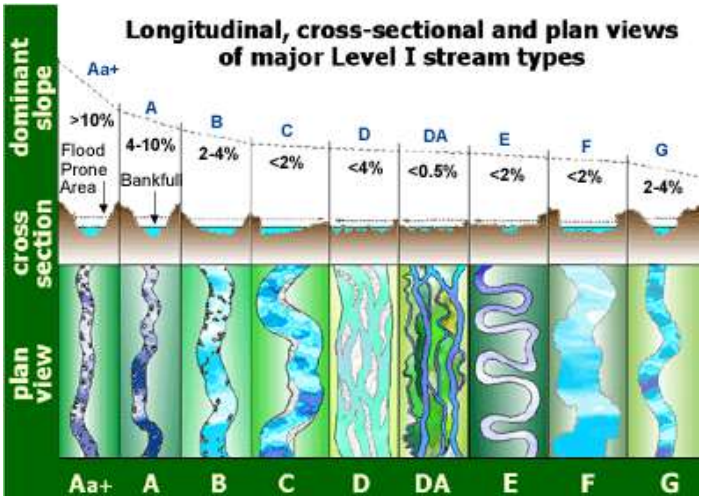


Figura 241. Sistema de clasificación de Rosgen, nivel I.
Fuente: Watershed Academy Web. (2022)

Tabla 140. Características hidráulicas Nivel I de los cruces.

Subcuenca	Q med (m^3/s)	V (m/s)[12]	Sección	Material	W (m)	B (m)	H (m)	S (m/m)	Ks	Tipo
Humedal La Conejera	0,29	0,00097	-	Terrazas lacustres	176,25	-	-	0,10%	0,88	D
Canal Cafam	0,05	0,00491	Trapezoidal	Excavación con zanja	6,62	2,5	2,15	0,10%	0,87	G
Cuenca 1	0,04	0,04384	-	Concreto	1,5	1,5	1,5	0,60%	0,7	F
Humedal Juan Amarillo	0,05	0,00005	-	Excavación terreno natural	51,49	-	40	0,20%	0,97	D
Cuenca 2	0,04	0,04528	-	Concreto	1,5	1,5	1,5	0,30%	0,97	F
Canal Salitre B	0,76	0,00153	Trapezoidal y sección al terreno	Concreto & Terreno natural	24,49	18,1	23,3	9,50%	0,7	A

[12] Suponiendo que la altura de la sección es igual a la altura del agua.

Subcuenca	Q med (m^3/s)	V (m/s)[12]	Sección	Material	W (m)	B (m)	H (m)	S (m/m)	Ks	Tipo
			natural[13]							
Canal Salitre Completo	2,86	0,01592	Trapezoidal y sección al terreno natural	Concreto & Terreno natural	31,95	4	10	1,90%	0,76	G

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.17.2. Análisis multitemporal (forma en planta)

Para el análisis multitemporal de los cauces que se cruzan con el trazado proyectado para la línea 2 del metro, se consultaron imágenes satelitales de la herramienta Google Earth de los años 2009 - 2015 - 2021. En la Figura 197 a la Figura 247 se presentan las figuras mencionadas, en estas se puede notar que los cauces presentan un bajo índice de sinuosidad, y de igual forma no se evidencian cambios en su lineamiento, por lo que se puede decir que la dinámica fluvial de todos estos cauces es de baja a nula. Esto se debe principalmente a que el trazado de los canales se encuentra revestido con concreto en gran parte de su recorrido, solo el brazo del humedal Juan Amarillo no presenta revestimiento de concreto en su sección transversal.

- Humedal La Conejera

Localización



2009



2015

2021

[13] Las dimensiones del canal salitre varían a lo largo del tramo, por lo que las medidas presentadas son para una sección en específico.



Figura 242. Variación multitemporal de la subcuenca Humedal La Conejera.
Fuente: Google Earth. (2022)

- Canal Cafam

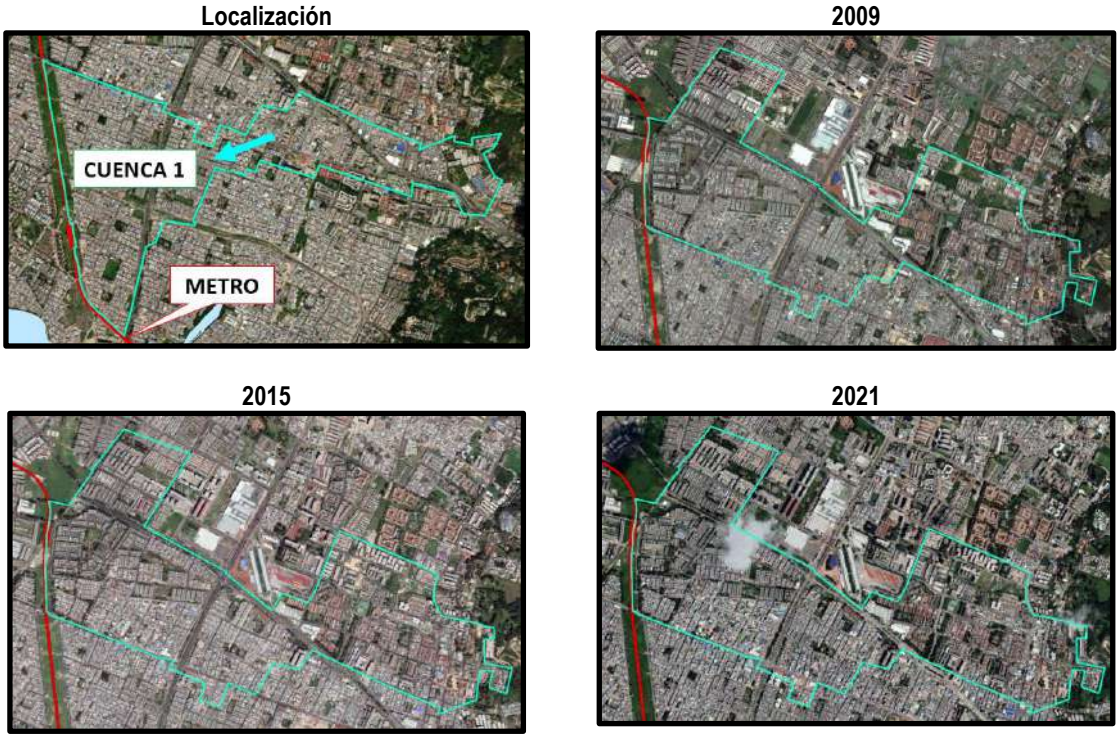


Figura 243. Variación multitemporal de la subcuenca Canal Cafam.
Fuente: Google Earth. (2022)

- Cuenca 1

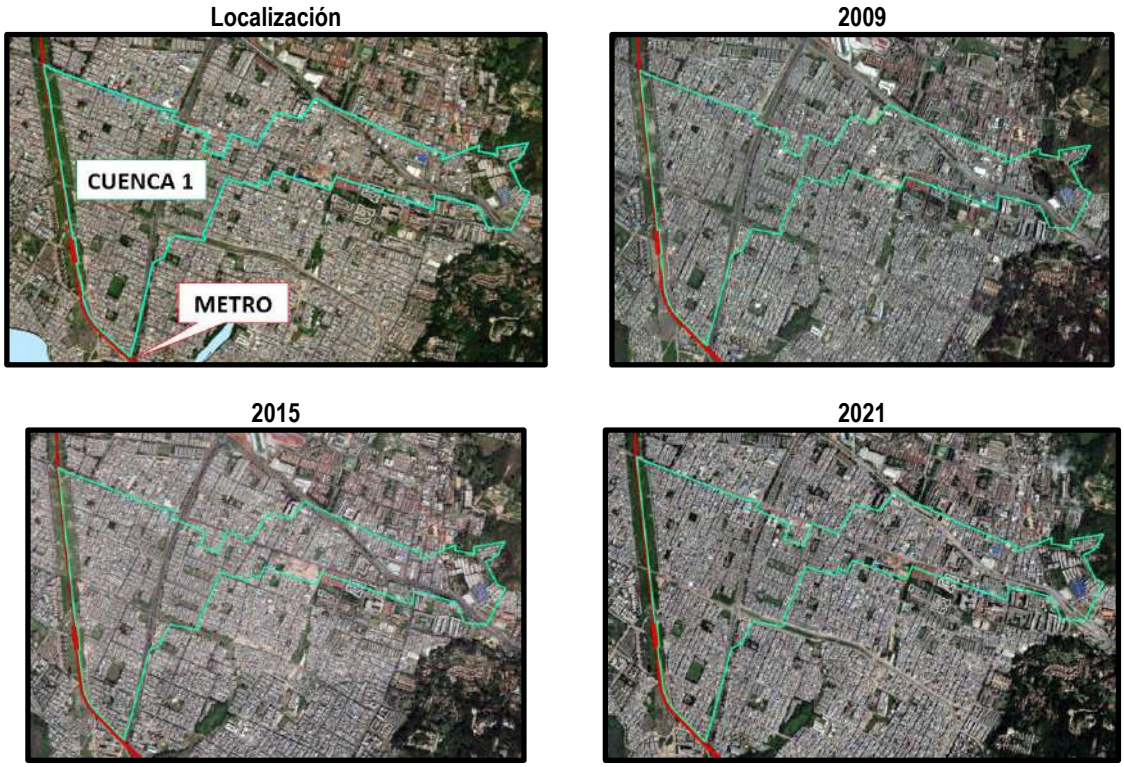


Figura 244. Variación multitemporal de la Cuenca 1.
Fuente: Google Earth. (2022)

- Humedal Juan Amarillo





Figura 245. Variación multitemporal de la subcuenca Humedal Juan Amarillo.
Fuente: Google Earth. (2022)

- Cuenca 2

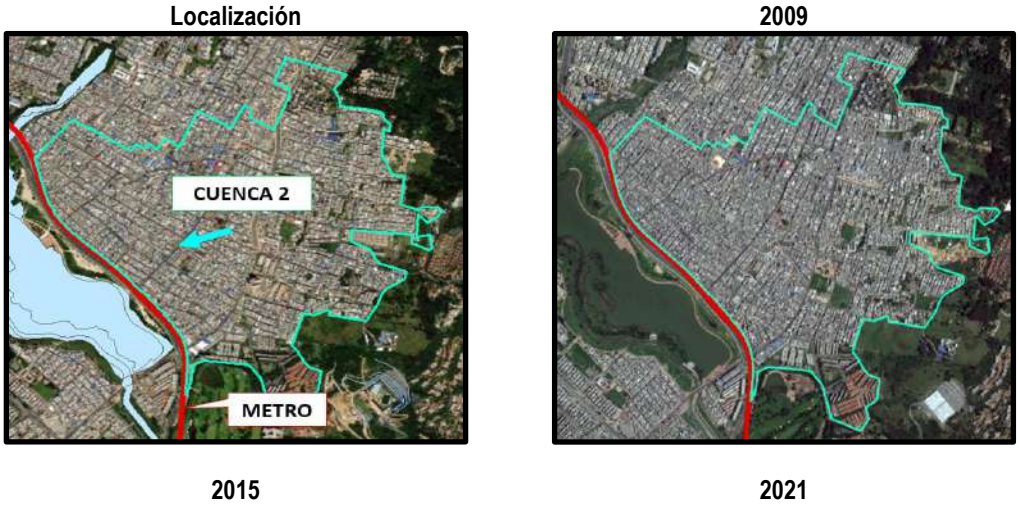




Figura 246. Variación multitemporal de la Cuenca 2.
Fuente: Google Earth. (2022)

- Canal Salitre

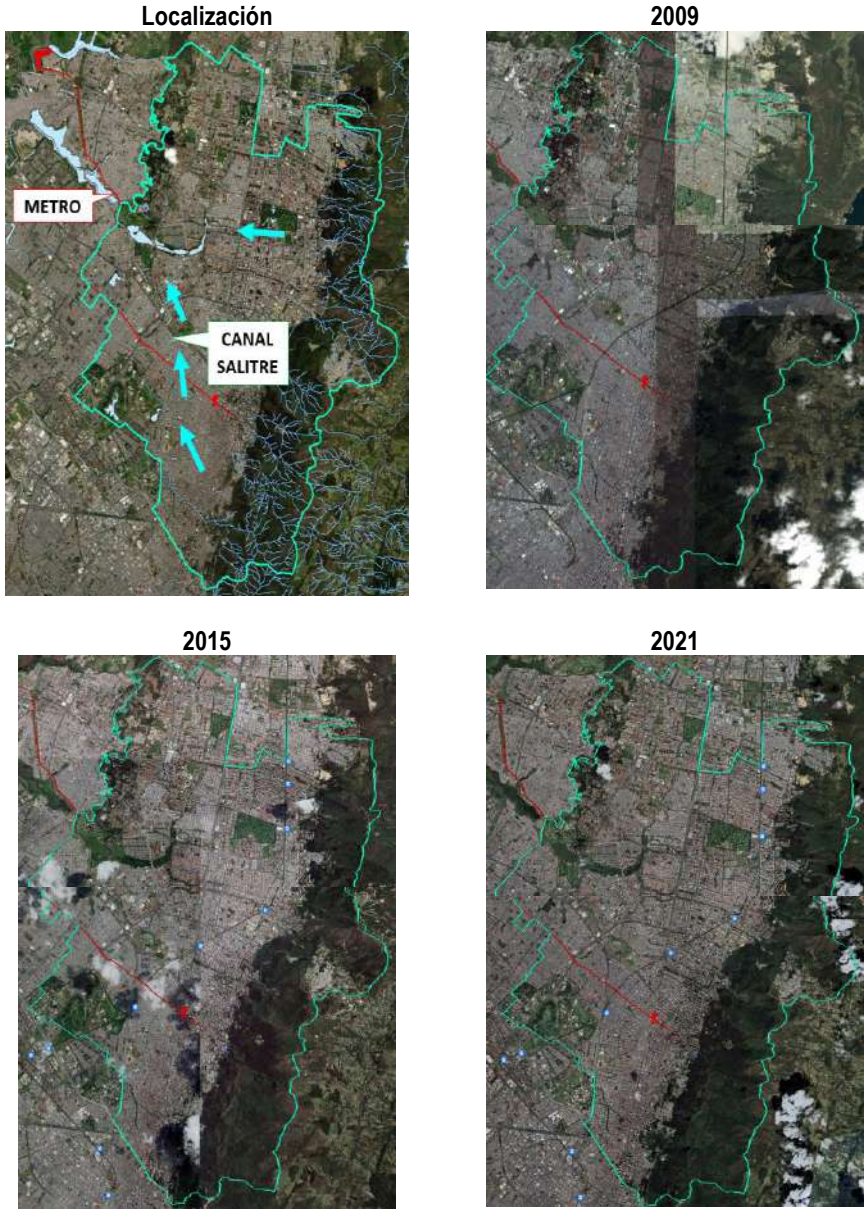


Figura 247. Variación multitemporal de la subcuenca Canal Salitre.
Fuente: Google Earth. (2022)

5.2.2.1.17.3. Conclusiones

Luego de haber realizado la caracterización morfológica y el análisis multitemporal de cada uno de los sitios de cruce con el trazado proyectado para la línea 2 del metro de Bogotá, se puede concluir que la dinámica fluvial para todos estos es baja a nula, ya que se trata de cuerpos de agua o cauces estables, teniendo en cuenta que la mayoría de estos tienen revestimiento de concreto en su sección.

5.2.2.1.18. Índice de uso del agua

Este índice hace referencia a la cantidad de agua utilizada por diferentes usuarios en un periodo determinado y una unidad espacial de análisis en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades temporales y espaciales[14]. El índice de uso del agua es determinado mediante la Ecuación 20.

$$IUA = \left(\frac{Dh}{Oh}\right) \cdot 100$$

Ecuación 20. Índice de uso del agua

Donde:
Dh: Demanda hídrica sectorial.
Oh: Oferta hídrica superficial disponible (esta última resulta de la cuantificación de la oferta hídrica natural sustrayendo la oferta correspondiente al caudal ambiental.

En la Tabla 141 se presentan las categorías en las cuales se puede presentar este indicador.

Tabla 141. Rangos y categorías del índice del uso del agua.

(Dh/Oh)*100 Rango IUA	Categoría	Significado
> 50	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20,01 – 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10,01 – 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1,0 – 10,0	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
< 1	Muy Bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Fuente: IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018.

De la revisión a la información presentada en el mapa del índice de uso del agua en Colombia para condiciones hídricas correspondiente a año medio (ver Figura 248) se define que las subcuencas correspondientes al Humedal La Conejera, Canal Cafam, Cuenca 1, Humedal Juan Amarillo, Cuenca 2 y el canal Salitre tienen un indice de uso del agua en el rango muy alto, lo que indica que la presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible.

[14] IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.Estudio Nacional del Agua 2018

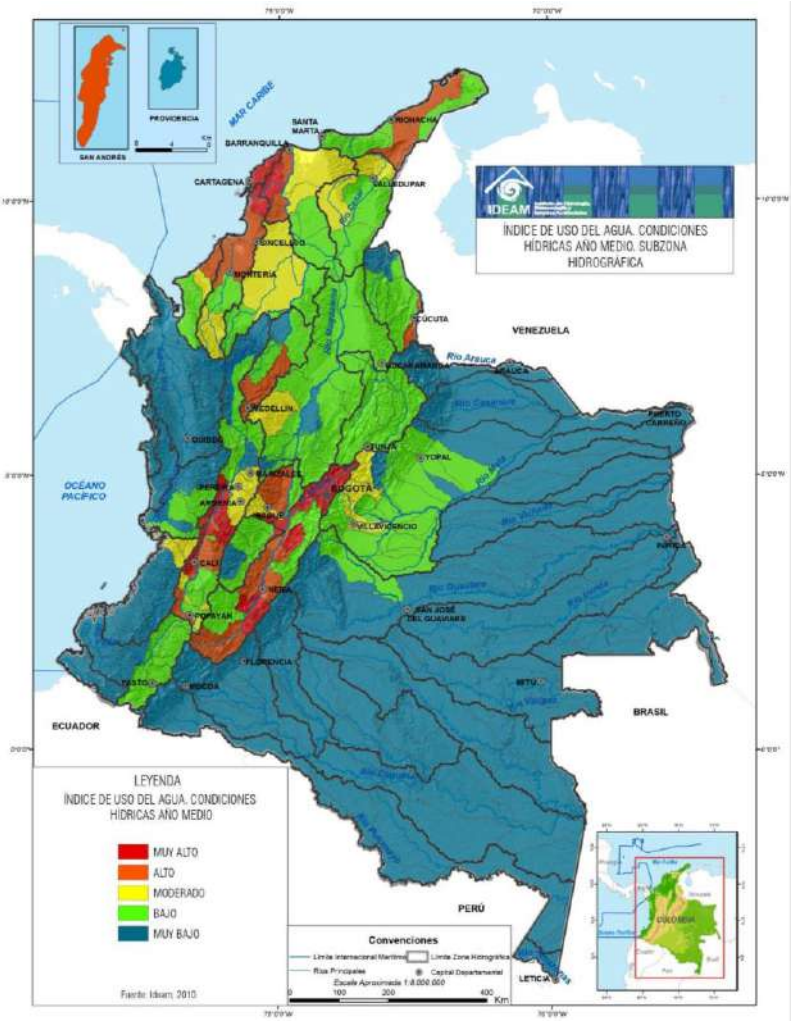


Figura 248. Mapa del índice del uso del agua de Colombia.
Fuente: IDEAM. *Índice de Uso del Agua, Condiciones Hídricas Año Medio, Subzona Hidrográfica*. (2010).

5.2.2.1.19. Índice de regulación hídrica

El índice de regulación hídrica (IRH) es un indicador asociado al régimen natural de las cuencas que califica cualitativamente la capacidad de retención y regulación hídrica por medio de la forma de la curva de duración de caudales medios diarios (CDC), para señalar las zonas que escurren de forma más estable y la ocurrencia de caudales extremos. El valor es representativo de las condiciones medias de la cuenca a la salida de la subzona, o antes de una intervención antrópica importante, resultado de una síntesis de las condiciones medias de la cuenca medidas sobre el cauce principal.

El índice de retención y regulación hídrica se estima mediante la Ecuación 21[15]:

$$IRH = \frac{V_p}{Vt}$$

Ecuación 21. Índice de regulación hídrica

Donde:
Vp: Volumen parcial equivalente al área bajo la línea de caudal medio.
Vt: Volumen total equivalente al área bajo la CDC.

El índice de regulación hídrica se calcula con base en la curva de duración de caudales medios diarios y los rangos establecidos que se relacionan en la Tabla 142.

Tabla 142. Categorías del índice de regulación hídrica.

IRH	Categoría
IRH ≤ 0,50	Muy Baja
0,50 < IRH ≤ 0,65	Baja
0,65 < IRH ≤ 0,75	Moderada
0,75 < IRH ≤ 0,85	Alta
IRH > 0,85	Muy Alta

Fuente: IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. (2019).

A partir de la información y metodología indicadas previamente, se calcula el índice de regulación hídrica para cada subcuenca como se indica en la Tabla 143, en esta se puede notar que para las subcuencas, el índice de regulación se clasifica como baja y moderada para el Humedal La Conejera.

Tabla 143. Índice de regulación hídrica.

Cuenca	IRH	Clasificación
Humedal La Conejera	0,65	Moderada
Canal Cafam	0,63	Baja
Cuenca 1	0,63	Baja
Humedal Juan Amarillo	0,63	Baja
Cuenca 2	0,63	Baja
Canal Salitre B	0,63	Baja

[15] IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Estudio Nacional del Agua 2018.

Canal Salitre Completo	0,63	Baja

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

De lo anterior puede concluirse que la subcuenca para el Humedal La Conejera tiene retención y regulación de humedad moderada, mientras que, las demás subcuencas tienen una baja capacidad de interacción del sistema suelo-vegetación con las condiciones climáticas, las características físicas y morfométricas de las cuencas, y muestra una baja retención y regulación de humedad. Realizando una comparación de los resultados indicados en la Tabla 143 con respecto a la información temática presentada en el mapa de la Figura 249, se observa que se está dentro del rango de los resultados obtenidos, por lo que se considera que el resultado obtenido es coherente con el mapa nacional multianual del índice de regulación hídrica.

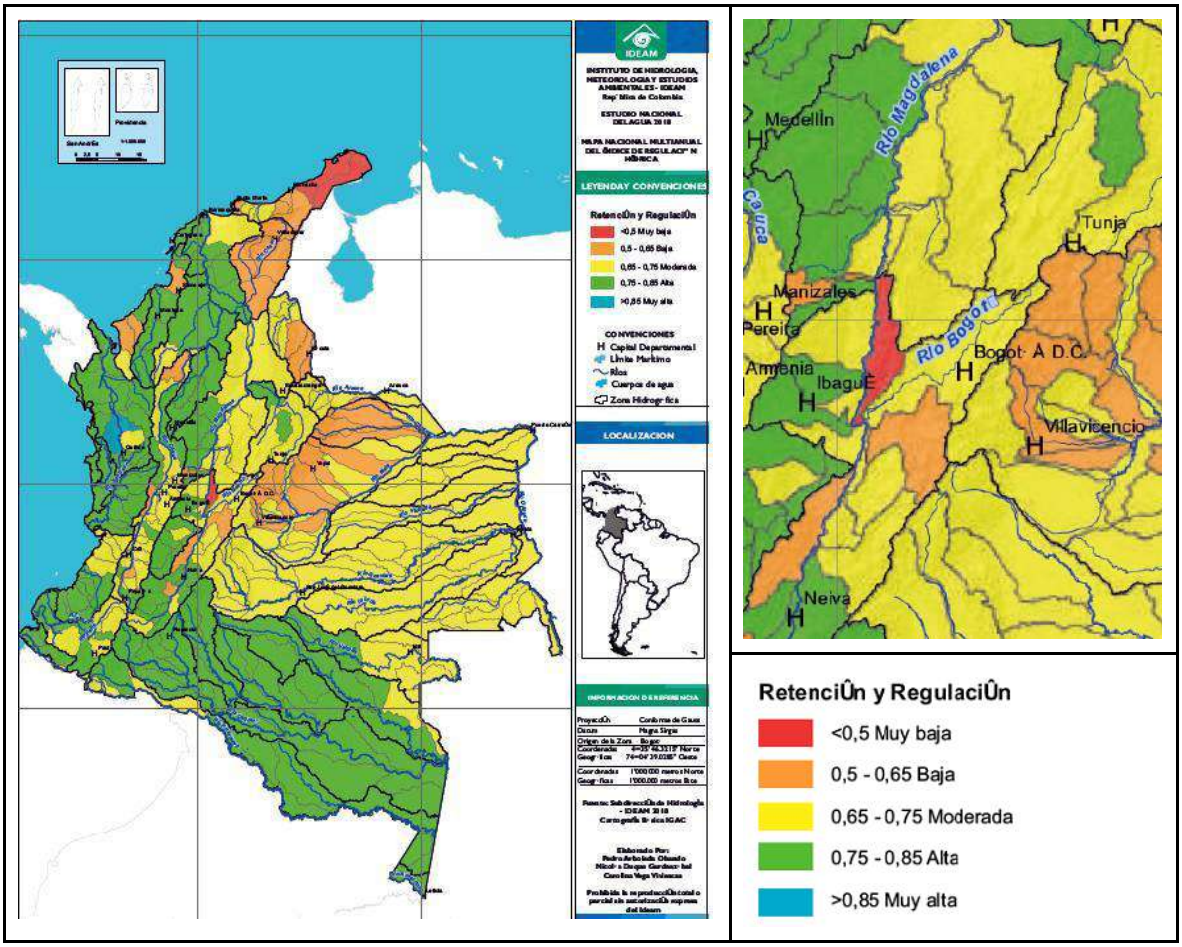


Figura 249. Mapa nacional multianual del índice de regulación hídrica.
Fuente: IDEAM. *Estudio Nacional del Agua 2018*. (2019).

5.2.2.1.20. Índice de vulnerabilidad hídrica

El índice de vulnerabilidad hídrica se define a partir del índice de regulación hídrica y el índice de uso del agua, este índice mide el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta en el abastecimiento de agua, que ante amenazas como periodos largos de estiaje o eventos como el fenómeno del Niño, podría generarse un riesgo de desabastecimiento de agua en los sectores usuarios del recurso[16]. Este índice es determinado a partir de la relación de rangos de índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso del agua (IUA) de acuerdo con la Tabla 144.

Tabla 144. Relación IRH - IUA

IUA extremo: porcentaje (oferta/demanda)		**Índice de Regulación**			
Rango	**Categoría**	**Alta**	**Moderado**	**Baja**	**Muy baja**
<1	Muy baja	Muy baja	Baja	Media	Media
1-10	Bajo	Baja	Baja	Media	Media
10,1-20	Moderado	Media	Media	Alta	Alta
20,1-50	Alto	Media	Alta	Alta	Muy alta
50,1-100	Muy alto	Media	Alta	Alta	Muy alta
>100	Crítico	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Estudio Nacional del Agua, 2018

Utilizando la Figura 250, se define que para las subcuencas del humedal La Conejera, Canal Cafam, Cuenca 1, Humedal Juan Amarillo, Cuenca 2, Canal Salitre el indice de vulnerabilidad hidrica esta en la categoria de muy alta.

[16] IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.Estudio Nacional del Agua 2018.

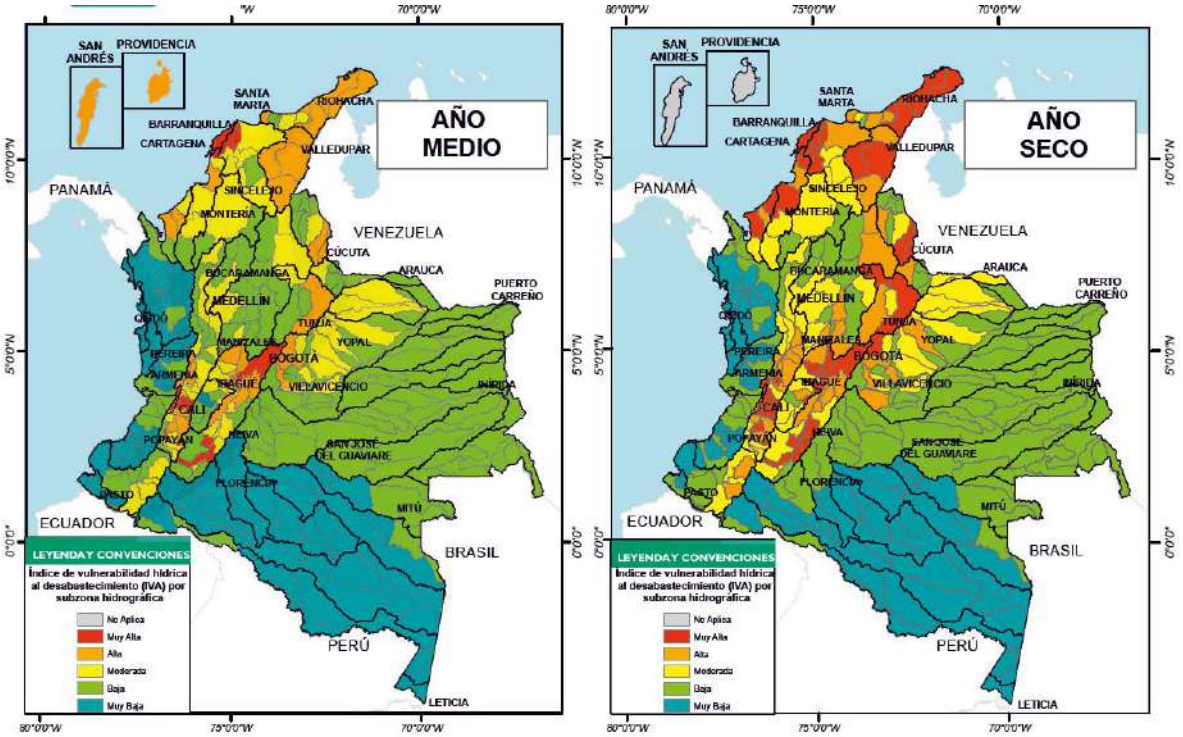


Figura 250. Índice de vulnerabilidad hídrica al desabastecimiento para condiciones hidrológicas promedio y de año seco. Fuente: IDEAM. *Estudio Nacional del Agua 2018*. (2019).

5.2.2.1.21. Índice de aridez

El índice de aridez (IA) es un indicador que califica cualitativamente las condiciones naturales de aridez, midiendo el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región (IDEAM, 2019)[17]. A razón de que el índice es el déficit de la evapotranspiración sobre la evapotranspiración potencial, previamente se calculan sus parámetros:

El índice de aridez permite caracterizar el clima en una zona de manera cualitativa, mostrando condiciones con excedencia o déficit de agua. Este representa la dinámica superficial del suelo determinada a partir de las variables de evapotranspiración real y evapotranspiración potencial y no se refiere a la dinámica subsuperficial del suelo (ver Ecuación 22.

$$I_a = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

Ecuación 22. Índice de aridez

Donde:

[17] IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.Estudio Nacional del Agua 2018.

I_a: Índice de aridez (adimensional)
ETP: Evapotranspiración potencial (mm)
ETR: Evapotranspiración real (mm)

A continuación, se presentan los métodos para la estimación de la evaporación y evapotranspiración de las estaciones que son representativas de las subcuencas analizadas.

5.2.2.1.21.1. Evapotranspiración potencial

Para determinar la evapotranspiración potencial en la cuencas del proyecto se utilizaron varias metodologías las cuales se describen a continuación:

- Método de Thornthwaite

En la metodología de Thornthwaite, se determina la evapotranspiración potencial con relación a la temperatura y la latitud, aplicando la Ecuación 24.

$$ET_{PR} = 1{,}6 \cdot L_a \cdot \left(\frac{10 \cdot T_M}{I_t}\right)^a$$ Ecuación 23. Método de Thornthwaite

Donde:
ET_{PR}: Evapotranspiración mensual
L_a : Ajuste por el número de horas de luz en el mes (relacionada con la latitud del sitio)
T_M: Temperatura del aire promedio para cada mes (◦C)
I_t: Índice calórico anual, sumatoria de los valores mensuales $I_t = \Sigma i$, donde $i = \left(\frac{T_M}{5}\right)^{1{,}514}$
a : Constante empírica, donde $a = 6{,}75 \cdot 10^{-7} \cdot I_t^3 - 7{,}771 \cdot 10^{-5} \cdot I_t^2 + 1{,}792 \cdot 10^{-2} \cdot I_t + 0{,}49239$

Tabla 145. Evapotranspiración potencial con el método de Thornthwaite.

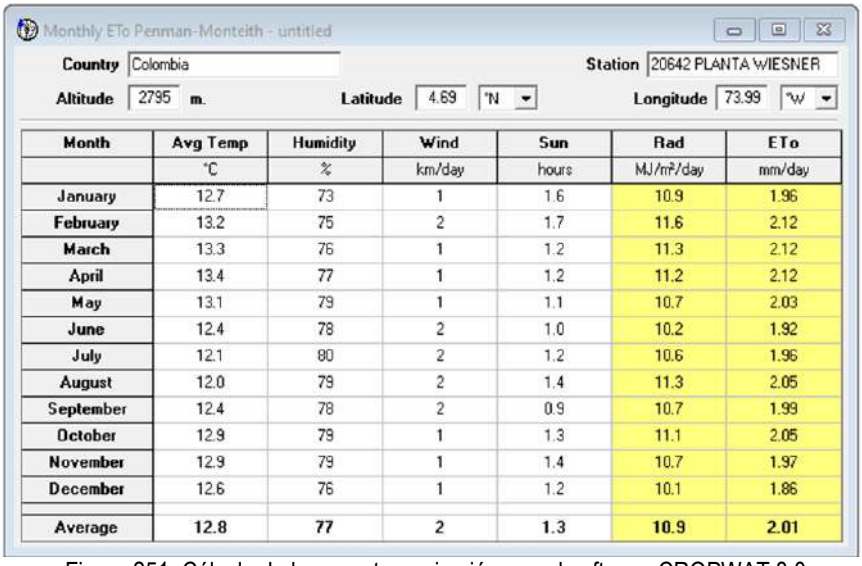
Nombre	ETP Corr (mm/mes)												ETP (mm/anual)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Planta Wiesner	63,46	61,5	69,65	69,56	70,6	63,75	63,69	62,44	61,91	65,7	62,56	63,27	778,08
Ramada La	69,01	62,5	70,88	70,83	74,04	69,1	69,75	70,21	66,27	68,05	65,47	66,06	822,17
Inem Kennedy	62,07	57,5	67,04	69,03	74,2	69,83	70,4	67,56	64,94	67,73	65,55	63,43	799,28
Carvajal-Sevillana	70,46	64,85	73,74	72,53	75,78	73,62	75,93	74,66	70,31	72,33	68,89	70,67	863,76
Centro De Alto Rendimiento	67,32	64,55	73,47	72,28	76,49	71,91	72,41	70,98	67,77	69,7	66,42	67,16	840,46

Nombre	ETP Corr (mm/mes)												ETP (mm/anual)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Guaymaral	66,82	64,74	74,31	72,77	76,36	70,05	69,88	69,29	66,59	69,1	66,82	66,16	832,89
Kennedy	68,18	64,73	73,09	71,95	75,74	71,5	73,77	73,28	71,09	71,24	66,53	69,08	850,18
Móvil	72,28	67,37	75,63	75,3	78,89	73,4	73,46	72,43	70,09	71,34	67,26	71,82	869,26
Puente Aranda	67,06	63,93	71,72	70,74	73,82	68,88	68,26	67,51	66,52	68,52	65,19	66,57	818,7
San Cristóbal	65,02	62,8	70,6	69,01	72,52	66,45	65,74	64,9	64,12	66,4	63,03	64,19	794,78
Suba	67,25	63,91	72,81	71,72	74,68	69,39	70,14	69,12	65,95	68,2	64,79	65,15	823,12
Usaquén	67,54	63,5	71,6	70,62	73,82	70,4	70,58	70,96	66,66	67,48	62,59	62,64	818,38
Las Ferias	67,32	63,77	71,6	70,27	74,07	69,21	69,53	69,23	66,59	67,97	64,86	65,91	820,33

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Método de Penman Monteith

En la metodología de Penman Monteith se involucran dos componentes: uno que estima la cantidad de radiación disponible para evaporación mediante un balance energético aproximado, y el segundo que aplica la ecuación de Dalton para la estimación de la evaporación como función del déficit de humedad atmosférico y de la velocidad del viento. Para el cálculo de la evapotranspiración potencial por esta metodología, se utilizó el software CROPWAT 8.0, desarrollado por la FAO, en el cual se requiere conocer los parámetros de temperatura media, humedad relativa, velocidad del viento, brillo solar y coordenadas de la estación utilizada, para así determinar la radiación solar y la evapotranspiración potencial. En la Figura 251 se presenta una imagen de la interfaz del programa CROPWAT 8.0 con los resultados del modelo, mientras que, en la Tabla 146 se resumen los resultados obtenidos.



Monthly ETo Penman-Monteith - untitled

Country: Colombia — Station: 20642 PLANTA WIESNER

Altitude: 2795 m. — Latitude: 4.69 °N — Longitude: 73.99 °W

Month	Avg Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	%	km/day	hours	MJ/m²/day	mm/day
January	12.7	73	1	1.6	10.9	1.96
February	13.2	75	2	1.7	11.6	2.12
March	13.3	76	1	1.2	11.3	2.12
April	13.4	77	1	1.2	11.2	2.12
May	13.1	79	1	1.1	10.7	2.03
June	12.4	78	2	1.0	10.2	1.92
July	12.1	80	2	1.2	10.6	1.96
August	12.0	79	2	1.4	11.3	2.05
September	12.4	78	2	0.9	10.7	1.99
October	12.9	79	1	1.3	11.1	2.05
November	12.9	79	1	1.4	10.7	1.97
December	12.6	76	1	1.2	10.1	1.86
Average	12.8	77	2	1.3	10.9	2.01

Figura 251. Cálculo de la evapotranspiración con el software CROPWAT 8.0
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 146. Evapotranspiración potencial con el método de Penman Monteith.

Nombre	ETP (mm/mes)												ETP mm/año)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Planta Wiesner	60,76	59,36	65,72	63,6	62,93	57,6	60,76	63,55	59,7	63,55	59,1	57,66	734,29
Ramada La	58,28	60,76	65,41	71,7	75,64	70,8	68,2	65,41	63,9	65,41	66,3	60,45	792,26
Centro de alto rendimiento	74,71	71,12	78,12	74,1	74,4	71,7	76,26	78,74	73,8	75,02	68,1	70,99	887,06
Guaymaral	72,54	69,72	76,57	73,5	73,16	69,3	73,78	77,5	72,3	73,47	67,2	68,51	867,55
Kennedy	86,18	81,2	87,11	83,1	83,39	82,5	88,97	92,69	89,1	86,49	75,9	81,53	1018,16
Las ferias	61,38	59,64	66,34	63,6	62,93	58,5	61,38	64,79	60,9	63,86	59,4	57,66	740,38
San cristóbal	60,76	59,36	65,72	63,3	62,62	57,9	60,76	63,55	60	63,24	59,1	57,66	733,97
Móvil	80,6	61,88	68,2	65,7	64,79	60,3	63,24	66,65	62,7	66,03	60,9	59,83	780,82

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Método del Tanque evaporímetro

En el tanque evaporímetro se define primero el coeficiente Kp para el tanque clase A situado en suelo desnudo, el cual se define mediante la Ecuación 24 de los Estudios de la FAO para Riego y Drenaje (“Evapotranspiración del cultivo”, 2006).

Para esta metodología se requiere conocer la evapotranspiración, humedad relativa, velocidad del viento y la distancia al borde de la superficie a evaluar.

$$K_P = 0{,}61 + 0{,}003141 \cdot HR_{media} - 0{,}000162 \cdot u_2 \cdot HR_{media} - 0{,}00000959 \cdot u_2 \cdot BORDE + 0{,}00327 \cdot u_2 \cdot ln(BORDE) - 0{,}00289 \cdot u_2 \cdot ln(86{,}4 \cdot u_2) - 0{,}0106 \cdot ln(86{,}4 \cdot u_2) \cdot ln(BORDE) + 0{,}00063[ln(BORDE)]^2 \cdot ln(86{,}4 \cdot u_2)$$

Ecuación 24. Coeficiente del tanque

Donde:
Kp: Coeficiente del tanque
u2: Velocidad promedio diaria del viento a 2,0 m de altura (m/s)
HRmedia: Humedad relativa media diaria (%)
BORDE: Borde o distancia al borde de la superficie identificada

Sin embargo, existen límites en la ecuación para estimar el valor de Kp que deben ser respetados:

1,0 m ≤ BORDE ≤ 1000 m
30% ≤ HRmedia ≤ 84%
1,0 m/s ≤ u2 ≤ 8,0 m/s

Con los valores de coeficiente del tanque (Kp) y evaporación (EV) se calcula la evapotranspiración potencial mediante la Ecuación 25.

$$E_P = EV \cdot K_P$$

Ecuación 25. Método del tanque evaporímetro

En la Tabla 147 se presentan los resultados para las estaciones evaluadas.

Tabla 147. Evapotranspiración potencial con el método del Tanque evaporímetro.

Estación	ETP (Mm/Mes)												ETP (mm/año)
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Planta wiesner	59,16	52,12	52,26	47,11	46,1	42,73	42,99	44,78	46,5	49,04	48,5	50,55	581,84
Ramada La	58,81	54,26	55,58	48,61	45,76	46,09	50,17	54,88	52,97	53,77	49,02	53,51	623,45

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Selección de la evapotranspiración potencial

En la Tabla 148 se resumen los resultados obtenidos por los tres métodos evaluados para las estaciones seleccionadas en la zona de estudio. En esta se evidencia que la menor evapotranspiración se obtiene con el método del tanque evaporímetro, y la más alta con el método de Penman. No obstante, para este caso se selecciona la metodología del Tanque Evaporímetro teniendo en cuenta que esta se basa en mediciones realizadas de la evaporación, mientras que los métodos de Thornthwaite y Penman son metodologías indirectas basadas en formulaciones.

Tabla 148. Comparación de los resultados de evapotranspiración potencial.

Estación	Método	Prom
20642 Planta wiesner	Tanque evaporímetro	581,84
	Thornthwaite	778,08
	Penman	734,29
2120516 Ramada la	Tanque evaporímetro	623,45
	Thornthwaite	822,17
	Penman	792,26

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.21.2. Evapotranspiración real

Para el cálculo de la evapotranspiración real se utilizó el método de Turc, para este la formulación está basada en el balance de masas, utilizando la precipitación total y la temperatura (ver Ecuación 26).

$$\frac{E_R}{P} = \frac{1}{\sqrt{0{,}9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \quad \text{si} \quad \frac{P}{L} > 0{,}316$$

$$\frac{E_R}{P} = 1 \quad \text{si} \quad \frac{P}{L} < 0{,}316$$

Ecuación 26. Método de Turc

Donde:
E_R: Evaporación real donde $L = 300 + 25 \cdot T + 0{,}05 \cdot T^3$
P: Precipitación media multianual
T: Temperatura media multianual

Para aplicar el método de Turc, se debe conocer la precipitación media y la temperatura media. En la Tabla 149 se presentan los resultados, en esta se evidencia que la evapotranspiración está dentro del mismo rango a pesar de estar ubicadas en los extremos del área de análisis.

Tabla 149. Evapotranspiración real con el método de Turc.

Nombre	Pt (mm)	L	P/L	Er/P	ETR (mm/año)
20642 Planta Wiesner	896,25	722,3	1,24	0,64	573,81
2120516 Ramada La	821,58	803,88	1,02	0,72	589,17

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.21.3. Cálculo del índice de aridez

El índice se define con la Ecuación 27 y se clasifica a partir de los rangos presentados en la Tabla 150.

$$IA = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

Ecuación 27. Índice de aridez

Donde:
ETP: Evapotranspiración potencial anual multianual (mm)
ETR: Evapotranspiración potencial anual multianual (mm)

Tabla 150. Categorías del índice de aridez.

IA	Categoría
< 0,15	Altos excedentes
0,15 - 0,19	Excedentes
0,20 - 0,29	Moderado a excedentes
0,30 - 0,39	Moderado
0,40 - 0,49	Moderado a deficitario
0,50 - 0,59	Deficitario
> 0,60	Altamente deficitario

Fuente: IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. (2019).

De acuerdo con la metodología descrita previamente, en la Tabla 151 se presentan los resultados estimados para el índice de aridez, en esta se evidencia que para ambas estaciones se obtiene un índice con altos excedentes. Esto significa que Planta Wiesner y La Ramada, tienen un grado de 0,01 y 0,05 de suficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de la región.

Tabla 151. Índice de aridez

Estación	ETP (mm)	ETR (mm)	IA	Categoría
20642 Planta wiesner	581,84	573,81	0,01	Altos excedentes
2120516 Ramada la	623,45	589,17	0,05	Altos excedentes

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.22. Balance hídrico

En un balance hídrico se determinan cuales son las entradas y las salidas de la cuenca:

$$Entradas\ -\ Salidas = \frac{dV}{dt}$$

Ecuación 28. Balance hídrico general

En donde la entrada corresponde a la precipitación total media (P), teniendo en cuenta que se trata de una cuenca cerrada. En cuanto a las salidas, estas corresponden a la evapotranspiración (ET), el caudal de salida (Qs) o escorrentía y la percolación (Gs), en donde la suma de esas entradas y salidas tendrá que ser igual cambio del almacenamiento de agua en el suelo para un determinado periodo de tiempo $\left(\frac{dS}{dt}\right)$, este balance se expresa mediante la Ecuación 29.

$$(P)\ -\ (ET + Q_s + G_s) = \frac{dS}{dt}$$

Ecuación 29. Balance hídrico del proyecto

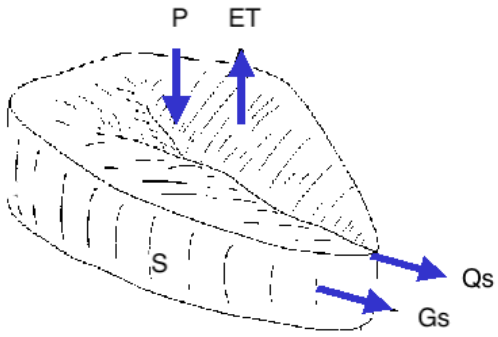


Figura 252. Balance hídrico del proyecto.
Fuente: Adaptada de S.L.Dingman. *Physical Hydrology*. (1994).

Para el balance hídrico de las cuencas en el proyecto se utiliza el método de Thornthwaite y Matter (1955), este método supone que el agua llega al suelo proviene de la precipitación, escorrentía o aportes subterráneos y que las pérdidas hacia la atmósfera son ocasionadas por la evaporación y por la transpiración desde la vegetación existente en condiciones medias climáticas[18]. Para este caso se utilizará como salidas la evapotranspiración potencial (ETP) y el caudal de salida (Qs), dejando el balance de la siguiente forma:

$$(P)\ -\ (ETP + Q_s) = \frac{dS}{dt}$$

Ecuación 30. Método adaptado de Thornthwaite y Matter

A partir de la Ecuación 30 se define el almacenamiento $\left(\frac{dS}{dt}\right)$ para después poder definir la percolación (Gs) generada por el suelo una vez este se sature.

[18] Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Balance hídrico y sus aplicaciones. (2021).

5.2.2.1.22.1. Precipitación (P)

Para la definición de la precipitación media de cada subcuenca, se tomarán los valores previamente calculados en la sección 5.1.2.1.15.1. Caudales medios (ver Tabla 120), estos se definieron con el método de las isoyetas.

5.2.2.1.22.2. Evapotranspiración (ETP)

Para la definición de la evapotranspiración, se tomarán los resultados calculados previamente en la sección 5.1.2.1.14.1. Evapotranspiración potencial (ver Tabla 147). Se aclara que como la estación Planta Wiesner es la más cercana a la cuenca, se toman los valores de evapotranspiración potencial calculados para esa estación y se aplica para todas las subcuencas.

5.2.2.1.22.3. Caudal de salida (Qs)

Para el cálculo del caudal de salida o la escorrentía, se tomarán los valores previamente determinados en la sección 5.1.2.1.15.1. Caudales medios (ver Tabla 124). En la Tabla 152 se presentan estos valores.

Tabla 152. Caudal de salida/Escurrimiento (Qs) de cada subcuenca (mm).

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Humedal la conejera	24,49	36,45	50,73	67,8	61,31	34,63	28,88	29,56	41,05	66,93	68,81	37,11
Canal cafam	35,51	49,82	71,29	91,28	83,29	43,19	37,32	39,41	53,72	88,58	95,74	52,04
Cuenca 1	36,64	50,51	73,1	92,16	84,52	42,82	37,4	39,76	53,72	88,89	97,84	53,15
Humedal juan amarillo	38,18	51,34	74,12	91,74	84,51	42,37	37,22	39,91	53,23	88,42	99,6	53,76
Cuenca 2	40,32	52,81	77	92,73	86,37	42,11	37,28	40,32	53,15	88,96	103,39	55,79
Canal salitre B	40,5	48,08	72,4	82,04	79,76	52,43	48,41	41,35	36,82	80,2	98,83	53,78
Canal salitre completo	40,4	48,47	72,87	83,99	80,22	48,05	44,36	39,89	41,96	82,84	99,17	52,88

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.22.4. Almacenamiento (S)

El almacenamiento o reserva de agua del suelo es la cantidad de agua que un suelo contiene en un momento dado, dicha reserva varía entre un valor de cero (suelo seco) y la capacidad de campo, la cual corresponde a la cantidad de agua que queda en el suelo después de que un exceso de agua ha drenado.

Para el cálculo de este parámetro se sigue la secuencia indicada en la Figura 253, en esta se consideran dos restricciones, la primera indica que no se puede tener un valor negativo, y la segunda es que no se exceda la capacidad máxima que permite almacenar el suelo. Para determinar cuál es la capacidad máxima, se utiliza la ecuación definida en el libro "Hidrología Aplicada" de Ven te Chow (ver Ecuación 31), en esta, para el cálculo del almacenamiento se requiere definir el valor del número de curva el cual fue calculado en la sección 5.1.2.1.15.6. Caudales máximos (ver Tabla 129).

$$Smax = \frac{25400}{CN} - 254$$

Ecuación 31. Capacidad máxima de almacenamiento

Donde:
Smax: es el almacenamiento máximo en mm
CN: es la curva de nivel

En la Tabla 153 se presentan los valores calculados para el almacenamiento de cada cuenca evaluada.

Tabla 153. Capacidades máximas de cada subcuenca.

Subcuenca	CN	S (Mm)
Humedal la conejera	86	40,89
Canal cafam	98	5,18
Cuenca 1	98	5,18
Humedal juan amarillo	98	5,20
Cuenca 2	98	6,08
Canal salitre B	81	58,87
Canal Salitre Completo	87	36,78

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 253, se muestra un iagrama de flujo en el cual resume el procedimiento para el cálculo del almacenamiento para el mes i.

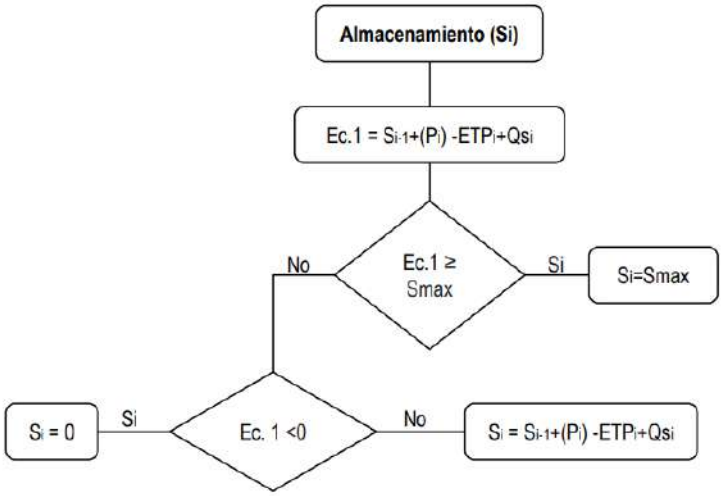


Figura 253. Diagrama de flujo del cálculo del almacenamiento (Si).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Adicionalmente, se establece el uso del almacenamiento (SU), para cuando se produce un balance negativo (P-ETP-Qs) del cual se utiliza el almacenamiento disponible hasta agotarlo. En la Figura 254 se indica el procedimiento para su cálculo.

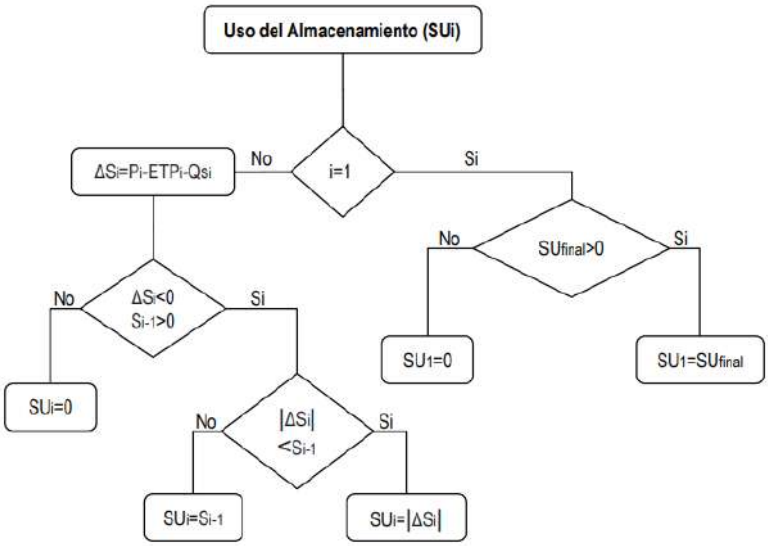


Figura 254. Diagrama de flujo del cálculo del uso del almacenamiento (SUi).[19]
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

[19] i es el número del mes

5.2.2.1.22.5. Percolación (Gs)

En el cálculo de la percolación, se obtiene mediante la Ecuación 29, en esta se despeja el valor de Gs, aplicándolo para cuando el almacenamiento llegue a su capacidad máxima. El procedimiento se resume en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 255.

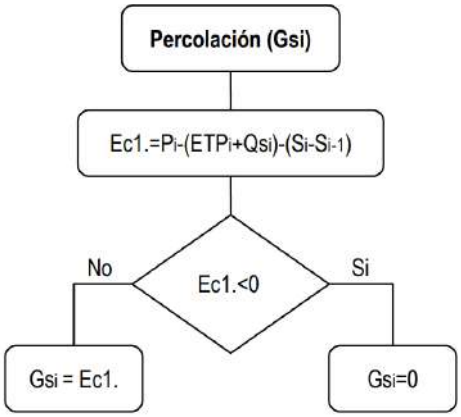


Figura 255. Diagrama de flujo del cálculo de la percolación (Gsi).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.22.6. Déficit (D)

El déficit de agua es el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (Evapotranspiración). En la Figura 256 se presenta la secuencia de cálculo utilizada para estimar este valor.

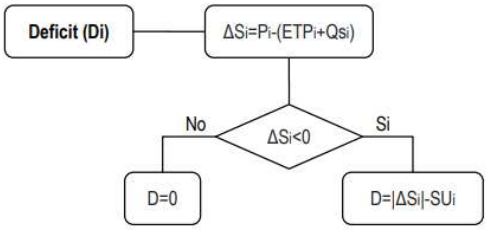


Figura 256. Diagrama de flujo del cálculo del déficit (Di).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.1.22.7. Excesos (E)

El exceso es el volumen de agua que supera la capacidad máxima de almacenamiento (Smax) y que se perderá por escorrentía superficial o profunda[20]. En la Figura 257 se presenta la secuencia de cálculo utilizada para estimar este valor.

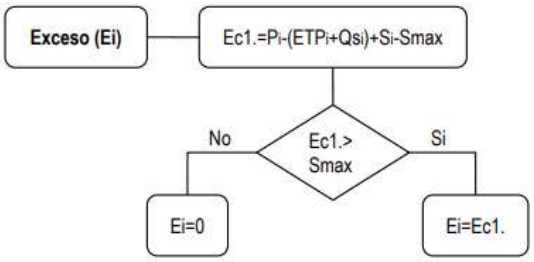


Figura 257. Diagrama de flujo del cálculo del exceso (Ei).
Fuente: IGAC.Balance hídrico y sus aplicaciones. (2021).

5.2.2.1.22.8. Evapotranspiración Real (ETR)

La evapotranspiración real es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes, dependiendo de la disponibilidad de agua para evaporar, esta se puede definir con el déficit (D) que se genera utilizando la evaporación potencial. Este parámetro se determina mediante la:

$$ETR_i = ETP_i - D_i$$ Ecuación 32. Evapotranspiración real

5.2.2.1.22.9. Resultado del balance hídrico

Una vez definidos los parámetros requeridos para el balance, a continuación se presentan los resultados de este para cada una de las cuencas analizadas para el proyecto línea 2 del metro de Bogotá.

- Humedal La Conejera

En el balance hídrico del Humedal La Conejera, se obtiene una precipitación total anual de 845,64 mm, una escorrentía de total anual de 547,74 mm, una evapotranspiración real total anual de 297,90 mm y una percolación de 0 mm. En este

[20] Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Balance hídrico y sus aplicaciones. (2021).

caso, se definió un déficit promedio de -23,66 mm. Se pueden ver la representación gráfica en la Figura 258 y los resultados en la Tabla 154.

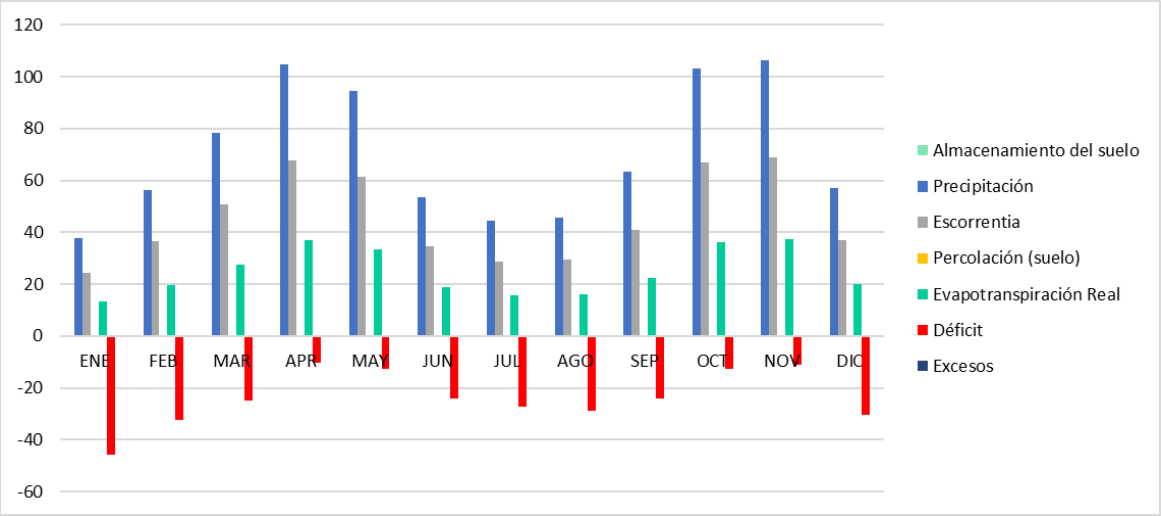


Figura 258. Balance hídrico del Humedal La Conejera en (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 154. Balance hídrico del Humedal La Conejera en (mm).

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	[P]	37,8	56,3	78,3	104,7	94,7	53,5	44,6	45,6	63,4	103,3	106,2	57,3
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,6
Escorrentía	[Qs]	24,5	36,5	50,7	67,8	61,3	34,6	28,9	29,6	41,1	66,9	68,8	37,1
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Evapotranspiración real	[ETR]	13,3	19,8	27,6	36,9	33,3	18,8	15,7	16,1	22,3	36,4	37,4	20,2
Déficit	[D]	45,8	32,3	24,7	10,2	12,8	23,9	27,3	28,7	24,2	12,6	11,1	30,4
Excesos	[E]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Canal Cafam

En el balance hídrico del Canal Cafam, se obtiene una precipitación total anual de 871,98 mm, una escorrentía de total anual de 741,19 mm, una evapotranspiración real total anual de 130,80 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -37,59 mm. Se pueden ver la representación gráfica en la Figura 259 y los resultados en la Tabla 155.

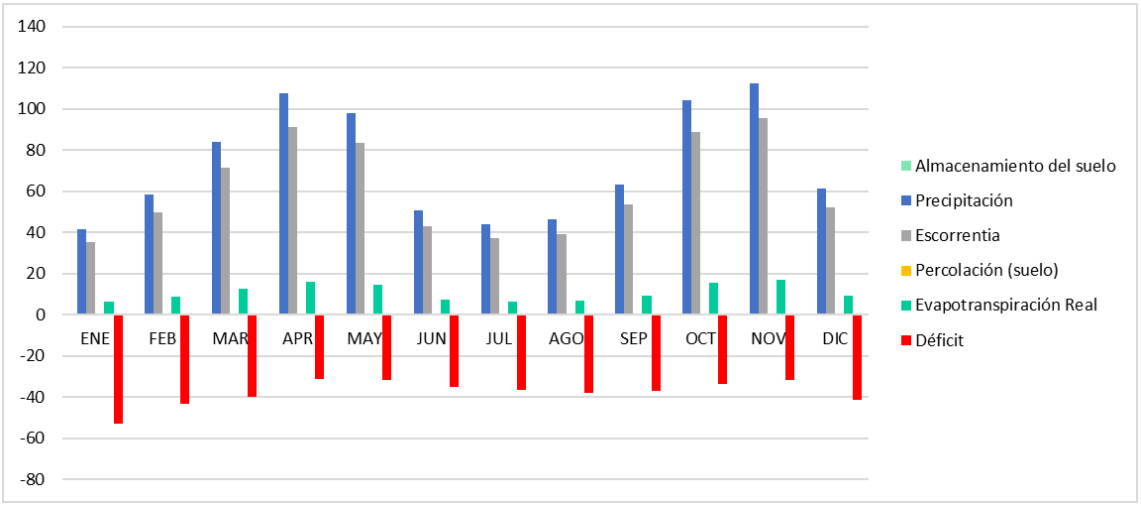


Figura 259. Balance hídrico del Canal Cafam en (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 155. Balance hídrico del Canal Cafam en (mm).

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	[P]	41,8	58,6	83,9	107,4	98,0	50,8	43,9	46,4	63,2	104,2	112,6	61,2
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,6
Escorrentía	[Qs]	35,5	49,8	71,3	91,3	83,3	43,2	37,3	39,4	53,7	88,6	95,7	52,0
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Evapotranspiración real	[ETR]	6,3	8,8	12,6	16,1	14,7	7,6	6,6	7,0	9,5	15,6	16,9	9,2
Déficit	[D]	52,9	43,3	39,7	31,0	31,4	35,1	36,4	37,8	37,0	33,4	31,6	41,4
Excesos	[E]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Cuenca 1

En el balance hídrico de la Cuenca 1, se obtiene una precipitación total anual de 882,97 mm, una escorrentía de total anual de 750,52 mm, una evapotranspiración real total anual de 132,44 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -37,45 mm. Se pueden ver la representación gráfica en la Figura 260 y los resultados en la Tabla 156.

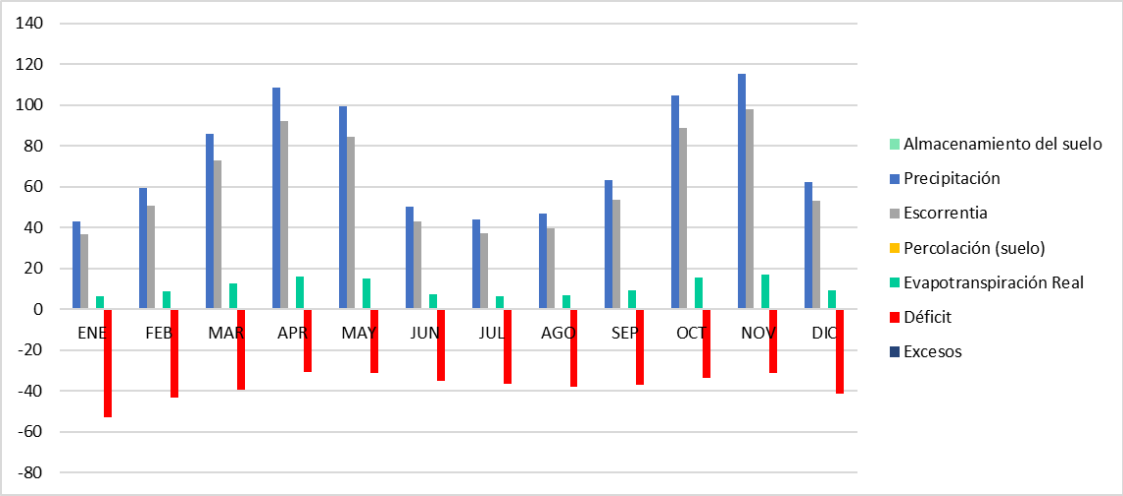


Figura 260. Balance hídrico de la Cuenca 1 en (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 156. Balance hídrico de la Cuenca 1 en (mm).

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	[P]	43,1	59,4	86,0	108,4	99,4	50,4	44,0	46,8	63,2	104,6	115,1	62,5
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,6
Escorrentía	[Qs]	36,6	50,5	73,1	92,2	84,5	42,8	37,4	39,8	53,7	88,9	97,8	53,2

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Evapotranspiración real	[ETR]	6,5	8,9	12,9	16,3	14,9	7,6	6,6	7,0	9,5	15,7	17,3	9,4
Déficit	[D]	52,7	43,2	39,4	30,9	31,2	35,2	36,4	37,8	37,0	33,4	31,2	41,2
Excesos	[E]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Humedal Juan Amarillo

En el balance hídrico del Humedal Juan Amarillo, se obtiene una precipitación total anual de 891,51 mm, una escorrentía de total anual de 754,41 mm, una evapotranspiración real total anual de 137,10 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -37,06 mm. Se pueden ver la representación gráfica en la Figura 261 y los resultados en la Tabla 157.

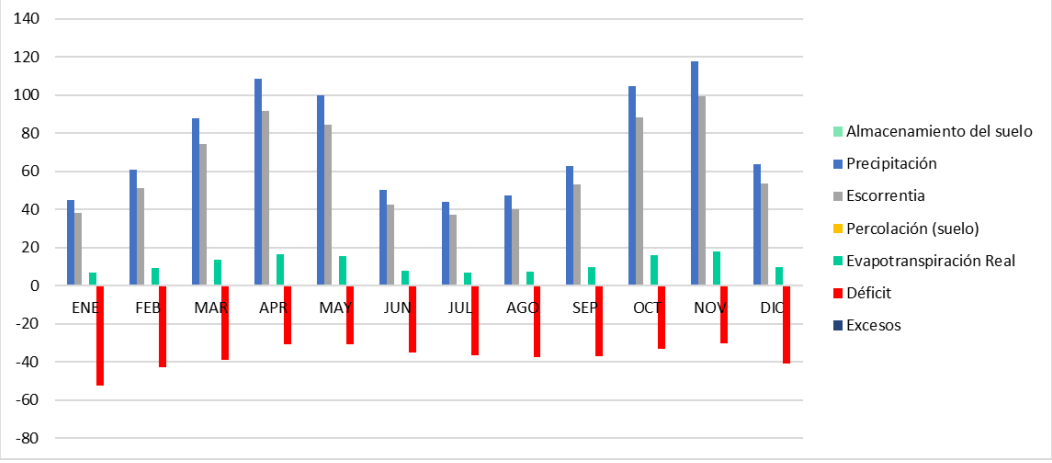


Figura 261. Balance hídrico del Humedal Juan Amarillo en (mm).

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 157. Balance hídrico del Humedal Juan Amarillo en (mm).

Parámetro		**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Precipitación	[P]	45,1	60,7	87,6	108,4	99,9	50,1	44,0	47,2	62,9	104,5	117,7	63,5
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,6
Escorrentía	[Qs]	38,2	51,3	74,1	91,7	84,5	42,4	37,2	39,9	53,2	88,4	99,6	53,8
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Evapotranspiración real	[ETR]	6,9	9,3	13,5	16,7	15,4	7,7	6,8	7,3	9,7	16,1	18,1	9,8
Déficit	[D]	52,2	42,8	38,8	30,4	30,7	35,0	36,2	37,5	36,8	33,0	30,4	40,8
Excesos	[E]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Cuenca 2

En el balance hídrico de la Cuenca 2, se obtiene una precipitación total anual de 910,19 mm, una escorrentía de total anual de 770,22 mm, una evapotranspiración real total anual de 139,97 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -36,82 mm. Se pueden ver la representación gráfica en la Figura 262 y los resultados en la Tabla 158.

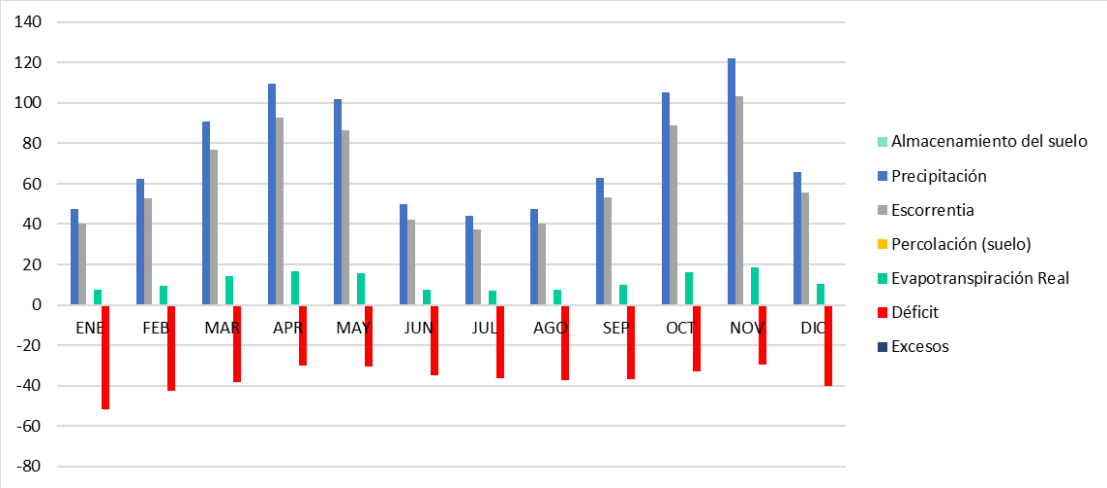


Figura 262. Balance hídrico de la Cuenca 2 en (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 158. Balance hídrico de la Cuenca 2 en (mm).

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	[P]	47,7	62,4	91,0	109,6	102,1	49,8	44,1	47,7	62,8	105,1	122,2	65,9
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,6
Escorrentía	[Qs]	40,3	52,8	77,0	92,7	86,4	42,1	37,3	40,3	53,2	89,0	103,4	55,8
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Evapotranspiración real	[ETR]	7,3	9,6	14,0	16,9	15,7	7,7	6,8	7,3	9,7	16,2	18,8	10,1
Déficit	[D]	51,8	42,5	38,3	30,3	30,4	35,1	36,2	37,5	36,8	32,9	29,7	40,4
Excesos	[E]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Canal Salitre B

En el balance hídrico del Canal Salitre B, se obtiene una precipitación total anual de 1115,85 mm, una escorrentía de total anual de 734,6 mm, una evapotranspiración real total anual de 381,24 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se

definió un déficit promedio de -16,72 mm. Se pueden ver la representación gráfica en la Figura 263 y los resultados en la Tabla 159.

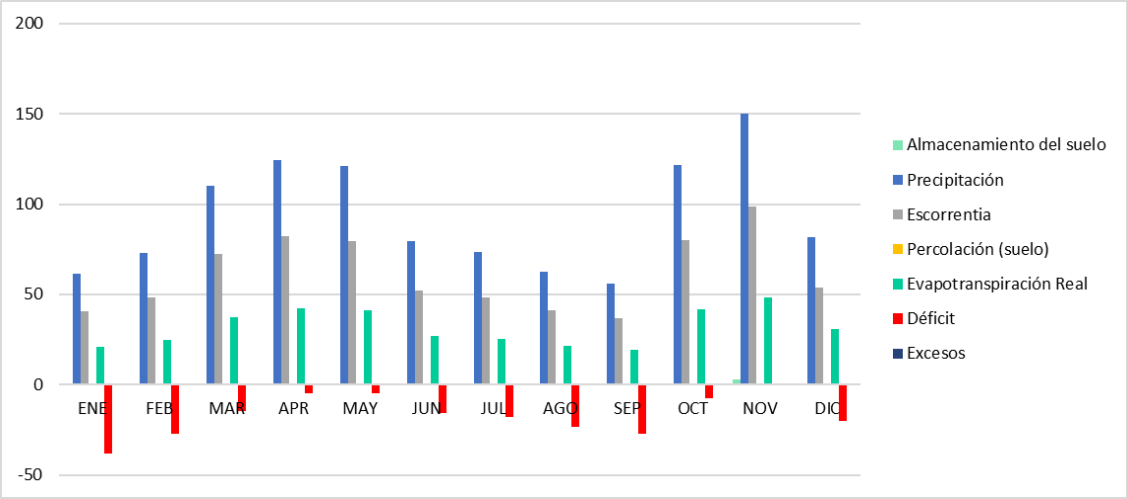


Figura 263. Balance hídrico del Canal Salitre B en (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 159. Balance hídrico del Canal Salitre B en (mm).

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	[P]	61,5	73,0	110,0	124,6	121,2	79,6	73,5	62,8	55,9	121,8	150,1	81,7
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,6
Escorrentía	[Qs]	40,5	48,1	72,4	82,0	79,8	52,4	48,4	41,4	36,8	80,2	98,8	53,8
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0
Evapotranspiración real	[ETR]	21,0	25,0	37,6	42,6	41,4	27,2	25,1	21,5	19,1	41,6	48,5	30,7
Déficit	[D]	38,1	27,2	14,7	4,5	4,7	15,5	17,9	23,3	27,4	7,4	0,0	19,8
Excesos	[E]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Canal Salitre Completo

En el balance hídrico del Canal Salitre Completo, se obtiene una precipitación total anual de 1010,26 mm, una escorrentía de total anual de 735,11 mm, una evapotranspiración real total anual de 275,16mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -25,56 mm. Se pueden ver la representación gráfica en la Figura 264 y los resultados en la Tabla 160.

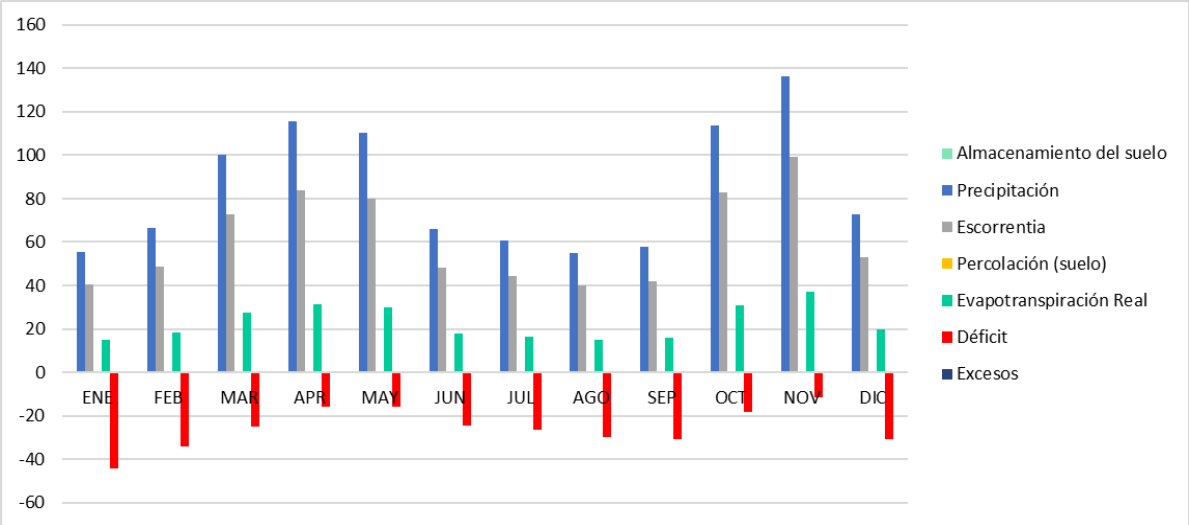


Figura 264. Balance hídrico del Canal Salitre Completo en (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 160. Balance hídrico del Canal Salitre Completo en (mm).

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	[P]	55,5	66,6	100,1	115,4	110,2	66,0	61,0	54,8	57,7	113,9	136,3	72,7
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,6
Escorrentía	[Qs]	40,4	48,5	72,9	84,0	80,2	48,1	44,4	39,9	42,0	82,8	99,2	52,9
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Evapotranspiración real	[ETR]	15,1	18,1	27,3	31,4	30,0	18,0	16,6	14,9	15,7	31,0	37,1	19,8
Déficit	[D]	44,0	34,0	25,0	15,7	16,1	24,8	26,4	29,8	30,8	18,0	11,4	30,8

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Excesos	[E]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

De los resultados obtenidos para las diferentes subcuencas analizadas, se puede determinar que, en general la escorrentía en toda la zona es alta debido a que la mayor parte de las subcuencas están compuesta por territorios artificiales, en otras palabras, territorios cuyas coberturas son impermeables y por ello se tienen altos valores de los coeficientes de escorrentía.

- Zona Calle 72

Para la modelación hidrogeológica de la zona de calle 72 se realizó el la estimación de la recarga discriminando la cuenca hasta el polígono de interés, teniendo en cuenta que éste se encuentra dentro de la cuenca caracterizada del canal Salitre que abarca un área mayor a la aferente a la zona de calle 72. De esta manera, se realizó el cálculo de la recarga para la subcuenca de los cerros orientales, correspondiente a zona rural y subcuenca urbana hasta la zona de interés, como se presenta en la Figura 265.

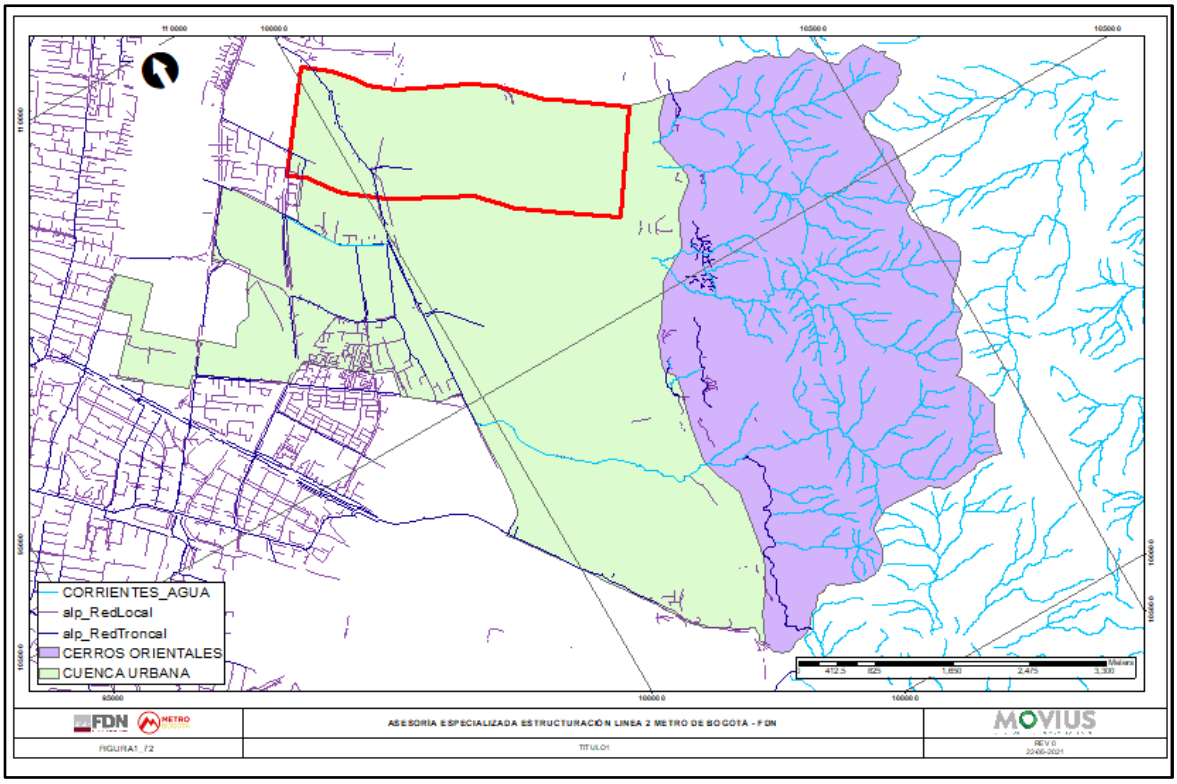


Figura 265. Subcuencas de análisis para estimación de recarga del acuífero en la zona de calle 72
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En el balance hídrico para la subcuenca de los cerros orientales, se obtiene una precipitación total anual de 1115,8 mm, una escorrentía de total anual de 424 mm, una evapotranspiración real total anual de 581,8 mm y una percolación de 83 mm que representa el 7,4% de la precipitación total. En este caso, se definió un déficit promedio de 2,3 mm. Se pueden ver la representación gráfica en la Figura 266 y los resultados en la Tabla 161.

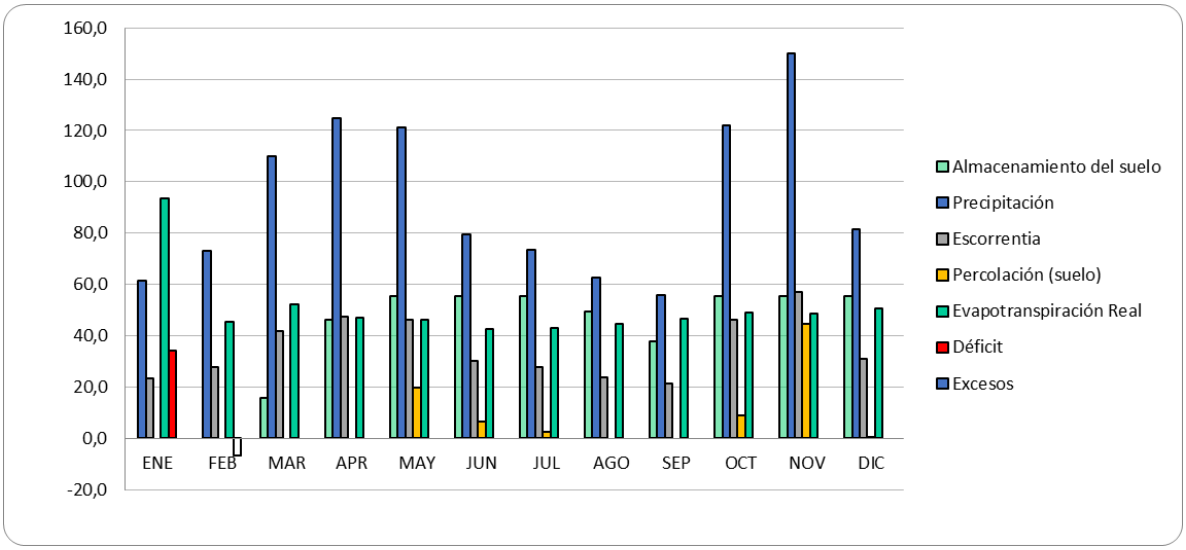


Figura 266. Balance hídrico subcuenca rural (cerros orientales) (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 161. Balance hídrico de subcuenca rural (cerros orientales) (mm).

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	[P]	61,5	73,0	110,0	124,6	121,2	79,6	73,5	62,8	55,9	121,8	150,1	81,7
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,5
Escorrentía	[Qs]	23,4	27,7	41,8	47,4	46,0	30,3	27,9	23,9	21,3	46,3	57,0	31,0
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	55,34	55,34	55,34	55,34	55,34	55,34	55,34	55,34	55,34	55,34	55,34	55,34
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	15,9	46,1	55,3	55,3	55,3	49,5	37,7	55,3	55,3	55,3
Percolación (suelo)	[Gs]	0	0	0	0	20	7	3	0	0	9	45	0
Uso del almacenamiento	[SU]	55	0	0	0	0	0	0	6	12	0	0	0
Evapotranspiración real	[ETR]	93,48	45,28	52,26	47,11	46,10	42,73	42,99	44,78	46,50	49,04	48,50	50,55
Déficit	[D]	34,31	-6,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Excesos	[E]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En el balance hídrico para la subcuenca de los cerros orientales, se obtiene una precipitación total anual de 1115,8 mm, una escorrentía de total anual de 948,5 mm, una evapotranspiración real total anual de 581,8 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -34,5 mm. Se pueden ver la representación gráfica en la Figura 267 y los resultados en la Tabla 162.

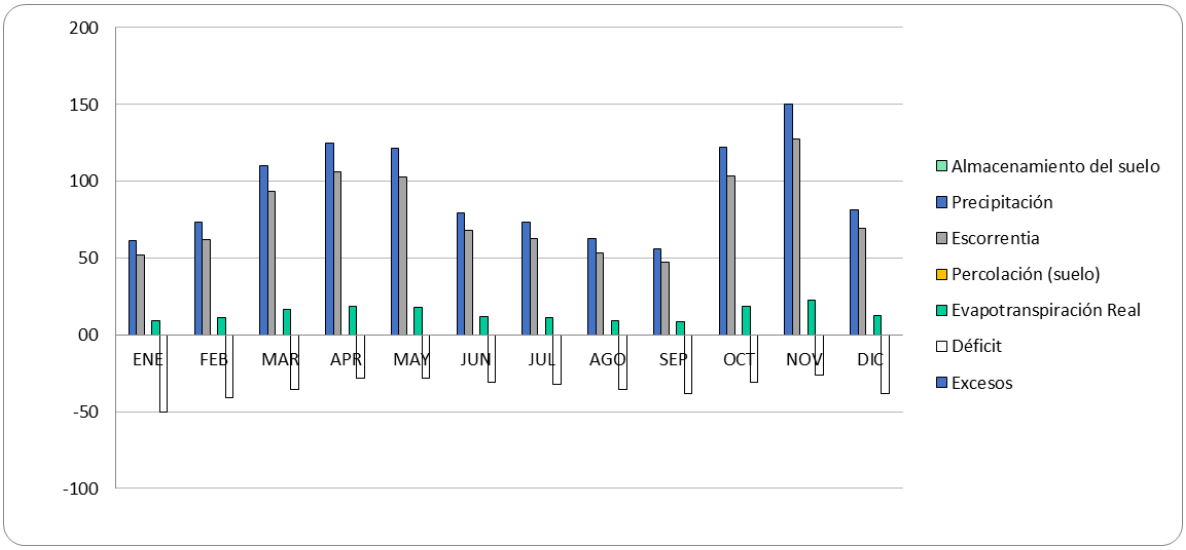


Figura 267. Balance hídrico subcuenca urbana zona calle 72 (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 162. Balance hídrico de subcuenca urbana zona calle 72 (mm).

Parámetro		**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Precipitación	[P]	61,5	73,0	110,0	124,6	121,2	79,6	73,5	62,8	55,9	121,8	150,1	81,7
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,5
Escorrentía	[Qs]	52,3	62,1	93,5	105,9	103,0	67,7	62,5	53,4	47,5	103,6	127,6	69,4
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Evapotranspiración real	[ETR]	9,2	11,0	16,5	18,7	18,2	11,9	11,0	9,4	8,4	18,3	22,5	12,3
Déficit	[D]	-49,9	-41,2	-35,8	-28,4	-27,9	-30,8	-32,0	-35,4	-38,1	-30,8	-26,0	-38,3
Excesos	[E]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

De acuerdo con lo anterior, para el área afluente al polígono de estudio de la zona de calle 72, la subcuenca urbana aferente tiene menor capacidad de infiltración debido a que su cobertura en su mayoría es impermeable, lo cual se refleja en el balance hídrico realizado donde se encontró una percolación de 0 mm, mientras que para sa subcuenca rural de los cerros orientales se obtuvo una percolación de 83 mm que representa el 7,4% de la precipitación total. En este sentido, se puede concluir como resultado de los análisis realizados, que no hay recarga del acuífero por precipitación en las cuencas analizadas.



5.2.2.1.23. Susceptibilidad por inundaciones

El POMCA del río Bogotá define las inundaciones lentas como un fenómeno de anegamiento temporal de terrenos que normalmente no están cubiertos por agua y sedimentos, el estudio del POMCA se centra en las inundaciones fluviales que pueden ser producidas por el flujo excedente de agua transportada por ríos y quebradas cuando se desborda la capacidad de transporte del cauce, especialmente en terrenos de baja pendiente y pueden generar pérdidas económicas y ecosistémicas significativas. Según el POMCA del río Bogotá en los últimos 20 años se presentaron inundaciones sobre varios sectores de la cuenca, fundamentalmente en la sabana de Bogotá en los años 2006, 2010 y 2011.

El riesgo de inundaciones para la cuenca del río Bogotá, se producen predominantes en la cuenca media y en la zona plana de la cuenca alta en lo que constituye la Sabana de Bogotá, donde el río tiene baja velocidad y se caracteriza por sus múltiples meandros y en la parte final de la cuenca baja. La principal causa de estas inundaciones fluviales lentas es la ocurrencia de períodos lluviosos intensos y prolongados, los cuales son de carácter clínico y se acentúan durante los años con presencia de eventos Niña. [21]

El análisis presentado en el POMCA se desarrolló siguiendo el protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA establecido por el Fondo de Adaptación del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. El Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA, crea un mapa de susceptibilidad por inundaciones con base en la caracterización geomorfológica y análisis de eventos históricos por inundación. Para aplicar esta metodología se sigue la secuencia presentada en el diagrama de flujo de la Figura 268, con el fin de establecer la zonificación de la susceptibilidad por inundaciones fluviales lentas.

[21] Actualización POMCA Río Bogota, Volumen V - Gestión del Riesgo, 2017

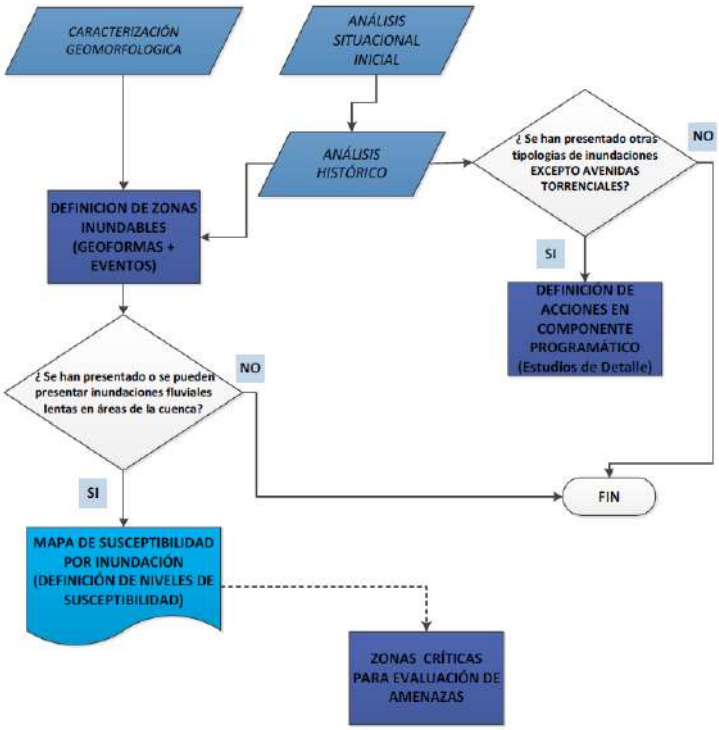


Figura 268. Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por inundaciones fluviales lentas
Fuente: Minambiente, Fondo Adaptación. *Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA*, (2014).

Las unidades geomorfológicas asociadas a procesos de inundaciones identificadas en el documento POMCA del río Bogotá son las siguientes:

- Cauce Activo (Fca)
- Plano y Artesa (Fpl)
- Planicies y deltas lacustrinos (Fpla)
- Terrazas Fluviales de Acumulación (Ftar, ftas, Fta)
- Terrazas fluviales actuales o recientes (Ftar)
- Terrazas fluviales de acumulación subreciente (Ftas)
- Terrazas fluviales de acumulación antiguas (Fta)
- Terrazas fluviales por erosión (Fte)
- Terraza baja (Ftb)
- Terraza media (Ftm)
- Planicies o llanuras de inundación (Fpi)
- Cuencas de decantación o basines (Fcd)
- Diques naturales o albardones (Fa)
- Deltas de desborde lateral (Fdd)
- Meandros abandonados (Fmc)
- Barras puntuales (Fbp)

- Planos y planicies aluviales intramontanos (Fpp)
- Planos anegadizos (Fpa)

En la Figura 269 se presenta el mapa de susceptibilidad a inundaciones con respecto a las cuencas delimitadas para la línea 2 del metro de Bogotá, en esta se evidencia que las subcuencas definidas tienen un bajo grado de susceptibilidad por inundaciones, con excepción de la zona del humedal La Conejera y del humedal Juan Amarillo, donde se observa una susceptibilidad alta.

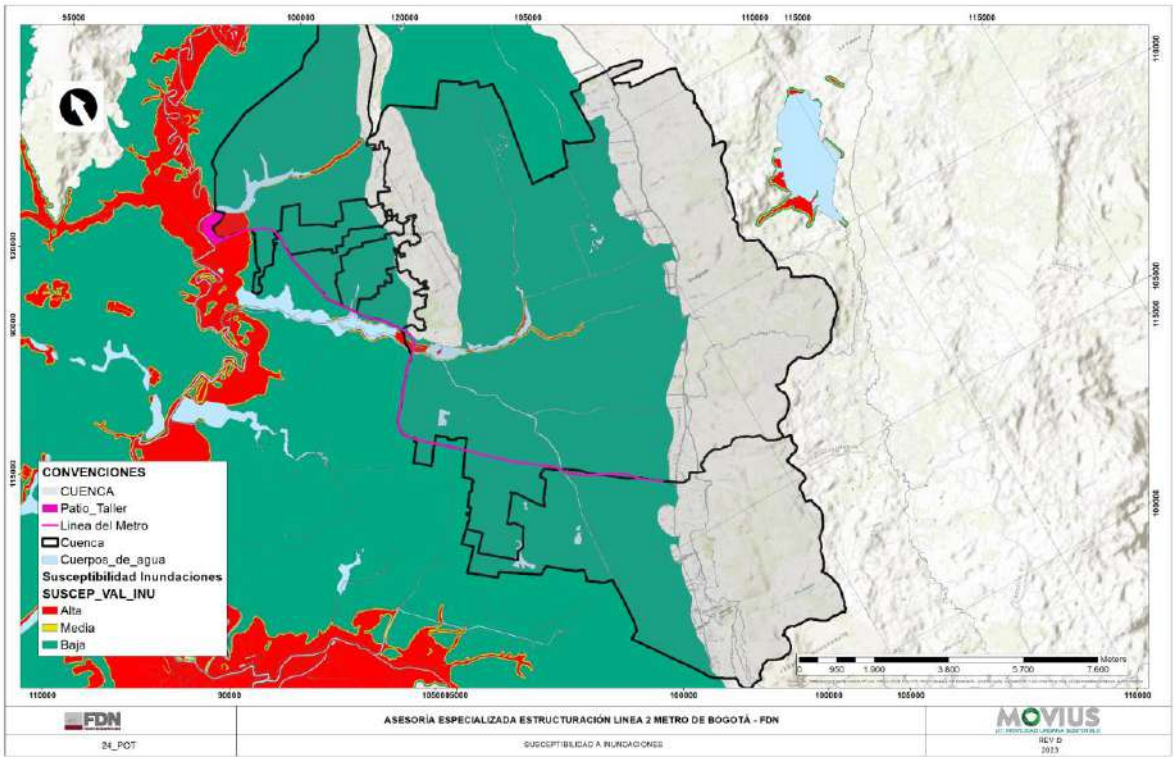


Figura 269. Susceptibilidad por inundaciones por la zona del proyecto.
Fuente: POMCA. *POMCA Río Bogotá*, (2017).

Posteriormente, se realiza una revisión de la información disponible en el POT el cual no se encontró mapas de susceptibilidad por inundación, no obstante, se encontraron los siguientes mapas; la amenaza por inundación por rompimiento del jarillón, amenaza por inundación por desbordamiento y amenaza por encharcamiento. En la Figura 270 se presenta una amenaza alta por inundación por rompimiento del jarillón en el tramo cercano al patio taller concordante con la susceptibilidad alta presentada en la Figura 17. En el Anexo 5.14 se encuentra la base de datos GDB del POT.

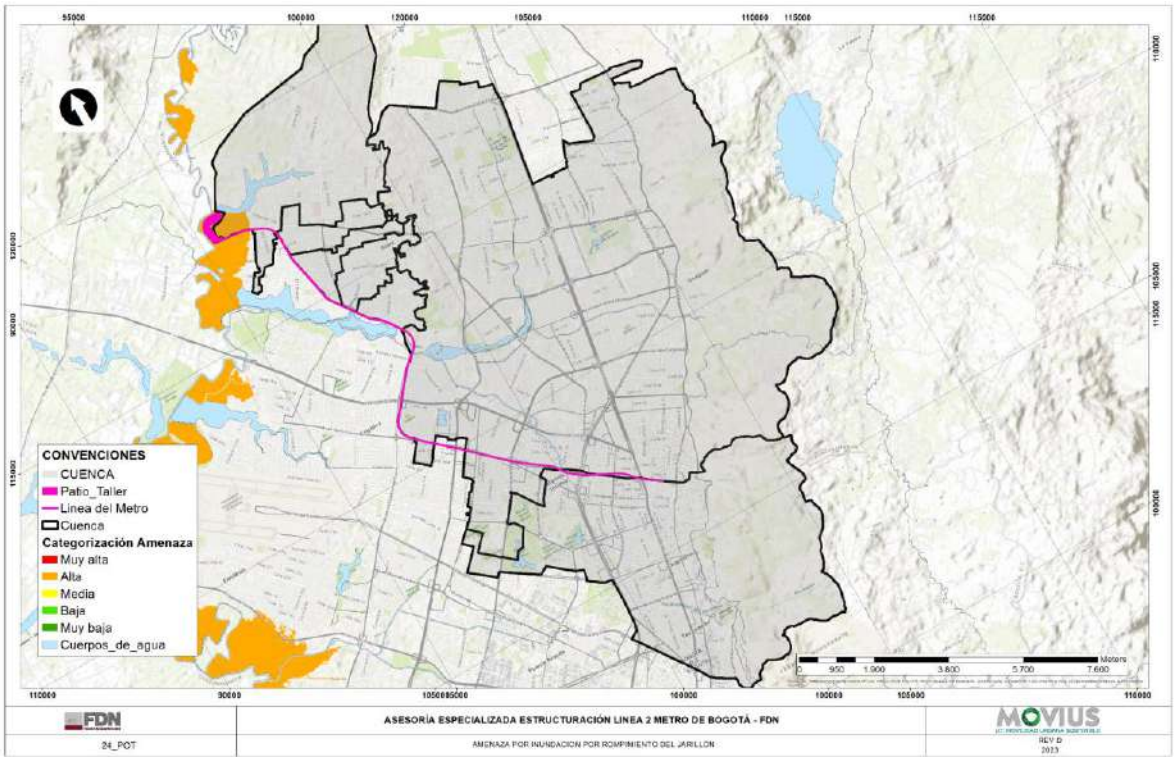


Figura 270. Amenaza por inundación por rompimiento del jarillón.
Fuente: Decreto POT Bogotá, 2021.

En la Figura 271 se presenta una amenaza por inundación por desbordamiento, en el mapa se observa una amenaza alta a lo largo de los cuerpos de agua. En la Figura 271 se puede distinguir que hay dos cruces (en el canal salitre) de la amenaza de inundación por desbordamiento en las abscisas 8+890 hasta 8+930 y desde 2+500 hasta 2+600, sin embargo, en este caso no existe amenazas por inundación debido a que el proyecto L2MB es subterráneo en estos tramos.

En la Figura 272 se presenta la amenaza de inundación por encharcamiento en donde clasifica en las cuencas parcialmente como una amenaza baja y alta.

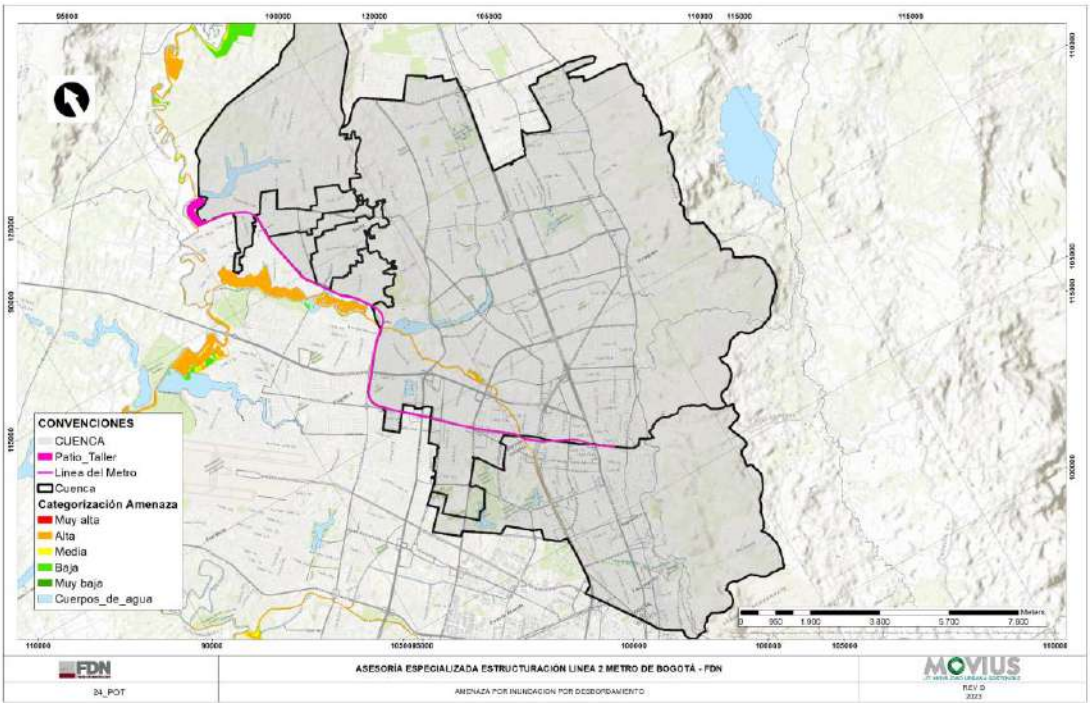


Figura 271. Amenaza de inundación por desbordamiento.
Fuente: Decreto POT Bogotá, 2021.

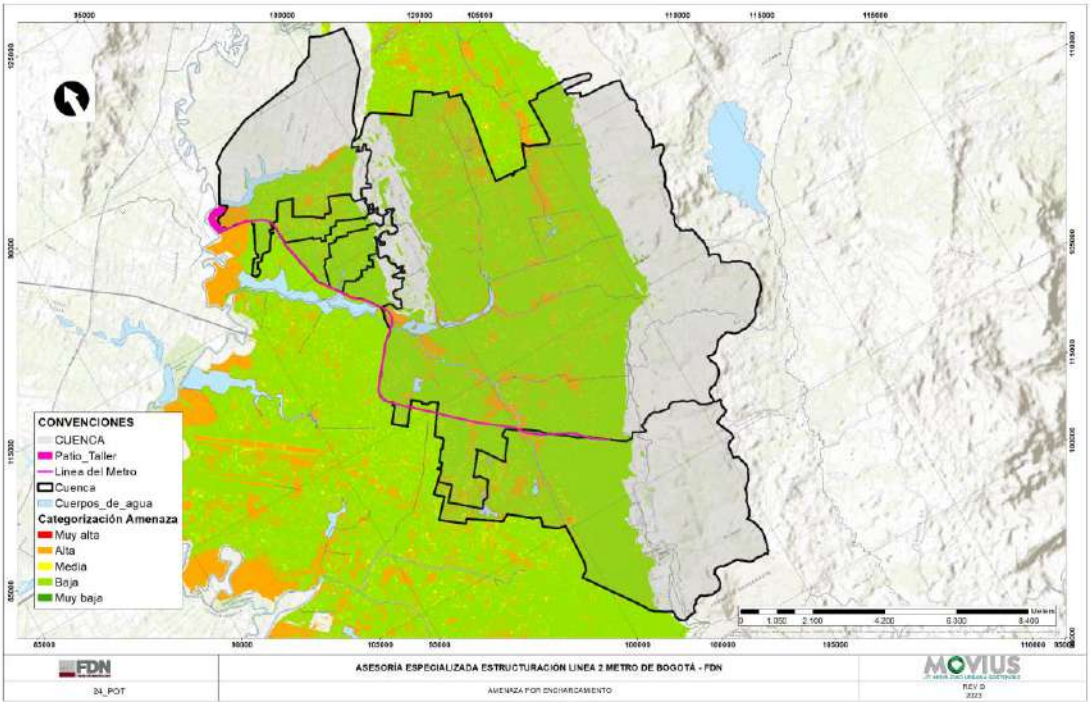


Figura 272. Amenaza por encharcamiento
Fuente: Decreto POT Bogotá, 2021.

5.2.2.1.24. Susceptibilidad por avenidas torrenciales

Las avenidas torrenciales son crecientes súbitas creadas por altas precipitaciones generando un incremento rápido del nivel del agua y que por las condiciones geomorfológicas de la cuenca están compuestas por un flujo de agua con alto contenido de materiales de arrastre, con un gran potencial destructivo debido a su alta velocidad.

En el Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA, se crea un mapa de susceptibilidad por avenidas torrenciales con base en la caracterización geomorfológica y análisis histórico. Para aplicar la metodología se sigue la secuencia indicada en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 273, esto con el fin de establecer la zonificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales.

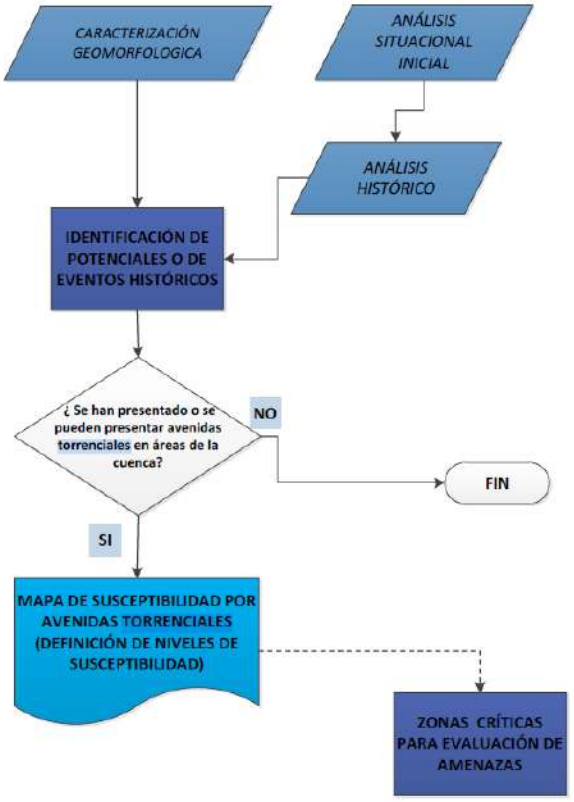


Figura 273. Diagrama de flujo para evaluación de susceptibilidad por avenidas torrenciales.
Fuente: Minambiente, Fondo Adaptación. Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA. (2014).

Las unidades geomorfológicas identificadas en el documento POMCA del río Bogotá son las siguientes:

- Basamento: Compuesto por relieves mayores con alturas entre 50 y 400 m.

- Abanico aluvial del río Tunjuelo: Geoforma aterrazada compuesta por materiales arenosos
- Meseta: Áreas planas aterrazadas, más elevadas que el fondo del valle, con buen drenaje compuesta por arcillas y limos.
- Llanura aluvial: área baja, plana e inundable, adyacente al río Bogotá y limitada por la terraza.
- Valle del río Bogotá: no es un cauce aluvial típico ya que proviene de la desecación de una laguna
- Flujos torrenciales (Dlfb)
- Flujos terrosos (Dlft)
- Flujos de lodo (Dlfl)
- Cauces activos (Fca)
- Conos y lóbulos coluviales y de solifluxión (Dco)
- Abanicos aluviales (Faa)
- Conos de deyección (Fcdy)
- Abanicos fluvioglaciares (Fcdy)

En la Figura 274 se presenta el mapa de susceptibilidad a avenidas torrenciales con respecto a las cuencas delimitadas para la línea 2 del metro de Bogotá, en esta se evidencia que las subcuencas definidas no presentan susceptibilidad salvo en la parte alta de las mismas en la zona de los cerros orientales. Para la cuenca del canal salitre se identifica una zona con susceptibilidad alta en la zona de entrega del canal salitre al humedal Juan Amarillo.

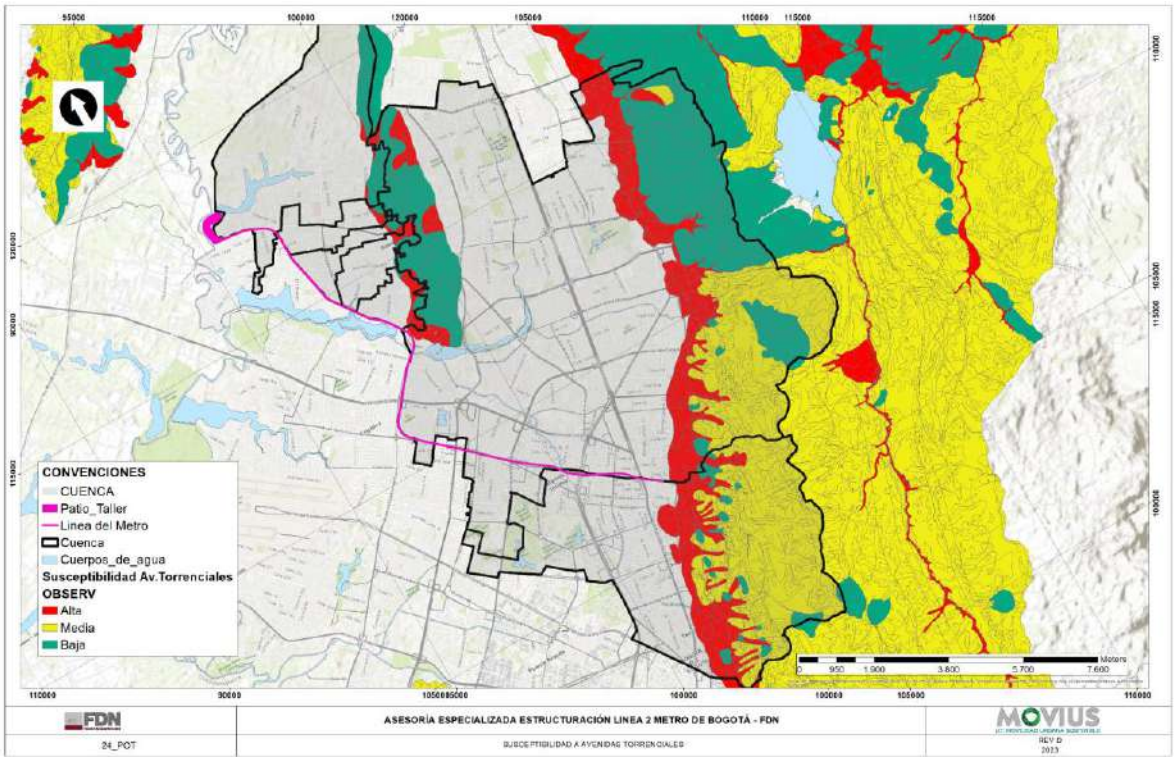


Figura 274. Susceptibilidad por avenidas torrenciales en la zona del proyecto.
Fuente: POMCA. *POMCA Río Bogotá*. (2017).

Realizando una revisión de la información disponible del POT de Bogotá del 2021, se encontraron mapas de amenaza por avenidas torrenciales y/o crecientes súbitas, y un mapa donde señalan las áreas de condición por avenidas torrenciales. En el primer mapa, presentado en la Figura 275, se observa que en todo el área del proyecto presenta una baja amenaza por avenidas torrenciales. En el Anexo 5.14 se encuentra la base de datos GDB del POT.

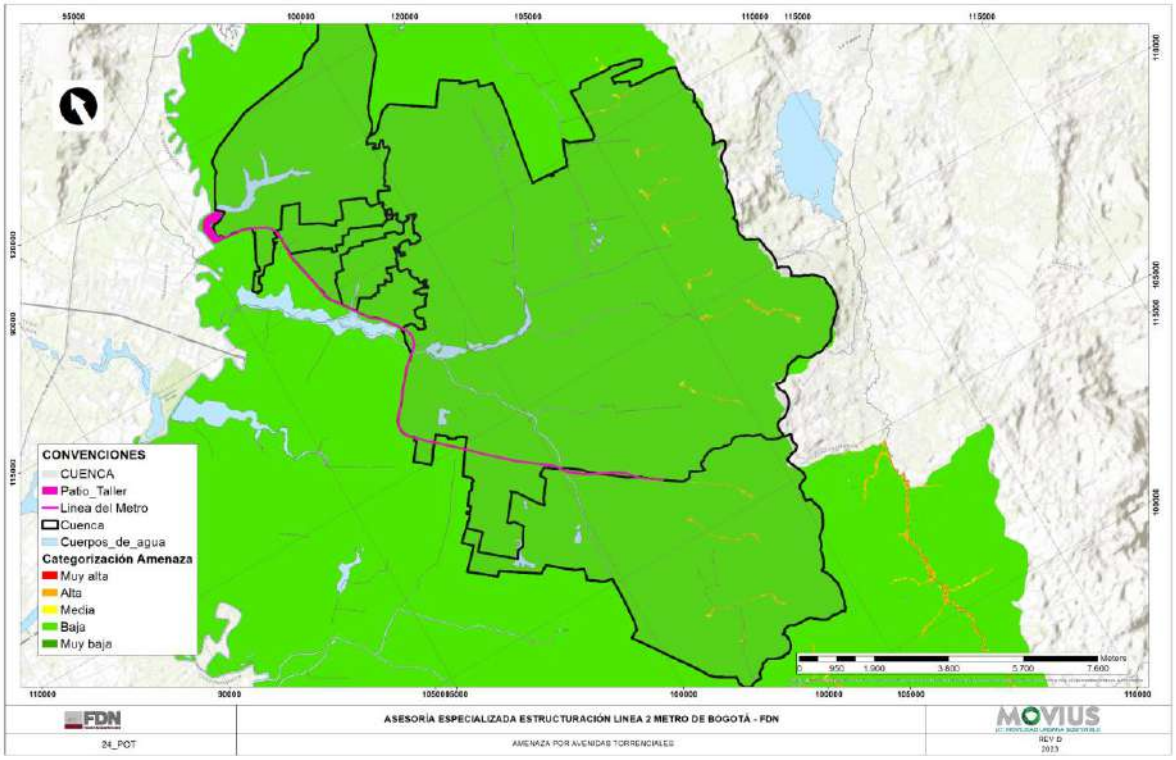


Figura 275. Amenaza por avenidas torrenciales y/o crecientes súbitas.
Fuente: Decreto POT Bogotá, 2021.

5.2.2.2. Calidad del Agua

Con el propósito de evaluar el estado de la calidad del agua de los cuerpos hídricos identificados en el área de influencia del proyecto, antes de su ejecución, y estimar los potenciales impactos sobre este, se realiza la caracterización fisicoquímica, bacteriológica y microbiológica sobre los cuerpos de agua más representativos en el trazado de la línea del Metro 2 de Bogotá. Se aclara que en el proyecto no se tienen contemplados permisos de vertimiento o de captación de agua superficial.

A continuación, se presenta la información recopilada para la caracterización de la calidad del área superficial de cuerpos de agua asociados al área de influencia del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá - L2MB.

5.2.2.2.1. Marco normativo

La normatividad nacional aplicable para los cuerpos de agua superficiales evaluados dentro del área de influencia del proyecto corresponde al Decreto 1076 de 2015. Adicionalmente, para la cuenca del río Bogotá es aplicable el Acuerdo 043 del 2006 de la CAR, si bien, es importante aclarar que el trazado de la línea 2 del metro de Bogotá se encuentra inmerso únicamente en la jurisdicción normativa del distrito capital. A continuación, se describen estas dos normativas aplicables tanto para la cuenca del río Bogotá como para el área urbana de la ciudad de Bogotá D.C.

- Acuerdo 043 de 2006.

Los objetivos de calidad del agua superficial para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020, se establecen en el Acuerdo número 43 del 2006 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). La cuenca del río Bogotá (sector Tibitoc - Soacha), El río Fucha y sus afluentes (canal San Francisco), el río Subachoque desde la desembocadura de la quebrada la Parroquia hasta su confluencia con el río Bojacá y el río Bojacá desde el casco urbano de Facatativá (puente La Virgen) hasta su confluencia con el río Subachoque, corresponden a clasificación de agua tipo IV (riego agrícola con restricción para riego de frutas que se consumen sin retirar la cáscara y hortalizas y uso para actividades pecuaria).

Tabla 163. Clasificación de agua tipo IV (riego agrícola con restricción para riego de frutas que se consumen sin retirar la cáscara y hortalizas y uso para actividades pecuarias).

Parámetro	Expresado como	Valor más restrictivo
Parámetros orgánicos		
DBO	mg/l	50
Coliformes totales	NMP/100 ml	20000
Parámetros nutrientes		
Nitritos	mg/l	10
Sólidos		

Parámetro	Expresado como	Valor más restrictivo
Sólidos suspendidos	mg/l	40
Parámetros de interés sanitario		
Aluminio	mg/l	5,00
Arsénico	CL 96/50	0,10
Berilio	CL 96/50	0,10
Boro	mg/l	0,30 - 0,40
Cadmio	CL 96/50	0,01
Cinc	CL 96/50	2,00
Cobalto	mg/l	0,05
Cobre	CL 96/50	0,20
Cromo (CR+6)	mg/l	0,10
Flúor	mg/l	1,00
Hierro	mg/l	5,00
Litio	mg/l	2,50
Manganeso	mg/l	0,20
Mercurio	mg/l	0,01
Molibdeno	mg/l	0,01
Níquel	mg/l	0,20
pH	Unidades de pH	4,50 - 9,00
Plomo	mg/l	0,10
Sales	mg/l	3000
Selenio	mg/l	0,02
Vanadio	mg/l	0,10

CL 96/50: Denomínase a la concentración de una sustancia, elemento o compuesto, solo o en combinación, que produce la muerte al cincuenta por ciento (50%) de los organismos sometidos a bioensayos en un periodo de noventa y seis (96) horas.

Fuente: Acuerdo 043 de 2006, CAR.

- Decreto 1076 de 2015.

El Decreto nacional 1076 del 26 de mayo de 2015 es el Decreto Único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible, el cual señala los usos permitidos de acuerdo con la calidad del agua en el capítulo 3 sobre ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos, sección 9 con los siguientes artículos:

- Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y Criterios de calidad para consumo humano y doméstico.
- Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y Criterios de calidad para consumo humano y doméstico.
- Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.
- Artículo 2.2.3.3.9.6. Criterios de calidad para uso pecuario.
- Artículo 2.2.3.3.9.7. Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto primario.
- Artículo 2.2.3.3.9.8. Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto secundario.

En la Tabla 164 se presentan los límites permisibles establecidos para los diferentes usos según el Decreto 1076 de 2015.

Tabla 164. Límites máximos permisibles en diferentes usos del recurso hídrico

Decreto 1076 de 2015		**Artículo**					
Parámetro	**Unidades**	**2.2.3.3.9.3**	**2.2.3.3.9.4**	**2.2.3.3.9.5**	**2.2.3.3.9.6**	**2.2.3.3.9.7**	**2.2.3.3.9.8**
		Consumo humano y doméstico - Tratamiento convencional	**Consumo humano y doméstico - Desinfección**	**Agrícola**	**Pecuario**	**Recreativo contacto primario**	**Recreativo contacto secundario**
Aluminio	mg/l	N.E*	N.E*	5,00	5,00	N.E*	N.E*
Amoniaco	mg/l	1,00	1,00	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Arsénico	mg/l	0,05	0,05	0,10	0,20	N.E*	N.E*
Bario	mg/l	1,00	1,00	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Berilio	mg/l	N.E*	N.E*	0,10	N.E*	N.E*	N.E*
Boro	mg/l	N.E*	N.E*	0,30 - 4,00	5,00	N.E*	N.E*
Cadmio	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,05	N.E*	N.E*

Decreto 1076 de 2015		Artículo					
Parámetro	Unidades	2.2.3.3.9.3 Consumo humano y doméstico - Tratamiento convencional	2.2.3.3.9.4 Consumo humano y doméstico - Desinfección	2.2.3.3.9.5 Agrícola	2.2.3.3.9.6 Pecuario	2.2.3.3.9.7 Recreativo contacto primario	2.2.3.3.9.8 Recreativo contacto secundario
Cianuro	mg/l	0,20	0,20	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Cinc	mg/l	15,00	15,00	2,00	25,00	N.E*	N.E*
Cloruros	mg/l	250,00	250,00	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Cobalto	mg/l	N.E*	N.E*	0,05	N.E*	N.E*	N.E*
Cobre	mg/l	1,00	1,00	0,20	0,50	N.E*	N.E*
Color	Unidades Platino - Cobalto	20,00	20,00	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Compuestos fenólicos	mg/l	0,002	0,002	N.E*	N.E*	0,002	N.E*
Cromo	mg/l	0,05	0,05	0,10	1,00	N.E*	N.E*
Difenil policlorados	mg/l	No detectable	No detectable	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Flúor	mg/l	N.E*	N.E*	1,00	N.E*	N.E*	N.E*
Hierro	mg/l	N.E*	N.E*	5,00	N.E*	N.E*	N.E*
Litio	mg/l	N.E*	N.E*	2,50	N.E*	N.E*	N.E*
Manganeso	mg/l	N.E*	N.E*	0,20	N.E*	N.E*	N.E*
Mercurio	mg/l	0,002	0,002	N.E*	0,01	N.E*	N.E*
Molibdeno	mg/l	N.E*	N.E*	0,01	N.E*	N.E*	N.E*
Níquel	mg/l	N.E*	N.E*	0,20	N.E*	N.E*	N.E*
Nitratos	mg/l	10,00	10,00	N.E*	100,00	N.E*	N.E*
Nitritos	mg/l	1,00	1,00	N.E*	10,00	N.E*	N.E*
pH	Unidades de pH	5,00 - 9,00	6,50 - 9,00	4,50 - 9,00	N.E*	5,00 - 9,00	5,00 - 9,00

Decreto 1076 de 2015		Artículo					
		2.2.3.3.9.3	2.2.3.3.9.4	2.2.3.3.9.5	2.2.3.3.9.6	2.2.3.3.9.7	2.2.3.3.9.8
Parámetro	Unidades	Consumo humano y doméstico - Tratamiento convencional	Consumo humano y doméstico - Desinfección	Agrícola	Pecuario	Recreativo contacto primario	Recreativo contacto secundario
Plata	mg/l	0,05	0,05	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Plomo	mg/l	0,05	0,05	5,00	0,10	N.E*	N.E*
Selenio	mg/l	0,01	0,01	0,02	N.E*	N.E*	N.E*
Sulfatos	mg/l	400,00	400,00	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Tensoactivos	mg/l	0,50	0,50	N.E*	N.E*	0,50	0,50
Turbiedad	NTU	N.E*	10,00	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Vanadio	mg/l	N.E*	N.E*	0,10	N.E*	N.E*	N.E*
Coliformes totales	NMP/100 ml	20000	1000	5000	N.E*	1000	5000
Coliformes fecales	NMP/100 ml	2000	N.E*	1000	N.E*	200	N.E*
Saturación de oxígeno	%	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*	70,00	70,00

N.E.*: No Especificado en la norma.

Fuente: Decreto 1076 de 2015, MADS.

De acuerdo con los usos y usuarios identificados en la cuenca y subcuencas de estudio, las normas que aplican en los cuerpos de agua susceptibles a intervención por parte del proyecto corresponden a consumo humano, riego agrícola y pecuario, y recreativo.

El área de influencia directa para el componente de calidad de agua es aquella donde se manifiestan los impactos generados por las actividades de construcción y operación; en este sentido y teniendo en cuenta la descripción del proyecto realizada en el Capítulo 3 - Descripción del Proyecto, en donde se indica que no se presentaran intervenciones en los cuerpos de agua asociados a vertimientos o captaciones. Tampoco presentan cruces a nivel de terreno entre la red hídrica y el alineamiento del proyecto ni intervenciones en los cuerpos de agua asociadas a ocupaciones de cauce. Por lo anterior, al no existir impactos para el componente de calidad de agua, no se define área de influencia ni directa ni indirecta para este componente

Sin embargo se realizan monitoreos con el fin de verificar las condiciones en las que se encuentran los cuerpos de agua y se cuente con una línea base que permita dar respuestas a la comunidad en caso de peticiones, quejas o reclamos generadas por la comunidad. En este sentido, los cuerpos de agua lóticos presentes son: canal Salitre, rio Salitre, brazo

Juan Amarillo y rio Bogota. En cuanto a los cuerpos de agua lénticos cercanos se encuentran: humedal Juan Amarillo, lago Club Lagartos y el humedal La Conejera. En la Figura 268 se presentan los cuerpos de agua monitoreados.

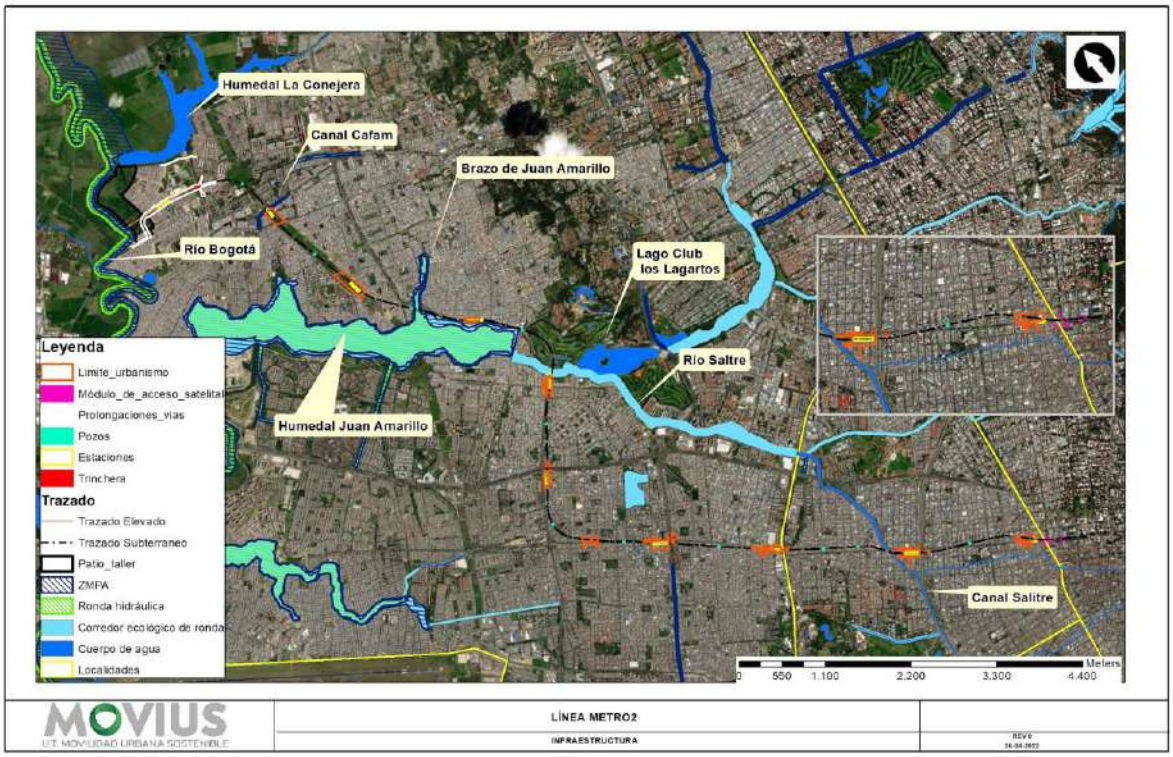


Figura 276. Ubicación de los cuerpos de agua a monitorear
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.2.2. Metodología

Los muestreos de calidad de agua se realizaron a través del laboratorio Ambienciq Ingenieros SAS, el cual se encuentra debidamente acreditado ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM bajo la Resolución No. 1410 de 2021, por la cual se modifican las Resoluciones 1329 del 27 de noviembre de 2020 y resolución 0294 del 12 de abril del 2021, en el sentido de adicionar variables al alcance (Ver Anexo 5.2 - 6.1). Adicionalmente, el laboratorio realizó el monitoreo teniendo en cuenta la guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM. 2002 y el protocolo de seguimiento del agua IDEAM 2007. La recolección de muestras de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron con base en los requerimientos exigidos en el documento Especificación Técnica 05 Estudio de impacto Ambiental y Social - EIAS. ET-05 (2021).

5.2.2.2.2.1. Metodología De Un Muestreo Puntual

En el estudio de caracterización de agua superficial, las muestras se tomaron a una hora determinada, reflejando así las características físicas y químicas instantáneas de los efluentes. El procedimiento para la toma de muestra puntual se desarrolló a través de la recolección directa en los puntos de monitoreo; el llenado de los envases para el análisis de la muestra en laboratorio obedeció al siguiente procedimiento:

• Se organizó el total de envases a llenar por tipo de análisis, con excepción de las que contenían algún preservante.
• Los envases fueron rotulados y marcados previamente.
• Tan pronto se ejecutó el muestreo, los envases se purgaron de una a dos veces con la muestra (desechando estos enjuagues) y se procedió a llenar los envases a tope o dejando un espacio libre aproximadamente de dos centímetros según los parámetros a analizar, se taparon los envases y se agitaron para homogenizar.
• Para el caso de los envases con preservante se siguió el mismo procedimiento menos la purga.
• En general, los envases fueron llenados por completo, con excepción de algunos casos específicos (DBO5), ya que pueden generar rupturas o explosiones por cambios de temperatura y presión, dejando un espacio libre entre el contenido y la tapa.

5.2.2.2.2.2. Medición De Caudal

- **Método área – velocidad (micromolinete y molinete)**

Para determinar el caudal de cada cuerpo de agua mediante el método área-velocidad se empleó un micromolinete con serial No. 1539004865 y un molinete con serial No. 222638; en el proceso de medición la sección transversal del cuerpo de agua se divide en porciones de longitud más pequeñas a las que se les determina el área.

Para medir la velocidad en dicha área se procede de la siguiente forma: cuando la profundidad es <50 cm se toma el dato de velocidad al 20% de la profundidad medido desde la superficie del agua, sin embargo, cuando es >50 cm se toman dos lecturas, una al 20% y la otra al 80% de profundidad; en este caso se promedia la velocidad y el ancho de la sección. La velocidad promedio de cada porción de sección transversal se halla como el promedio de las velocidades de cada uno de los puntos extremos de dicha porción, determinadas a partir del número de vueltas que dio el micromolinete y la ecuación de éste.

La Ecuación 33 es usada para determinar la velocidad en cada punto, la cual corresponde a la ecuación del micromolinete Global Water.

$$V=1{,}007*LD+0{,}067$$

Ecuación 33. micromolinete Global Water

Fuente: Certificado de calibración del micromolinete, 2021.

Dónde:

- V: Velocidad real en metros por segundo, m/s.
- LD: Lectura del display medida en m/s.
- $0{,}17<V\leq 2{,}28\ m/s$ $0{,}10\leq LD\leq 2{,}20\ m/s$

Por otro lado, la Ecuación 34 es usada para determinar la velocidad en cada punto, empleando el molinete.

$$V=1{,}004*N+0{,}003$$

Ecuación 34. Ecuación del molinete
Fuente: Certificado de calibración del molinete, 2021.

Dónde:

- V: Velocidad real en metros por segundo, m/s.
- N: Revoluciones por segundo.
- 0,15<V≤2,61 m/s 0,13<N≤2,55 m/s

Finalmente, el caudal de cada porción se calculó como el producto de la velocidad medida y el área calculada a partir de la profundidad media y el ancho de la porción. El caudal total del cuerpo de agua es la sumatoria de caudales de cada una de las porciones en las que se dividió la sección transversal del cuerpo de agua.

5.2.2.2.2.3. Medición De Parámetros En Campo In-Situ

Los parámetros medidos in situ determinaron los resultados para conductividad eléctrica, pH, temperatura, y oxígeno disuelto.

Estos parámetros fueron determinados utilizando electrodos que están sujetos a un procedimiento interno de revisión y calibración. El equipo se verificó y revisó antes de ser entregado al personal de monitoreo. Este proceso de verificación se repitió en campo antes de iniciar el muestreo.

Para la medición de pH, oxigeno disuelto, conductividad eléctrica y temperatura, se tomó una muestra de agua en un beaker previamente lavado y purgado. Seguido a esto, se encendió e introdujo el equipo hasta la marca indicada en el mismo, cuando el valor en el equipo se mantuvo constante por lo menos 15 segundos, se registró en el formato de campo junto con la hora de la toma.

Los datos obtenidos de la medición de parámetros in situ fueron consignados en el formato de registro de datos de muestreo puntual de agua de Ambienciq Ingenieros S.A.S. (FM-010). Para el análisis de los parámetros restantes, se tomaron muestras en diferentes recipientes según el tipo y preservante. Las muestras fueron empacadas en neveras plásticas, refrigeradas para mantener la temperatura por debajo de 6 °C (sin llegar a congelarlas), posteriormente, fueron transportadas al laboratorio para ser analizadas

Tabla 165. Parámetros medidos in-situ

Parámetro	Método	Método Standard	Incertidumbre (µC), %	Instrumento	Código de equipos
Caudal	Vadeo	N.A.	N.A.	Micromolinete	450-C

Parámetro	Método	Método Standard	Incertidumbre (µC), %	Instrumento	Código de equipos
	Bote	N.A.	N.A.	Molinete	056-C
pH	Electrométrico	SM 4500 -H+B	2,2	Multiparámetro	605-C 606-C
Temperatura		SM 2550 B	1,8		
Oxígeno Disuelto		SM 4500 O-G	2,8		
Conductividad eléctrica		SM 2510 B	3,9		

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

5.2.2.2.2.4. Preservación De Las Muestras Y Fase De Laboratorio

La Tabla 166, especifica los parámetros analizados en el laboratorio, la técnica analítica y el método de preservación empleado. Las técnicas analíticas que se desarrollaron para analizar los parámetros fisicoquímicos de interés están basadas en los métodos establecidos en el Standard Methods For The Examination Of Water and Wastewater, 23rd Edition y corresponden a la metodología expuesta en la acreditación otorgada por el IDEAM.

Tabla 166. Metodología de preservación y técnica analítica

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	LC	INCERTIDUMBRE (µC), %	TÉCNICA	PRESERVACIÓN
Acidez	mg $CaCO_3$/L	SM 2310 B	9,99	3,9	Volumétrico	Refrigeración < 6°C
Alcalinidad	mg $CaCO_3$/L	SM 2320 B	3,77	3,4	Volumétrico	Refrigeración < 6°C
Color a 436 nm	m^{-1}	ISO 7887:2011 Método B	0,1	1,5	Colorimétrico	Refrigeración < 6°C
Color a 525 nm	m^{-1}	ISO 7887:2011 Método B	0,1	1,2	Colorimétrico	Refrigeración < 6°C
Color a 620 nm	m^{-1}	ISO 7887:2011 Método B	0,1	0,81	Colorimétrico	Refrigeración < 6°C
DBO_5	mg O_2/L	SM 5210 B, SM 4500-O G	3,00	4,2	Electrométrico	Refrigeración < 6°C
DQO	mg O_2/L	SM 5220 D	15,0	7,2	Espectrofotometría	H_2SO_4 a pH <2 y refrigerar < 6°C
Dureza cálcica	mg $CaCO_3$/L	SM 3500 Ca B	12,0	1,8	Volumetría	HNO_3 o H_2SO_4 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Dureza total	mg $CaCO_3$/L	SM 2340 C	5,00	1,5	Volumetría	HNO_3 o H_2SO_4 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Fenoles	mg/L	SM 5530 B,C	0,0100	9	Espectrofotométrico	H_2SO_4 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Fósforo total	mg P /L	SM 4500 P B-D	0,0500	1,5	Espectrofotometría	H_2SO_4 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Grasas y aceites	mg Aceites y Grasas/L	SM 5520 C	0,900	2,6	Partición Gravimétrica	Acidificación con H_2SO_4 y refrigerar < 6°C
Hidrocarburos	mg Aceites y Grasas/L	SM 5520 C, F	0,900	2,6	Gravimetría	Acidificación con H_2SO_4 hasta pH <2 y refrigerar < 6°C
Sólidos disueltos totales	mg/L	SM 2540 C	10	2,2	Gravimétrico	Refrigeración < 6°C
Sólidos sedimentables	mL/L – h	SM 2540 F	0,1	1,5	Lectura directa	Refrigeración < 6°C
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SM 2540 D	6	1,4	Gravimétrico	Refrigeración < 6°C
Surfactantes (tensoactivos)	mg/L	SM 5540 C	0,100	0,65	Espectrofotometría	Refrigeración a <6°
Turbiedad	UNT	SM 2130 B	0,01	0,43	Nefelométrica	Refrigeración < 6°C
Coliformes totales	NMP/100 mL	SM 9223 B	1	1,1	Sustrato enzimático	Adición de $Na_2S_2O_3$ y refrigeración a 6°C
Coliformes termotolerantes (fecales)	NMP/100 mL	SM 9223 B Modificado	1	1,4	Sustrato enzimático	Adición de $Na_2S_2O_3$ y refrigeración a 6°C
Cobre total	mg Cu/L	SM 3030 E/SM 3111 B	0,100	5,5	Absorción atómica / Llama	HNO_3 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Plata total	mg Ag/L	SM 3030 E/SM 3111 B	0,0500	1,1	Absorción atómica / Llama	HNO_3 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Zinc total	mg Zn/L	SM 3030 E/SM 3111 B	0,0300	1,0	Absorción atómica / Llama	HNO_3 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Mercurio total	mg Hg/L	SM 3112 B	0,00100	0,20	Absorción atómica / Vapor Frío	HNO_3 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Bario total	mg Ba/L	SM 3030 E/SM 3113 B	0,00500	1,5	Absorción atómica / Llama	HNO_3 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Cadmio total	mg Cd/L	SM 3030 E/SM 3113 B	0,000500	2,0	Absorción atómica / Llama	HNO_3 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Plomo total	mg Pb/L	SM 3030 E/SM 3113 B	0,00100	0,5	Absorción atómica / Llama	HNO_3 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Níquel total	mg Ni/L	SM 3030 E/SM 3113 B	0,00300	0,5	Absorción atómica / Llama	HNO_3 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Arsénico (1)	mg /L As	SM 3114 C	0,001	N.E	Absorción atómica / Generación de Hidruro	HNO_3 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Selenio (1)	mg /L Se	SM 3114 C	0,005	N.E	Absorción atómica / Generación de Hidruro	HNO_3 a pH<2 y refrigerar < 6°C
Nitrógeno total (2)	mg/L	DIN EN 12260	0,500	2,94	Espect UV-VIS	HNO_3 a pH<2 y refrigerar < 6°C

LC: Límite de cuantificación.
(1) Parámetro analizado por el laboratorio subcontratado HIDROLAB COLOMBIA LTDA acreditado por el IDEAM.
(2) Parámetro analizado por el laboratorio subcontratado AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S. acreditado por el IDEAM.

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Ed.

5.2.2.2.2.5. Cadena De Custodia

El manejo de los formatos de planeación de monitoreo (FT-09A), la lista de chequeo de monitoreo de aguas (FM-006), el formato lista de chequeo muestreos hidrobiológicos (FT-167), el formato de registro de datos, constancia de inicio, cambios y terminación de servicios contratados (FT-27), el formato de análisis de trabajo seguro (FT-152), la lista de chequeo para fotografías de monitoreos (FT-223), el formato de verificación de equipos de monitoreo de aguas (FM-011), el formato de registro de datos muestreo puntual de agua (FM-010), el formato de campo muestreos hidrobiológicos (FT-165), el formato de registro de datos de aforo de caudales con molinete o corrientómetro (FM-18) y el formato de cadena de custodia (FM-

017), están relacionados con el proceso interno de control de registros. Adicionalmente, en los formatos de reporte de resultados fisicoquímicos (FT-024) se encuentran las fechas de recepción y análisis. De igual manera, cada muestra fue identificada con una etiqueta y refrigerada con hielo para su transporte. (Ver Anexo 5.2 - 6.1).

5.2.2.2.3. Puntos de monitoreo

5.2.2.2.3.1. Descripción puntos de monitoreo

Tabla 167. Descripción de los puntos monitoreados

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
HUM_LCON	Humedal La Conejera	2022-05-18	Húmedo	41399 / 14:00	**Este**	**Norte**
		2022-06-21	Seco	43048 / 15:00	95914,67	118277,15
Descripción del punto de monitoreo						
Punto de monitoreo ubicado en el humedal La Conejera. En periodo húmedo, rodeado de vegetación característica de bosque de galería. Se evidencia la presencia de macrófitas y avifauna. El espejo de agua se encuentra aproximadamente al 30% de la capacidad del humedal, el agua es translúcida, inolora y su lecho es fangoso. Para el periodo seco, se evidencia la presencia de macrófitas, vegetación y avifauna y la existencia de un pequeño caño aledaño. El agua es transparente, inolora y su lecho es fangoso. El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2550 m.s.n.m.						
Registro fotográfico						



Fotografía 28. Punto de monitoreo Humedal La Conejera - Periodo Húmedo.



Fotografía 29. Punto de monitoreo Humedal La Conejera - Periodo Seco.

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
					Este	Norte
HUM_JA_AAR	Humedal Juan Amarillo aguas arriba	2022-05-19	Húmedo	41400 / 10:00		
		2022-06-29	Seco	43229 / 14:30	98028,93	113452,13

Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se localiza en el humedal Juan Amarillo en la localidad de Suba, rodeado de una zona residencial con flujo vehicular constante.

En periodo húmedo, se evidencia la presencia de avifauna en el área y macrófitas en las orillas del cuerpo de agua, con espejo de agua despejado. La muestra de agua presenta turbiedad y es inolora.

En periodo seco, se evidencia la presencia de avifauna en el área y se encuentran realizando obras de remodelación en la zona anterior del humedal. La muestra de agua presenta color gris, es inolora y no se percibe la existencia de espumas.

El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2550 m.s.n.m.

Registro fotográfico



Fotografía 30. Punto de monitoreo Humedal Juan Amarillo aguas arriba - Periodo Húmedo.



Fotografía 31. Punto de monitoreo Humedal Juan Amarillo aguas arriba - Periodo Seco.

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
HUM_JA_AAB	Humedal Juan Amarillo aguas abajo	2022-05-19	Húmedo	41402 / 14:30	**Este**	**Norte**
		2022-06-29	Seco	43227 / 10:30	96347,95	115678,38
Descripción del punto de monitoreo						
El punto de monitoreo se encuentra localizado aguas abajo del humedal Juan Amarillo, en la localidad de Suba, frente a una zona residencial y aledaño a la estación de carabineros de la Policía. En periodo húmedo, está rodeado por vegetación característica de bosque de galería y se evidencia la presencia de macrófitas. La muestra de agua presenta apariencia turbia y su olor es característico de agua residual. En periodo seco, la muestra de agua es turbia, presenta espumas e iridiscencias y se percibe un olor característico a agua residual. El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2550 m.s.n.m.						
Registro fotográfico						



Fotografía 32. Punto de monitoreo Humedal Juan Amarillo aguas abajo - Periodo Húmedo.



Fotografía 33. Punto de monitoreo Humedal Juan Amarillo aguas abajo - Periodo Seco.

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
BR_HUM_JA_AAR	Brazo humedal Juan Amarillo aguas arriba	2022-05-19	Húmedo	N.A. / 09:00	**Este**	**Norte**
		2022-06-29	Seco	43228 / 12:30	97948,06	114830,34

Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo fue ubicado en la zona aguas arriba del brazo del humedal Juan Amarillo en la localidad de Suba, aledaño a zonas residenciales por donde se percibe flujo vehicular medio.

En periodo húmedo, se evidencia parche de bosque de galería y vegetación densa sin espejo de agua (punto seco), se encuentra saturado de vegetación arbustiva y aguas abajo se observan aguas por escorrentía cercanas a 100m a la redonda de la coordenada.

En periodo seco, la muestra de agua es transparente, no se percibe olor característico ni espumas y se observa la presencia de residuos sólidos en el área.

El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2550 m.s.n.m.

Registro fotográfico



Fotografía 34. Punto de monitoreo Brazo humedal Juan Amarillo aguas arriba - Periodo Húmedo.



Fotografía 35. Punto de monitoreo Brazo humedal Juan Amarillo aguas arriba - Periodo Seco.

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
BR_HUM_JA_INT	Brazo humedal Juan Amarillo intersección	2022-05-19	Húmedo	41401 / 11:45	**Este**	**Norte**
		2022-06-29	Seco	43230 / 16:00	97480,09	114405,94
Descripción del punto de monitoreo						
Punto de monitoreo ubicado en la intersección del brazo del humedal Juan Amarillo en la localidad de Suba, inmerso en una zona residencial por la cual hay flujo vehicular constante. En periodo húmedo, a su alrededor, se observa abundante vegetación arbustiva y herbácea, así como la presencia de macrófitas. La muestra de agua presenta color turbio, olor a agua residual, se evidencian espumas superficiales y saltos en su corriente. En periodo seco, a su alrededor, se observan abundantes residuos sólidos. La muestra de agua es turbia, presenta olor a agua residual y se evidencian espumas superficiales. El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2550 m.s.n.m.						
Registro fotográfico						



Fotografía 36. Punto de monitoreo Brazo humedal Juan Amarillo intersección - Periodo Húmedo.



Fotografía 37. Punto de monitoreo Brazo humedal Juan Amarillo intersecciona - Periodo Seco.

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
CLUB_LAG	Lago Club Los Lagartos	2022-06-01	Húmedo	42179 / 10:00	**Este**	**Norte**
		2022-06-21	Seco	43047 / 11:30	98879,95	112252,52

Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se localiza en el lago artificial del club Los Lagartos, el cual presenta diferentes tipos de macrófitas alrededor, así como bastante musgo flotante. Se evidencian tres tipos de riego que dan oxígeno al cuerpo de agua.

En periodo húmedo, el agua es de tonalidad verdosa a causa de las algas presentes allí y el punto se encuentra cerca de varios juncos.

En periodo seco, se observa agua es inolora, de color verde y donde se evidencia la presencia de macrófitas hacia los bordes del espejo de agua. Además, durante el muestreo se observa el paso peatonal alrededor del lago y la circulación de lanchas con turistas.

El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2555 m.s.n.m.

Registro fotográfico



Fotografía 38. Punto de monitoreo Lago Club Los Lagartos - Periodo Húmedo.



Fotografía 39. Punto de monitoreo Lago Club Los Lagartos - Periodo Seco.

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
CAFAM_AAR	Canal CAFAM aguas arriba	2022-05-24	Húmedo	41854 / 10:50	**Este**	**Norte**
		2022-06-28	Seco	43082 / 12:00	97110,92	116609,52

Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo está ubicado aguas arriba en el canal CAFAM de la localidad de Suba, el cual se encuentra aledaño a una zona residencial y rodeado de cobertura vegetal de pastizales así como de zonas urbanas. donde se observa la disposición inadecuada de residuos sólidos

En periodo húmedo corresponde a agua superficial residual y se evidencia material flotante en su curso, así como trazas de iridiscencias en la superficie, posiblemente a causa de la presencia de grasas en el agua. Su color es café turbio y su olor es de agua residual doméstica.

La muestra de agua en periodo seco es de color amarillo, con olor a agua residual doméstica y con evidencia de espumas en la superficie.

El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2550 m.s.n.m.

Registro fotográfico



Fotografía 40. Punto de monitoreo Canal CAFAM aguas arriba - Periodo Húmedo.



Fotografía 41. Punto de monitoreo Canal CAFAM aguas arriba - Periodo Seco.

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
CAFAM_AAB	Canal CA FAM aguas abajo	2022-05-31	Húmedo	41859 / 12:00	**Este**	**Norte**
		2022-06-28	Seco	43081 / 10:30	96585,60	116512,08

Descripción del punto de monitoreo

Punto de muestreo ubicado aguas abajo sobre el canal CAFAM en la localidad de Suba, que se encuentra construido en concreto y rodeado de zona urbana de la cual provienen descargas residuales domésticas. Presencia de residuos sólidos a los alrededores y flujo vehicular constante por la vía aledaña.

En periodo húmedo, el cuerpo hídrico presenta olor a agua residual, su color es translúcido sin iridiscencias y el lecho tiene aglomeración de algas y perifiton.

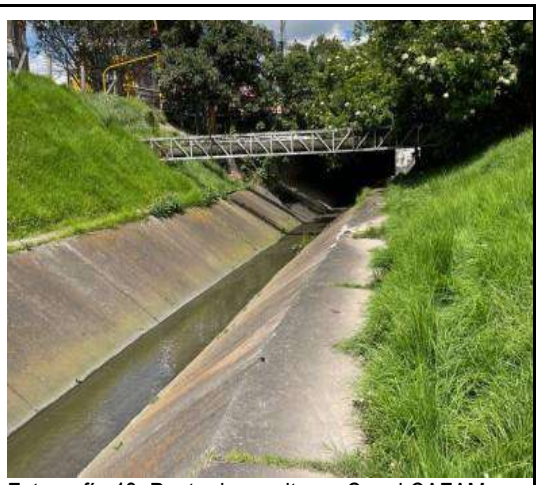
En periodo seco, el cuerpo hídrico presenta olor a agua residual, su color es transparente y no se evidencian iridiscencias, ni espumas.

El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2550 m.s.n.m.

Registro fotográfico



Fotografía 42. Punto de monitoreo Canal CAFAM aguas abajo - Periodo Húmedo.



Fotografía 43. Punto de monitoreo Canal CAFAM aguas abajo - Periodo Seco.

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
CAN_SAL_AAR	Canal Salitre aguas arriba	2022-05-25	Húmedo	41604 / 11:00	**Este**	**Norte**
		2022-06-24	Seco	43062 / 12:45	100164,82	107769,83

Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo ubicado aguas arriba del canal Salitre junto a la avenida NQS, arriba de la Calle 72, por donde se observa el paso de transeúntes y tránsito vehicular moderado . El canal está construido en láminas de concreto y rodeado de una zona urbana, de la cual recibe múltiples descargas residuales domésticas.
En periodo húmedo, el agua es turbia, grisácea con presencia de materia orgánica y residuos sólidos en su cauce.

En periodo seco, con relación a las condiciones climáticas se presenta alta nubosidad y hubo lluvias previas en horas de la mañana. El canal es de forma trapezoidal y el agua presenta color grisáceo, fuerte olor a agua residual dado a que es receptor de descargas domésticas.

El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2541 m.s.n.m.

Registro fotográfico



Fotografía 44. Punto de monitoreo Canal Salitre aguas arriba - Periodo Húmedo.



Fotografía 45. Punto de monitoreo Canal Salitre aguas arriba - Periodo Seco.

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
CAN_SAL_AAB	Canal Salitre aguas abajo	2022-05-25	Húmedo	41603 / 09:00	**Este**	**Norte**
		2022-06-24	Seco	43061 / 10:40	100154,27	108417,60

Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se encuentra ubicado sobre el canal del Río Salitre aguas abajo de la Calle 72, el río fluye por un canal de concreto paralelo a la transversal 56 y está rodeado por zonas residenciales e industriales. En el área aledaña al punto, se observan viviendas y tránsito vehicular.

En periodo húmedo, el cuerpo de agua recibe las descargas residuales locales y aguas lluvia; el agua presenta color grisáceo contiene materia orgánica, espumas y su olor corresponde a agua residual.

En periodo seco, con respecto a las condiciones climáticas, se presenta alta nubosidad y hubo lluvias previas en horas de la mañana. El canal es de forma trapezoidal y el agua presenta color grisáceo, fuerte olor a agua residual debido a las descargas domésticas que recibe y se observan residuos sólidos sobre su cauce.

El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2540 m.s.n.m.

Registro fotográfico



Fotografía 46. Punto de monitoreo Canal Salitre aguas abajo - Periodo Húmedo.



Fotografía 47. Punto de monitoreo Canal Salitre aguas abajo - Periodo Seco.

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
RIO_BOG_AAR	Río Bogotá aguas arriba	2022-05-25	Húmedo	41606 / 16:00	**Este**	**Norte**
		2022-06-30	Seco	43232 / 16:00	98470,80	112572,69

Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo ubicado sobre el Río Bogotá aguas arriba de la desembocadura del humedal La Conejera, desde donde se evidencian algunas zonas residenciales alejadas, rodeado por terreno inclinado cubierto por pastizal. Se evidencia actividad ganadera en la zona.

En periodo húmedo, el agua es translúcida con tonalidad café claro, es inolora, sin iridiscencias y el lecho es fangoso.

En periodo seco, se observa la presencia de avifauna y a niños bañándose en el río. El agua es transparente, inolora y no se visualizan espumas en su superficie.

El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2550 m.s.n.m.

Registro fotográfico



Fotografía 48. Punto de monitoreo Río Bogotá aguas arriba - Periodo Húmedo.



Fotografía 49. Punto de monitoreo Río Bogotá aguas arriba - Periodo Seco.

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
RIO_BOG_AAB	Río Bogotá aguas abajo	2022-05-25	Húmedo	41605 / 14:00	**Este**	**Norte**
		2022-06-30	Seco	43231 / 14:30	95259,91	117475,69

Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se localiza sobre el Río Bogotá aguas abajo de la desembocadura del humedal La Conejera, en la localidad de Suba cerca de una zona residencial y aledaño a un paradero del SITP. También rodeado por laderas empinadas cubiertas de pastizal. Se evidencian actividades ganaderas en la zona.

En periodo húmedo, el agua es de color marrón claro, presenta olor leve a agua residual y el lecho es fangoso.

En periodo seco, el agua es turbia, presenta olor a agua residual y no se evidencian espumas superficiales. Se observa la presencia de residuos sólidos en el área.

El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2550 m.s.n.m.

Registro fotográfico



Fotografía 50. Punto de monitoreo Río Bogotá aguas abajo - Periodo Húmedo.



Fotografía 51. Punto de monitoreo Río Bogotá aguas abajo - Periodo Seco.

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
RIO_SAL_AAR	Río Salitre aguas arriba	2022-05-24	Húmedo	41856 / 16:00	**Este**	**Norte**
		2022-06-28	Seco	43083 / 14:30	95680,68	118396,0

Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se encuentra ubicado en la zona aguas arriba del río Salitre en la localidad de Suba, rodeado de una zona residencial y con la presencia de un punto de descarga de agua. El punto de monitoreo se encuentra ubicado bajo un puente peatonal, está rodeado de zona urbana y de cobertura vegetal de pastizal que hace parte de un parque público aledaño.

En periodo húmedo, se evidencian un par de asentamientos de habitantes de calle y gran cantidad de residuos sólidos alrededor y al interior del cuerpo hídrico. El agua presenta olor a agua residual y su coloración es grisácea oscura.

En periodo seco, el agua presenta turbiedad y espumas, se percibe olor a agua residual y se observa la existencia de residuos sólidos en el área.

El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2550 m.s.n.m.

Registro fotográfico



Fotografía 52. Punto de monitoreo Río Salitre aguas arriba - Periodo Húmedo.



Fotografía 53. Punto de monitoreo Río Salitre aguas arriba - Periodo Seco.

ID	Nombre	Fecha muestreo	Periodo	Código Muestra / Hora	Coordenadas	
RIO_SAL_AAB	Río Salitre aguas abajo	2022-05-24	Húmedo	41855 / 14:00	**Este**	**Norte**
		2022-06-24	Seco	43063 / 15:30	98173,26	112971,23

Descripción del punto de monitoreo

El cuerpo de agua se ubica en el río Salitre, El canal es de geometría trapezoidal debajo de un puente vehicular, rodeado de una zona residencial y aledaño a la Avenida Ciudad de Cali; el puente tiene una profundidad de aproximadamente 1m, y se observa flujo vehicular medio.correspondiente a la mitad de su capacidad y a su alrededor se observa poca vegetación.

En periodo húmedo, el agua presenta gran cantidad de residuos sólidos flotantes y de sedimentos, debido a la colmatación en su interior; su color es gris turbio y su olor corresponde a agua residual.

En periodo seco, el cuerpo de agua se ubica en el río Salitre, En época seca, el agua presenta color gris, gran cantidad de residuos sólidos y se percibe un fuerte olor a agua residual debido a las descargas domésticas de las que es receptor.

El punto de monitoreo registra una altitud de Altitud: 2541 m.s.n.m.

Registro fotográfico



Fotografía 54. Punto de monitoreo Río Salitre aguas abajo - Periodo Húmedo.



Fotografía 55. Punto de monitoreo Río Salitre aguas abajo - Periodo Seco.

La localización de los puntos de monitoreo se presentan en el plano: L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0021_V01

5.2.2.2.3.2. Resultados de laboratorio

Los reportes de las campañas de monitoreo para los puntos de monitoreo de agua superficial pueden ser consultados en el Anexo 5.2 - 6.1.

Tabla 168. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos - Período Húmedo

PARÁMETRO	UNIDAD	Humedal La Conejera	Humedal Juan Amarillo aguas arriba	Humedal Juan Amarillo aguas abajo	Brazo humedal Juan Amarillo aguas arriba	Brazo humedal Juan Amarillo intersección	Lago Club Los Lagartos	Canal CAFAM aguas arriba	Canal CAFAM aguas abajo	Canal Salitre aguas arriba	Canal Salitre aguas abajo	Río Bogotá aguas arriba	Río Bogotá aguas abajo	Río Salitre aguas arriba	Río Salitre aguas abajo	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
		HUM_LCON	HUM_JA_AAR	HUM_JA_AAB	BR_HUM_JA_AAR	BR_HUM_JA_INT	CLUB_LAG	CAFAM_AAR	CAFAM_AAB	CAN_SAL_AAR	CAN_SAL_AAB	RIO_BOG_AAR	RIO_BOG_AAB	RIO_SAL_AAR	RIO_SAL_AAB							
		41399	41400	41402	N.A	41401	42179	41854	41859	41604	41603	41606	41605	41856	41855							
Caudal	(m3/s)	-	-	-	-	0,0549		0,0235	0,0773	1,0114	0,9612	0,5305	0,5645	2,6692	1,5922	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
pH	Unidades pH	6,7	7,75	6,7	-	7,8	8,5	6,9	7,2	8,5	8,6	7,2	7,6	7,9	7,6	5 9	6,5 8,5	4,5 9	N.E.	5 9	5 9	5,5 9
Conductividad eléctrica	µS/cm	268	69	443	-	225	155	389	376	520	490	263	265	405	344	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Oxígeno disuelto	mg O2/L	5,65	4,47	4,11	-	5,13	5,39	3,47	2,46	3,65	3,77	4,62	4,84	2,9	3,52	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	70%*	70%*	5
Temperatura	°C	15,6	17,8	20	-	16,5	17,7	16,8	18,5	18,6	17,2	18,5	18,1	19	18,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Acidez	mg CaCO3/L	78,9	26,1	24,4	-	<9.99	41,3	52,3	53,4	112	105	28,6	17,4	61,6	97,5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Alcalinidad	mg CaCO3/L	231	101	111	-	37,6	56,9	140	67,2	252	247	53,2	62,3	166	194	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Color a 436 nm	m-1	2,9	1,1	0,3	-	0,3	0,2	1	1,4	4,6	3,2	1,3	1,2	3,5	2,6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Color a 525 nm	m-1	1,5	0,4	<0.1	-	0,1	<0.1	0,3	0,5	2,6	1,9	0,4	0,4	2,1	1,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	+
Color a 620 nm	m-1	0,9	0,1	<0.1	-	<0.1	<0.1	0,3	0,3	1,6	1,2	0,2	0,2	1,6	0,8	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	+

PARÁMETRO	UNIDAD	Humedal La Conejera	Humedal Juan Amarillo aguas arriba	Humedal Juan Amarillo aguas abajo	Brazo humedal Juan Amarillo aguas arriba	Brazo humedal Juan Amarillo intersección	Lago Club Los Lagartos	Canal CAFAM aguas arriba	Canal CAFAM aguas abajo	Canal Salitre aguas arriba	Canal Salitre aguas abajo	Río Bogotá aguas arriba	Río Bogotá aguas abajo	Río Salitre aguas arriba	Río Salitre aguas abajo	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
		HUM_LCON	HUM_JA_AAR	HUM_JA_AAB	BR_HUM_JA_AAR	BR_HUM_JA_INT	CLUB_LAG	CAFAM_AAR	CAFAM_AAB	CAN_SAL_AAR	CAN_SAL_AAB	RIO_BOG_AAR	RIO_BOG_AAB	RIO_SAL_AAR	RIO_SAL_AAB							
		41399	41400	41402	N.A	41401	42179	41854	41859	41604	41603	41606	41605	41856	41855							
DBO5	mg O2/L	38,6	14	<3.00	-	10,3	<3.00	<3.00	14,5	22,8	23,6	10,3	<3.00	21,5	62,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg O2/L	122	41,8	25,4	-	32,7	21,1	27,6	45,7	75,9	75,9	32,3	<15.0	72,9	192	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Dureza cálcica	mg CaCO3/L	21,2	20,4	39,2	-	<12.0	26,3	51,9	23	<12.0	12,5	19,8	<12.0	20,4	19,4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Dureza total	mg CaCO3/L	28,7	23,8	49,5	-	<5.00	38,6	70,6	44,1	<5.00	16,8	23,8	11,7	30,6	21,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Fenoles	mg/L	0,208	0,152	0,108	-	0,102	0,0402	51,9	23	0,136	0,112	0,022	0,038	20,4	19,4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Fósforo total	mg P /L	1,62	0,203	0,423	-	<0.0500	0,774	0,902	1,19	1.136	1,3	0,328	0,257	2,13	0,624	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.E.
Grasas y aceites	mg Aceites y Grasas/L	<0.900	<0.900	9,8	-	16,7	3,37	18,2	2,97	0,99	1,13	<0.900	1,2	6,28	17,3	***	***	N.E.	N.E.	***	***	N.E.
Hidrocarburos	mg /L	<0.900	<0.900	<0.900	-	<0.900	1,59	1,14	1,95	<0.900	<0.900	<0.900	<0.900	<0.900	1,53	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos disueltos totales	mg/L	300	180	150	-	41	73	250	237	319	296	139	137	207	255	N.E	N.E.	N.E	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos sedimentables	mL/L – h	0,2	0,4	<0.1	-	<0.1	0,3	0,2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,7	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

PARÁMETRO	UNIDAD	Humedal La Conejera	Humedal Juan Amarillo aguas arriba	Humedal Juan Amarillo aguas abajo	Brazo humedal Juan Amarillo aguas arriba	Brazo humedal Juan Amarillo intersección	Lago Club Los Lagartos	Canal CAFAM aguas arriba	Canal CAFAM aguas abajo	Canal Salitre aguas arriba	Canal Salitre aguas abajo	Río Bogotá aguas arriba	Río Bogotá aguas abajo	Río Salitre aguas arriba	Río Salitre aguas abajo	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
		HUM_LCON	HUM_JA_AAR	HUM_JA_AAB	BR_HUM_JA_AAR	BR_HUM_JA_INT	CLUB_LAG	CAFAM_AAR	CAFAM_AAB	CAN_SAL_AAR	CAN_SAL_AAB	RIO_BOG_AAR	RIO_BOG_AAB	RIO_SAL_AAR	RIO_SAL_AAB							
		41399	41400	41402	N.A	41401	42179	41854	41859	41604	41603	41606	41605	41856	41855							
Sólidos suspendidos totales	mg/L	78	25	22	-	18	35	10	10	90	64	23	15	29	29	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Surfactantes (tensoactivos)	mg/L	6,26	<0.100	<0.100	-	<0.100	<0.100	0,105	4,84	2,19	2,23	<0.100	<0.100	1,89	3,16	0,5	0,5	N.E.	N.E.	0,5	0,5	N.E.
Turbiedad	UNT	43,8	5,5	7,17	-	11	2,15	2,27	5,13	40,1	15,9	3,58	11,33	9,59	24,1	N.E.	190++	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	+
Coliformes totales	NMP/100 mL	119100	2987	27200	-	452	279	98400	49600	231000	242700	11530	13140	36400	30500	20000	1000	5000+++	N.E.	1000	5000	N.E.
Coliformes termotolerantes (fecales)	NMP/100 mL	88600	482	5200	-	144	<1	20400	10800	121300	100300	1690	720	6300	5200	2000	N.E.	1000+++	N.E.	200	N.E.	N.E.
Cobre total	mg Cu/L	<0.100	<0.100	<0.100	-	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	1	1	0,2	0,5	N.E.	N.E.	N.E.
Plata total	mg Ag/L	<0.0500	<0.0500	<0.0500	-	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	0,05	0,05	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Zinc total	mg Zn/L	0,121	<0.0300	<0.0300	-	0,0395	0,058	0,251	0,27	<0.0300	0,101	<0.0300	<0.0300	0,252	0,253	15	15	2	25	N.E.	N.E.	N.E.
Mercurio total	mg Hg/L	<0.00100	<0.00100	<0.00100	-	0,00143	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	0,002	0,002	N.E.	0,01	N.E.	N.E.	N.E.
Bario total	mg Ba/L	0,0533	0,0982	0,0926	-	0,062	0,0412	0,0585	0,0425	<0.00500	<0.00500	<0.00500	<0.00500	0,0413	0,04	1	1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

PARÁMETRO	UNIDAD	Humedal La Conejera	Humedal Juan Amarillo aguas arriba	Humedal Juan Amarillo aguas abajo	Brazo humedal Juan Amarillo aguas arriba	Brazo humedal Juan Amarillo intersección	Lago Club Los Lagartos	Canal CAFAM aguas arriba	Canal CAFAM aguas abajo	Canal Salitre aguas arriba	Canal Salitre aguas abajo	Río Bogotá aguas arriba	Río Bogotá aguas abajo	Río Salitre aguas arriba	Río Salitre aguas abajo	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
		HUM_LCON	HUM_JA_AAR	HUM_JA_AAB	BR_HUM_JA_AAR	BR_HUM_JA_INT	CLUB_LAG	CAFAM_AAR	CAFAM_AAB	CAN_SAL_AAR	CAN_SAL_AAB	RIO_BOG_AAR	RIO_BOG_AAB	RIO_SAL_AAR	RIO_SAL_AAB							
		41399	41400	41402	N.A	41401	42179	41854	41859	41604	41603	41606	41605	41856	41855							
Cadmio total	mg Cd/L	<0.000500	<0.000500	<0.000500	-	<0.000500	<0.000500	0,00061	0,0006	<0.000500	<0.000500	<0.000500	<0.000500	0,00069	0,00073	0,01	0,01	0,01	0,05	N.E.	N.E.	N.E.
Plomo total	mg Pb/L	0,00357	0,00103	<0.00100	-	0,00151	0,00253	0,00724	0,00723	0,0016	<0.00100	<0.00100	<0.00100	0,00736	0,00734	0,05	5	5	0,1	N.E.	N.E.	N.E.
Niquel total	mg Ni/L	0,00499	0,0108	<0.00300	-	0,00453	<0.00300	0,0044	0,0188	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	N.E.	0,2	0,2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Arsénico (1)	mg /L As	<0.001	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0,05	0,1	0,1	0,2	N.E.	N.E.	N.E.
Selenio (1)	mg /L Se	<0.005	<0.005	<0.005	-	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0,01	0,02	0,02	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrógeno total (2)	mg/L	34,7	4,03	0,893	-	0,849	2,11	14,4	12,3	46	44,1	4,51	4,69	22,7	29,8	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.E.

Nota 1: La celdas sombreadas en color verde hacen referencia a valores que presentan incumplimiento frente a los límites permisibles establecidos en el Decreto 1076 de 2015.
*Este valor es presentado en porcentaje (%) no presenta unidades de concentración (mg/L).
**El nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporción que no causan eutrofización.
***No se aceptará películas visibles de grasas y aceites flotantes, materiales flotantes, radioisótopos y otros no removibles por tratamiento convencional (Art. 3) o por desinfección (Art. 4) que puedan afectar la salud humana.
****No se aceptará en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana.
+Como criterios adicionales de calidad para los usos de que trata el presente artículo, no deben presentarse sustancias que impartan olor o sabor a los tejidos de los organismos acuáticos, ni turbiedad o color que interfieran con la actividad fotosintética.
++10 UJT equivale a 190 UNT
+++El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto. El NMP de coliformes fecales no deberá exceder de 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin.
N.E. No Específica
(1) Parámetro analizado por el laboratorio subcontratado HIDROLAB COLOMBIA LTDA acreditado por el IDEAM.

(2) Parámetro analizado por el laboratorio subcontratado AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S. acreditado por el IDEAM.

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

Tabla 169. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos - Período Seco

PARÁMETRO	UNIDAD	Humedal La Conejera	Humedal Juan Amarillo aguas arriba	Humedal Juan Amarillo aguas abajo	Brazo Humedal Juan Amarillo aguas arriba	Brazo Humedal Juan Amarillo intersección	Lago Club Los Lagartos	Canal CAFAM aguas arriba	Canal CAFAM aguas abajo	Canal Salitre aguas arriba	Canal Salitre aguas abajo	Río Bogotá aguas arriba	Río Bogotá aguas abajo	Río Salitre aguas arriba	Río Salitre aguas abajo	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
		HUM_LCON	HUM_JA_AAR	HUM_JA_AAB	BR_HUM_JA_AAR	BR_HUM_JA_INT	CLUB_LAG	CAFAM_AAR	CAFAM_AAB	CAN_SAL_AAR	CAN_SAL_AAB	RIO_BOG_AAR	RIO_BOG_AAB	RIO_SAL_AAR	RIO_SAL_AAB							
		43048	43229	43227	43228	43230	43047	43082	43081	43062	43061	43232	43231	43083	43063							
Caudal	(m3/s)	-	-	-	-	0,0926	-	0,0252	0,0914	1,2782	1,2356	0,6399	0,5126	2,6048	2,1384							
pH	Unidades	7,96	9,01	8,63	7,08	7,82	9,39	6,77	6,32	7,77	7,68	7,64	7,8	8,14	7,56	5 - 9	6,5 - 8,5	4,5 - 9	N.E.	5 - 9	5 - 9	5,5 - 9
Conductividad eléctrica	µS/cm	304	77	550	329	251	159	402	436	276	100	319	262	475	475	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Oxígeno disuelto	mg O2/L	5,09	7,12	4,16	5,79	5,73	7,69	4,61	4,3	0,47	0,4	5,53	4,65	4,6	0,58	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	70%*	70%*	5
Temperatura	°C	16,79	19,16	19,15	16,27	16,43	19,28	16,51	18,43	17,96	18,1	17,52	17,17	20,23	17,69	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Acidez	mg CaCO3/L	26,5	12,4	68,7	18,3	24,3	15,6	23,8	42,7	81,6	70,3	16,4	19,2	54,1	52,4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Alcalinidad	mg CaCO3/L	72,1	81,6	105	81,6	32,5	70,7	104	92,1	221	215	56,3	90,1	141,6	190	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Color a 436 nm	m-1	<0.1	1,2	4,2	0,9	10,4	0,5	1,1	1,2	5,7	5	1,8	3,8	2,3	4,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	+
Color a 525 nm	m-1	<0.1	0,6	2,4	0,5	0,5	0,1	0,3	0,3	3	2,6	0,7	1,5	1	2,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	+

PARÁMETRO	UNIDAD	Humedal La Conejera	Humedal Juan Amarillo aguas arriba	Humedal Juan Amarillo aguas abajo	Brazo Humedal Juan Amarillo aguas arriba	Brazo Humedal Juan Amarillo intersección	Lago Club Los Lagartos	Canal CAFAM aguas arriba	Canal CAFAM aguas abajo	Canal Salitre aguas arriba	Canal Salitre aguas abajo	Río Bogotá aguas arriba	Río Bogotá aguas abajo	Río Salitre aguas arriba	Río Salitre aguas abajo	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
		HUM_LCON	HUM_JA_AAR	HUM_JA_AAB	BR_HUM_JA_AAR	BR_HUM_JA_INT	CLUB_LAG	CAFAM_AAR	CAFAM_AAB	CAN_SAL_AAR	CAN_SAL_AAB	RIO_BOG_AAR	RIO_BOG_AAB	RIO_SAL_AAR	RIO_SAL_AAB							
		43048	43229	43227	43228	43230	43047	43082	43081	43062	43061	43232	43231	43083	43063							
Color a 620 nm	m-1	<0.1	0,4	1,7	0,3	0,3	<0.1	<0.1	0,1	1,8	1,7	0,5	0,8	0,6	1,4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	+
DBO5	mg O2/L	<3.00	22,3	82,9	12,5	17,8	13,5	<3.00	13,8	98,6	102	<3.00	14,6	25,9	55,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg O2/L	18,1	68,1	259	41,4	56	44	37,9	42,7	315	315	<15.0	46,5	82,5	176	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Dureza cálcica	mg CaCO3/L	19,8	<12.0	<12.0	<12.0	<12.0	40,6	<12.0	<12.0	<12.0	<12.0	<12.0	<12.0	<12.0	<12.0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Dureza total	mg CaCO3/L	38,8	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	60,8	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Fenoles	mg/L	0,0285	0,0829	0,0653	0,0544	0,087	0,0243	0,0862	0,0829	0,0979	0,108	0,0937	0,0778	0,0887	0,108	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Fósforo total	mg P /L	0,54	0,208	4,38	0,625	0,8	0,215	0,556	<0.0500	4,98	3,92	0,173	0,42	3,19	2,67	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.E.
Grasas y aceites	mg Aceites y Grasas/L	3,31	3,58	39,2	2,16	4,88	3,35	24,2	21,3	12,5	4,93	2,54	1,79	43,1	18,9	***	***	N.E.	N.E.	****	****	N.E.
Hidrocarburos	mg /L	1,55	1,53	14,8	1,28	1,85	1,46	12,8	12,7	5,79	2,25	1,41	1,09	21,8	9,74	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos disueltos totales	mg/L	161	43	259	167	136	83	206	221	332	312	169	144	255	254	N.E	N.E.	N.E	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos sedimentables	mL/L – h	6	<0.1	1,5	<0.1	0,5	0,2	<0.1	<0.1	0,2	1,8	0,2	0,3	0,1	0,2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

PARÁMETRO	UNIDAD	Humedal La Conejera	Humedal Juan Amarillo aguas arriba	Humedal Juan Amarillo aguas abajo	Brazo Humedal Juan Amarillo aguas arriba	Brazo Humedal Juan Amarillo intersección	Lago Club Los Lagartos	Canal CAFAM aguas arriba	Canal CAFAM aguas abajo	Canal Salitre aguas arriba	Canal Salitre aguas abajo	Río Bogotá aguas arriba	Río Bogotá aguas abajo	Río Salitre aguas arriba	Río Salitre aguas abajo	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
		HUM_LCON	HUM_JA_AAR	HUM_JA_AAB	BR_HUM_JA_AAR	BR_HUM_JA_INT	CLUB_LAG	CAFAM_AAR	CAFAM_AAB	CAN_SAL_AAR	CAN_SAL_AAB	RIO_BOG_AAR	RIO_BOG_AAB	RIO_SAL_AAR	RIO_SAL_AAB							
		43048	43229	43227	43228	43230	43047	43082	43081	43062	43061	43232	43231	43083	43063							
Sólidos suspendidos totales	mg/L	176	36	195	40	73	40	8	20	46	190	27	53	60	94	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Surfactantes (tensoactivos)	mg/L	0,144	<0.100	3,1	<0.100	0,685	<0.100	0,984	0,787	2,16	4,58	0,144	0,19	2,41	3,74	0,5	0,5	N.E.	N.E.	0,5	0,5	N.E.
Turbiedad	UNT	6,67	15,6	147	28,5	22,7	5,85	2,85	2,8	33	43,6	10,1	15,4	21,1	16	N.E.	190++	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	+
Coliformes totales	NMP/100 mL	5830	95700	913900	6570	293300	100	23820	24000	75560	127400	73300	41900	91390	105000	20000	1000	5000+++	N.E.	1000	5000	N.E.
Coliformes termotolerantes (fecales)	NMP/100 mL	410	2000	478600	100	23100	<1	970	2790	30440	46700	6300	5200	43660	42000	2000	N.E.	1000+++	N.E.	200	N.E.	N.E.
Cobre total	mg Cu/L	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	1	1	0,2	0,5	N.E.	N.E.	N.E.
Plata total	mg Ag/L	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	<0.0500	0,05	0,05	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Zinc total	mg Zn/L	0,041	<0.0300	<0.0300	<0.0300	<0.0300	<0.0300	<0.0300	<0.0300	<0.0300	<0.0300	<0.0300	<0.0300	<0.0300	<0.0300	15	15	2	25	N.E.	N.E.	N.E.
Mercurio total	mg Hg/L	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	0,002	0,002	N.E.	0,01	N.E.	N.E.	N.E.
Bario total	mg Ba/L	0,147	<0.00500	<0.00500	<0.00500	<0.00500	0,199	0,00795	0,00858	0,00763	0,00871	<0.00500	<0.00500	0,00904	0,00859	1	1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

PARÁMETRO	UNIDAD	Humedal La Conejera	Humedal Juan Amarillo aguas arriba	Humedal Juan Amarillo aguas abajo	Brazo Humedal Juan Amarillo aguas arriba	Brazo Humedal Juan Amarillo intersección	Lago Club Los Lagartos	Canal CAFAM aguas arriba	Canal CAFAM aguas abajo	Canal Salitre aguas arriba	Canal Salitre aguas abajo	Río Bogotá aguas arriba	Río Bogotá aguas abajo	Río Salitre aguas arriba	Río Salitre aguas abajo	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
		HUM_LCON	HUM_JA_AAR	HUM_JA_AAB	BR_HUM_JA_AAR	BR_HUM_JA_INT	CLUB_LAG	CAFAM_AAR	CAFAM_AAB	CAN_SAL_AAR	CAN_SAL_AAB	RIO_BOG_AAR	RIO_BOG_AAB	RIO_SAL_AAR	RIO_SAL_AAB							
		43048	43229	43227	43228	43230	43047	43082	43081	43062	43061	43232	43231	43083	43063							
Cadmio total	mg Cd/L	<0.000500	<0.000500	<0.000500	<0.000500	<0.000500	<0.000500	<0.000500	<0.000500	<0.000500	<0.000500	<0.000500	<0.000500	<0.000500	<0.000500	0,01	0,01	0,01	0,05	N.E.	N.E.	N.E.
Plomo total	mg Pb/L	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	<0.00100	0,05	0,05	5	0,1	N.E.	N.E.	N.E.
Niquel total	mg Ni/L	0,0139	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	<0.00300	N.E.	N.E.	0,2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Arsénico (1)	mg /L As	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0,05	0,05	0,1	0,2	N.E.	N.E.	N.E.
Selenio (1)	mg /L Se	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0,01	0,01	0,02	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrógeno total (2)	mg/L	3,48	3,48	5,14	5,38	6,16	1,36	11,5	14,8	52,1	42,2	5,58	6,32	32,8	35,6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.E.

Nota 1: Los parámetros sombreados en color verde hacen referencia a valores que presentan incumplimiento frente a los límites permisibles establecidos en el Decreto 1076 de 2015.
*Este valor es presentado en porcentaje (%) no presenta unidades de concentración (mg/L).
**El nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporción que no causan eutrofización.
***No se aceptará películas visibles de grasas y aceites flotantes, materiales flotantes, radioisótopos y otros no removibles por tratamiento convencional (Art. 3) o por desinfección (Art. 4) que puedan afectar la salud humana.
****No se aceptará en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana.
+Como criterios adicionales de calidad para los usos de que trata el presente artículo, no deben presentarse sustancias que impartan olor o sabor a los tejidos de los organismos acuáticos, ni turbiedad o color que interfieran con la actividad fotosintética.
++10 UJT equivale a 190 UNT
+++El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto. El NMP de coliformes fecales no deberá exceder de 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin.
N.E. No Específica
(1) Parámetro analizado por el laboratorio subcontratado HIDROLAB COLOMBIA LTDA acreditado por el IDEAM.
(2) Parámetro analizado por el laboratorio subcontratado AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S. acreditado por el IDEAM.

5.2.2.2.4. Análisis de variables fisicoquímicos y microbiológicos

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por el laboratorio a continuación se presenta el análisis para cada una de las variables analizadas.

5.2.2.2.4.1. Generales

- **Caudal**

Se aclara que para los puntos: "Humedal La Conejera", "Humedal Juan Amarillo aguas arriba", "Humedal Juan Amarillo aguas abajo", "Brazo humedal Juan Amarillo aguas arriba" y "Lago Club Los Lagartos", no se realizó medición de caudal, dado a que corresponden a sistemas lénticos.

Tabla 170. Caudales en m3/s

Punto de monitoreo		Periodo Seco	Periodo Húmedo
Brazo humedal Juan Amarillo intersección	BR_HUM_JA_INT	0,0549	0,0926
Canal CAFAM aguas arriba	CAFAM_AAR	0,0235	0,0252
Canal CAFAM aguas abajo	CAFAM_AAB	0,0773	0,0914
Canal Salitre aguas arriba	CAN_SAL_AAR	1,0114	1,2782
Canal Salitre aguas abajo	CAN_SAL_AAB	0,9612	1,2356
Río Bogotá aguas arriba	RIO_BOG_AAR	0,5305	0,6399
Río Bogotá aguas abajo	RIO_BOG_AAB	0,5645	0,5126
Río Salitre aguas arriba	RIO_SAL_AAR	2,6692	2,6048
Río Salitre aguas abajo	RIO_SAL_AAB	1,5922	2,1384

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Temperatura**

En el análisis de la temperatura en los monitoreos de agua, se considera como uno de los más relevantes y significativos puesto que es el parámetro que condiciona muchas de las reacciones químicas que se llevan a cabo en el agua y condiciona los ciclos de vida de los organismos acuáticos.

Es decir, la temperatura del agua es una variable relevante y significativa para la calidad del agua en la medida que determina la capacidad de almacenamiento de oxígeno disuelto en el agua, a mayor temperatura la capacidad de saturación de oxígeno disminuye, esto no es deseable dado que la concentración de oxígeno disuelto es indispensable

para los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, la totalidad de reacciones del tipo bioquímico (oxidación de materia orgánica, nitrificación, etc) serán dependientes de la temperatura del agua, de manera que las tasas serán directamente proporcionales al valor de la temperatura.

Los resultados del comportamiento de la temperatura se presentan en la Figura 277. En periodo húmedo la temperatura de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de 15,6 a 20°C, con un valor promedio de 17,89 °C. En el periodo seco la temperatura de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de 16,3 a 20,23 °C. Se evidencia que en periodo húmedo la mayor temperatura se dio en el punto HUM_JA_AAB con 20°C, mientras que en época seca se dio en el punto RIO_SAL_AAR con 20,23°C.

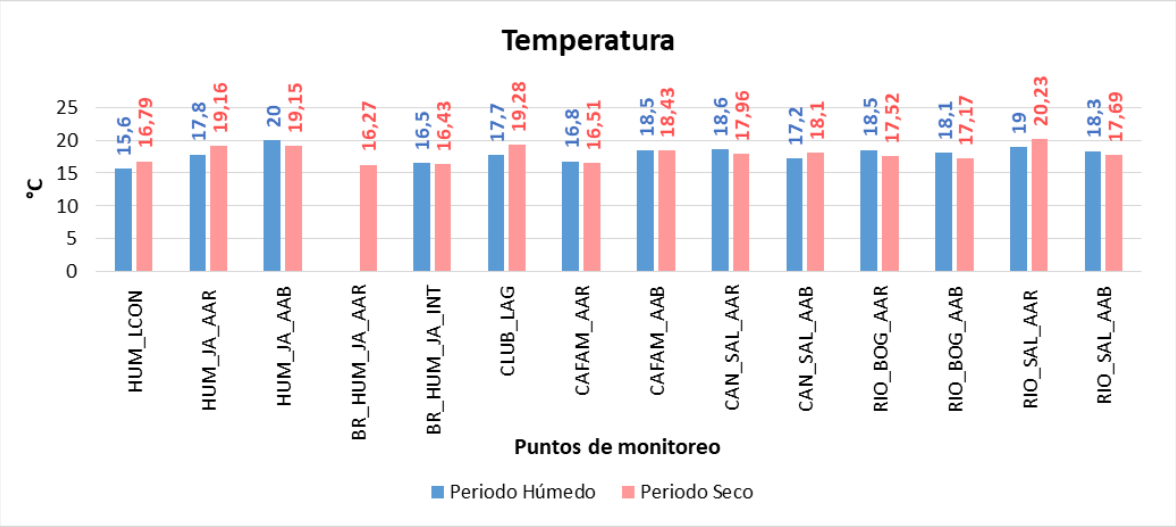


Figura 277. Comportamiento temperatura
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **pH**

Al igual que la temperatura, el pH (Potencial de Hidrógeno) es un parámetro fundamental y determinante en el comportamiento de las reacciones químicas y en los ciclos de vida de organismos acuáticos. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH en el ámbito de 6,5 unidades a 8,0 unidades y es controlado principalmente por el sistema carbonato – bicarbonato según Stumm & Morgan[22]. En aguas de ríos no contaminados los valores de pH varían entre 6,0 unidades – 8,5 unidades, valores superiores o inferiores a este ámbito producen limitaciones en el desarrollo y fisiología de los organismos acuáticos en general y en la biota de los humedales en particular.[23]

[22] STUMM, Werner; MORGAN, James J.Química acuática: equilibrios químicos y tasas en aguas naturales. Wiley, 1996.
[23] BEHITA-Sandi, W., BARAHONA-Palomo, M. Físico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED, Vol. 2(2). P 157-179. Laboratorio de Calidad de Aguas, Centro de Investigación en Contaminación Ambiental, Universidad de Costa Rica. 2010.

El pH es un término de uso general para expresar la magnitud de la acidez; es una forma de representar la actividad del ión hidrógeno (H+). Esta variable es utilizada frecuentemente para la categorización del agua según condiciones ácidas o alcalinas y es una condición que define la solubilidad de metales e iones en el agua.

Para la normatividad colombiana con el Decreto 1076 de 2015, el agua destinada para los diferentes usos debe tener una concentración de pH que debe estar dentro de los siguientes rangos:

- Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y Criterios de calidad para consumo humano y doméstico, entre 5 a 9 unidades de pH.
- Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y Criterios de calidad para consumo humano y doméstico, entre 6,5 a 9 unidades de pH.
- Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola, entre 4,5 a 9 unidades de pH, entre 4,5 y 9 unidades de pH.
- Artículo 2.2.3.3.9.7. Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto primario y Artículo 2.2.3.3.9.8. Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto secundario entre 5 a 9 unidades de pH.

En comparación con la normatividad se evidencia que los puntos que superan los rangos de los artículos anteriores se dan para el HUM_JA _AAR y CLUB_LAB en periodo seco. Los resultados del comportamiento del pH se presentan en la Figura 278.

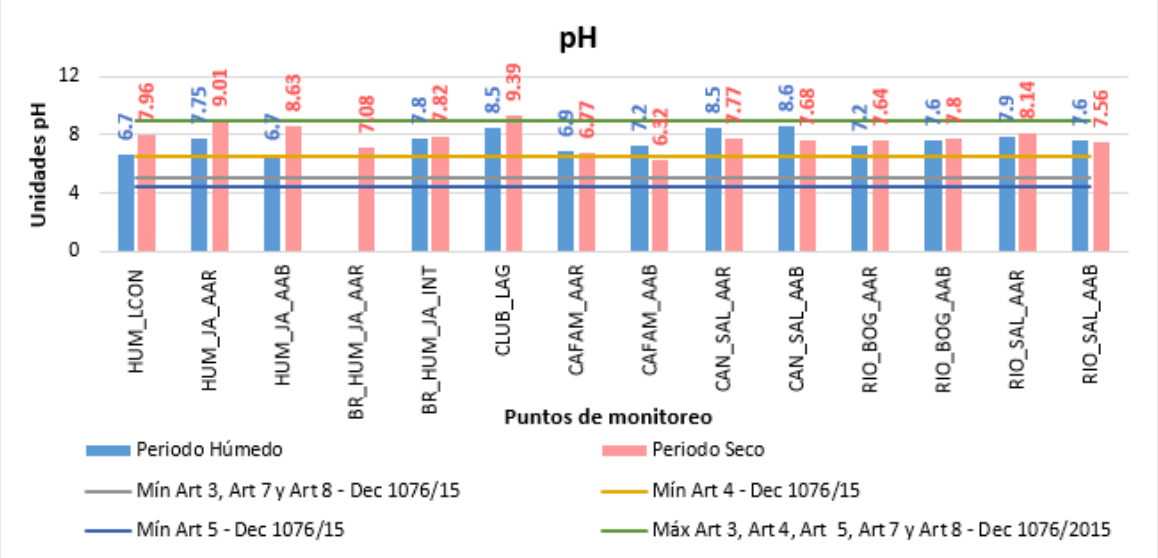


Figura 278. Comportamiento de pH
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Acidez total**

La acidez en una muestra de agua representa su capacidad para neutralizar bases, la causa más común de la acidez es la presencia de CO_2, el cual se presenta de manera disuelta en el agua por el resultado de reacciones de coagulantes químicos luego de tratamientos químicos en el caso de aguas tratadas o como proceso de oxidación de materiales orgánicos en aguas superficiales (Romero, 2009[24]). Es decir, la acidez de un agua es su capacidad cuantitativa para reaccionar con una base fuerte hasta un pH designado, por tanto, su valor puede variar significativamente con el pH final utilizado en la valoración.

En el monitoreo del periodo húmedo se presentan concentraciones de acidez que varían entre 17,4 mg/L a 112 mg/L; dichas concentraciones se dan en los puntos RIO_BOG_AAB y CAN_SAL_AAR respectivamente. Se resalta que el punto BR_HUM_JA_INT se indica bajo del límite de cuantificación de las técnica de medición empleada. En cuanto a la campaña de monitoreo del periodo seco se indica que la concentración oscila entre 12,4 mg/L a 81,6 mg/L las cuales se dan en los puntos HUM_JA_AAR y CAN_SAL_AAR. En general, se presenta una concentración superior de acidez en periodo húmedo. Los resultados del comportamiento de la acidez se presentan en la Figura 279.

Es de resaltar que el parámetro de acidez no es considerado en las concentraciones máximas permisibles de acuerdo con la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015.

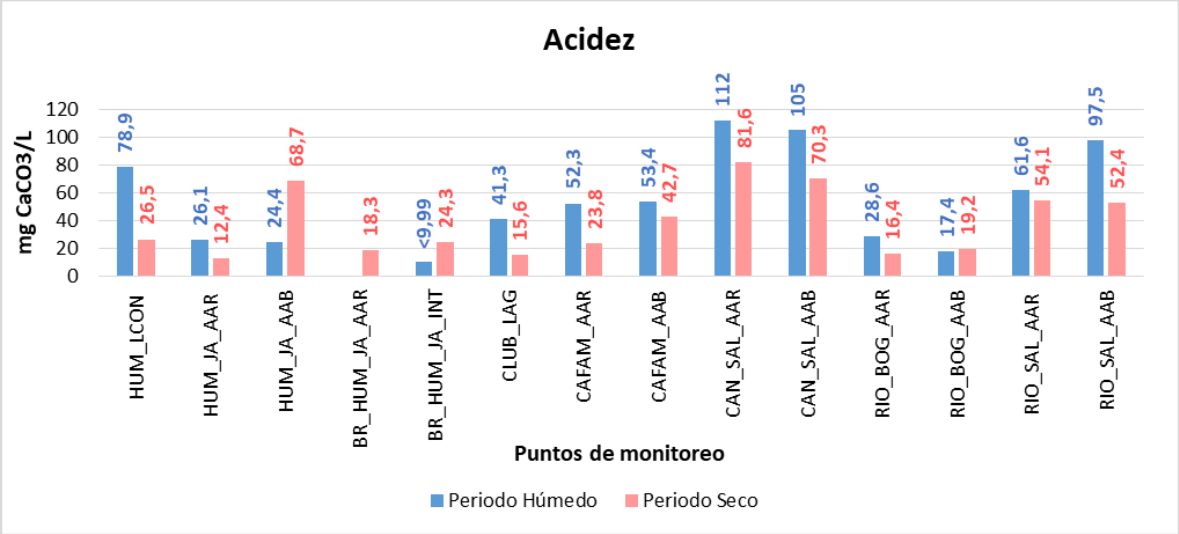


Figura 279. Comportamiento Acidez Total
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.2.4.2. Iones y Sales disueltas

- Alcalinidad total

[24] Romero, J. Calidad del Agua. 3a. ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. (2009)

Por su parte, la alcalinidad se define como la medida para neutralizar ácidos, la cual le confiere propiedades *buffer,* por lo que pone resistencia a los cambios en el pH, estando directamente relacionado con la cantidad de iones carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua[25]. Es aceptada una alcalinidad mínima de 20 mg de $CaCO_3$/l para mantener la vida acuática.

Se resalta que la alcalinidad y la acidez son parámetros estrechamente relacionados; el primero, se define como la medida para neutralizar ácidos, la cual le confiere propiedades buffer, es decir, dificulta sus cambios en el pH. La alcalinidad está directamente relacionada con la cantidad de iones carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua. Por su lado, la acidez indica la capacidad cuantitativa de una sustancia de reaccionar con una base a un pH determinado según Romero[26]. La Tabla 171, indica los rangos de concentración de la alcalinidad en los que se puede identificar la capacidad del agua para neutralizar los ácidos también conocido como la capacidad de amortiguar el agua para resistir un cambio en el pH.

En términos generales, se presenta una mayor concentración de alcalinidad en los monitoreos realizados en el periodo húmedo. Durante el período húmedo los puntos: BR_HUM_JA_INT, CLUB_LAG, CAFAM_AAB, RIO_BOG_AAR y RIO_BOG_AAB indican una alcalinidad de rango bajo. Los puntos HUM_JA_AAR, HUM_JA_AAB, CAFAM_AAR reflejan concentraciones asociadas al rango medio de alcalinidad. Finalmente los puntos HUM_LCON, CAN_SAL_AAR, CAN_SAL_AAB, RIO_SAL_AAR y RIO_SAL_AAB registran concentraciones de rango alto de alcalinidad, es decir aguas amortiguadas.

Durante el periodo seco el rango de alcalinidad baja se da en los puntos: HUM_LCON, BR_HUM_JA_INT y RIO_BOG_AAR. Para los puntos HUM_JA_AAR, HUM_JA_AAB, BR_HUM_JA_AAR, CLUB_LAG, CAFAM_AAB, CAFAM_AAR, RIO_BOG_AAB y RIO_SAL_AAR corresponden a un rango de alcalinidad media. Por último los puntos: CAN_SAL_AAR, CAN_SAL_AAB y RIO_SAL_AAB indican un rango de alcalinidad alto.

Se precisa que los puntos asociados al canal Salitre presentan las mayores concentraciones de alcalinidad durante las dos campañas de monitoreo. Los resultados del comportamiento de la alcalinidad total se presentan en la Figura 280.

Tabla 171. Rangos de alcalinidad

Rango	Valores en mg CaCO3/l
Baja	<75
Media	75-150
Alta	> 150

Fuente: Rodier, 2009[27]

[25] Romero, J. Calidad del Agua. 3a. ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. (2009)
[26] Romero, J. Calidad del Agua. 3a. ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. (2009)
[27] Rodier, J. (2009). *Análisis del agua.* Omega.

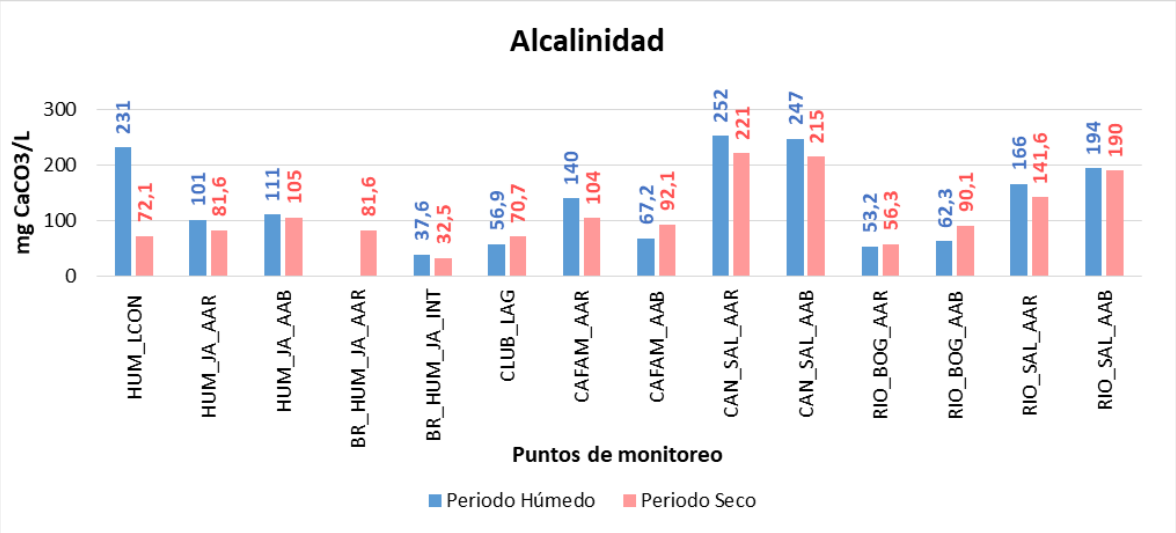


Figura 280. Comportamiento Alcalinidad Total
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Dureza total y Dureza cálcica**

La dureza del agua es la suma de los cationes metálicos con excepción de los cationes alcalinos. Fundamentalmente, la posible presencia de sales cálcicas, magnésicas de hierro y de aluminio, son los causantes de la dureza del agua; es decir, la dureza del agua depende de la cantidad de minerales disueltos en el agua. La dureza total del agua está compuesta en su mayoría por dos partes: la dureza por la presencia de iones de calcio y la dureza por la presencia de iones de magnesio. La medida de ambas durezas corresponde a los contenidos de los iones $Ca2+$ y $Mg2+$, expresados como miligramos por litro de $CaCO_3$. Las aguas con una baja dureza son consideradas blandas y biológicamente son poco productivas, por el contrario, las aguas duras presentan mayor producción de biomasa, aunque no se destaca una alta biodiversidad, mientras que aguas medianamente duras presentan fauna y flora más variada (Roldán & Ramírez, 2008[28]). En términos de dureza las aguas se pueden clasificar como se expone en la Tabla 172.

Para el periodo húmedo se evidencia que la dureza cálcica oscila entre concentraciones de 12,5 mg/L a 51,9 mg/L; dichas concentraciones se dan en los puntos CAN_SAL_AAB y CAFAM_AAR respectivamente. Es de notar que los puntos: BR_HUM_JA_INT, CANL_ALA_AR y RIO_BOG_AAB se presentan bajo el límite cuantificación establecido por el método de laboratorio empleado para su determinación (<12 mg/L).
Para el caso de la dureza total la concentración oscila entre 11,7 mg/L a 70,6 mg/L; dichas concentraciones se dan en los puntos RIO_BOG_AAB y CAFAM_AAR respectivamente. Adicionalmente los puntos BR_HUM_JA_INT y CAN_SAL_AAR, se presentan bajo el límite cuantificación establecido por el método de laboratorio empleado para su determinación (<5 mg/L).

En cuanto al periodo seco la dureza cálcica y dureza total se registran bajo del límite de cuantificación de las técnica de medición empleada con excepción de los puntos: HUM_LCON y CLUB_LAG.

[28] Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical.* Medellín: Universidad de Antioquia.

Los resultados del comportamiento de dureza cálcica se presentan en la Figura 281 y para la la dureza total se presentan en la Figura 282.

Tabla 172. Clasificación de los valores de dureza

Clasificación	Valores de Dureza (mg $CaCO_3$/L)
Blandas	0-75
Moderadamente duras	76-150
Duras	151-300
Muy duras	>300

Fuente: Romero Rojas, 2009

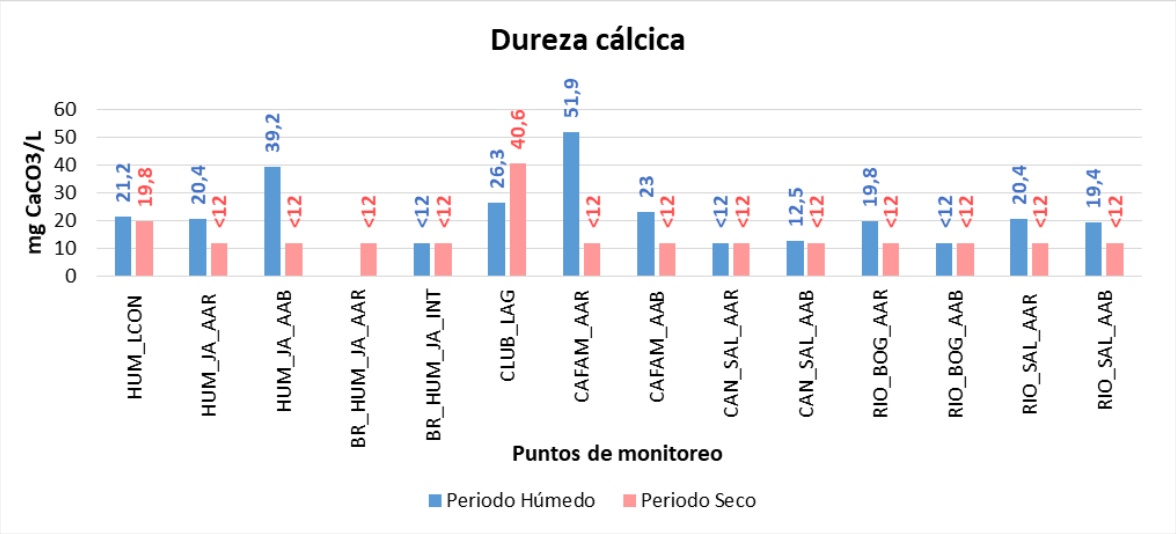


Figura 281. comportamiento Dureza Cálcica
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

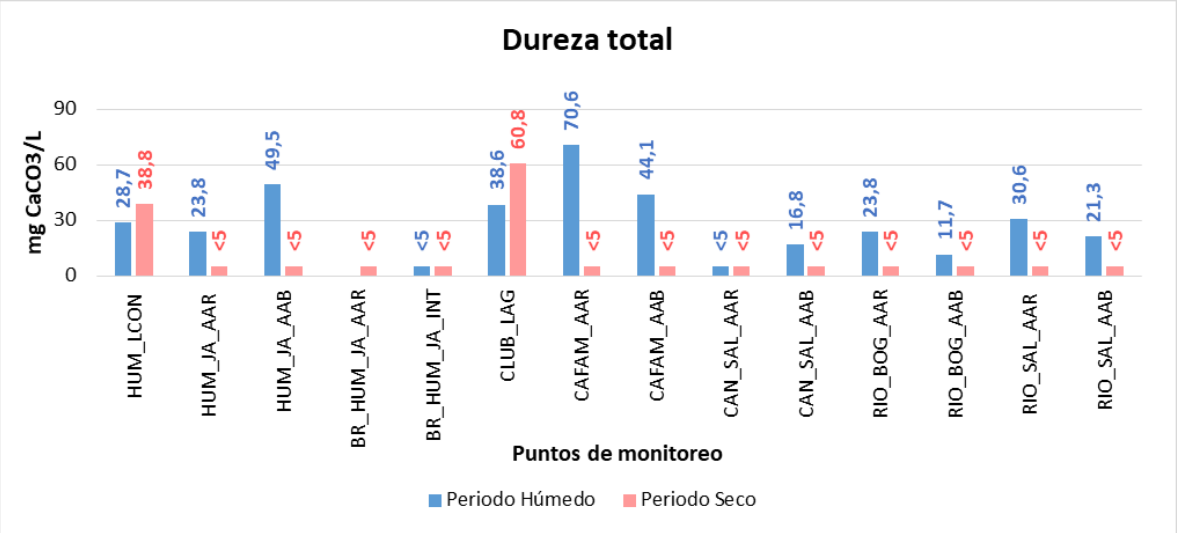


Figura 282. comportamiento Dureza Total
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Conductividad eléctrica**

La conductividad es la medida de la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica; está relacionada con la concentración de iones en el agua, provenientes de sales disueltas y materia inorgánica, como Ca2+, Mg2+, Na+, K+, HCO3–, SO42-. Los iones conducen electricidad debido a sus cargas positivas y negativas (cationes y aniones); a mayor concentración de electrolitos en el agua, mayor su conductividad, por lo que este parámetro es una medida de la concentración de iones disueltos en el agua, que se constituye en una medida indirecta de la cantidad de sólidos totales disueltos.
En otras palabras, la conductividad está íntimamente relacionada con la concentración de sólidos disueltos totales, o sustancias minerales, aguas con mayor concentración de sólidos disueltos totales tendrán una mayor conductividad, ésta relación también depende de la naturaleza de las sales presentes en el cuerpo de agua[29]. En la Tabla 173 se indica el grado de mineralización teniendo en cuenta la concentración de la conductividad eléctrica.

Tabla 173. Grados de mineralización de acuerdo con la conductividad

Grado de mineralización	Conductividad eléctrica (µS/cm)
Muy débil	<100
Débil	100-200
Media	200-700
Importante	700-1000
Excesiva	>1000

[29]ROLDÁN PÉREZ, Gabriel; RAMÍREZ RESTREPO, John Jairo. Fundamentos de limnología neotropical. 2008.

Fuente: Rodier, 2009.

Los puntos de monitoreo registran grados de mineralización muy débil, débil y media.

Se precisa que durante las dos campañas de monitoreo el punto HUM_JAR_AAR registra mineralización muy débil, mientras que el punto CLUB_LAG es de tipo mineralización débil. Los demás puntos de monitoreo registran concentraciones que se ubican en el rango de mineralización media, exceptuando el punto CAN_SAL_AAB en periodo seco el cual registra una mineralización de tipo débil. Los resultados del comportamiento de la conductividad se presentan en la Figura 283.

Por otro lado, la conductividad eléctrica de la mayoría de las aguas dulces naturales se encuentra entre los 10 µS/cm y los 350 µS/cm[30] Por lo tanto, las concentraciones obtenidas para este parámetro se pueden considerar adecuadas, exceptuando los puntos HUM_JA_ARR, CAFAM_AAR, CAFAM_AAB, RIO_SAL_ARR durante las dos campañas de monitoreo.

Finalmente, no se realiza juicio normativo para la conductividad, dado que no existen límites máximos permisibles establecidos en los Artículos establecidos en la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015.

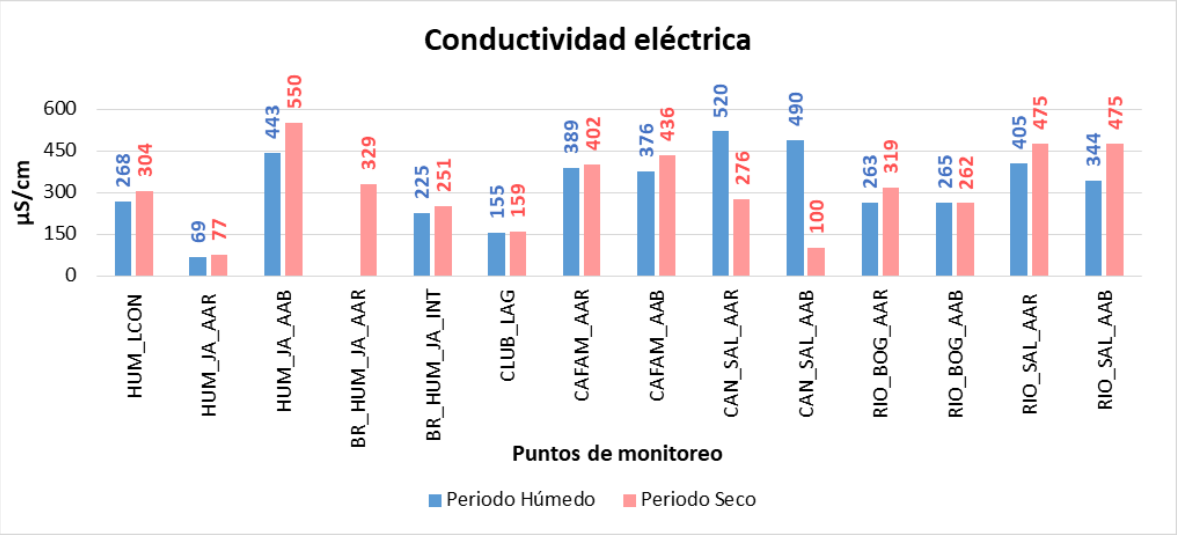


Figura 283. Comportamiento Conductividad Eléctrica
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.2.4.3. Sólidos

Los sólidos en el agua en las fuentes naturales se pueden encontrar de forma suspendida o disuelta. La presencia de Sólidos Totales y Disueltos influye en el aspecto organoléptico de los cuerpos hídricos. Las partículas se definen por su

[30] Behita; Barahona, 2010.

imposibilidad de ser separadas de la muestra de agua usando un filtro. Las partículas más pequeñas, incluyendo residuos que contienen cargas iónicas, se refieren como sólidos disueltos (Ramos Olmos, 2003[31]). Los sólidos disueltos poseen una relación directa con los valores de conductividad en aguas naturales debido a que es un indicador de transporte de sustancias iónicas en el agua (Sawyer, McCarty, & Parkin, 2001[32]). Adicionalmente, los sólidos sedimentables, son aquellos que, por su tamaño y densidad, tienen la capacidad de depositarse por acción de la gravedad en estado de quietud.

Se resalta que, la normatividad de referencia en los Artículos descritos en la sección 2.2.3.3.9 del decreto 1076/15, no establece valores máximos permisibles para ninguno de los parámetros mencionados anteriormente, por lo cual, no se realiza la comparación normativa correspondiente.

- **Sólidos totales disueltos**

En forma general se presentan mayores sólidos disueltos totales en periodo seco, exceptuando los puntos: HUM_ICON, HUM_JA_AAR, CAFAM_AAR y CAFAM_AAB. Es de resaltar que los puntos ubicados en el canal Salitre (CAN_SAL_AAR y CAN_SAL_AAB) registran las mayor concentración durante las dos campañas de monitoreo. Los resultados del comportamiento de los sólidos totales disueltos se presentan en la Figura 284.

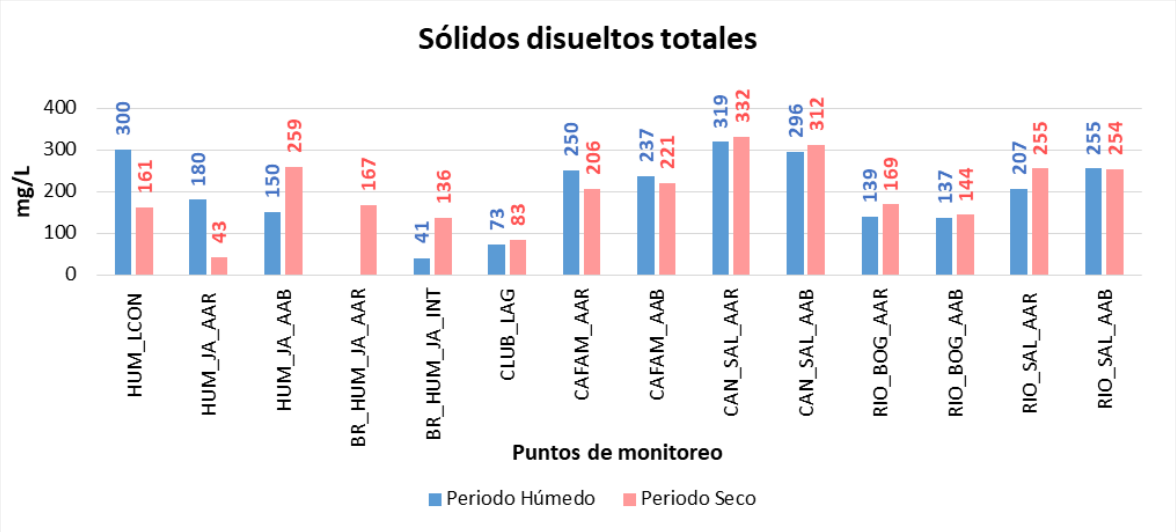


Figura 284. comportamiento Sólidos Totales Disueltos
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Sólidos sedimentables

[31] Ramos Olmos, R. (2003). *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis.* Plaza y Valdes
[32] Sawyer, C., McCarty, P., & Parkin, G. (2001). Química para Ingeniería Ambiental . Mc Graw Hill.

Ahora bien, según Romero[33], los Sólidos Sedimentables son aquellos que se sedimentan por acción de gravedad después de un tiempo de reposo y cuya cantidad se determina en un cono Imhoff. Es decir, los Sólidos Sedimentables son una medida del volumen de sólidos que se asientan en el fondo de un recipiente con volumen definido en un tiempo determinado.

Durante el periodo seco se evidencian la mayor concentración en el punto HUM_LCON con 6mL/L-h y el punto CAN_SAL_AAB con 1,8 mL/L-h; mientras que la menor concentración se da en el punto RIO_SAL_AAR con 0,1 mL/L-h. Se resalta que los puntos: HUM_JA_AAR, BR_HUM_JA_INT, CAFAM_AAR y CAFAM_AAB reportan un valor de <0,1 mL/L-h. Por otro lado durante el periodo húmedo la mayor concentración se da en el punto RIO_SAL_AAB con 0,7 mL/L-h y la menor en los puntos HUM_LCON y CAFAM_AAR con 0,2 mL/L-h,se precisa que se reporta un valor de <0,1 mL/L-h en los puntos: HUM_JA_AAB, BR_HUM_JA_INT, CAN_SAL_AAR, CAN_SAL_AAB, RIO_BOG_AAR, RIO_SAL_AAB y RIO_SAL_AAR. Los resultados del comportamiento de los sólidos sedimentables se presentan en la Figura 285.

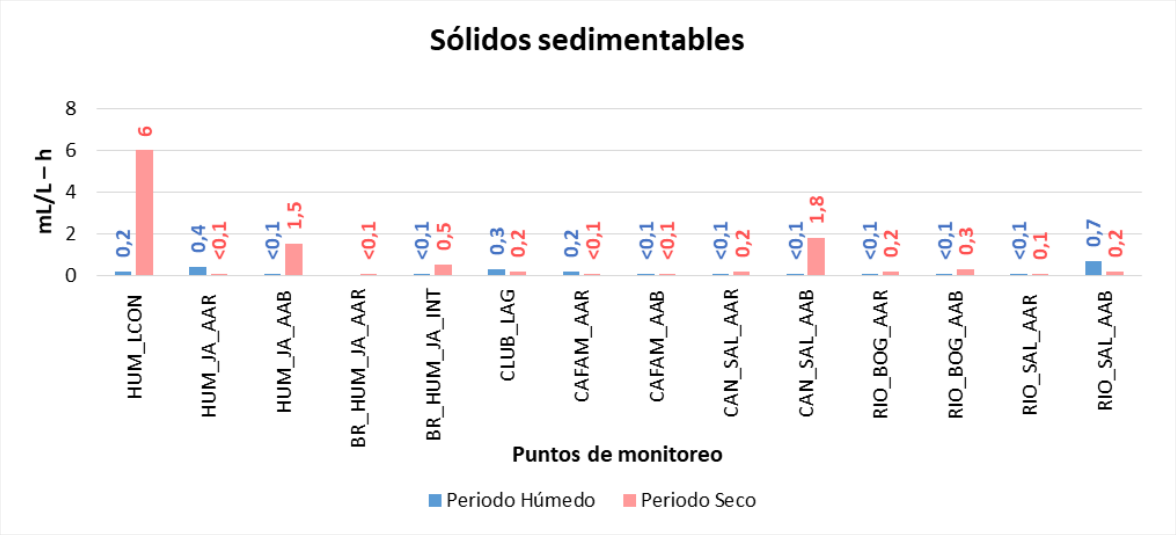


Figura 285. Comportamiento Sólidos Sedimentables
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Sólidos suspendidos totales

Continuando con el análisis, es importante mencionar que los Sólidos Suspendidos Totales, son todas aquellas sustancias en estado sólido, diferentes del agua, cuyo tamaño es mayor a 0,20 µm y que se encuentran como su nombre lo indica, suspendidos en ella y no son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio según Barrenechea[34]. Es decir los sólidos suspendidos totales - SST hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua, con origen natural o debido a la presencia de contaminantes.

[33] ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del Agua. 3a. ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. (2009)
[34] BARRENECHEA, Ada. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría. Tomo I. Lima, CEPIS. (2004)

Durante las dos campañas de monitoreo se registran una mayor concentración de sólidos suspendidos totales en periodo seco, exceptuando el punto CAN_SAL_AAR. Durante el periodo seco los puntos con concentración superior se da en los puntos: HUM_LCON, HUM_JA_AAB y CAN_SAL_AAB con 176 mg/L, 195 mg/L y 190 mg/L respectivamente. Por otro lado durante el período húmedo los puntos con mayor concentración se da en: HUM_LCON con 78 mg/L y el punto CAN_SAL_AAR con 90 mg/L. Los resultados del comportamiento de los sólidos totales se presentan en la Figura 286.

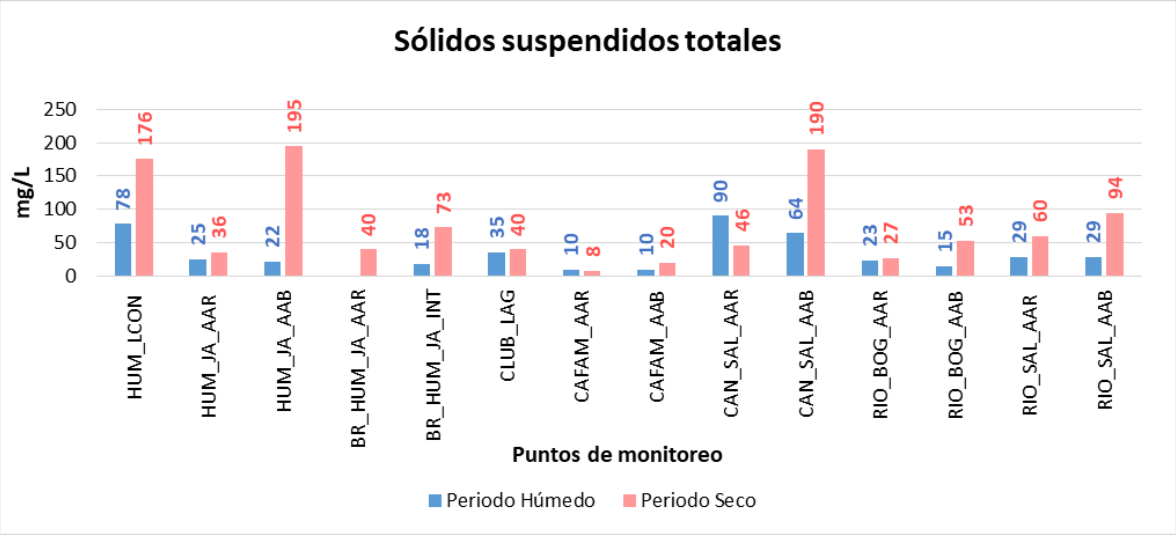


Figura 286. Comportamiento Sólidos suspendidos totales
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.2.4.4. Turbidez y color

- **Turbidez**

La turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico generado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que atraviesan una muestra de agua, la turbiedad en el agua es ocasionada por una gran variedad de materiales suspendidos de diferentes tamaños que pueden estar asociados a materiales de carácter orgánico o no (Romero J. A., 2009[35]).

Los resultados de las dos campañas de monitoreo reflejan cumplimiento normativo para todos los puntos monitoreados frente al límite máximo permisible que establece el Artículo 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015. Es de resaltar que la concentración más alta se da en el punto HUM_JA_AAR durante periodo seco con 147 UNT. Durante este mismo periodo la concentración de los demás puntos oscila entre 2,8 UNT (CAFAM_AAB) y 43,6 UNT (CAN_SAL_AAB). En cuanto al periodo húmedo las concentraciones oscilan entre 2,15 UNT (CLUB_LAG) y 43,8 UNT (HUM_LCON). Los resultados del comportamiento de la turbidez se presentan en la Figura 287.

[35] Romero Rojas, J. (2009). *Calidad del agua.* Bogotá D. C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.

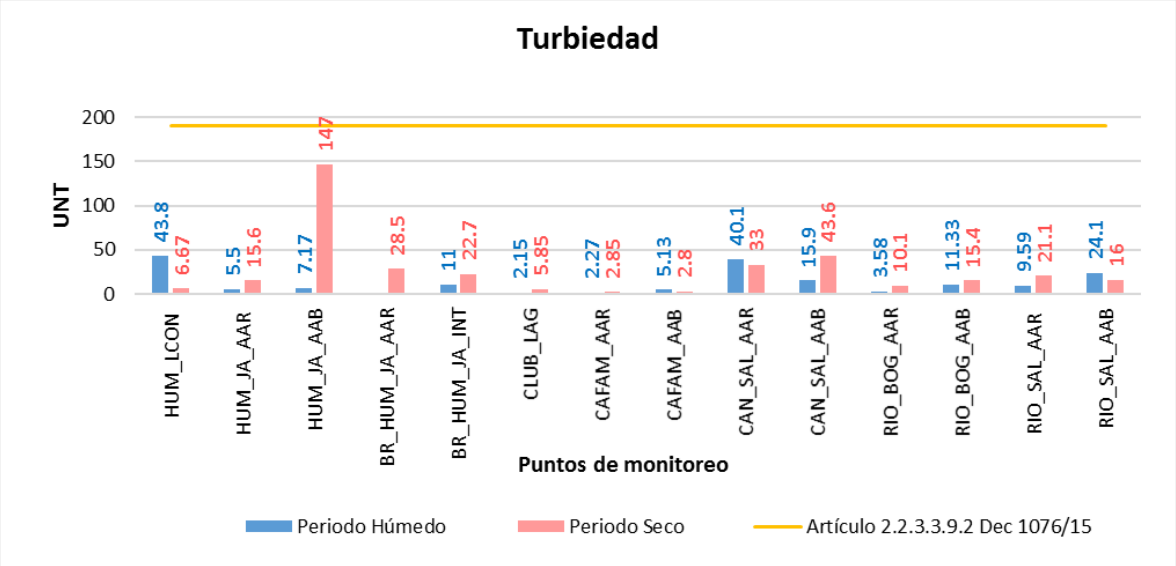


Figura 287. Comportamiento de la turbidez
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Color

El color de un cuerpo de agua representa la luz no absorbida, en un rango que va desde el azul hasta el rojo según las sustancias químicas disueltas o suspendidas presentes en el agua. Es decir, el color está relacionado con las sustancias disueltas (conductividad, sólidos disueltos totales, materia orgánica disuelta) y los sólidos suspendidos totales. El color del agua se debe a la presencia de materia orgánica o ciertos metales como hierro, manganeso o cobre, que se encuentra disuelta o en suspensión[36].

Las causas más comunes del color en el agua son la presencia de iones de hierro y de manganeso que se presenten de manera coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos como hojas, raíces o madera en diferentes estados de descomposición, o la presencia de taninos, ácido húmico o de diferentes residuos de tipo industrial (Romero, 2009[37]).

Los valores del color real en el punto de monitoreo se analizaron por medidas de absorbancia previamente filtrada la muestra, las cuales se realizaron a diferentes longitudes de onda. La primera medida de absorbancia analizada corresponde a 436 nm que refleja el color amarillo, posteriormente, se analizó el color a una longitud de onda de 525 nm la cual refleja el color violeta y finalmente, la longitud de onda evaluada fue la de 620 nm, que refleja un color verde.

En cuanto a los resultados del periodo húmedo se precisa lo siguiente: el color a 436 nm presenta valores entre 0,2 m-1 (CLUB_LAG) y 4,6 m-1 (CAN_SAL_AAR), el color a 525 nm oscila entre 01 m-1 (BR_HUM_JA_INT) y 2,6 m-1 (CANSAL_AAR) y valores entre inferiores al límite de detección definido por el método de laboratorio empleado (<0,1 m-1

[36] INSTRUMENTS, HANNA. Hanna instruments. 2019
[37] Romero Rojas, J. (2009). Calidad del agua. Bogotá D. C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.

en los puntos HUm_JA_AAB y CLUB_LAG); finalmente el color a 620 nm oscila entre 0,1 m-1(HUM_JA_AAR) y 1,6 m-1, (CAN_SAL_AAR) además de valores inferiores al límite de detección definido por el método de laboratorio empleado (<0,1 m-1 en los puntos HUM_JA_AAB, BR_HUM_JA_INT y CLUB_LAG).

Para el periodo seco se indica que el color a 435 nm se oscilan valores entre 0,5 m-1 (CLUB_LAG) y 10,4 m-1 (BR_HUM_JA_AAR); para el color a 525 nm los valores oscila entre 0,1 m-1 (CLUB_LAG) y 2,6 m-1 (CAN_SAL_AAB), finalmente el color a 620 nm oscila entre 0,1 m-1 (CAFAM_AAB) y 1,8 m-1 (CAN_AL_AAR) junto con un valor inferior al límite de detección definido por el método de laboratorio empleado (<0,1 m-1 en el punto CAFAM_AAR). Durante este periodo, se resalta que el punto HUM_LCO presenta valores entre inferiores al límite de detección definido por el método de laboratorio empleado (<0,1 m-1) para el color a 435 nm, color a 525 nm y color a 620 nm.

Se distingue que durante las dos campañas de monitoreo los puntos de monitoreo ubicados en el canal Salitre (CAN_SAL_AAR y CAN_SAL_AAB) registran las concentraciones mas altas de color a 435 nm, color a 525 nm y color a 620 nm.

De acuerdo con la información anterior, se puede afirmar que en los puntos de monitoreo se presentó una predominancia hacia la longitud de onda de 436 nm, evidenciando que el agua analizada tiene una tendencia a reflejar el color amarillo; el cual es característico en aguas residuales y puede estar asociado a la presencia de materia orgánica. Los resultados del comportamiento del color en periodo húmedo y seco se presentan en la Figura 288 y Figura 289 respectivamente.

En cuanto a la comparación con la normatividad, para este parámetro no se establece un límite en ninguna de las dos normatividades utilizadas para analizar los resultados de este estudio, por lo tanto no se emite un juicio de cumplimiento.

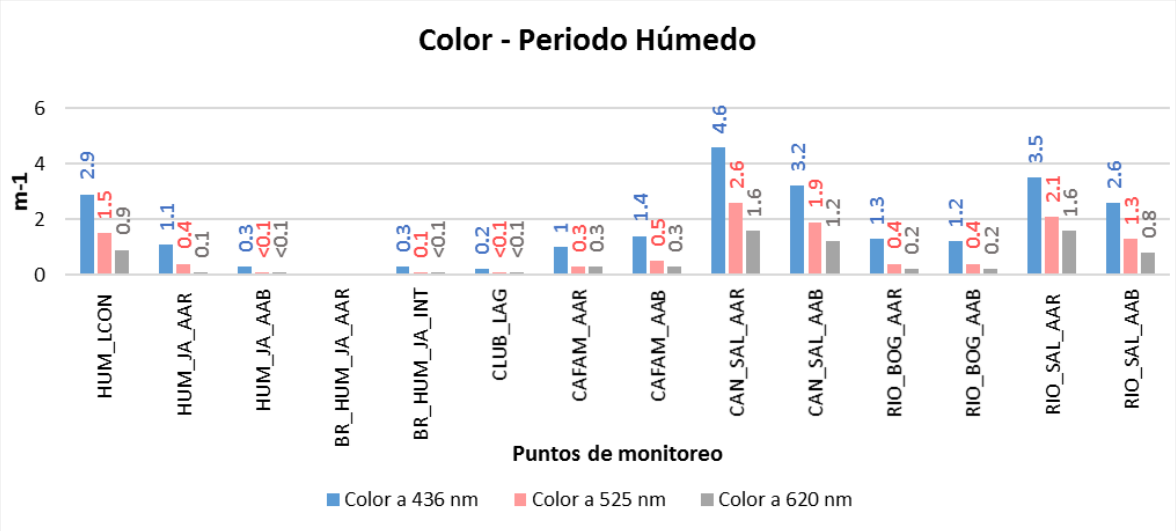


Figura 288. Comportamiento Color - Periodo Húmedo
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

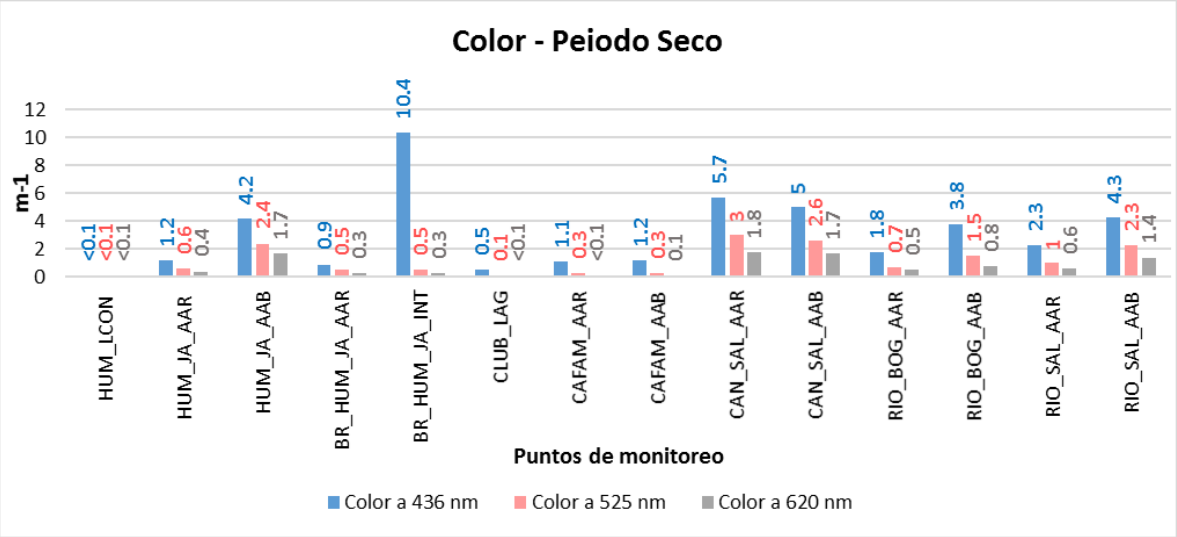


Figura 289. Comportamiento Color - Periodo Seco
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.2.4.5. Oxígeno disuelto y demanda de oxígeno

- **Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto - OD es la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en el agua; es un indicador de la capacidad de un cuerpo de agua para mantener la vida acuática, al ser el oxígeno un elemento vital de organismos aerobios. Dentro de las principales fuente de Oxígeno Disuelto se encuentran factores como fuentes la precipitación pluvial, la difusión del aire en el agua, la fotosíntesis, los afluentes y la agitación moderada[38].

El oxígeno disuelto en el agua es una característica deseable dado que es indispensable para los ecosistemas acuáticos y mantiene un ambiente aerobio en el medio. La disponibilidad de oxígeno otorga al cuerpo de agua la capacidad de asimilar cargas de materia orgánica (carbonácea o nitrogenácea). En ambientes sin oxígeno se promueven reacciones de reducción que resultan en gases tóxicos como es el ácido sulfhídrico o el gas metano los cuales producen malos olores. La cantidad de oxígeno en un cuerpo de agua se mide en términos de saturación que corresponde al oxígeno disponible respecto al oxígeno máximo que puede contener el cuerpo de agua según sus condiciones de salinidad, temperatura y posición sobre el nivel del mar (oxígeno de saturación).

Si bien en la normatividad colombiana no se relaciona un valor mínimo de oxígeno disuelto para agua destinada a usos domésticos, agrícolas o pecuarios, se asigna un valor mínimo de 4 mg/l de oxígeno disuelto para la conservación de la flora y la fauna en cuerpos de agua dulce (artículo 2.2.3.3.9.10 del Decreto 1076 de 2015).

[38] PÉREZ, Gabriel Roldán; RESTREPO, John Jairo Ramírez. Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia. (2008).

En términos generales se presenta una concentración superior de oxigeno disuelto durante el periodo seco, exceptuando los puntos: HUM_LCON, CAN_SAL_AAR, CAN_SAL_AAB, RIO_BOG_AAB y RIO_SAL_AAB. Durante dicho periodo la concentración de oxígeno disuelto oscila entre 0,4 mg/L (CAN_SAL_AAB) y 7,69 mg/L (CLUB_LAG). En cuanto al periodo húmedo se presentan oscilaciones de concentración entre 2,46 mg/L (CAFAM_AAB) y 5,65 mg/L(HUM_LCON).

En cuanto al cumplimineto normativo con el artículo 2.2.3.3.9.10 del Decreto 1076 de 2015, los puntos que no sobrepasen dicho límite se da en los puntos: CAFAM_AAR, CAFAM_AAB, CAN_SAL_AAR, CAN_SAL_AAR, RIO_SAL_AAR Y RIO_SAL_AAB en periodo humedo. Para el periodo seco los puntos son: CAN_SAL_AAR, CAN_SAL_AAB y RIO_SAL_AAB. Los resultados del comportamiento de oxígeno disuelto se presentan en la Figura 290.

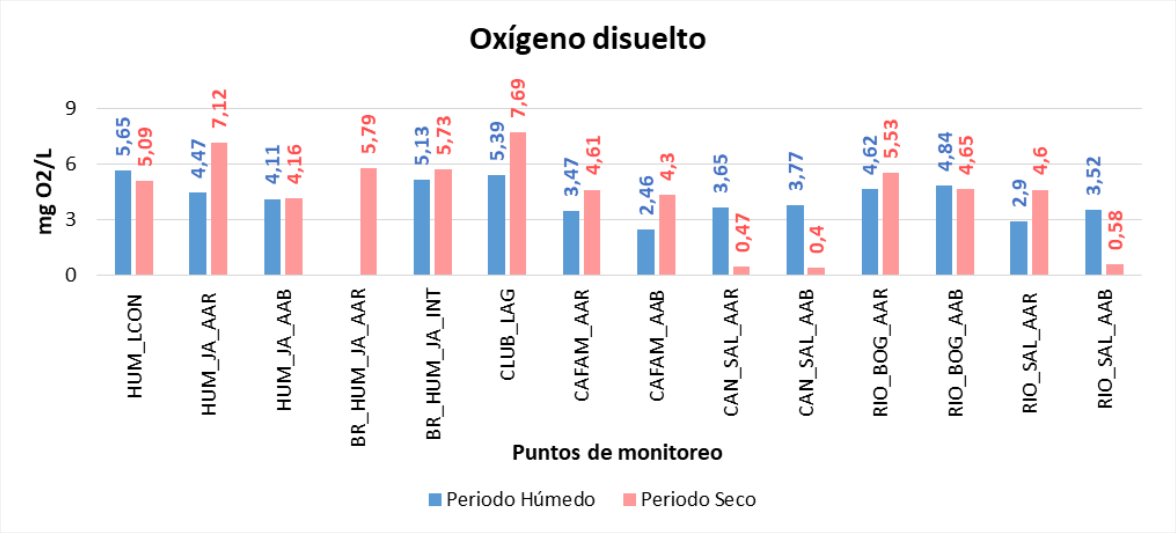


Figura 290. Comportamiento Oxígeno Disuelto
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Demanda bioquímica de oxígeno - DBO5**

La demanda de oxígeno, es un indicador de la calidad del agua en cuanto al consumo y la potencial disminución de oxígeno disuelto asociada a la carga contaminante presente en el cuerpo de agua. Esta se encuentra representada por la demanda bioquímica de oxígeno (orgánicos) y la demanda química de oxígeno (orgánicos e inorgánicos) esta última se analiza posteriormente. En cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno se analiza mediante el indicador DBO_5, el cual se asocia a la cantidad de oxígeno disuelto requerida para oxidar la materia orgánica carbonácea en condiciones aeróbicas en 5 días y a 20°C. Es una indicación indirecta del carbono orgánico biodegradable presente en una masa líquida dada.

En otras palabras, la demanda bioquímica de oxígeno - DBO5 indica la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen para la degradación aeróbica de las sustancias contenidas en el agua en un análisis de 5 días a 20°C, por lo que es una medida indirecta de sustancias orgánicas biodegradables en el agua.

Para el periodo húmedo la concentración de DBO5 tuvo oscilaciones entre 10,3mg/L (BR_HUM_JA_INT y RIO_BOG_AAR) a 62,3 mg/L (RIO_SAL_AAB) y valores inferiores al límite de detección definido por el método de laboratorio empleado (<3 mg/L en los puntos: HUM_JA_AAB, CLUB_LAG, CAFAM_AAB y RIO_BOG_AAB). En cuanto al periodo seco la concentración oscila entre 12,5 mg/L (BR_HUM_JA_AAR) a 98,6 mg/L (CAN_SAL_AAR) y los y valores inferiores al límite de detección definido por el método de laboratorio empleado (<3 mg/L en los puntos: HUM_LCON, CAFAM_AAR y RIO_BOG_AAR). Los resultados del comportamiento de la DBO5 se presentan en la Figura 291.

Respecto a los Artículos evaluados del Decreto 1076 de 2015, no se realiza juicio normativo, puesto que no definen límites máximos permisibles para este parámetro.

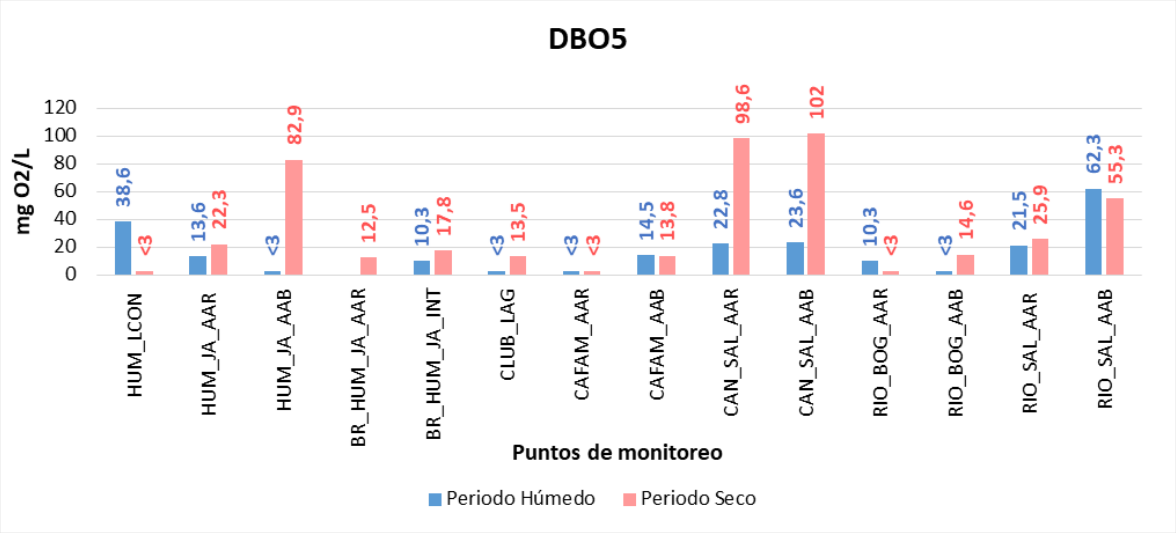


Figura 291. Comportamiento DBO5
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Demanda Química de Oxígeno - DQO**

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. La determinación de este parámetro es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte[39]. Es decir, la demanda química de oxígeno se asocia a la cantidad de oxígeno disuelto requerida para oxidar el material susceptible a oxidación química en el agua, puede ser orgánico o inorgánico, por esta razón, siempre será mayor o igual que la demanda bioquímica de oxígeno.

[39] ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del Agua. 3a. ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. (2009)

En términos generales las concentraciones registradas en periodo seco son superiores, exceptuando los puntos: HUMLCON, CAFAM_AAB, RIO_BOG_AAR y RIO_SAL_AAB. En dicho periodo las concentraciones oscilaron entre 18,1 mg/L (HUM_LCON) a 315 mg/L (CAN_SAL_AAR y CAN_SAL_AAB), ademas de un valor inferior al límite de detección definido por el método de laboratorio empleado (<15 mg/L en el punto RIO_BOG_AAR). Para el periodo húmedo las concentraciones varían entre 21,1 mg/L (CLUB_LAG) a 192 mg/L (RIO_SAL_AAB) junto con un valor inferior al límite de detección definido por el método de laboratorio empleado (<15 mg/L en el punto RIO_BOG_AAB). Los resultados del comportamiento de la DQO se presentan en la Figura 292.

En cuanto a los artículos evaluados del Decreto 1076 de 2015, no se realiza juicio normativo, puesto que no definen límites máximos permisibles para este parámetro.

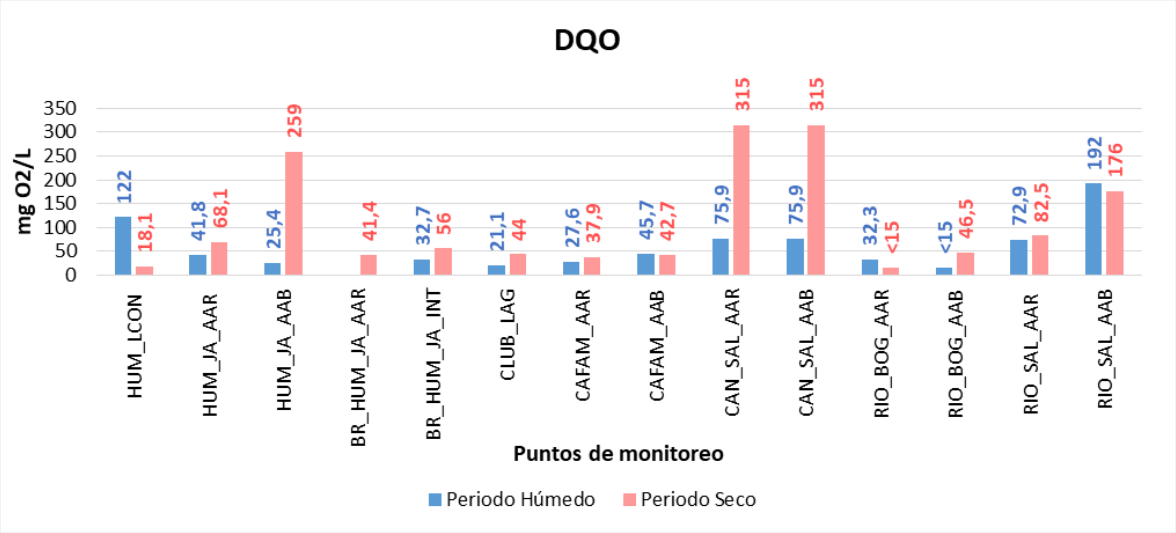


Figura 292. Comportamiento DQO
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.2.4.6. Compuesto de nitrógeno

- Nitrógeno total

El nitrógeno total es una medida de todas las varias formas de nitrógeno que se encuentran en una muestra de agua. El nitrógeno es un nutriente necesario para el crecimiento de plantas acuáticas y algas. No todas las formas de nitrógeno pueden ser utilizadas fácilmente por las plantas acuáticas y las algas, especialmente el nitrógeno vinculado con materia orgánica disuelta o partículas. El nitrógeno total consiste en formas inorgánicas y orgánicas. Las formas inorgánicas incluyen el nitrato (NO3-), nitrito (NO2-), el amoníaco (NH4+) ionizado y gas del nitrógeno (N2), mientras que el contenido

de nitrógeno orgánico en un agua incluye el nitrógeno de aminoácidos, aminas, polipéptidos, proteínas y otros compuestos orgánicos del nitrógeno (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas - DANE, S.F[40]).

Durante el periodo húmedo la concentración de nitrógeno total oscila entre 0,849 mg/L (BR_HUM_JA_INT) a 46 mg/L (CAN_SAL_AAR). En cuanto al periodo seco las concentraciones varían entre 1,36 (CLUB_LAG) a 52,1 mg/L (CAN_SAL_AAR). Los resultados del comportamiento del nitrógeno total se presentan en la Figura 293.

Las mayores concentraciones de nitrógeno total durante las dos campañas de monitoreo se dan en los puntos del canal Salitre (CAN_SAL_AAR y CAN_SAL_AABB) seguido de los puntos ubicados en el rio Salitre (RIO_SAL_AAR y RIO_SAL_AAB). No obstante, se aclara que la concentración registrada en el punto HUM_LCON en periodo húmedo sobrepasa las registradas en los puntos del río Salitre.

En cuanto a los artículos evaluados del Decreto 1076 de 2015, no se realiza juicio normativo, puesto que no definen límites máximos permisibles para este parámetro.

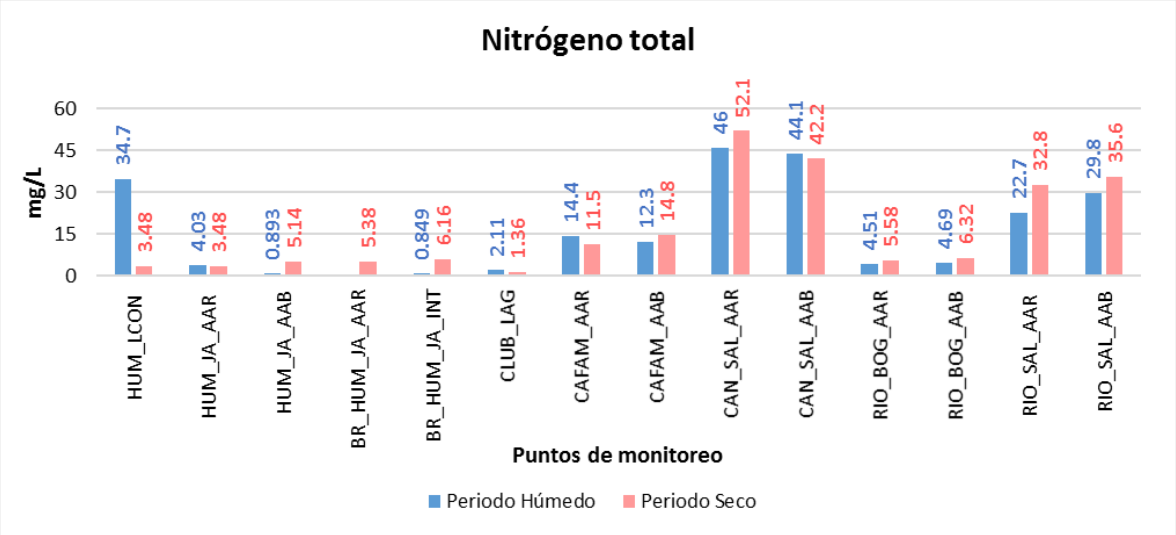


Figura 293. Comportamiento Nitrógeno Total
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.2.4.7. Compuesto de fósforo

- Fósforo total

[40] Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas - DANE. (S.F). FICHA TÉCNICA NITRÓGENO TOTAL - Sistema de Información del Medio Ambiente. Obtenido de SIMA: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Nitrogenos_total es_13.pdf

El fósforo es un componente esencial para la vida por ser un nutriente fundamental para el crecimiento vegetal y animal. Su origen es natural en la erosión de las rocas y la degradación de la materia orgánica, aunque también está presente en aguas residuales principalmente por el uso de fertilizantes y detergentes. La descomposición de la materia orgánica provoca la reducción de la concentración de oxígeno en el agua, que con el aporte de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) genera eutrofización.

Las especies de fósforo más comunes en aguas naturales incluyen compuestos inorgánicos y orgánicos disueltos o suspendidos. Las especies inorgánicas incluyen ortofosfatos, polímeros lineales o polifosfatos y polímeros cíclicos o metafosfatos[41]. Por otro lado, el índice ICOTRO (índice de contaminación por trofia) es utilizado para clasificar la calidad del agua de acuerdo a la cantidad de fósforo total presente en esta.

Durante el periodo húmedo se evidencia un valor superior en el punto CAN_SAL_AAR con 1136 mg/L, mientras que los demás puntos oscilan entre concentraciones entre 0,203 mg/L (HUM_JA_AAR) a 1,62 mg/L (HUM_LCON), además de un valor inferior al límite de detección definido por el método de laboratorio empleado (<0,05 mg/L en el punto BR_HUM_JA_INT). En cuanto al periodo seco, las concentraciones oscilan entre 0,208 mg/L (HUM_JA_AAR) a 2,67 mg/L (RIO_SAL_AAB) y un valor inferior al límite de detección definido por el método de laboratorio empleado (<0,05 mg/L en el punto CAFAM_AAB). Los resultados del comportamiento del fósforo total se presentan en la Figura 294.

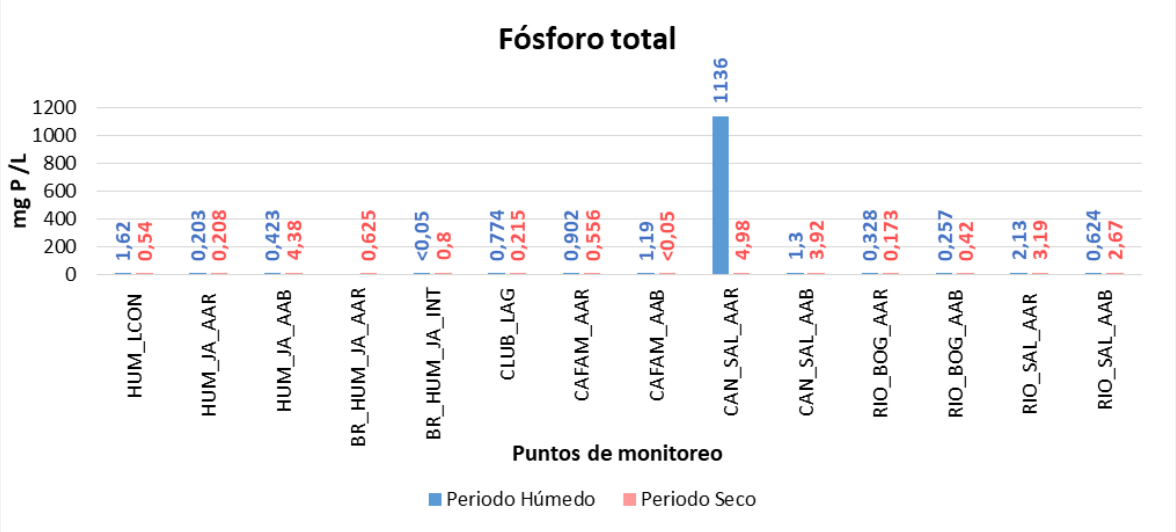


Figura 294. Comportamiento Fósforo Total
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.2.4.8. Microbiológicos

La calidad microbiológica es el aspecto más importante en lo que se refiere a las características del agua y su potabilidad. Para evaluar más ampliamente la calidad bacteriológica del agua se determina la presencia o ausencia de organismos

[41] ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del Agua. 3a. ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. (2009)

coliformes. Los organismos patógenos están dentro del grupo de los coliformes, pero no todos los coliformes son patógenos, por lo que la presencia de coliformes en una muestra de agua no necesariamente indica la presencia de organismos causantes de enfermedad. Sin embargo, para considerar un agua segura para beber o para actividades en las cuales el ser humano tiene contacto con ella, debe estar libre de organismos Coliformes Fecales.

- Coliformes totales

El grupo de microorganismos de coliformes totales son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal de los animales de sangre caliente, incluidos los seres humanos, siendo un indicador adecuado de contaminación bacteriana debido a que estos están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan como los patógenos en los sistemas de desinfección (Pulido, Navia, Torres, & Prieto, 2005[42]).

Teniendo en cuenta los límites permisibles establecidos en la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015 se realizan las siguientes apreciaciones:

- El monitoreo en el punto CLUB_LAG no supera ninguno de los límites establecidos en la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076/2015.
- La mayoría de puntos de monitoreo superan el límite establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.7 exceptuando el punto BR_HUM_JAA_INT en periodo húmedo y el punto CLUB_LAG en los dos periodos.
- Los puntos que no superan los límites establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.5 son el HUM_JA_AAR y BR_HUM_JAA_INT en periodo húmedo y el punto CLUB_LAG en los dos periodos.
- La mayoría de puntos de monitoreo superan el límite establecido en el artículos 2.2.3.3.9.3 exceptuando los puntos HUM_LCON, BR_HUM_JA_AAR y CLUB_LAG en periodo seco y los puntos HUM_JA_AAR, BR_HUM_JA_INT, CLUB_LAG, RIO_BOG_AAR y RIO_BOG_AAB en periodo húmedo.

Los resultados del comportamiento de los coliformes totales se presentan en la Figura 295.

[42] Pulido, Navia, Torres, & Prieto. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Obtenido de http://www.unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/47

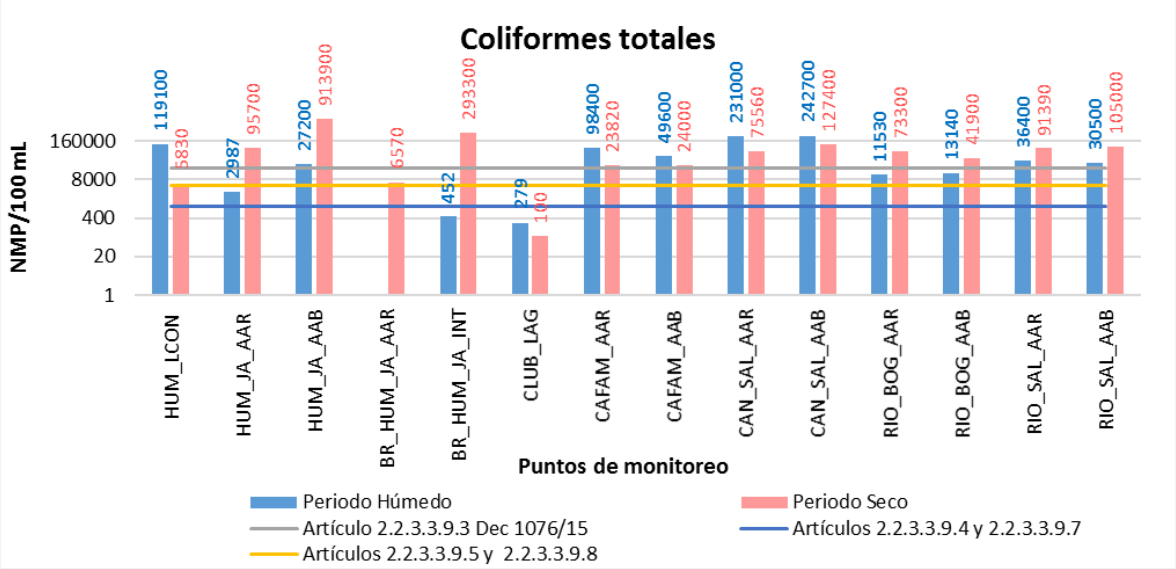


Figura 295. Comportamiento Coliformes Totales
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Coliformes fecales**

Los coliformes termotolerantes son un subgrupo de los coliformes totales, capaces de fermentar la lactosa a 44,5 ºC y constituyen aproximadamente el 10% de los microorganismos intestinales. Aproximadamente, el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por Escherichia coli y ciertas especies de Klebsiella. Debido a la pérdida de su capacidad de formar colonias con el tiempo en el medio acuático, éstas son indicadoras de contaminación reciente de origen fecal (Pulido, Navia, Torres, & Prieto, 2005[43]).

Teniendo en cuenta los límites permisibles establecidos en sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015 se realizan las siguientes apreciaciones:

- El punto BR_HUM_JA_AAR en periodo seco y BR_HUM_JA_IT en periodo húmedo, no superan el límite del artículo 2.2.3.3.9.4 establecido en 200 NMP/100mL.
- Los puntos que no superan el límite permisible de los artículos 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.8 esatblecido en 1000 NMP/100mL son: HUM_LCON_BR_HUM_JA_AAR y CAFAM_AAR en periodo seco y HUM_JA_AAR, BR_HUM_JA_IT y RIO_BOG_AAB en periodo húmedo.
- Los puntos que superan el valor establecido en el artículo 2.2.3.3.9.3 correspondiente a 2000 NMP/100mL son: HUM_LCON, HUM_JA_AAB, CAFAM_AAR, CAFAM_AAB, CAN_SAL_AAR, CAN_SAL_AAB, RIO_SAL_AAR y RIO_SAL_AAB en periodo húmedo. En cuanto al período seco los puntos son: HUM_JA_AAB, BR_UM_JA_INT, CAN_SAL_AAR, CAN_SAL_AAB, RIO_BOG_AAR, RIO_BOG_AAB, RIO_SAL_AAR y RIO_SAL_AAB.

[43] Pulido, Navia, Torres, & Prieto. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Obtenido de http://www.unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/47

- Se evidencia que el punto CLUB_LAG presenta un valor inferior al límite de detección definido por el método de laboratorio empleado (<1 NMP/100mL) durante las dos campañas de monitoreo.

Los resultados del comportamiento de los coliformes fecales se presentan en la Figura 296.

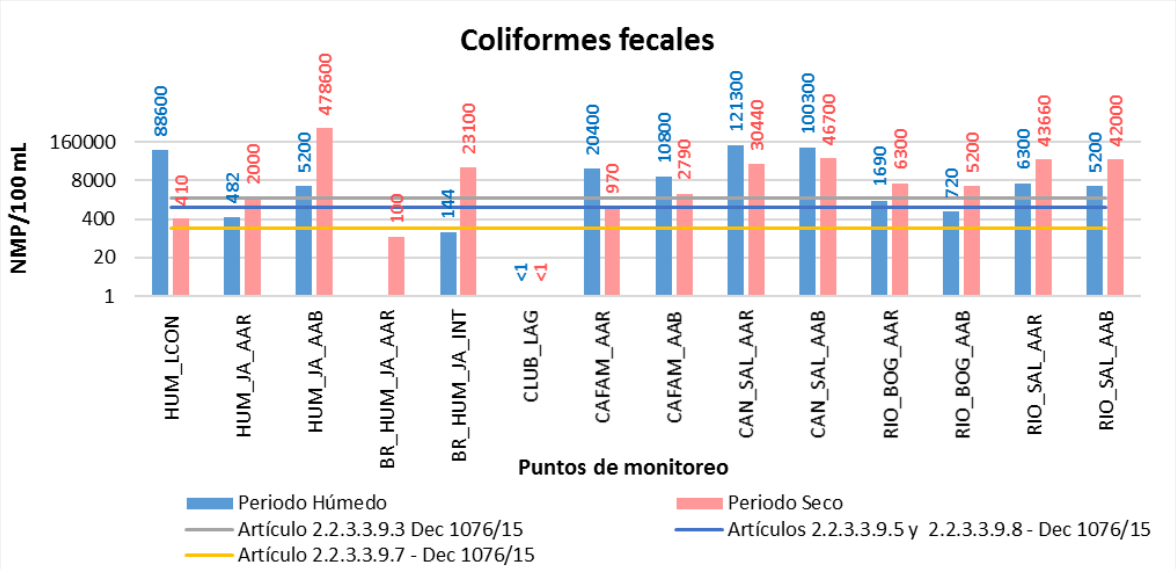


Figura 296. Comportamiento Coliformes Fecales
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.2.4.9. Metales

Como constituyentes importantes de muchas aguas podemos encontrar un número importante de metales pesados, aunque su cuantificación sea a niveles de traza (concentraciones bajas).

- **Arsénico**

El arsénico es un metaloide que es tóxico en bajas concentraciones especialmente en sus formas inorgánicas, no es común que se presente en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4), agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) y pecuario (artículo 2.2.3.3.9.6), los cuales corresponden a 0,05, 0,1 y 0,2 mg/l, respectivamente.

Los resultados del comportamiento del arsénico se presentan en la Figura 297. Se refleja que durante las dos campañas de monitoreo todos los puntos presentan una concentración de arsénico que se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición.

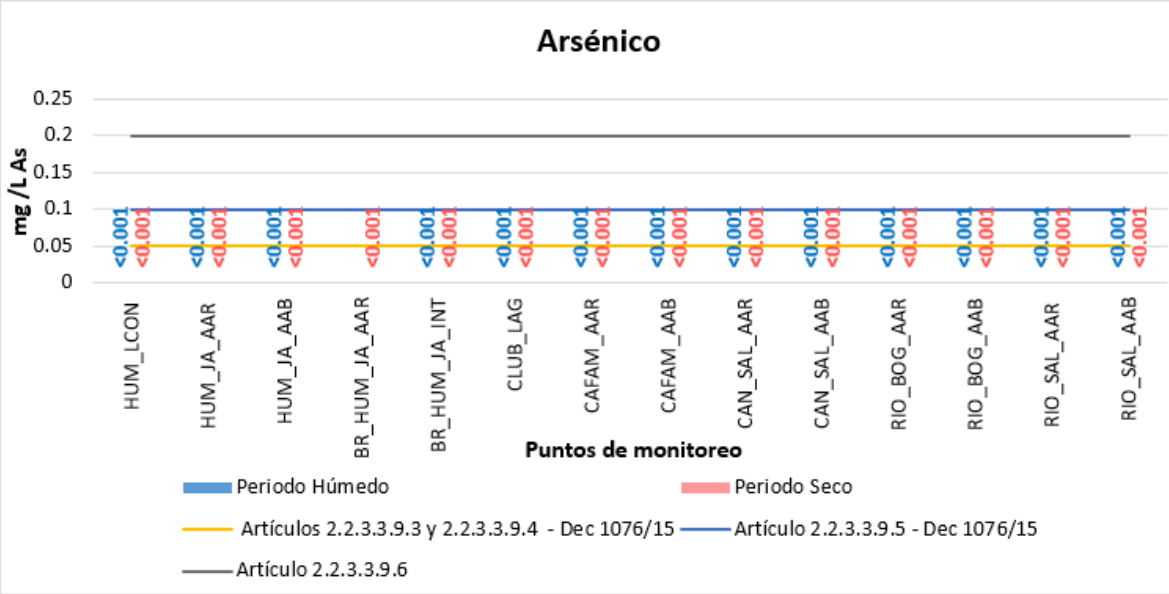


Figura 297. Comportamiento Arsénico
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Bario**

El bario es un metal alcalinotérreo común en las aguas superficiales, presenta un nivel medio de aproximadamente 0,1 mg/l. Algunas sales de bario pueden presentar efectos tóxicos para el consumo humano[44]. Para la normatividad colombiana asociada a agua destinada a potabilización con tratamiento convencional, correspondiente al Decreto 1076 de 2015, artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 la concentración de bario debe ser como máximo de 1 mg/l.

En las dos campañas de monitoreo, se evidencian que ningún punto sobrepasa el límite establecido en la normatividad. Los resultados del comportamiento del bario se presentan en la Figura 298. Se refleja que en periodo húmedo las concentraciones oscilan entre 0,04 mg/L (RIO_SAL_AAB) y 0,0982 mg/L (HUM_JA_AAR) y valores bajo el límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición en los puntos del canal Salitre (CAN_SAL_AAR y CAN_SAL_AAR) y el río Bogotá (RIO_BOG_AAB y RIO_BOG_AAB) con <0,005 mg/L. En cuanto al periodo seco se registran concentraciones que oscilan entre 0,00763 mg/L (CAN_SAL_AAR) y 0,199 mg/L (CLUB_LAG) ademas de los valores bajo el límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición en los puntos del Humedal Juan Amarillo (HUM_JA_AAR y HUM_JA_AAB), BRazo Humedal Juan Amarillo (BR_HUM_JA_AAR y BR:HUM_JA_INT) y rio Bogotá (RIO_BOG_AAR y RIO_BOG_AAB).

[44] Universidad de Jaén, 2005

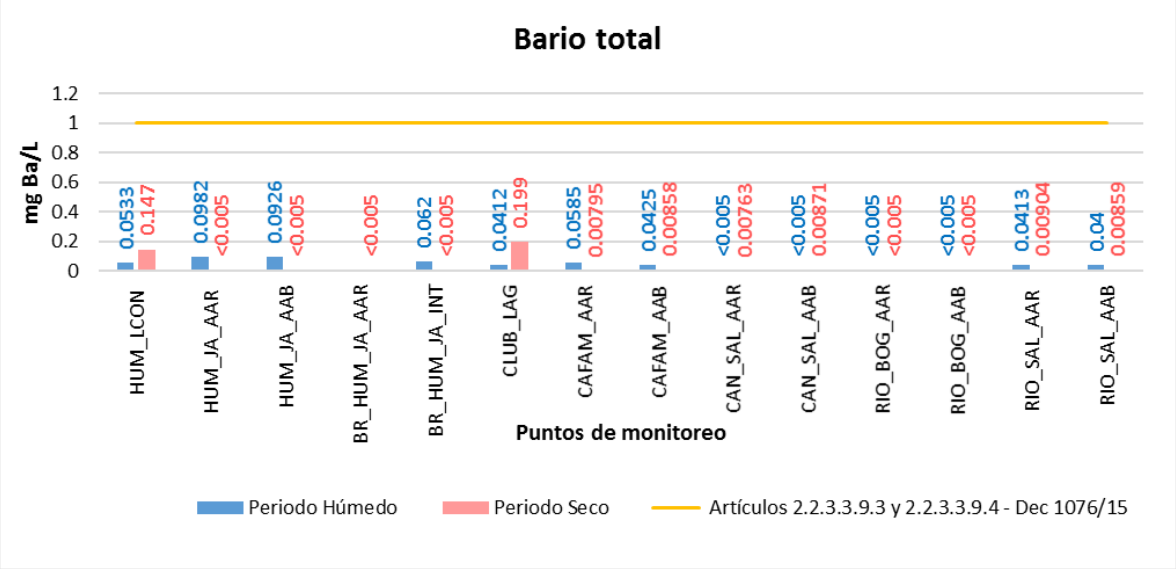


Figura 298. Comportamiento Bario
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Cadmio**

El cadmio es un metal de transición el cual es tóxico en bajas concentraciones, no es común que se presente en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4) y agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) los cuales corresponden a 0,01 mg/l y para uso pecuario (artículo 2.2.3.3.9.6), de 0,05 mg/l.

Los resultados reflejan valores bajo el límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición de deteccion con <0,0005 mg/L. Lo anterior tiene excepción en los puntos del canal Cafam (CAFAM_AAR y CAFAM_AAB) y el río Salire (RIO_SAL_AAR y RIO_SAL_AAB) en periodo húmedo. Los resultados del comportamiento del cadmio se presentan en la Figura 299.

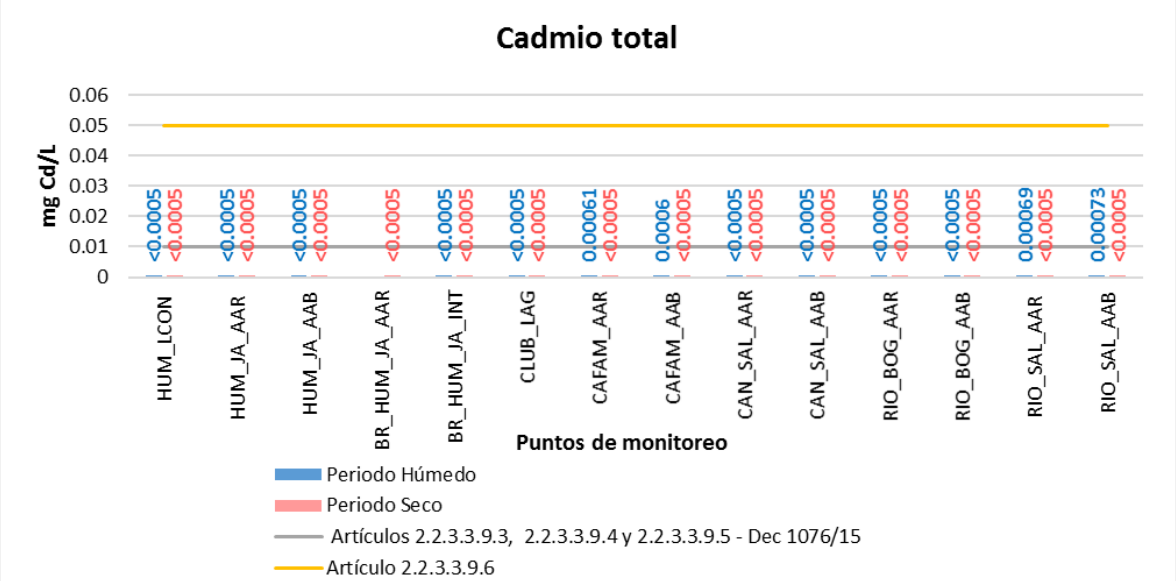


Figura 299. Comportamiento Cadmio
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Cobre**

El cobre es un metal de transición indeseable en el agua dado que conlleva a problemas de coloración y genera efectos adversos sobre la salud, no es común que se presente en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4), agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) y pecuario (artículo 2.2.3.3.9.6), los cuales corresponden a 1, 0,2 y 0,5 mg/l, respectivamente.

Los resultados de concentración de cobre se presentan en la Figura 300. En los dos periodos de monitoreo se evidencia que la concentración de cobre se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición. Los resultados del comportamiento del cobre se presentan en la Figura 300.

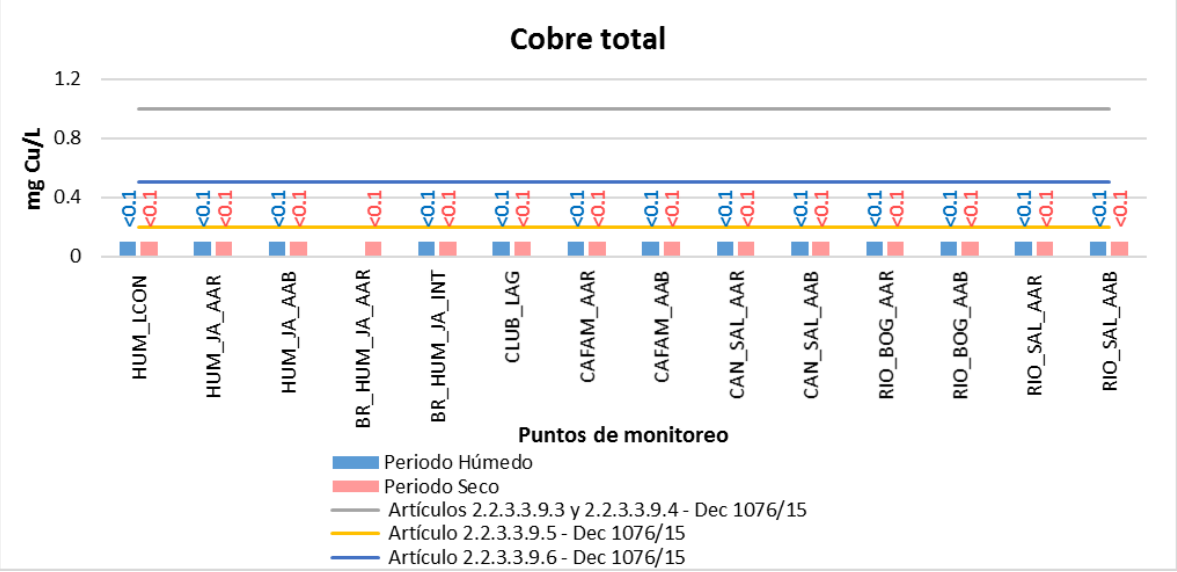


Figura 300. Comportamiento Cobre
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Mercurio**

El mercurio es un metal de transición que presenta propiedades únicas al presentarse en estado líquido, tener la capacidad de volatilizarse y de presentar procesos de metilación. Es un componente tóxico en bajas concentraciones especialmente en su forma elemental y metilada, no es común que se presente en elevadas concentraciones en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4) y pecuario (artículo 2.2.3.3.9.5), los cuales corresponden a 0,002 y 0,01 mg/l, respectivamente.

Durante las dos campañas de monitoreo se refleja que los valores por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición con <0,001 mg/L, exceptuando el punto BR_HUM_JA_INT que registró 0,00143 mg/L en periodo húmedo. Los resultados del comportamiento del mercurio se presentan en la Figura 301.

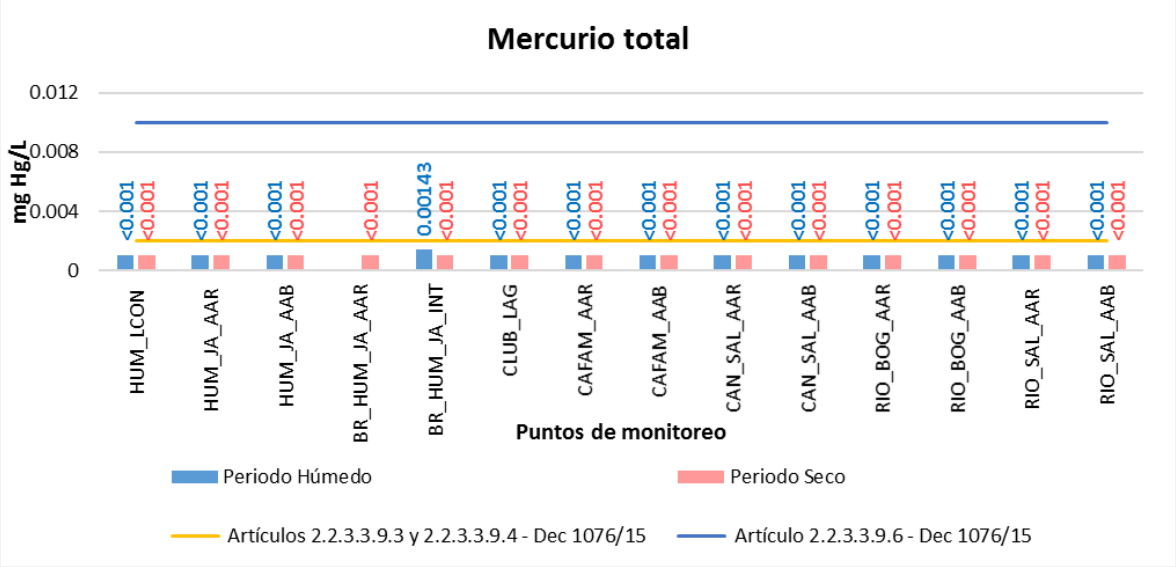


Figura 301. Comportamiento Mercurio
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Níquel**

El níquel es un elemento abundante en la corteza terrestre y por esta razón puede ocurrir bajo condiciones naturales en el agua superficial. Sin embargo, elevadas concentraciones de este componente pueden ser perjudiciales y tóxicas para la salud humana. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para el uso agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) el cual corresponde a 0,2 mg/l.

En la mayoría de los puntos durante las dos campañas de monitoreo se registran valores bajo el límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición con <0,003 mg/L, exceptuando los puntos: HUM_JA_AAR, BR_HUM_JA_INT, CAFAM_AAR y CAFAM_AAB en periodo húmedo y el punto HUM_LCON en los dos periodos. Los resultados del comportamiento del níquel se presentan en la Figura 302.

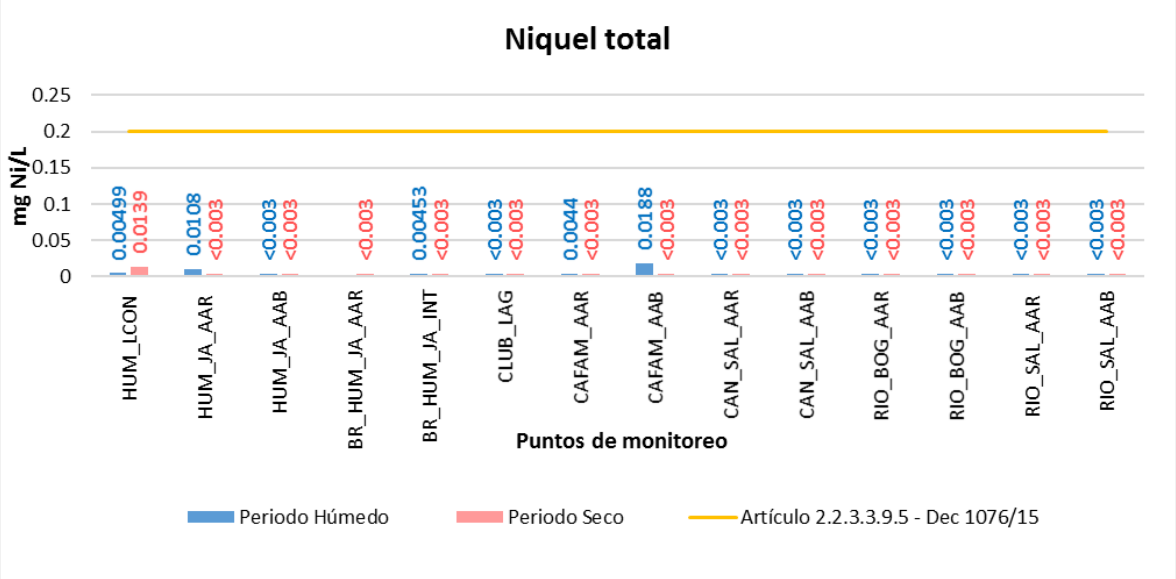


Figura 302. Comportamiento Níquel
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Plata**

La plata es un metal es un metal de transición que es tóxico en bajas concentraciones para la salud humana y comunidades microbianas, no es común que se presente en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para el uso doméstico (artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4) que corresponden a 0,05 mg/l.

Los resultados del comportamiento de la plata se presentan en la Figura 303. Se indica que en en las dos campañas de monitoreo todos los puntos se reportan valores por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición con <0,05 mg/L.

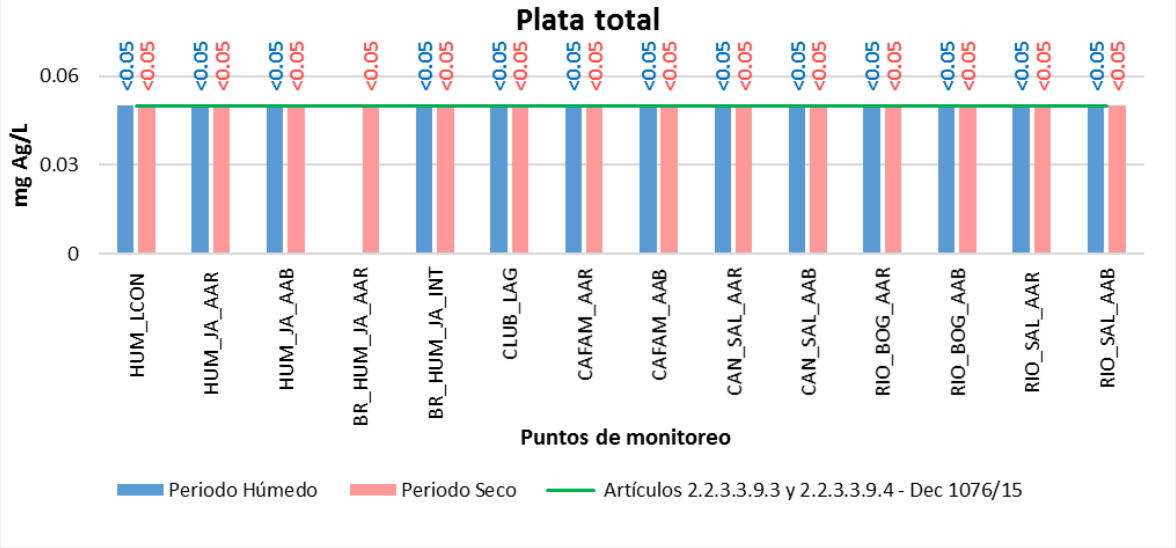


Figura 303. Comportamiento Plata
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Plomo**

El plomo es un metal pesado al ser tóxico en bajas concentraciones, no es común que se presente en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.), agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) y pecuario (artículo 2.2.3.3.6), los cuales corresponden a 0,05, 5 y 0,1 mg/l, respectivamente.

Los resultados del comportamiento de la plata se presentan en la Figura 304. Se evidencia que ningún punto supera los límites establecidos en el decreto 1076/15. Se precisa que durante el periodo seco se reportan valores por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición con <0,01 mg/L junto con los puntos: HUM:JA_AAB, CAN_SAL_AAB, RIO_BOG_AAR y RIO_BOG_AAB en periodo húmedo.

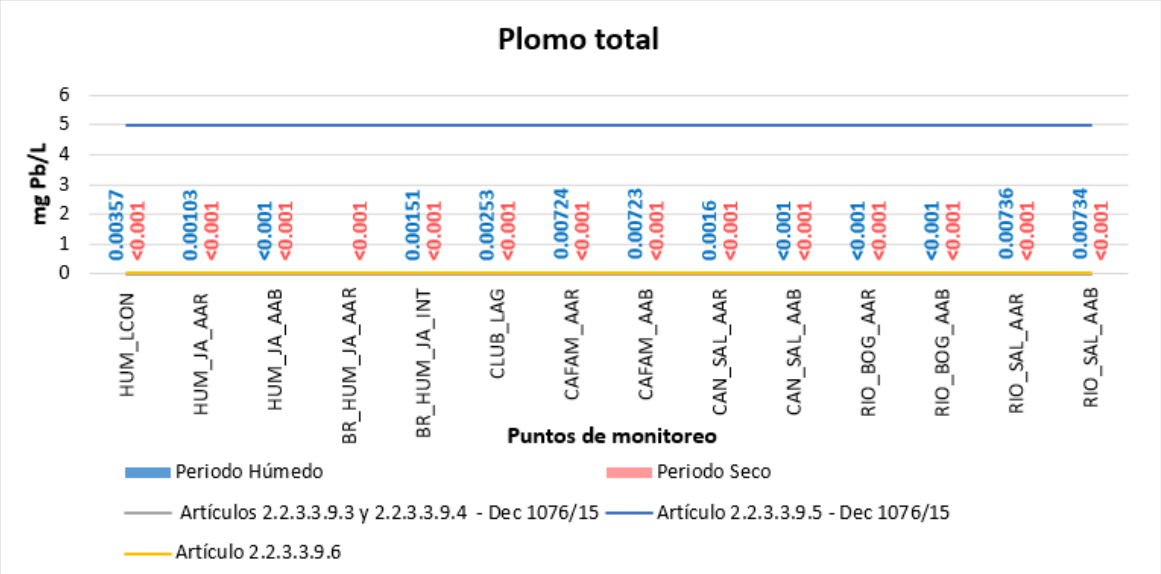


Figura 304. Comportamiento Plomo
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Selenio**

El selenio es un No metal necesario en bajas concentraciones para todas las formas de vida, al ser un micronutriente. No obstante, cuando se presenta en elevadas concentraciones se asocia a efectos negativos en la salud. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3 y artículo 2.2.3.3.9.4) y agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5), los cuales corresponden a 0,01 y 0,02 mg/l, respectivamente.

Los resultados del comportamiento del selenio se presentan en la Figura 305. Se indica que en en las dos campañas de monitoreo todos los puntos se reportan valores por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición con <0,005 mg/L.

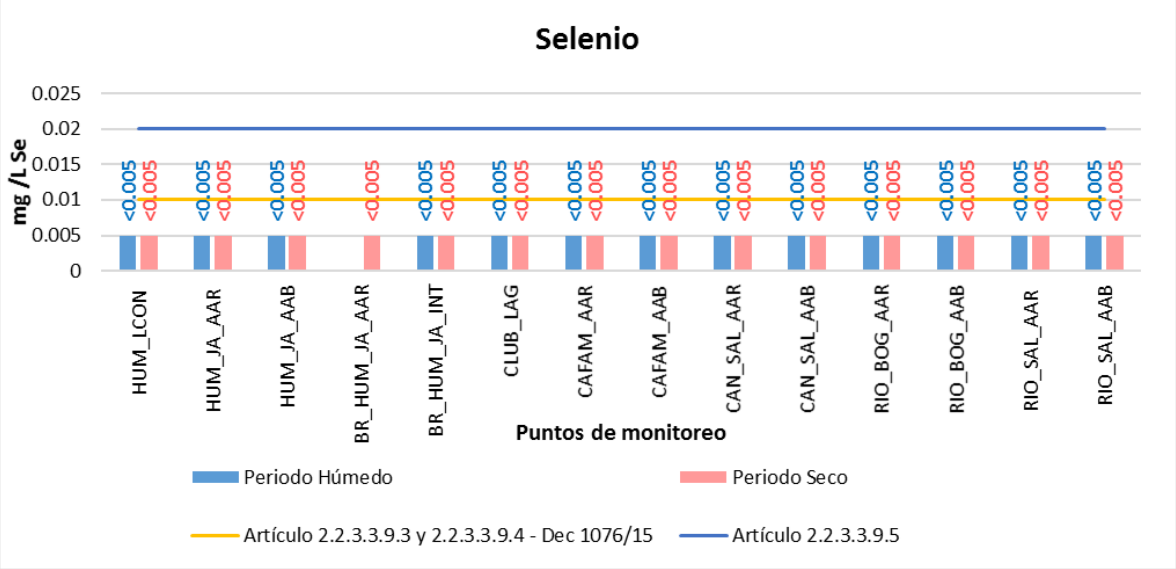


Figura 305. Comportamiento Selenio
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Zinc

El zinc es un metal de transición que es un nutriente esencial en humanos, no obstante, pueden presentarse efectos adversos si se consume en concentraciones elevadas. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4), agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) y pecuario (artículo 2.2.3.3.9.6), los cuales corresponden a 15, 2 y 25 mg/l, respectivamente.

En la mayoría de los puntos durante las dos campañas de monitoreo se registran valores bajo el límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición con <0,003 mg/L, exceptuando los puntos: BR_HUM_JA_INT, CLUB_LAG, CAFAM_AAR, CAFAM_AAB, RIO_SAL_AAB, RIO_SAL_AAB y RIO_SAL_AAB en periodo húmedo, además del punto HUM_LCON en los dos periodos. Los resultados del comportamiento del zinc se presentan en la Figura 306.

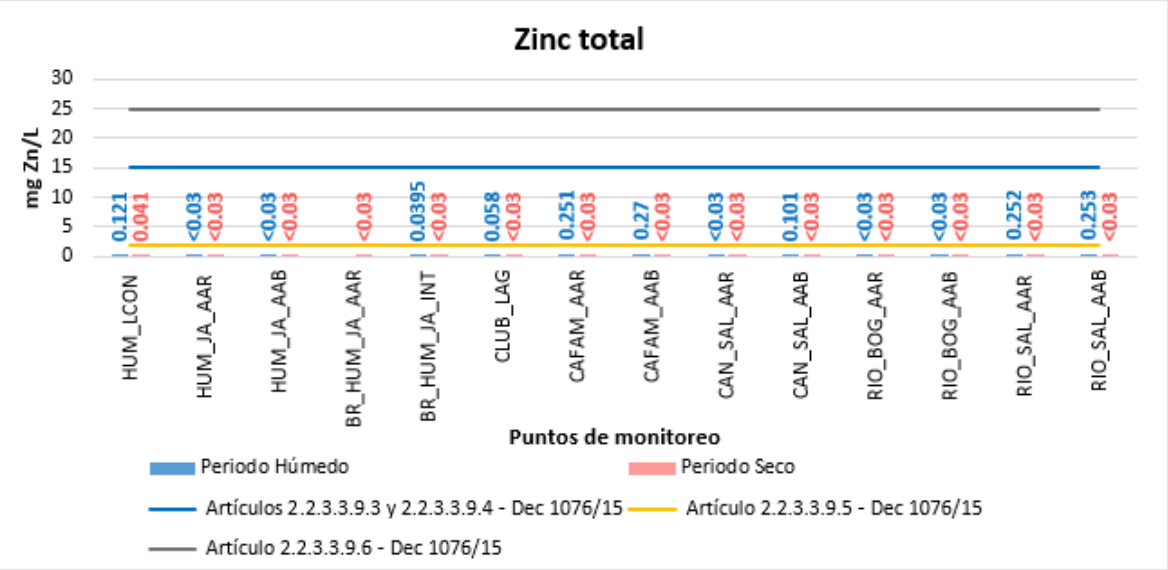


Figura 306. Comportamiento Zinc
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.2.4.10. Hidrocarburos, tóxicos orgánicos y otros

- **Aceites y Grasas**

Las grasas y aceites son el conjunto de sustancias con niveles pobres de solubilidad que flotan sobre la masa acuosa con lo que se forman natas, películas y capas iridiscentes sobre el agua, por lo que dicha capa afecta de manera directa el transporte de oxígeno en el agua (Romero J. A., 2009[45]). Los aceites y grasas son sustancias que presentan dificultad de transporte y reducen la capacidad de flujo, las concentraciones de grasas y aceites pueden producir un cambio en las características del agua, provocando en el ecosistema serios efectos debido al impacto negativo de estos contaminantes sobre sus diferentes componentes. Las Grasas y Aceites corresponden al conjunto de sustancias pobremente solubles que se separan de la porción acuosa y flotan formando capas iridiscentes sobre el agua.

Se presentan mayores concentraciones durante el período seco, dichas concentraciones oscilan entre 1,79 mg/L (RIO_BOG_AAB) y 43,1mg/L (RIO_SAL_AAR). En cuanto al periodo húmedo se presentan variaciones de concnetracione entr 0,99 mg/L (CAN_SAL_AAR) y 18,2 mg/L (CAFAM_AAR), además se registran valores bajo el límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición con <0,09 mg/L en los puntos: HUM_ICON, HUM_JA_AAR Y RIO_BOG_AAR. Los resultados del comportamiento de aceites y grasas se presentan en la Figura 307.

[45] Romero Rojas, J. (2009). Calidad del agua. Bogotá D. C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Respecto a los Artículos evaluados del Decreto 1076 de 2015, no se realiza juicio normativo, puesto que no definen límites máximos permisibles para este parámetro.

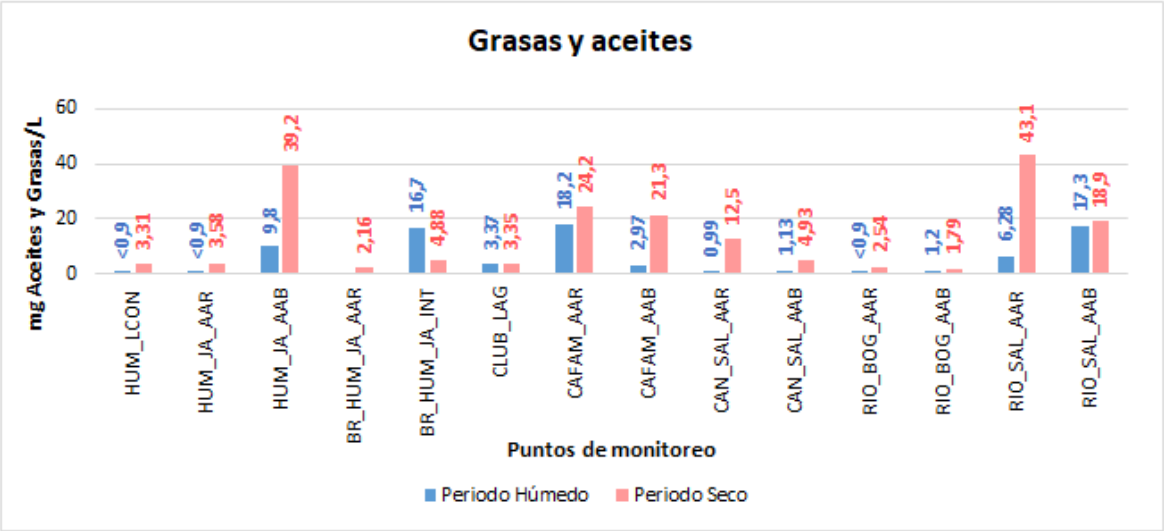


Figura 307. Comportamiento Aceites y Grasas
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Hidrocarburos Totales

Los compuestos orgánicos son difícilmente y poco biodegradables, como es el caso de los hidrocarburos, los cuales son un desafío en cuestiones de tratamiento. Los hidrocarburos totales son elementos tienen una relación directa con las grasas y los aceites dado a que son poco solubles en el agua y además de esto, forman una película superficial en el cuerpo hídrico debido a su baja densidad, en comparación con el agua.

Se precisa que se presentan mayores concentraciones durante el período seco y las concentraciones oscilan entre 1,09 mg/L (RIO_BOG_AAB) y 21,8 mg/L (RIO_SAL_AAR). Para el periodo húmedo se presentan valores bajo el límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición con <0,09 mg/L, exceptuando los puntos: CLUB_LAG, CAFAM_AAR, CAFAM_AAB y RIO_SAL_AAB. Los resultados del comportamiento de hidrocarburos totales se presentan en la Figura 308.

Es importante resaltar que en la normatividad de referencia no se presentan límites permisibles, por lo tanto para este parámetro no se emite juicio de cumplimiento normativo.

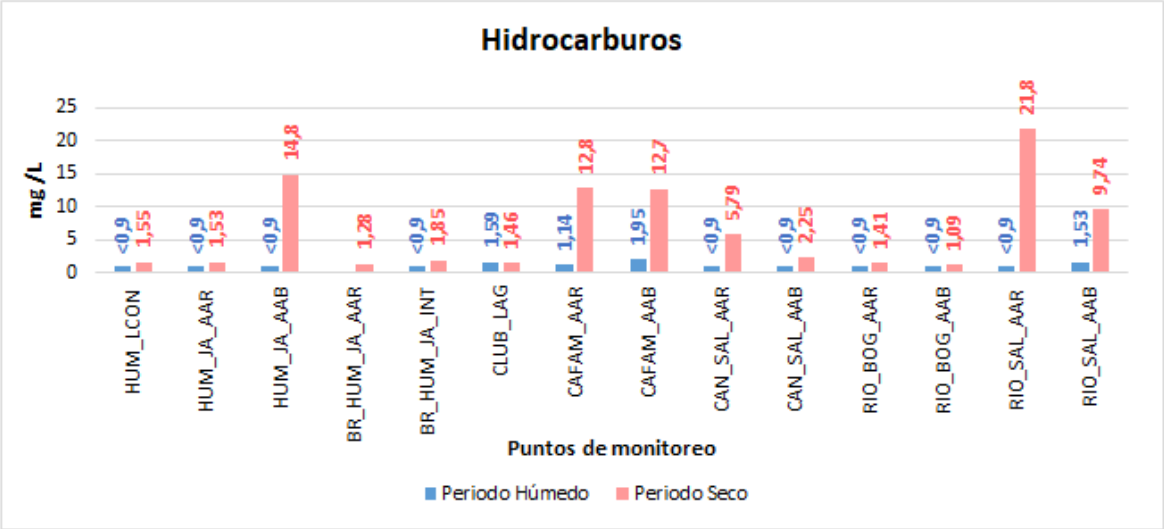


Figura 308. Comportamiento Hidrocarburos Totales
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **SAAM**

Por otra parte, en los agentes espumantes se agrupan los compuestos tensoactivos, que por su naturaleza en mayor o en menor grado producen espuma cuando el agua es agitada, y su causa principal reside en la presencia de residuos de detergentes domésticos[46]. Como consecuencia de su presencia en aguas superficiales, está la interferencia en el poder autoreductor de los recursos hídricos debido a la inhibición de la oxidación química y biológica.
Esta variable se asocia a la presencia de espumas en el agua, característica indeseable para las aguas para consumo humano y para el uso recreativo mediante contacto primario. La normatividad nacional (Decreto 1075 de 2015) con respecto al uso doméstico del agua (artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4) y uso recreativo (artículos 2.2.3.3.9.7 y 2.2.3.3.9.8) corresponde a 0,5 mg/l).

Durante el periodo húmedo se registran concentraciones que varían entre 0,105 mg/L (CAFAM_AAR) y 6,26 mg/L (HUM_LCON) y valores bajo el límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición con <0,01 mg/L, en los puntos: HUM_JA_AAR, HUM:JA_AAB, BR_HUM_JA_INT, RIO_BOG_AAR y RIO_BOG_AAB. En el caso del periodo seco las concentraciones oscilan entre 0,144 mg/L (HUM_LCON y RIO_BOG_AAR) a 4,58 mg/L (CAN_SAL_AAB), además los puntos HUM_JA_AAR, BR_HUM_JA_AAR y CLUB_LAG registran un valor bajo el límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición de <0,01 mg/L. Los resultados del comportamiento de SAAM se presentan en la Figura 309.

[46] BARRENECHEA, Ada. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría. Tomo I. Lima, CEPIS. (2004)

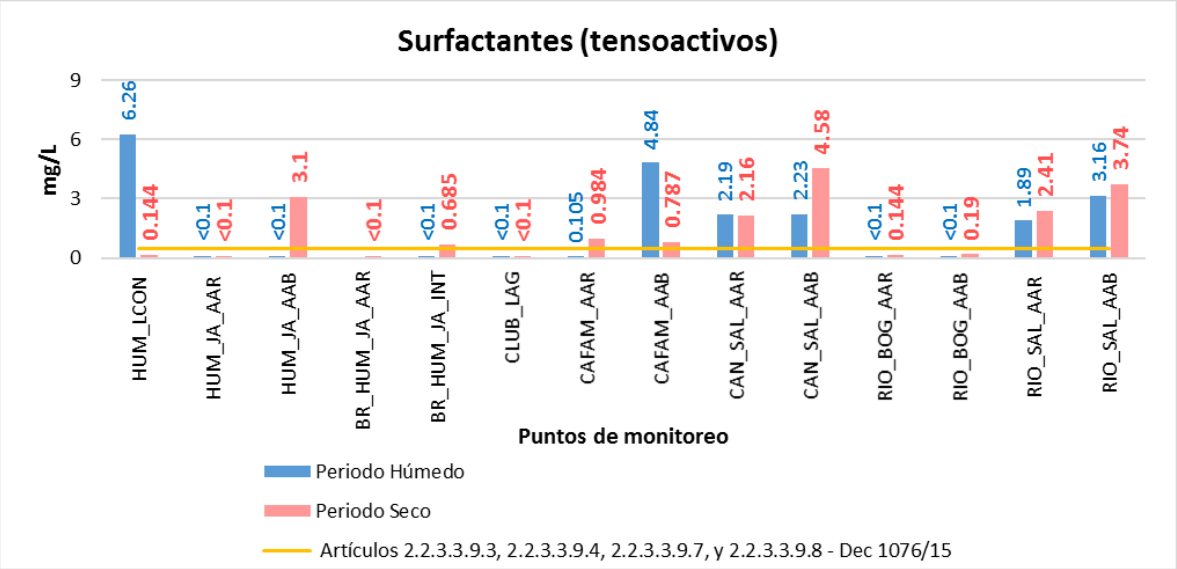


Figura 309. Comportamiento SAAM
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Fenoles**

Los fenoles son compuestos orgánicos aromáticos que presentan el grupo hidroxilo como grupo funcional. Los Fenoles son moléculas que se caracterizan por ser muy estables químicamente y por tanto de difícil destrucción. Permanecen en el ecosistema años y algunas de ellas van acumulándose en la cadena trófica. Por esto las que son tóxicas son especialmente peligrosas y algunas son muy venenosas[47]. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015), se establece que la concentración de fenoles totales no debe ser mayor a 0,002 mg/l cuando el agua está destinada para consumo doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4) y Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto primario. (artículo 2.2.3.3.9.7).

En cuanto el periodo húmedo se establecen concentraciones que varían entre 0,022 mg/L (RIO_BOG_AAR) y 51,9 mg/L (CAFAM_AAR). Para el caso del periodo seco las concentraciones oscilan entre 0,0243 mg/L (CLUB_LAB) y 0,108 mg/L (CAN_SAL_AAB y RIO_SAL_AAB). Los resultados del comportamiento de los fenoles se presentan en la Figura 310.

[47] BARBA, Luz Edith. Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. Universidad del Valle. Cali, Colombia. (2002)

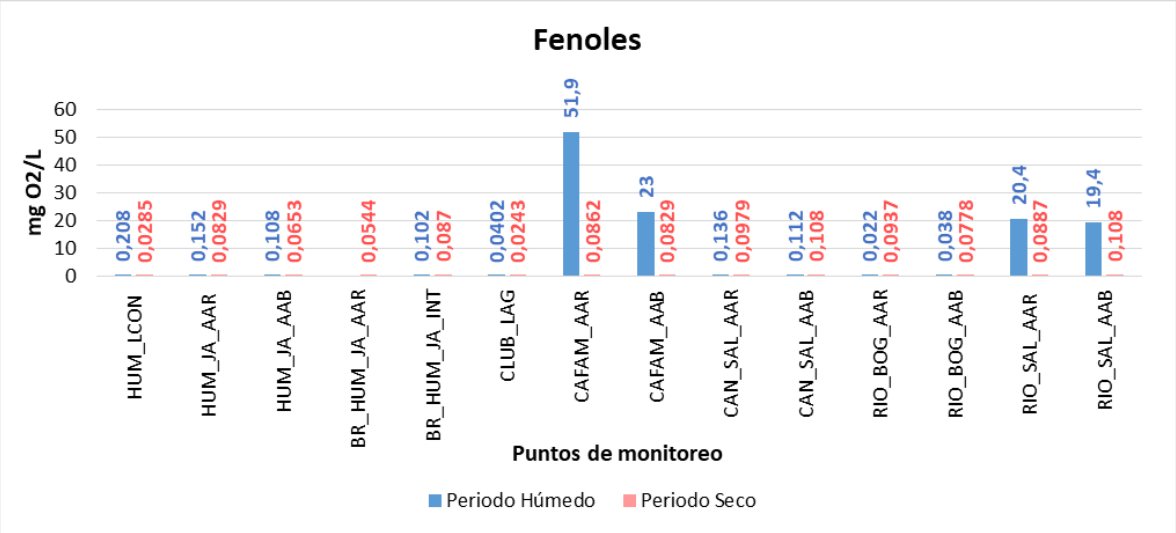


Figura 310. Comportamiento Fenoles
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.3. Análisis Índices de calidad del agua

5.2.2.3.0.1. Índice de calidad del agua ICA

El indicador de calidad del agua superficial se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco variables que determinan la calidad de las aguas corrientes superficiales. Las variables son: oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y pH.

A continuación, se presentan las ecuaciones de referencia para cada una de las variables:

Tabla 174. Ecuaciones para cálculo del índice ICA

Variable	Descripción
Oxígeno disuelto (OD)	Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas. $I_{OD} = 1 - (1 - 0{,}01 * PS_{OD})$ Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%. $I_{OD} = 1 - (0{,}01 * PS_{OD} - 1)$

Variable	Descripción
Sólidos suspendidos totales (SST)	La presencia de sólidos suspendidos en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente. El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula así: $I_{SST} = 1 - (-0{,}02 + 0{,}003 * SST)$ • $Si\ SST \leq 4{,}5, entonces\ I_{SST} = 1$ • $Si\ SST \geq 320, entonces\ I_{SST} = 0$
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	La DQO refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no y la materia inorgánica. • $Si\ DQO \leq 20, entonces\ I_{DQO} = 0{,}91$ • $Si\ 20 < DQO \leq 25, entonces\ I_{DQO} = 0{,}71$ • $Si\ 25 < DQO \leq 40, entonces\ I_{DQO} = 0{,}51$ • $Si\ 40 < DQO \leq 80, entonces\ I_{DQO} = 0{,}26$ • $Si\ DQO > 80, entonces\ I_{DQO} = 0{,}12$
Conductividad eléctrica (C.E.)	Está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en la forma química, refleja la mineralización. $I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3{,}261{,}34 LOg10 C.E)}$ $Cuando\ I_{C.E.} < 0, entonces\ I_{C.E.} = 0$
pH	Mide la acidez, valores extremos pueden afectar la flora y la fauna acuáticas. • $Si\ pH < 4,\ entonces\ I_{pH} = 0{,}1$ • $Si\ 4 \leq pH \leq 7,\ entonces\ I_{pH} = 0{,}02628419 * e^{(pH * 0{,}520025)}$ • $Si\ 7 < pH \leq 8,\ entonces\ I_{pH} = 1$ • $Si\ 8 < pH \leq 11,\ entonces\ I_{pH} = 1 * e^{[(pH-8)-0{,}5187742]}$ • $Si\ pH > 11,\ entonces\ I_{pH} = 0{,}1$
Nitrógeno total/Fósforo total (NT/PT)	Mide la degradación por intervención antrópica. • Si 15 ≤ NT/PT ≤ 20, entonces INT/PT = 0,8 • Si 10 < NT/PT < 15, entonces INT/PT = 0,6 • Si 5 < NT/PT ≤ 10, entonces INT/PT = 0,35 • Si NT/PT ≤ 5 , ó NT/PT > 20, entonces INT/PT = 0,15

Fuente: IDEAM - Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. (2014).

Tabla 175. Variables y ponderación

Variable	Unidad de medición	Ponderación
Oxígeno disuelto (OD)	% Saturación	0,17
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/l	0,17
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	0,17
Conductividad eléctrica (C.E.)	uS/cm	0,17
Nitrógeno total/Fósforo total (NT/PT)	mg/l	0,17
pH	Unidades de pH	0,15

Fuente: IDEAM - Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. (2014).

Por último, el Índice de calidad del agua que contempla todas las variables, se determina a través de la sumatoria del producto de cada variable por el factor ponderador, como se ilustra a continuación:

$$\sum_{i=1}^{n} (W * I)$$

Ecuación 35.Índice de calidad del agua

El indicador es comparado y clasificado a través de un código de colores que permite emitir señales de alerta, según el nivel de contaminación del cuerpo hídrico, como se muestra en la Tabla 176.

Tabla 176. Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 - 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 - 0,50	Mala	Naranja
0,51 - 0,70	Regular	Amarillo
0,71 - 0,90	Aceptable	Verde
0,91 - 1,00	Buena	Azul

Fuente: IDEAM - Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. (2014)

Teniendo en cuenta el resultado del índice ICA en las dos campañas de monitoreo, se indica una calidad del agua de tipo regular y mala en la mayoría de los puntos. Esto, puede estar influenciado principalmente por elevadas concentraciones de conductividad eléctrica; también, por las características del tipo de suelos y rocas por los cuales fluye el agua, por la concentración de partículas en suspensión, el pH, la demanda química de oxígeno y la concentración de nitrógeno y fósforo total, que inciden en la carga de materia orgánica en las muestras de agua. Los resultados para el índice ICA se presentan en la Figura 311

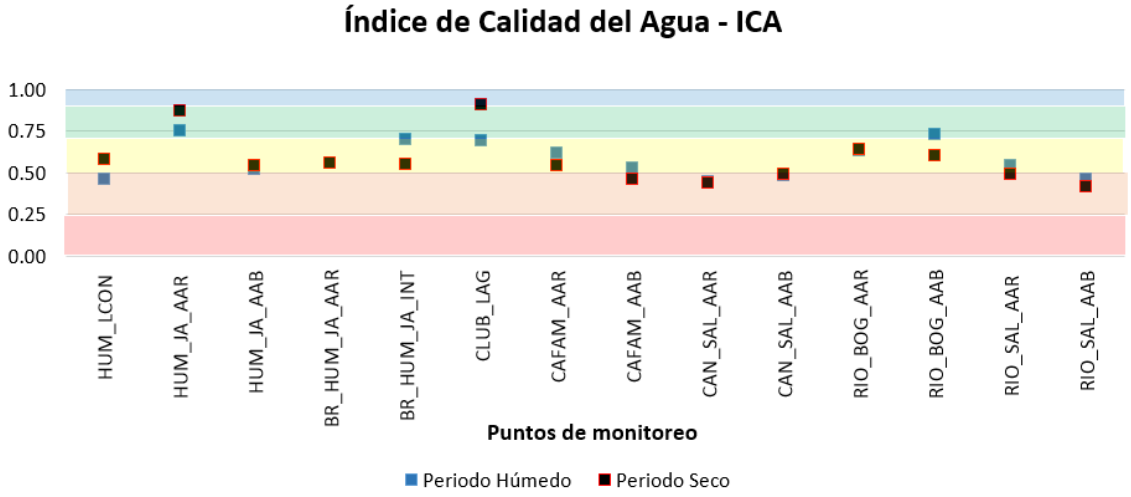


Figura 311. Resultados Índice ICA
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.3.0.2. Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua - IACAL

El indicador refleja la alteración potencial de la calidad de los sistemas hídricos superficiales en una subzona hidrográfica dada. Permite reconocer zonas susceptibles a los tipos de contaminación estimada en la medida que la categoría de amenaza es calificada como alta y muy alta en un intervalo de tiempo específico. En otras palabras, es un reflejo de la vulnerabilidad a la contaminación a que puede estar sometida una subzona hidrográfica.

Este indicador determina la relación entre la carga contaminante y la oferta hídrica de un cuerpo de agua superficial para un año medio o un año seco, en el cual se consideran cinco (5) variables. Las variables que se utilizan para la estimación del IACAL son DBO, diferencia entre DQO y DBO, SST, NT y PT.

$$IACAL_{ijt\ añomed} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \quad Catiacal_{itj-añomed}}{n}$$

Ecuación 36. Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua 1

$$IACAL_{ijt\ añosec} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \quad Catiacal_{itj-añomsec}}{n}$$

Ecuación 37. Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua 2

Dónde:

Iacal$_{ijt\text{-}año}$ es el Índice de alteración potencial de la calidad del agua de una subzona hidrográfica *j* durante el período de tiempo t, evaluado para una oferta hídrica propia de un año medio o año seco, dependiendo del caso y *n* es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5.

Catiacal es la categoría de clasificación de la vulnerabilidad por el potencial alteración de la calidad del agua que representa el valor de la presión de la carga estimada de la variable de calidad *i* que se puede estar vertiendo a la subzona hidrográfica *j* durante el período de tiempo t dividido por la oferta hídrica propia de un año medio o año seco, dependiendo del caso. Para el cálculo del *Catiacal* para cada variable se debe emplear la razón entre la carga contaminante de cada variable (W_{ijt}) y la oferta hídrica del cuerpo de agua (O), de un año promedio o un año seco. Esta se define mediante la Ecuación 38 en un año medio y la Ecuación 39 para un año seco.

$$iacal_{itj\ añomed} = \frac{W_{itj\ añomed}}{O_{añomed}}$$

Ecuación 38. Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua 3

$$iacal_{itj\ añomsec} = \frac{W_{itj\ añosec}}{O_{añosec}}$$

Ecuación 39. Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua 4

Para cada variable se encuentra asociada a una categoría de clasificación como se muestra en la Tabla 177 a Tabla 181.

Tabla 177. Iacal DBO

Rangos IacalDBO-jt-añomed IacalDBO-jt-añosec	Categoría de clasificación CatiacalDBO	Calificación de la presión
$Iacal_{DBO}$ <0,14	1	Baja
0,14 ≤ $Iacal_{DBO}$ <0,40	2	Moderada
0,40 ≤ $Iacal_{DBO}$<1,21	3	Media-Alta
1,21 ≤ $Iacal_{DBO}$<4,86	4	Alta
$Iacal_{DBO}$ ≥ 4,86	5	Muy Alta

Fuente: Hoja Metodológica Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL. IDEAM.

Tabla 178. Iacal diferencia entre DBO y DQO

Rangos IacalDQO-DBO-jt-añomed IacalDQO-DBO-jt-añosec	Categoría de clasificación CatiacalDQO-DBO	Calificación de la presión
$Iacal_{DQO-BBO}$ <0,14	1	Baja
0,14 ≤ $Iacal_{DQO-DBO}$ <0,36	2	Moderada
0,36 ≤ $Iaca_{DQO-IDBO}$<1,17	3	Media-Alta
1,17 ≤ $Iacal_{DQO-DBO}$<6,78	4	Alta
$Iacal_{DQO-DBO}$ ≥ 6,78	5	Muy Alta

Fuente: Hoja Metodológica Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL. IDEAM.

Tabla 179. Iacal sólidos suspendidos totales

Rangos IacalDQO-SST-jt-añomed IacalDQO-SST-jt-añosec	Categoría de clasificación Catiacalsst	Calificación de la presión
$Iacal_{SST}$ <0,4	1	Baja
0,4 ≤ $Iacal_{SST}$ <0,8	2	Moderada
0,8 ≤ $Iacal_{SST}$<1,9	3	Media-Alta
1,9 ≤ $Iacal_{SST}$<7,7	4	Alta
$Iacal_{SST}$ ≥ 7,7	5	Muy Alta

Fuente: Hoja Metodológica Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL. IDEAM.

Tabla 180. Iacal nitrógeno total

Rangos IacalDQO-NT-jt-añomed IacalDQO-NT-jt-añosec	Categoría de clasificación CatiacalNT	Calificación de la presión
$Iacal_{NT}$ <0,03	1	Baja
0,03 ≤ $Iacal_{NT}$ <0,06	2	Moderada
0,06 ≤ $Iacal_{NT}$<1,14	3	Media-Alta
1,14 ≤ $Iacal_{NT}$<0,56	4	Alta
$Iacal_{NT}$ ≥ 0,56	5	Muy Alta

Fuente: Hoja Metodológica Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL. IDEAM.

Tabla 181. Iacal fósforo total

Rangos IacalDQO-NT-jt-añomed IacalDQO-NT-jt-añosec	Categoría de clasificación CatiacalNT	Calificación de la presión
$Iacal_{PT}$ <0,005	1	Baja
0,005 ≤ $Iacal_{PT}$ <0,014	2	Moderada
0,014 ≤ $Iacal_{PT}$<0,036	3	Media-Alta
0,036 ≤ $Iacal_{PT}$<0,135	4	Alta
$Iacal_{PT}$ ≥ 0,135	5	Muy Alta

Fuente: Hoja Metodológica Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL. IDEAM.

Los resultados del índice IACAL, se presentan en la Figura 312.

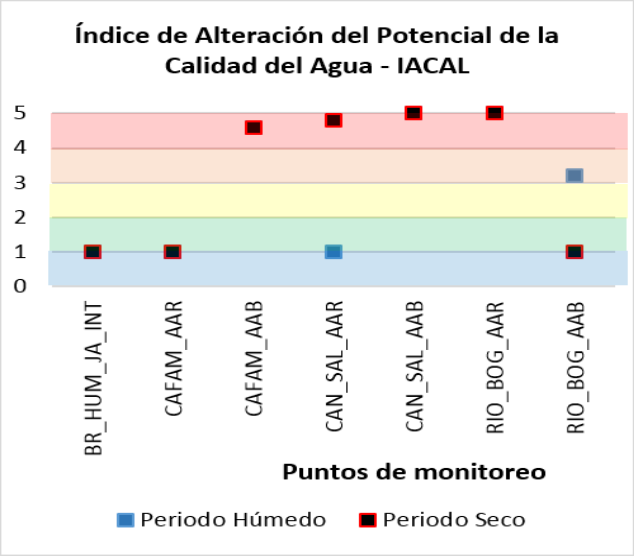


Figura 312. Resultados Índice IACAL
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.3.0.3. Índice de Langelier

El índice de Langelier, está basado en la saturación de carbonato de calcio ($CaCO_3$). Este evalúa el efecto del pH sobre el equilibrio de solubilidad del $CaCO_3$, por lo tanto, es un indicador de la tendencia de deposición de la película de $CaCO_3$. Frecuentemente es empleado para evaluar el potencial corrosivo del agua.
La determinación del índice de Langelier se realiza usando la Ecuación 40.

$$IL = pH_A - pH_S$$

Ecuación 40. Índice de Langelier

En donde:

- IL es el Índice de Langelier (adimensional)
- pH_A es el pH actual del agua (unidades de pH)
- pH_S es el pH de saturación o pH al cual se logra el equilibrio calcico-carbónico del agua (unidades de pH)

El valor de pH_S se calcula con la siguiente ecuación:

$$pH_S = (9{,}3 + A + B) - (C + D)$$

Ecuación 41. pH de saturación

A, B, C y D se obtienen mediante las siguientes ecuaciones:

Tabla 182. Variables Índice Langelier

Variable	Ecuación
A	$A = \frac{log(SDT) - 1}{10}$
B	$B = -13{,}12\ log(T + 273{,}15) + 34{,}55$
C	$C = log(Dureza\ Cálcica)$
D	$D = log(Alcalinidad)$

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En donde:

- *SDT* es la concentración de sólidos disueltos totales en la muestra de agua (mg/l)
- *T* es la temperatura del agua (°C)
- *DC* es la dureza cálcica -para las muestras el cálculo se realiza con dureza total y cálcica (mg $CaCO_3$/l)
- *ALC* es la alcalinidad (mg $CaCO_3$/l).

La clasificación general del índice de Langelier se presenta en la Tabla 183.

Tabla 183. Clasificación del índice de Langelier

Índice de Langelier	Clasificación
IL = 0	Agua en equilibrio químico
IL < 0	Agua con tendencia a ser corrosiva
IL > 0	Agua con tendencia incrustante

Fuente: (Arnalich, 2008)

Los resultados del comportamiento del índice de Langelier se presentan en la Figura 313. Se refleja que todos los puntos presentan una clasificación de agua con tendencia a ser corrosiva. Dicho índice refleja valores que oscilan entre -23,26 (HUM_JA_AAB) y -25,28 (BR_HUM_JA_INT) en periodo húmedo. En cuanto al periodo seco el valor del índice de Langelier varía entre -23,62 (CLUB_LAG) y -25,42 (BR_HUM_JA_INT).

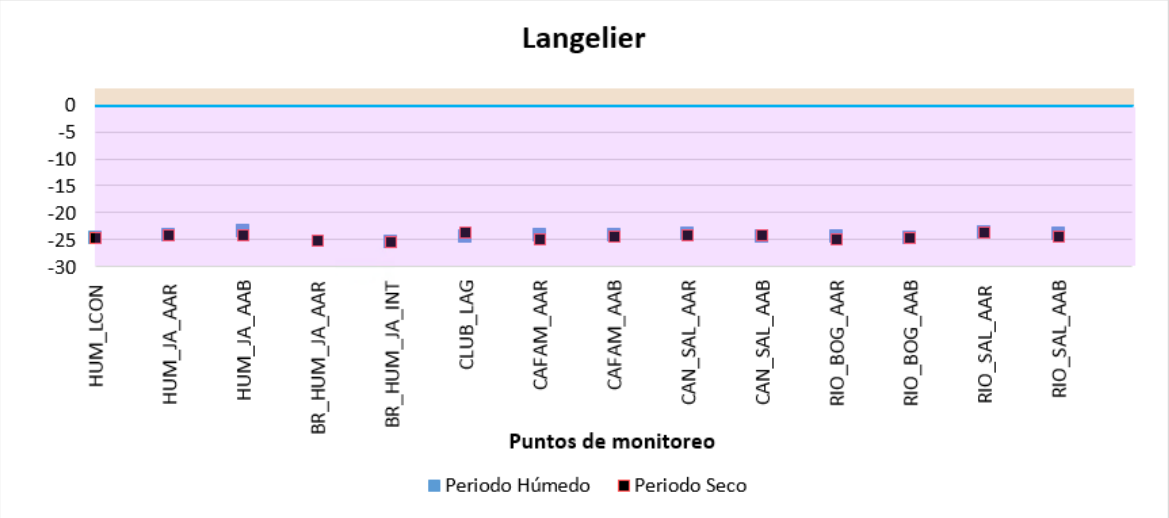


Figura 313. Resultados Índice de Langelier
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.3.0.4. Índice Capacidad Buffer

En relación con la Capacidad Buffer, se tomó como parámetro representativo la alcalinidad total, la cual está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y representa el principal sistema amortiguador de las aguas. Cuando las aguas tienen alcalinidades inferiores se vuelven muy sensibles a la contaminación, ya que no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generan disminuciones del pH (acidificación).

Tabla 184. Clasificación de los Cuerpos de Agua Según su Alcalinidad total

Descripción	Alcalinidad (mg/L $CaCO_3$)
Sensibles a contaminación	<20
Mínimo aceptable	20
Pobremente amortiguadas	< 25
Moderadamente amortiguadas	25 - 75
Muy amortiguadas	> 75

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Al ser la capacidad de buffer una medida de la capacidad de amortiguación a descensos en el nivel de pH, durante las dos campañas de monitoreo se reflejan aguas que varían en los rangos de aguas moderadamente amortiguadoras y aguas muy amortiguadoras. Durante el periodo húmedo el índice tuvo oscilaciones entre 37,6 (BR_HUM_JA_INT) y 252

(CAN_SAL_AAR). Para el periodo seco el índice varió entre 32,5 (BR_HUM_JA_INT) y 221 (CAN_SAL_AAR). Los resultados del índice de la capacidad de buffer se presentan en la Figura 314.

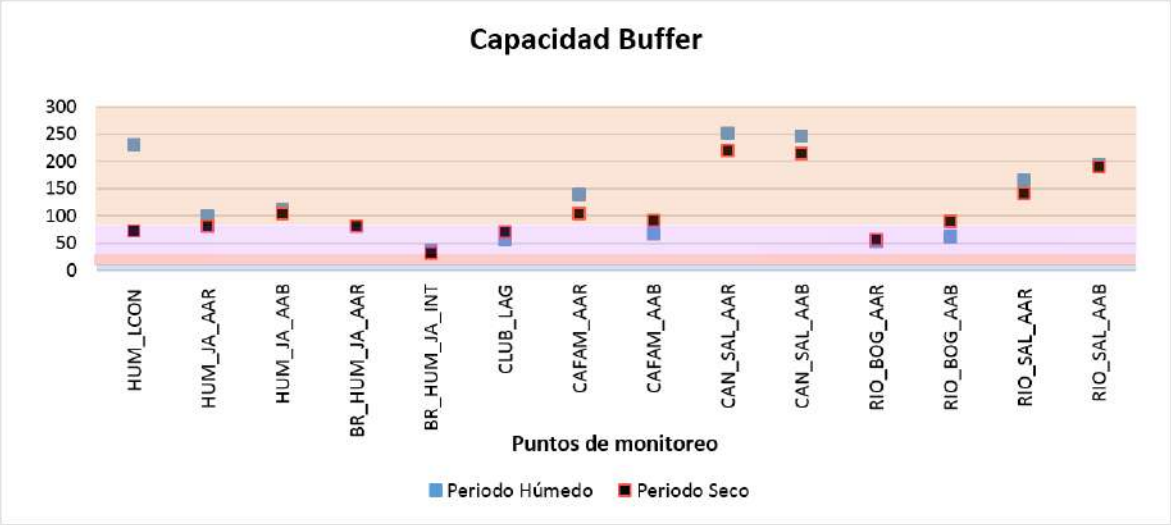


Figura 314. Resultados Capacidad Buffer
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.3.0.5. Índices de contaminación ICOs

Los índices de contaminación ICO, se emplean para evaluar el grado de contaminación del agua con respecto a determinadas variables, estos índices tienen un rango de 0 a 1, donde 0 significa contaminación nula y 1 contaminación muy alta.

Tabla 185. Contaminación del agua según los valores de índices ICO

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Contaminación	Señal de alerta
0,8 - 1	Muy alta	Rojo
0,6 - 0,8	Alta	Naranja
0,4 - 0,6	Media	Amarillo
0,2 - 0,4	Baja	Verde
0 - 0,2	Ninguna	Azul

Fuente: Centro de investigaciones en hidroinformática. (2007).

Las ecuaciones de cálculo y resultados de los índices ICO se exponen a continuación.

- **Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)**

Conformado por la demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y el porcentaje de saturación del oxígeno. Éstos en su conjunto, recogen efectos de distintas fuentes de contaminación orgánica, sin estar los unos correlacionados con los otros.

Tabla 186. Ecuaciones para el cálculo del ICOMO

Variable	Descripción
Oxígeno disuelto (OD)	$I_{Oxígeno\ \%} = (1 - 0{,}01 * oxígeno\%)$
Coliformes totales	$I_{Coliformes} = -5{,}44 + (0{,}56\ Log(coliformes\ totales))$
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)	$I_{DBO} = -0{,}05 + (0{,}7\ Log(DBO))$

Fuente: Centro de investigaciones en hidroinformática. (2007).

Los resultados del ICOMO se presentan en la Figura 315.

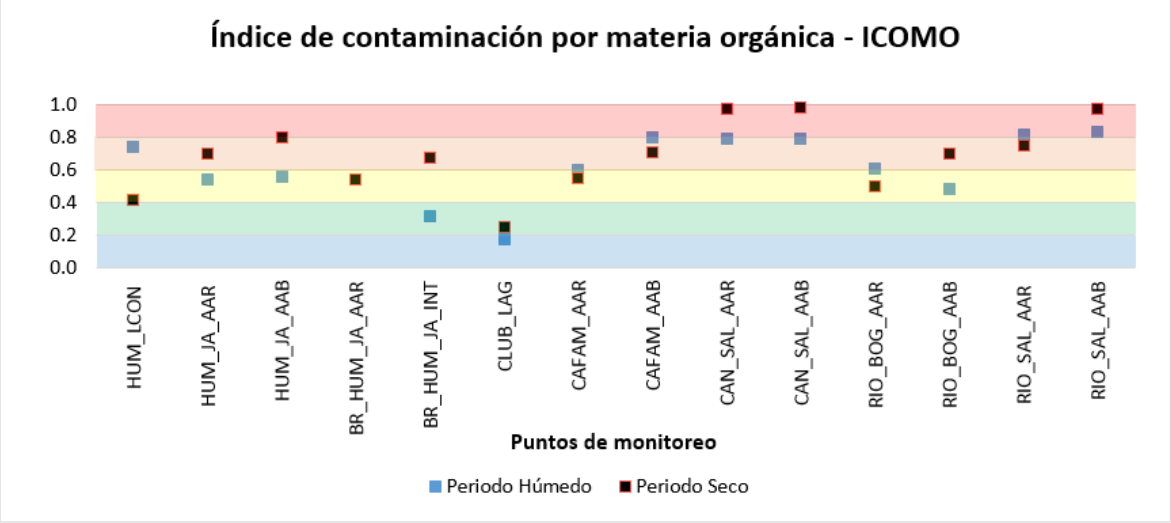


Figura 315. Resultados Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)**

Integra los siguientes parámetros: conductividad como reflejo de los sólidos disueltos, dureza por recoger los cationes de calcio y magnesio y la alcalinidad por relacionarse con los aniones de carbonatos y bicarbonatos.

Tabla 187. Ecuaciones para el cálculo del ICOMI

Variable	Ecuaciones de cálculo
Conductividad	$I_{Conductividad} = 10^{-3,26+(1,34\ Log_{10}(conductividad))}$ • $Sí\ conductividad \geq 270, entonces\ I_{conductividad} = 1$
Alcalinidad	$I_{Alcalinidad} = -0,25 + 0,005(Alcalinidad)$ • $Si\ Alcalinidad \leq 50, entonces\ I_{Alcalinidad} = 0$ • $Si\ Alcalinidad \geq 250, entonces\ I_{Alcalinidad} = 1$
Dureza total	$I_{Dureza} = 10^{-9,09+(4,4\ Log_{10}(Dureza))}$ • $Sí\ Dureza \leq 30, entonces\ I_{Dureza} = 0$ • $Sí\ Dureza \geq 100, entonces\ I_{Dureza} = 1$

Fuente: Centro de investigaciones en hidroinformática. (2007)

Los resultados del ICOMI se presentan en la Figura 316.

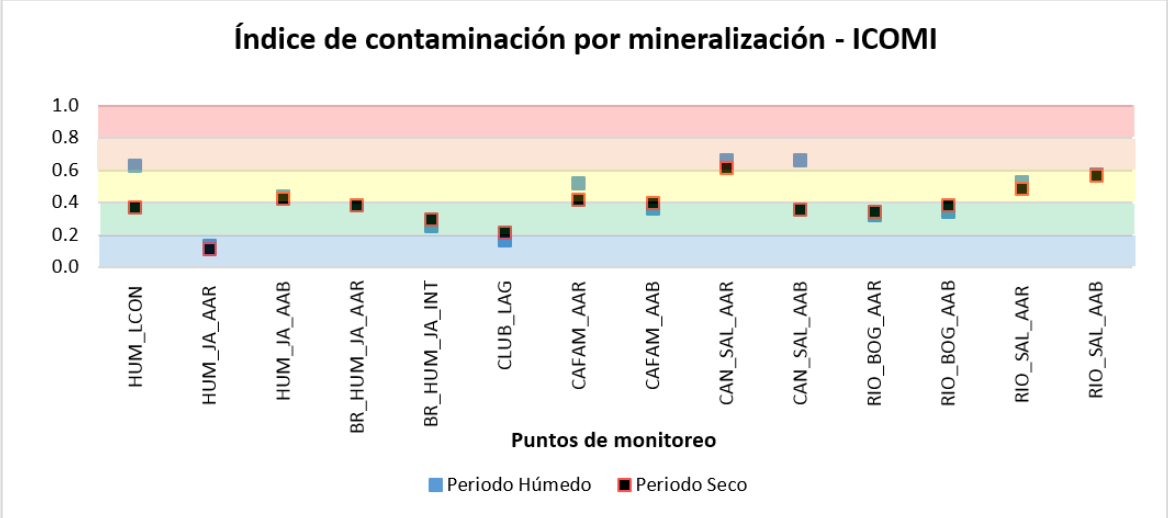


Figura 316. Resultados Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Índice de contaminación por sólidos suspendidos totales (ICOSUS)**

Hace referencia a la contaminación de sólidos suspendidos totales como compuestos inorgánicos.

Tabla 188. Ecuaciones para el cálculo del ICOSUS

Variable	Ecuaciones de cálculo
Sólidos suspendidos totales	$I_{SST} = -0{,}02 + (0{,}0003\ SST)$ • $Si\ SST \leq 10, entonces\ I_{SST} = 0$ • $Si\ SST \geq 340, entonces\ I_{SST} = 1$

Fuente: Centro de investigaciones en hidroinformática. (2007)

Los resultados del ICOSUS se presentan en la Figura 317.

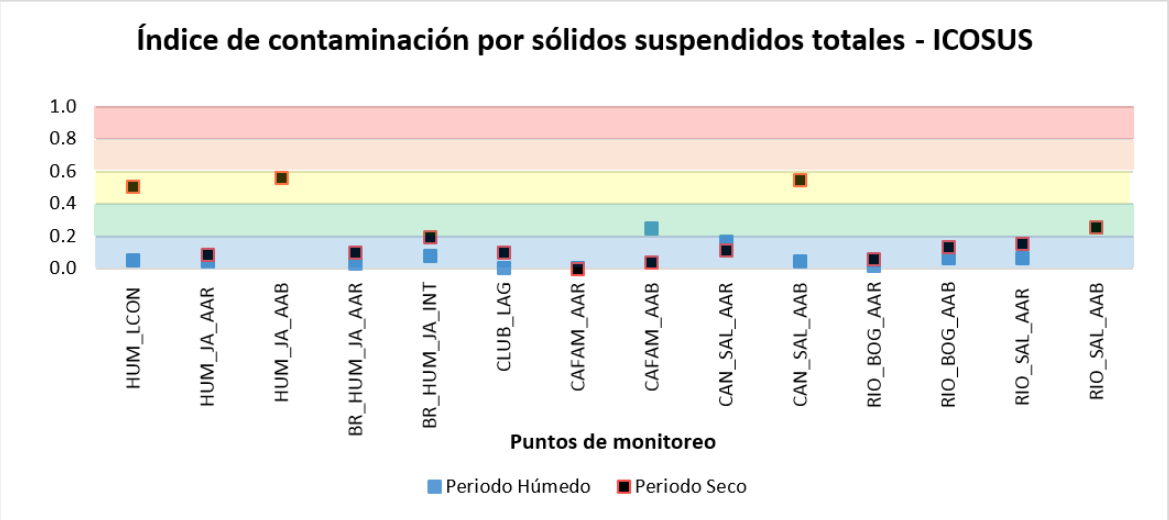


Figura 317. Resultados Índice de contaminación por sólidos suspendidos totales (ICOSUS)
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Índice de contaminación por pH (ICOpH)**

Estima el nivel de contaminación teniendo en cuenta el valor del pH.

Tabla 189. Ecuaciones para el cálculo del ICOpH

Variable	Ecuaciones de cálculo
pH	$I_{pH} = \frac{e^{-31{,}08+3{,}45\,pH}}{1 - e^{-31{,}08+3{,}45\,pH}}$

Fuente: Centro de investigaciones en hidroinformática, 2007[48]

Los resultados del ICOpH se presentan en la Figura 318.

[48] IDEAM, Centro de Investigaciones en Hidroinformática (CIH). 2007. *Informe Final Contrato 111/2007*.: Universidad de Pamplona. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020735/Informe%20Final/INFORME%20FINAL%20IDEAM.pdf

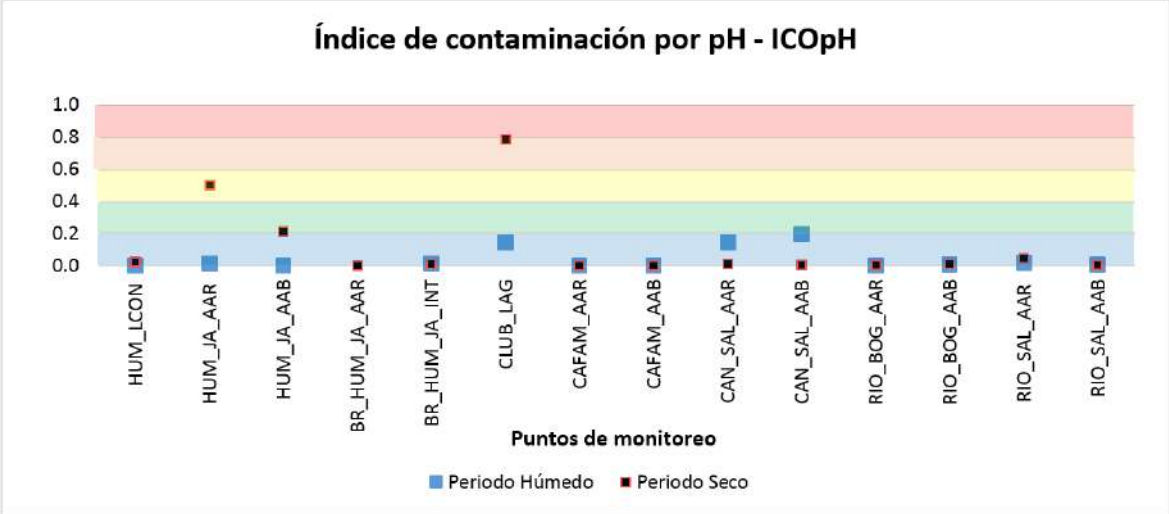


Figura 318. Resultados Índice de contaminación por pH (ICOpH)
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- **Índice de contaminación por trófia (ICOTRO)**

Hace referencia al estado trófico de un cuerpo de agua, dependiendo de la concentración de fósforo total presente en este. Para este índice de contaminación se presenta una clasificación diferente a la expuesta en la Tabla 20, la clasificación se expone en la Tabla 190.

Tabla 190. Clasificación de índice ICOTRO

Concentración de fósforo total (mg/l)	Contaminación	Señal de alerta
> 1	Hipereutrófia	Rojo
0,02 - 1	Eutrófia	Amarillo
0,01 - 0,02	Mesotrófia	Verde
0 - 0,01	Oligotrófia	Azul

Fuente: Centro de investigaciones en hidroinformática. (2007)

Es considerado como un parámetro crítico en la calidad de aguas debido a su influencia en el proceso de eutrofización.

El fósforo es un nutriente esencial para los organismos vivientes; en aguas dulces y sistemas marinos está sujeto a procesos de transformación continua que incluyen consumo o desprendimiento del elemento en sus diferentes formas o especies.

El fósforo desde la perspectiva de la calidad del agua superficial es importante dado que en ambientes naturales generalmente es escaso, por lo cual, es un nutriente limitante para el crecimiento de plantas. No obstante, es incluido en las aguas como producto de actividades antropogénicas (por ejemplo residuos de detergentes) y cuando se encuentra en altas concentraciones en el agua puede causar el fenómeno de eutroficación.

Tabla 191. Resultados Índice ICOTRO

Punto de monitoreo		Calificación Periodo Húmedo		Calificación Periodo Seco	
Humedal La Conejera	HUM_LCON	1,62	Hipereutrófia	0,54	Eutrófia
Humedal Juan Amarillo aguas arriba	HUM_JA_AAR	0,20	Eutrófia	0,21	Eutrófia
Humedal Juan Amarillo aguas abajo	HUM_JA_AAB	0,42	Eutrófia	4,38	Hipereutrófia
Brazo humedal Juan Amarillo aguas arriba	BR_HUM_JA_AAR	-	-	0,63	Eutrófia
Brazo humedal Juan Amarillo intersección	BR_HUM_JA_INT	0,05	Eutrófia	0,80	Eutrófia
Lago Club Los Lagartos	CLUB_LAG	0,77	Eutrófia	0,22	Eutrófia
Canal CAFAM aguas arriba	CAFAM_AAR	0,90	Eutrófia	0,56	Eutrófia
Canal CAFAM aguas abajo	CAFAM_AAB	1,19	Hipereutrófia	0,05	Eutrófia
Canal Salitre aguas arriba	CAN_SAL_AAR	1136	Hipereutrófia	4,98	Hipereutrófia
Canal Salitre aguas abajo	CAN_SAL_AAB	1,30	Hipereutrófia	3,92	Hipereutrófia
Río Bogotá aguas arriba	RIO_BOG_AAR	0,33	Eutrófia	0,17	Eutrófia
Río Bogotá aguas abajo	RIO_BOG_AAB	0,26	Eutrófia	0,42	Eutrófia
Río Salitre aguas arriba	RIO_SAL_AAR	2,13	Hipereutrófia	3,19	Hipereutrófia
Río Salitre aguas abajo	RIO_SAL_AAB	0,62	Eutrófia	2,67	Hipereutrófia

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.3.1. Información secundaria

De acuerdo con el POMCA para el río Bogotá, la red de monitoreo de la CAR cuenta con 81 estaciones de calidad del agua en la cuenca del río Bogotá, en las cuales se realizan dos monitoreos al año, uno en época seca y otro en época de lluvias y se analizan 30 parámetros en el laboratorio de la Corporación. (Consorcio Huitaca, 2017)

Por su parte, la Secretaría Distrital de Ambiente, desde la dirección de control ambiental, administra y opera la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB), la cual cuenta con 30 estaciones o puntos de monitoreo ubicados sobre los distintos tramos de los principales ríos que atraviesan la ciudad, incluyendo dos puntos sobre el cauce del río Bogotá, realizando caracterizaciones de parámetros físicos, químicos y microbiológicos. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2019)

A partir de la identificación de las áreas de influencia directa e indirecta del proyecto, se realizó un reconocimiento por medio de fotografías satelitales y campañas de reconocimiento en campo para establecer los cuerpos hídricos existentes en el área del proyecto objeto de estudio, y, simultáneamente, las estaciones de calidad del agua pertenecientes a las redes de monitoreo ambiental existentes. El resumen de las estaciones identificadas se presenta a continuación en la Tabla 192, la ubicación de las estaciones con respecto al proyecto se presenta en la Figura 319.

Tabla 192. Identificación de estaciones de monitoreo de calidad del agua cercanas o dentro del área de influencia del proyecto

Red de monitoreo	Nombre	Cuenca, subcuenca o cuerpo de agua	Coordenadas		Distancia con respecto al eje del proyecto (m) / orientación
			Este (m)	Norte (m)	
CAR	LM vuelta grande	Río Bogotá (corriente principal)	4874862.112	2082574.922	1744 / Suroeste
SDA	Carrefour Av. 68	Río Salitre (tramo III)*	4880233.655	2076261.950	1336 / Noreste
	Los Lagartos	Humedal Córdoba	4879434.741	2078072.215	869 / Sureste
	Transversal 91	Río Salitre (tramo IV)*	4878575.423	2079241.638	261 / Oeste
	Salitre con Alameda	Río Salitre (tramo IV)*	4875305.946	2081877.262	1913 / Sur

* Definición de tramos en el artículo 2 de la Resolución 5731 de 2008.

Fuente: POMCA. *POMCA Río Bogotá*. (2017); Índice de Calidad Hídrica, SDA. (2019).

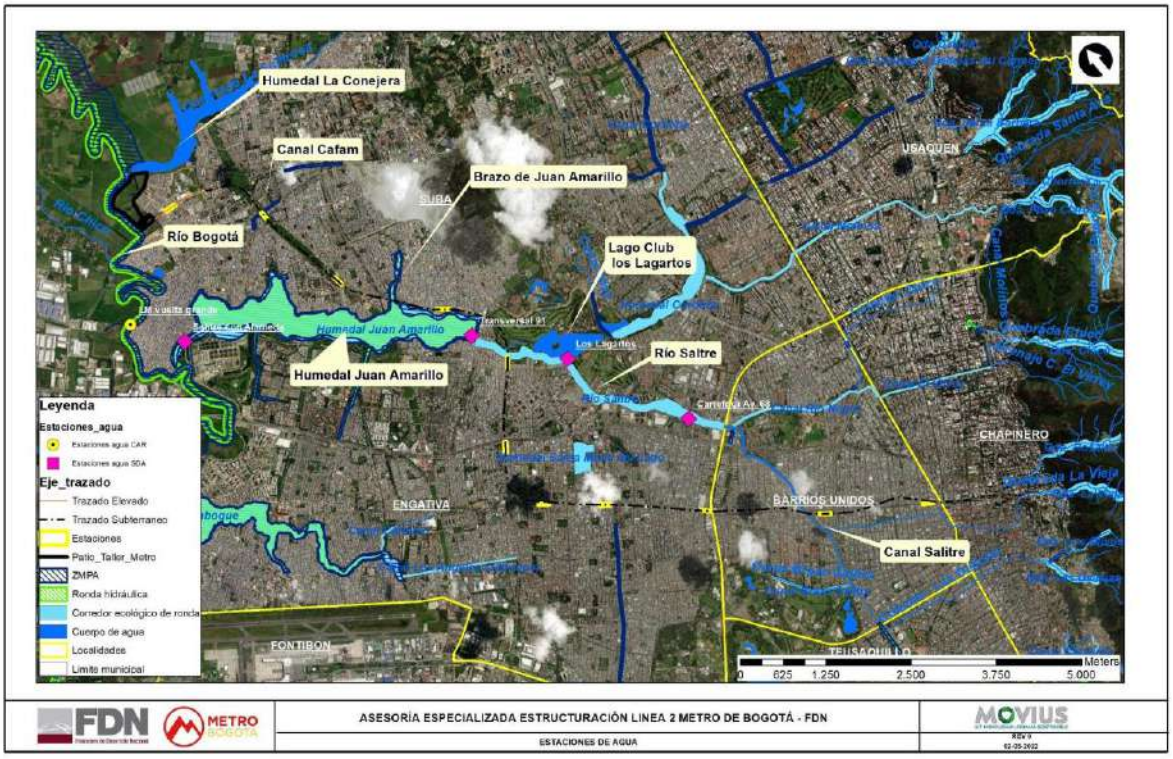


Figura 319. Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del agua con respecto al área de influencia del proyecto
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Es pertinente aclarar que no se identificaron estaciones de monitoreo de calidad del agua específicas para los cuerpos de agua del canal Salitre, brazo Juan Amarillo, humedal Juan Amarillo, canal Cafam y humedal La Conejera.

5.2.2.3.1.1. Índice de Calidad del Agua (ICA)

El indicador de calidad del agua superficial se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco variables que determinan la calidad de las aguas corrientes superficiales. Las variables son: oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), conductividad eléctrica (CE) y pH.

La fórmula general del cálculo del indicador es:

$$ICA_{njt} = \sum_{i=1}^{n} W_i \times I_{ikjt}$$

Ecuación 42. Índice de Calidad del Agua (ICA)

Donde:

ICA_{njt} = Es el índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua "j" en el tiempo "t", evaluado con base en las variables de estudio.
I_{ikjt} = Es el valor calculado de la variable "i" (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo "j", registrado durante la medición realizada en el trimestre "k", del periodo de tiempo "t".

W_i = Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad "i".

n = Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad "i".

Para cada una de las variables se construye una "relación funcional" o "curva funcional" (ecuación) en la que los niveles de calidad de 0 a 1 se representan en las ordenadas de cada gráfico, mientras que los distintos niveles (o intensidades) de cada variable se disponen en las abscisas, trazando en cada gráfico una curva que represente la variación de la calidad del agua respecto a la magnitud de cada contaminante. (Consorcio Huitaca, 2017)

Para el cálculo del valor de cada variable, el procedimiento general consiste en ingresar el valor que, en una determinada medición haya registrado la variable de calidad "i", en la curva funcional correspondiente y estimar el valor de I_{ikjt}.

A continuación, se presentan las ecuaciones de referencia para cada una de las variables:

Tabla 193. Ecuaciones para el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Variable	Descripción
Oxígeno Disuelto (OD)	Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas y se calcula de la siguiente manera: $$I_{OD} = 1 - \left(1 - (0{,}01 \times PS_{OD})\right)$$ Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%. $$I_{OD} = 1 - \left((0{,}01 \times PS_{OD}) - 1\right)$$ Ecuación 43. Subíndice para la variable Oxígeno Disuelto (OD) Donde: PS_{OD} = Es el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y se calcula de acuerdo con la siguiente expresión: $$PS_{OD} = \frac{O_x \times 100}{C_p}$$ O_x = Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/l) asociado a la elevación, caudal y capacidad de reoxigenación. C_p = Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación.

Variable	Descripción
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	La presencia de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente. Dicha presencia puede estar relacionada con procesos erosivos, vertimientos industriales, extracción de materiales y/o disposición de escombros. (Tiene una relación directa con la turbiedad). El subíndice de calidad para los sólidos suspendidos totales se calcula de la siguiente manera: $I_{SST} = 1 - \left(-0{,}02 + (0{,}003 \times SST)\right)$ Ecuación 44. Subíndice para la variable Sólidos Suspendidos Totales (SST) $Si\ SST \leq 4{,}5, entonces\ I_{SST} = 1$ $Si\ SST \geq 320, entonces\ I_{SST} = 0$
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	La Demanda Química de Oxígeno (DQO) refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas en condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica. El subíndice de calidad para la Demanda Química de Oxígeno se calcula de la siguiente manera: $I_{DQO} = 0{,}91\ (Si\ DQO \leq 20)$ $I_{DQO} = 0{,}71\ (Si\ 20 < DQO \leq 25)$ $I_{DQO} = 0{,}51\ (Si\ 25 < DQO \leq 40)$ $I_{DQO} = 0{,}26\ (Si\ 40 < DQO \leq 80)$ $I_{DQO} = 0{,}12\ (Si\ DQO > 80)$ Ecuación 45. Subíndice para la variable Demanda Química de Oxígeno (DQO)
Conductividad Eléctrica (CE)	Esta variable está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en la forma química, refleja la mineralización y se calcula como se muestra a continuación: $I_{CE} = 1 - 10^{\left(-3{,}26 + \left(1{,}34 \times Log_{10}(CE)\right)\right)}$ Ecuación 46. Subíndice para la variable Conductividad Eléctrica (CE) $Cuando\ I_{CE} < 0,\ entonces\ I_{CE} = 0.$
pH	Esta variable mide la acidez, valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuáticas. $I_{pH} = 0{,}1\ (Si\ \text{pH} < 4)$ $I_{pH} = 0{,}02628419 \times e^{(pH \times 0{,}520025)}\ (Si\ 4 \leq \text{pH} \leq 7)$ $I_{pH} = 1\ (Si\ 7 < \text{pH} \leq 8)$ $I_{pH} = 1 \times e^{[(pH-8)-0{,}5187742]}\ (Si\ 8 < \text{pH} \leq 11)$ $I_{pH} = 0{,}1\ (Si\ \text{pH} > 11)$ Ecuación 47. Subíndice para la variable pH

Fuente: POMCA. *POMCA Río Bogotá*. (2017); Índice de Calidad Hídrica, SDA. (2019).

Tabla 194. Variables de cálculo y ponderación

Variable	Unidad de medición	Ponderación (%)
Oxígeno Disuelto (OD)	% de saturación	20
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	20
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	20
Conductividad Eléctrica (CE)	µS/cm	20
pH	Unidades de pH	20

Fuente: POMCA. *POMCA Río Bogotá*. (2017); Índice de Calidad Hídrica, SDA. (2019).

El indicador es comparado y clasificado a través de un código de colores que permite emitir señales de alerta, según el nivel de contaminación del cuerpo hídrico, como se muestra en la Tabla 195.

Tabla 195. Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA

Categoría de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 - 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 - 0,50	Mala	Naranja
0,51 - 0,70	Regular	Amarillo
0,71 - 0,90	Aceptable	Verde
0,91 - 1,00	Buena	Azul

Fuente: POMCA. *POMCA Río Bogotá*. (2017); Índice de Calidad Hídrica, SDA. (2019).

Como ya se mencionó con anterioridad, la única estación perteneciente al cauce principal del río Bogotá corresponde a la estación denominada LM vuelta grande, perteneciente a la red de monitoreo administrada y operada por la CAR, cuyos resultados históricos del ICA se mostrarán más adelante. Por otro lado, con respecto a las estaciones de monitoreo de la RCHB, particularmente para las estaciones de la subcuenca del río Salitre, se tendrá en cuenta la siguiente consideración.

Tabla 196. Objetivos de Calidad (OC) para los tramos del canal Salitre

Variable determinante de calidad	Unidad de medición	Subcuenca del río Salitre	
		Tramo III	Tramo IV
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/l	0,5	0,5
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	150	150
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	350	350

Variable determinante de calidad	Unidad de medición	Subcuenca del río Salitre	
		Tramo III	Tramo IV
Demanda Bioquímica de Oxígeno medida a los 5 días (DBO5)	mg/l	150	150
pH	Unidades de pH	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
Grasas y Aceites	mg/l	30	30
Sustancias Activas al Azul de Metileno (Tensoactivos)	mg/l	3,0	3,0
Fósforo Total (P_{Total})	mg/l	6,0	6,0
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1,0 E+06	1,0 E+06
Nitrógeno Total (N_T Kjeldahl + NO_3 + NO_2)	mg/l	40	40

Fuente: Resolución 5731 de 2008.

5.2.2.3.1.2. Resultados históricos del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Para el cálculo del ICA en la cuenca del río Bogotá, se siguió la metodología de cálculo anteriormente descrita a partir de la información de calidad adquirida de las diferentes redes de monitoreo tanto para época seca como para época de lluvias, a lo largo del cauce principal entre el primer semestre del año 2007 y el primer semestre del año 2014, estas campañas de monitoreo estuvieron a cargo del laboratorio ambiental de la CAR (Consorcio Huitaca, 2017). A partir del segundo semestre de 2014 se tomaron los datos reportados por la CAR en los boletines del índice de calidad del agua en corrientes superficiales "ICA" emitidos por la CAR (entre el segundo semestre del 2014 y el segundo semestre de 2016). (*POMCA Río Bogotá*. 2017).

La estación en consideración (LM vuelta grande), pertenece a la cuenca media del río Bogotá. A continuación, se presentan los resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA) para la estación de monitoreo y el análisis de los objetivos de calidad para cada una de las variables. La abreviatura "C" representa que el valor medido cumplió el objetivo de calidad, mientras que la abreviatura "NC" significa que no se cumplió.

En general, a partir del análisis histórico de mediciones, se evidencia que la tendencia de las condiciones de calidad identificadas en esta estación es predominantemente MALA, con leves variaciones ocasionales que inciden en que las condiciones cambien de calificación a REGULAR. Las variables que contribuyen al resultado desfavorable corresponden a los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Coliformes Totales. La Figura 320 muestra la tendencia de los resultados históricos.

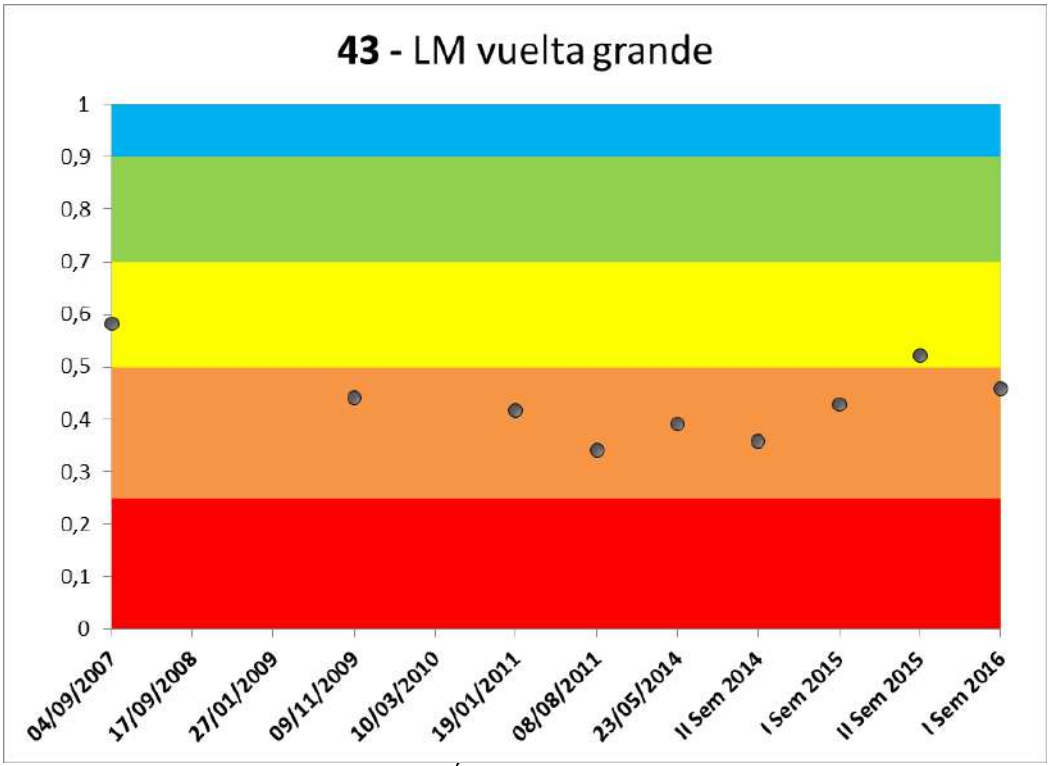


Figura 320. Tendencia histórica de los resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA) para la estación LM vuelta grande
Fuente: POMCA. *POMCA Río Bogotá*. (2017)

Tabla 197. Resultados históricos del Índice de Calidad del Agua (ICA) para la estación LM vuelta grande

Fecha de monitoreo	DBO	SST	OD	CT	Nitratos	Nitritos	pH
	Valor de referencia						
	50	40	NA	20000		10	4,5 - 9,0
04/09/2007	C	C	NA	C		C	C
17/09/2008	C	C	NA	C		C	C
27/01/2009	C	NC	NA	C		C	C
09/11/2009	C	C	NA	NC		C	C
10/03/2010	C	NC	NA	NC		C	C
19/01/2011	C	C	NA	NC		C	C
08/08/2011	C	C	NA	C		C	C

Fecha de monitoreo	DBO	SST	OD	CT	Nitratos	Nitritos	pH
	Valor de referencia						
	50	40	NA	20000		10	4,5 - 9,0
23/05/2014	C	C	NA	NC		C	C
16/09/2014	C	C	NA	NC		C	C
16/03/2015	C	C	NA	NC		C	C

Fuente: POMCA. *POMCA Río Bogotá*. (2017)

Para los puntos de monitoreo de la RCHB y el cálculo de los índices de la calidad del agua se ejecutaron 6 monitoreos en cada una de las estaciones de la subcuenca del río Salitre. A partir de los datos reportados, se realizaron los análisis estadísticos y se determinaron 24 valores atípicos, que corresponden al 6,7% de los datos obtenidos. Para el tramo III de este río (estaciones Calle 53 y Carrefour Av. 68) el 92,5 % de los datos fueron validados para un total de 111 datos y para el tramo IV (estación Salitre con Alameda) se validó el 95,6% de los 180 datos que se tenían, correspondiente a 172 datos validados y 8 atípicos. (Índice de Calidad Hídrica, SDA. 2019)

Para el tramo III del río Salitre, sólo 1 de los 10 determinantes (pH) cumple con la totalidad de los valores con relación al valor objetivo, los 8 de los 9 determinantes restantes incumplieron con un mínimo de 3 datos, para un total de 27 datos que superan los objetivos de cumplimiento, lo que corresponde al 24,3 % de los 111 datos validados.

En el tramo III del río Salitre, con respecto al porcentaje de datos que incumplen los objetivos de control, evidencia la afectación por contribución en descargas de aguas residuales derivadas de las estructuras de alivio del sistema de alcantarillado combinado localizadas en este tramo del río. Las tres variables que más incidieron en la clasificación fueron Oxígeno Disuelto (OD), Grasas y Aceites y Sustancias Activas al Azul de Metileno (Tensoactivos), mientras que la DBO5 y DQO fueron los determinantes de calidad de agua que presenta una mayor frecuencia en el incumplimiento del valor objetivo. (Índice de Calidad Hídrica, SDA. 2019)

Se infiere que la estación de monitoreo con el mayor aporte de excedentes en los objetivos de cumplimiento es Carrefour Av. 68, con un porcentaje de incumplimiento del 46,6% correspondiente a 27 datos del total de los 58 validados en esta estación. A continuación, se muestran los resultados agrupados para las estaciones de monitoreo pertenecientes al tramo III del río Salitre.

Tabla 198. Resultados de cumplimiento de variables determinantes en el tramo III de la subcuenca del río Salitre

Variable determinante de calidad	Número de datos que no cumplen los objetivos de cumplimiento	Porcentaje de datos que no cumplen los objetivos de cumplimiento
Oxígeno Disuelto (OD)	3	33
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	3	25
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	4	33
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	4	33

Variable determinante de calidad	Número de datos que no cumplen los objetivos de cumplimiento	Porcentaje de datos que no cumplen los objetivos de cumplimiento
pH	0	00
Grasas y Aceites	3	27
Sustancias Activas al Azul de Metileno (Tensoactivos)	3	27
Fósforo Total (P_{Total})	1	09
Coliformes fecales	3	30
Nitrógeno Total (N_T Kjeldahl + NO_3 + NO_2)	3	27

Fuente: Índice de Calidad Hídrica, SDA. (2019).

Para el tramo IV del río Salitre se obtuvo que para los 171 datos validados, el 28,7 %, correspondiente a 49 datos, superan los valores determinados como objetivos de calidad. En este tramo se tiene que los determinantes de calidad que presentaron mayor frecuencia de incumplimiento fueron Oxígeno Disuelto (OD) y Coliformes Fecales, superando hasta en un 50% los valores objetivo, así mismo, la Demanda Bioquímica de Oxígeno medida a los 5 días (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrógeno Total (N_{Total}) y Sustancias Activas al Azul de Metileno (Tensoactivos) obtuvieron un incumplimiento por encima del 33 %. Los resultados asociados a la variable determinante pH se encuentran dentro de los objetivos de cumplimiento. (Índice de Calidad Hídrica, SDA. 2019)

Para las estaciones Transversal 91 y Salitre con Alameda se presenta un incumplimiento del 8,19 % y 4,68 % respectivamente.

Para el caso específico del pH, el 100% de los datos en las estaciones (Carrefour Av. 68, Transversal 91 y Salitre con Alameda) estuvieron dentro del rango de referencia establecido como objetivo de calidad para este determinante. En términos de frecuencia, se establece que el determinante que presentó una mayor afectación fue coliformes fecales, incumpliendo los objetivos de cumplimiento en 11 datos de los 16 del tramo IV, lo que representa el 69 %. Del incumplimiento, en cuanto al Oxígeno Disuelto (OD), el 50 % de los datos no cumplen con los objetivos de cumplimiento, los cuales se midieron en las estaciones Carrefour Av. 68 y Transversal 91 (7 datos de los 14 validados). (Índice de Calidad Hídrica, SDA. 2019)

En general, se infiere que en los tramos III y IV las descargas que se presentan sobre el cauce del río Salitre tienen un alto contenido de sustancias de origen orgánico, relacionado directamente con aguas residuales predominantemente domésticas.

Tabla 199. Resultados de cumplimiento de variables determinantes en el tramo IV de la subcuenca del río Salitre

Variable determinante de calidad	Número de datos que no cumplen los objetivos de cumplimiento	Porcentaje de datos que no cumplen los objetivos de cumplimiento
Oxígeno Disuelto (OD)	7	50

Variable determinante de calidad	Número de datos que no cumplen los objetivos de cumplimiento	Porcentaje de datos que no cumplen los objetivos de cumplimiento
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	3	18
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	6	35
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	6	35
pH	0	00
Grasas y Aceites	3	17
Sustancias Activas al Azul de Metileno (Tensoactivos)	6	33
Fósforo Total (P_{Total})	1	06
Coliformes fecales	11	69
Nitrógeno Total (N_T Kjeldahl + NO_3 + NO_2)	6	33

Fuente: Índice de Calidad Hídrica, SDA. (2019).

Con las mediciones en campo y el análisis de los resultados se podrá comparar la información secundaria recopilada y plasmada en este documento.

5.2.2.4. Usos del agua

El eje del sistema hídrico de la ciudad de Bogotá D.C., cuenta con tres grandes ríos que dividen la ciudad básicamente en tres cuencas de drenaje; Salitre, Fucha y Tunjuelo, siendo estos los cauces mayores que nacen en los cerros orientales recibiendo las aguas de varias quebradas creándose así por su confluencia.

La presente caracterización se ha llevado a cabo mediante la revisión de información secundaria proveniente de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá (ORARBO) y el Instituto de Estudios Urbanos de la Universidad Nacional.

Se hace la aclaración, de que a pesar de los cuerpos de agua o cauces que se encuentren, no se generará área de influencia con relación al proyecto, a razón de que el trazado del metro es subterráneo. En otras palabras, no hay intervención en la fuente con respecto a la línea 2 del metro, por lo tanto no se generarán conflictos sobre la disponibilidad y usos de agua.

Sin embargo en el 5.2.2.1.11. Identificación de sistemas lénticos y lóticos, se presenta el inventario de las fuentes superficiales del proyecto.

5.2.2.4.1. Consumo de agua subterránea

Gran parte del Distrito Capital presenta altos excedentes de agua indicando que el Distrito tiene un nivel medio – bajo de extracción del orden del 33,4 % de su recarga anual. El sector industrial consume el 70 % de la extracción de agua subterránea.

Tabla 200. Volumen de consumo de agua subterránea

Año	Volumen de Aguas Subterráneas Consumidas Total en el Área Urbana VAS (m^3/año)
2012	4 427 368
2013	3 940 531
2014	3 842 100
2015	3 820 981
2016	3 223 530

Fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá.

En la sabana de Bogotá, el agua subterránea surte a los sectores agrícola, ganadero e industrial, sistemas de acueducto y otras actividades. El desarrollo económico y social en la sabana de Bogotá conlleva al incremento de la población, al igual que al aumento y diversificación de las actividades antrópicas, conllevando al riesgo de sobreexplotación y contaminación de los acuíferos.

De acuerdo con la Secretaria Distrital de Ambiente, en Bogotá hay 489 pozos registrados, de los cuales 68 se encuentran inmersos dentro del área de influencia del proyecto. En la Tabla 201 se presenta el inventario de estos puntos de agua, indicando su localización geográfica, nombre del predio y tipo de captación.

Tabla 201. Inventario de puntos de agua subterránea en el área de influencia del proyecto

Número de expediente	Nombre del predio	Coordenadas		Tipo de captación
		Norte (m)	Este (m)	
DM-01-2002-493	Carwash Osaka 53	104824,90	101471,44	Pozo Profundo
DM-01-1997-1077	Lava Autos Calle 63	106195,00	99960,00	Pozo Profundo
DM-08-05-1001	Lavateca Colombia	106280,00	101370,00	Aljibe
DM-01-97-148	Autoservicio Avenida Ciudad De Quito	106408,00	99957,00	Pozo Profundo
DM-01-02-934	Washmar	106518,90	101085,73	Pozo Profundo
SDA-01-2013-151	Marriott Calle 73	106724,35	102459,06	Pozo Eyector
DM-01-97-280	Serviautos San Felipe	106723,00	101084,00	Pozo Profundo
DM-01-99-03	Central De Servicios Peñuela Melo	106841,40	101507,89	Aljibe
No Tiene	Autolavado De La 70	106948,70	101223,55	Pozo Profundo
DM-01-97-1050	Monasterio De La Visitación	107056,02	102201,71	Pozo Profundo
DM-01-2004-156	Carlos Pineda	107100,00	101120,00	Aljibe
DM-01-2005-521	Lava Autos El Duque	107288,02	101679,59	Pozo Profundo
DM-01-04-1663	Artesanías De Colombia	107389,31	99110,52	Pozo Profundo
DM-01-97-1203	Alvaro Javier Padilla	107766,62	100545,19	Pozo Profundo
No Tiene	Autolavado La 72 No. 2	107838,00	100570,00	Pozo Profundo
No Tiene	Cafeteria La 72 No. 1	107846,00	100564,00	Aljibe
DM-01-97-1209	Gustavo Elias Velosa	108088,00	101189,00	Pozo Profundo
No Tiene	Sd Integración Social	108143,44	99600,04	Aljibe
DM-01-97-290	Autolavado Acuario	108907,50	100488,50	Pozo Profundo
No Tiene	Multicentro Jose Pinilla	109026,44	97974,83	Pozo Profundo
DM-01-1997-330	Fandiño Guarin	109251,80	97401,72	Pozo Profundo
DM-01-1997-395	Autolavado El Pastuso	109323,75	97467,72	Pozo Profundo

Número de expediente	Nombre del predio	Coordenadas		Tipo de captación
		Norte (m)	Este (m)	
DM-01-97-1023	Autoservicio Chico	109529,25	103719,80	Pozo Profundo
DM-01-97-549	Proturismo	109528,94	98218,46	Pozo Profundo
SDA-01-11-2740	Imd Autopartes	109734,00	99133,00	Aljibe
DM-01-2004-155	Jose Felipe Leon	109783,36	99030,61	Aljibe
DM-01-2007-1709	Autolavado Rapidol	110180,24	98786,45	Pozo Profundo
DM-01-1997-470	Alimentos El Jardin	110213,00	95746,96	Pozo Profundo
DM-01-97-334	El Morichal	110360,00	100370,00	Pozo Profundo
DM-01-99-06	Tintorería El Dorado	110457,89	95727,20	Pozo Profundo
DM-01-1997-277	Autolavado Beto	110487,57	97645,91	Pozo Profundo
DM-01-98-24	Lavautos Uno A	110576,00	96735,00	Pozo Profundo
DM-01-97-411	Galaxia Ltda	110629,90	98465,60	Pozo Profundo
DM-01-CAR-4932	Meals	110870,80	100007,50	Pozo Profundo
DM-01-97-524	Multiservicios Avenida Ciudad De Cali	110930,38	96735,58	Pozo Profundo
DM-01-99-13	Lutransa Y Cia Ltda	111100,00	100340,00	Pozo Profundo
DM-01-04-449	Parqueadero Colturex Ltda	111120,00	97920,00	Aljibe
DM-01-1997-754	Autolavado Dafan	111133,00	102427,00	Pozo Profundo
DM-01-99-18	Victor Julio Rangel	111127,00	96906,00	Pozo Profundo
DM-01-97-1243	Jorge Hermes Carreño	111291,80	100132,45	Pozo Profundo
DM-01-97-412	Autolavado Los Tios	111340,00	97970,00	Pozo Profundo
DM-01-00-137	Loc-Lavadero Gina	111475,36	97737,16	Pozo Profundo
DM-01-CAR-3688	Agustiniano No. 1	111610,00	100591,00	Pozo Profundo
DM-01-97-491	Serviautos La Estrella	111798,86	98409,15	Pozo Profundo
DM-01-97-552	Serviautos Calle 80	111967,00	96863,00	Pozo Profundo

Número de expediente	Nombre del predio	Coordenadas		Tipo de captación
		Norte (m)	Este (m)	
DM-01-1997-998	Cootransniza Ltda	111996,61	98576,41	Pozo Profundo
DM-01-97-1052	Auto Full	112150,45	102502,02	Pozo Profundo
DM-01-CAR-9362	Club Los Lagartos No. 1	112300,00	98875,00	Pozo Profundo
DM-01-CAR-9362	Club Los Lagartos No. 3 - La Raqueta	112368,40	98872,22	Pozo Profundo
DM-01-CAR-9362	Club Los Lagartos No. 2 - Hoyo 17	112692,34	99293,92	Pozo Profundo
SDA-01-08-3614	Tanque Suba - Eaab	112806,48	99307,87	Pozo Profundo
DM-01-CAR-9362	Club Los Lagartos No. 5 - Lago Matiz	112917,50	98425,60	Pozo Profundo
DM-01-CAR-9362	Club Los Lagartos No. 4	113057,10	98588,50	Pozo Profundo
DM-01-1997-281	Autolavado Iczan Car	113120,00	98729,00	Pozo Profundo
DM-01-99-05	Humedal Juan Amarillo - Eaab	113213,40	98093,14	Pozo Profundo
DM-01-03-71	Restaurante San Gabriel	113877,54	100504,96	Aljibe
No Tiene	Hacienda San Rafael	113961,61	101646,79	Aljibe
SDA-01-1997-413	Refugio La Colina	114178,62	99344,34	Pozo Profundo
DM-01-CAR-9260	Sociedad Proma Ltda No. 2	114360,00	99387,00	Pozo Profundo
DM-01-CAR-9260	Sociedad Proma Ltda	114460,94	99381,09	Pozo Profundo
DM-01-2000-461	El Diamante 2	114925,00	98925,00	Pozo Profundo
DM-01-2000-461	El Diamante 3	114925,75	98942,41	Pozo Profundo
No Tiene	Sapito Pito	115200,00	99090,00	Aljibe
DM-01-97-292	Mobil Suba Inversiones Viacar	115588,00	99223,00	Pozo Profundo
No Tiene	Aljibe El Paraíso	115932,00	98626,00	Aljibe
DM-01-CAR-9134	Autolavado El Refugio	116050,00	97400,00	Aljibe
DM-01-97-485	Estación De Servicio Tibabuyes	116150,00	97600,00	Pozo Profundo
DM-05-1999-49	Autoservicio Lombardía	116658,00	97403,00	Aljibe

Fuente: Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital (SDA).

Con respecto a la consulta de permisos de ocupación de cauce y captación de aguas superficiales, se encontró que no hay puntos establecidos dentro del área de influencia del proyecto. Esta información se confirmará y complementará por medio de visitas de reconocimiento de campo y un levantamiento de información primaria.

Contrato interadministrativo 136 de 2021
Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legales, de riesgos, técnico y financiero

Capítulo 5.2 Línea Base
Medio Abiótico
Parte 3

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-IN-001-VD

Elaborado por:

Financiera de Desarrollo Nacional

U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

Bogotá D.C.
2022

5.2.2.5. Hidrogeología

5.2.2.5.1. Condiciones geológicas

5.2.2.5.1.1. Geología regional

El proyecto de la Línea 2 del Metro de Bogotá - L2MB, se desarrolla principalmente sobre los depósitos de la Formación Sabana (Qta) de origen lacustre, los cuales conforman el relleno cuaternario de la Sabana de Bogotá localizada a una altitud de 2.600 msnm en la parte central de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos. Estos depósitos se encuentran interdigitados con los depósitos de pendiente (Qcc y Qdp) localizados en el piedemonte de los cerros orientales y en las laderas de los cerros de Suba. Así mismo hacia el río Bogotá, los depósitos lacustres se encuentran cubiertos por la llanura de inundación del río Bogotá (Qlla) y de sus principales afluentes, el curso de agua que da origen al humedal Juan Amarillo.

El depósito lacustre de la Sabana de Bogotá alcanza en la parte central un espesor mayor a 320 m como se evidencia en el pozo Funza - 2 (Torres, 2006). Se encuentra discordantemente sobre un basamento sedimentario representado por una secuencia de rocas de origen marino, transicional y continental con edades entre el Cretácico y el Terciario (Paleógeno y Neógeno). Estas rocas afloran tanto en los cerros que rodean la Sabana de Bogotá así como en los que se encuentran a su interior, encontrándose intensamente plegadas y falladas en un marco de esfuerzos compresivos, Figura 321.

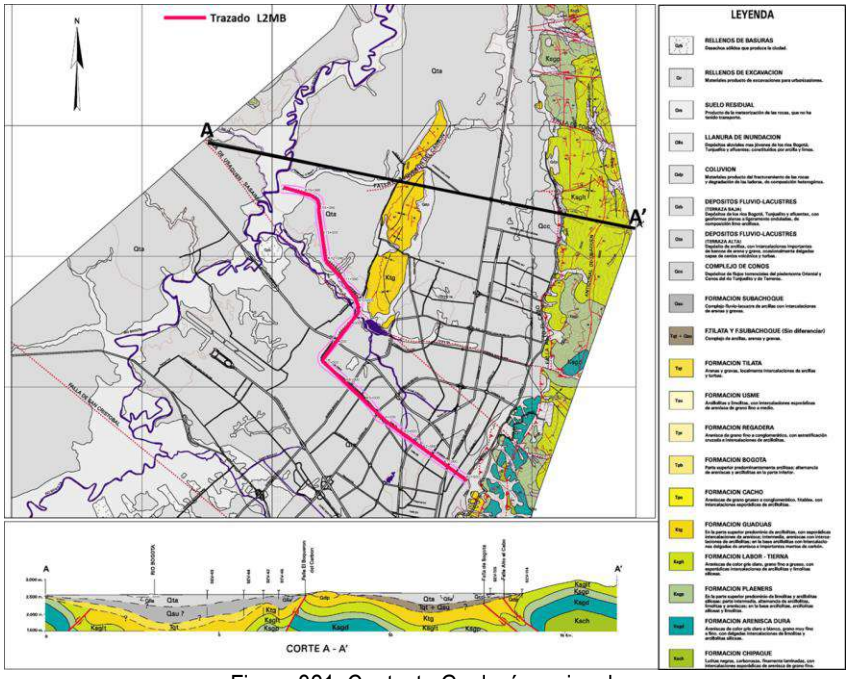


Figura 321. Contexto Geología regional.
Fuente: Tomado de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá. Modificado UT MOVIUS, 2022

En los cerros que bordean la Sabana de Bogotá, afloran rocas con edades del Cretácico superior, Paleógeno y Neógeno diferenciadas en las formaciones Arenisca Dura (Ksgd), Plaeners (Ksgp) y Labor-Tierna (Ksglt) del Grupo Guadalupe, así como las formaciones Guaduas (Ktg), Cacho (Tpc), Bogotá (Tpb), Regadera (Tpr) y Usme (Tsu). De estas unidades litológicas en el trazado del túnel de la L2MB, se identifican la Formación Guaduas en los cerros de Suba y la Formación Bogotá bajo el túnel al inicio del abscisado, cerca de la carrera 13 con calle 72.

La secuencia de rocas sedimentarias Terciarias y Cretácicas que conforman el basamento de la cuenca de la Sabana de Bogotá, se encuentran plegadas y falladas como consecuencia de la tectónica compresiva que dio origen a la Cordillera Oriental. En este contexto se identifican dos tendencias estructurales:

El tren estructural principal de dirección general NE a NNE, en el cual se identifican anticlinales estrechos y sinclinales amplios, en general limitados por fallas de cabalgamiento paralelas a los ejes de los pliegues, que facilitan la repetición de la secuencia estratigráfica de rocas cretácicas y cenozoicas como se ha indicado. Este es el caso de las fallas de Bogotá y Alto El Cabo en los cerros orientales, y fallas de Subachoque y el Porvenir (Montoya & Reyes, 2005) como localizadas por fuera del área del proyecto L2MB.

Un segundo tren estructural en la Sabana de Bogotá, está definido por fallas transversales de dirección NW con desplazamiento lateral izquierdo y componente inversa. La Falla de Facatativá es de este estilo y es reportada en las cartografías geológicas de Ulloa et al (1998) y Montoya & Reyes (2005). Paralelamente a esta estructura se tiene la Falla de Usaquén - Sasaima reportada en la microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá (INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997).

La intersección de estas dos tendencias estructurales (plegamientos y cabalgamientos de dirección NE a NNE y fallas NW) aproximadamente perpendiculares, da lugar a la división del substrato terciario y cretácico en una serie de bloques con movimientos diferenciales entre ellos, originando una serie de “horst y graben” donde la zona de horst corresponde a las áreas de relieves altos y la zona de graben con la llanura de la Sabana de Bogotá, Figura 321.

5.2.2.5.2. Estratigrafía

El proyecto de la L2MB discurre en su gran mayoría sobre los depósitos de la Sabana de Bogotá de origen lacustre denominados Formación Sabana (Qta) y los depósitos de la llanura de inundación (Qlla) del río Bogotá y su principal afluente en la zona de interés que forma el humedal Juan Amarillo. No obstante, hacia los cerros de Suba afloran rocas sedimentarias del límite Cretácico - Terciario correlacionadas con la Formación Guaduas. Para las unidades pre-Cuaternarias en la Sabana de Bogotá se presenta la correlación estratigráfica regional de la Figura 322.

La nomenclatura estratigráfica usada en este estudio proviene principalmente de las cartografías geológicas del Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS), en especial la Plancha 227 - La Mesa (Ulloa et al, 1998) a escala 1:100000 y el Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá a escala 1:50000 del Proyecto Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá (INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997).

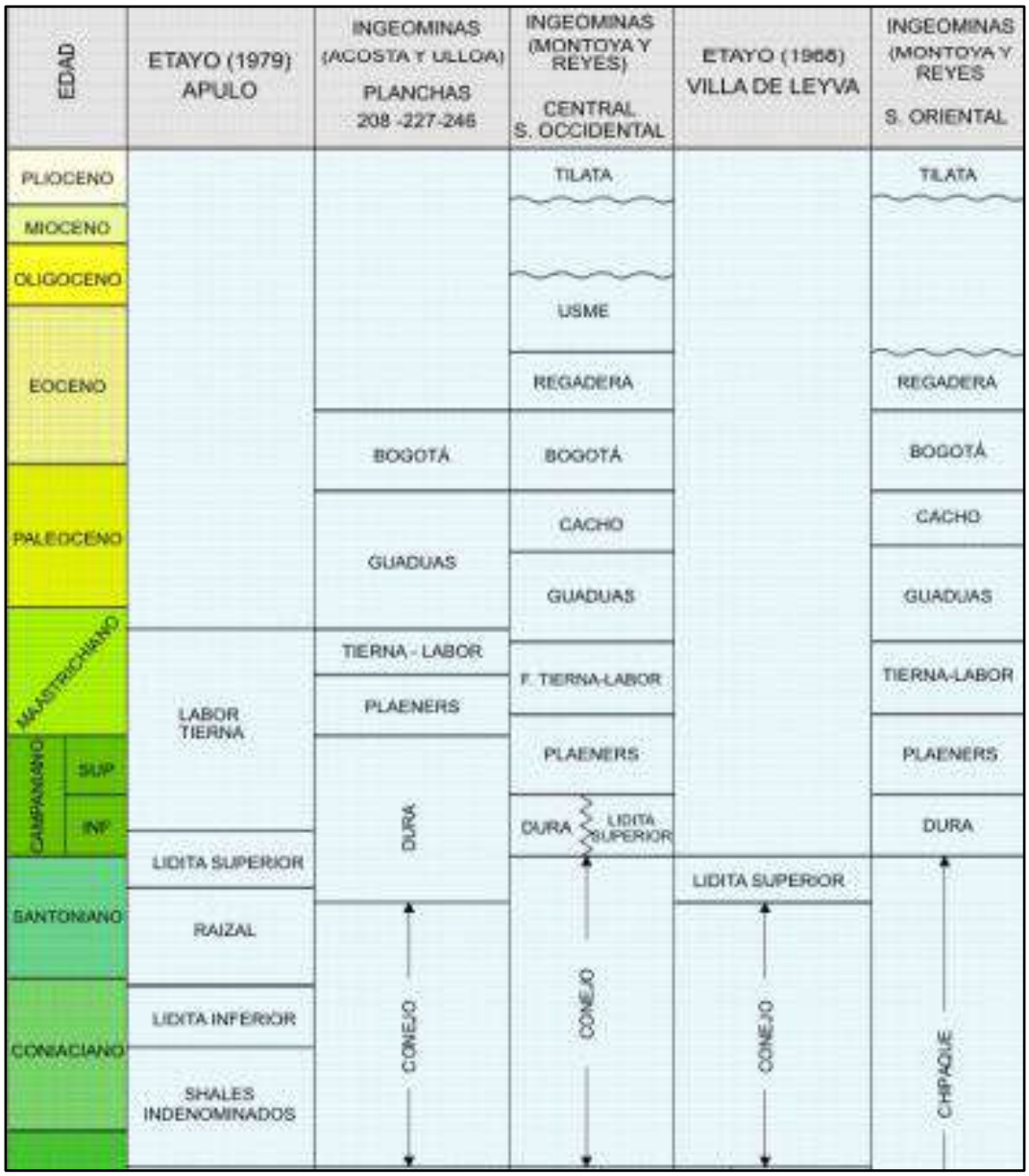


Figura 322. Correlación regional de las unidades del cretácico al neógeno en área del proyecto
Fuente: Geología de la Sabana de Bogotá (Montoya & Reyes, 2005).

5.2.2.5.2.1. Cretácico

- Grupo Guadalupe

- Formación Arenisca Dura (Ksgd)

La Formación Arenisca Dura es la unidad litoestratigráfica inferior del Grupo Guadalupe. Su base está marcada por la aparición de potentes capas de cuarzoarenita, inmediatamente encima de las lodolitas y limolitas infrayacentes correlacionables con la Formación Conejo.

Esta unidad litológica consiste de cuarzoarenitas de grano fino, en capas que varían entre muy delgadas y muy gruesas, lenticular a plano paralelas. Intercaladas, ocurren limolitas de cuarzo, ligeramente silíceas, de estratificación delgada a muy delgada. La laminación es fundamentalmente ondulada, no paralela, a veces discontinua, afectada por bioturbación, rara vez cruzada. La redondez de los granos de cuarzo en las arenitas es buena, al igual que su selección textural y composicional.

Esta unidad litológica hace parte del contexto geológico regional conformando los cerros orientales de la Sabana de Bogotá, así como los cerros que limitan esta cuenca hacia el flanco occidental de la Cordillera Oriental, al occidente de los municipios de Facatativá, El Rosal y Subachoque.

- Formación Plaeners (Ksgp)

Esta unidad se caracteriza por la presencia de liditas, con delgadas intercalaciones de lodolitas, arcillolitas y areniscas de grano muy fino laminadas, comúnmente silíceas. La estratificación es paralela en capas muy delgadas a delgadas. La roca fresca es gris, con abundantes foraminíferos y escasa bioturbación.

Como la Formación Plaeners se encuentra estratigráficamente por encima de la Formación Arenisca Dura, aflora de manera general en los mismos sectores, especialmente en los cerros orientales de la Sabana de Bogotá de los municipios de Bojacá, Facatativá, El Rosal y Subachoque, sin aflorar en superficie ni en profundidad en el área del proyecto L2MB

- Formación Arenisca Labor y Tierna (Ksglt)

Se compone de areniscas de grano fino, arcillosas, compactas, separadas por capas finas de arcillolitas. En la parte inferior de la formación las areniscas son de grano fino, arcillosas, grisáceas a blancas. Ocurren en bancos gruesos, separados por finas capas de arcillolitas blancas. La parte intermedia de la formación consta de una intercalación de estratos de espesor aproximadamente igual entre areniscas, lodolitas y arcillolitas. Las areniscas son arcillosas, de grano fino a medio y aún grueso, de color blanco a pardo amarillento. En la parte superior de la formación, las areniscas son arcillosas, con estratificación gruesa y compactación variable. Son de color blanco a pardo amarillento, de grano medio a grueso. Se infiere que la Formación Tierna se encuentra separada de la Formación Labor por 19 m de lodolitas y arcillolitas.

Como las otras dos formaciones del Grupo Guadalupe, la Formación Labor y Tierna hace parte del contexto geológico regional conformando los cerros orientales de la Sabana de Bogotá, al este del proyecto L2MB, así como en algunos sectores de los municipios ubicados al suroccidente, occidente y norte del trazado, pero sin aflorar sobre éste. Ver Fotografía 56



Fotografía 56. Afloramiento Areniscas de la Formación Arenisca Labor y Tierna. Avenida Carrera 7 en la Calle 183
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- Formación Guaduas (Ktg)

La unidad consta en general de arcillolitas laminadas a no laminadas, de color gris claro a abigarradas, con intercalaciones de cuarzoarenitas grises, de grano medio a fino y algunas capas de carbón. Restos de hojas son comunes a lo largo de la secuencia, mientras que los foraminíferos sólo se han hallado en su base.

Esta unidad litológica hace parte del contexto geológico regional para el proyecto L2MB, conformando la base del piedemonte de los cerros orientales y los cerros de Suba en la ciudad de Bogotá. Ver Fotografía 57.



Fotografía 57. Afloramiento Areniscas de la Formación Guaduas (Ktg). Sector Club Los Lagartos
Fuente: UT MOVIUS, 2022

5.2.2.5.2.2. Terciario

- Formación Cacho (Tpc)

Unidad litológica constituida por areniscas friables de grano medio a conglomeráticas, en capas muy gruesas y bancos de areniscas de grano medio, de buena selección o en ocasiones conglomeráticas (hasta gránulo) que definen lentes; algunas capas son cuneiformes y pueden o no estar separadas por arcillolitas en capas de hasta 1 m. También se presentan capas muy gruesas de areniscas de grano medio con grano-decrecimiento que define la laminación inclinada; además de laminación cruzada asintótica. Finalmente, se presentan areniscas de grano medio con decrecimiento a fino, son cuarzoareniscas, friables, blanco amarillentas, con buena a mala selección. Ver Fotografía 58.



Fotografía 58. Afloramiento Areniscas de la Formación Cacho (Tpc). Sector Club Los Lagartos
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Esta unidad litológica hace parte del contexto geológico regional conformando la base del piedemonte de los cerros orientales de Bogotá, cubierta discordantemente por depósitos de coluvión (Qdp) y del complejo de conos (Qcc).

- Formación Bogotá (Tpb)

Unidad litológica constituida por tres conjuntos. El conjunto inferior es arenoso y arcilloso, el conjunto medio está conformado por arcillolitas abigarradas con intercalaciones de bancos gruesos de areniscas y areniscas arcillosas, y el conjunto superior está formado por bancos de areniscas de grano grueso, muy blandas que alternan con arcillolitas abigarradas.

Esta unidad se presenta cubierta de manera discordante por los depósitos del complejo de conos (Qcc) y depósitos de coluvión (Qdp) localizados en el piedemonte de los Cerros Orientales, al este del proyecto L2MB, o incluso cubierta por los depósitos lacustres de la Formación Sabana (Qta).

5.2.2.5.2.3. Cuaternario

Diferentes depósitos de edad Cuaternario se encuentran a lo largo del trazado de la línea del proyecto proyecto L2MB, dentro de los cuales se identifican de oriente a occidente: Complejo de Conos (Qcc) y depósitos de coluvión (Qdp) hacia el piedemonte de los cerros orientales. La Formación Sabana (Qta) de origen lacustre y los depósitos de llanura de inundación (Qlla) del río Bogotá y de la zona del humedal Juan Amarillo localizados en la zona plana horizontal o de bajo gradiente hacia el río mencionado. Todas estas unidades se encuentran a su vez cubiertas por depósitos de origen antrópico (Qant).

- Complejo de conos (Qcc)

Corresponden a depósitos de gravas matriz-soportadas masivas, con fragmentos tamaño grava hasta bloque moderadamente seleccionados, subredondeados y polimícticos, los cuales se desprenden de los cerros orientales y en algunos casos llegan hasta la carrera 66 y avenida de Ciudad Cali. Incluyen depósitos de origen fluvio-torrencial, coluvial y fluviales cuya fuente está en los cerros orientales. En el área del proyecto L2MB se pueden identificar este tipo de depósitos hasta la abscisa K0+150 aproximadamente.

Estos depósitos forman unidades de conos coluviales, conos de taludes, lóbulos de solifluxión y flujos torrenciales. Los conos coluviales son de variadas longitudes, tienen formas convexas e inclinaciones suaves o abruptas; constituyen acumulaciones sobre las laderas por procesos de escorrentía superficial, por flujo lento y viscoso de suelos saturados y no saturados. Están conformados por bloques angulares a subangulares de diferentes tamaños embebidos en un material arcilloso. Ver Fotografía 59.



Fotografía 59. Afloramiento Complejo de Conos
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- Depósitos Lacustres de la Formación Sabana o Terraza Alta (Qta)

Esta unidad litológica se correlaciona con la Formación Sabana (Montoya & Reyes, 2005) y corresponde a los depósitos lacustres acumulados en la cuenca intramontana de la Sabana de Bogotá, cuya expresión morfológica permite definir el nivel de terraza alta, que es la zona donde se encuentra la ciudad de Bogotá. Está constituida por una secuencia de arcillas plásticas de color gris oscuro, en niveles de 0,4 m a 1,0 m de espesor, con intercalaciones de lentes de arena, grava y ceniza volcánica, éstas últimas siendo abundantes hacia la parte media del depósito. En las márgenes, se presentan

arcillas orgánicas, arcillas arenosas y turba-lignito (Helmes & Van der Hammen, 1995 En Montoya & Reyes, 2005). Los niveles arenosos y de grava son importantes para el almacenamiento de agua. El espesor total de la unidad lacustre alcanza los 320 m, según pudo verificarse en el pozo Funza II, sin embargo entre 320 m y 386 m de profundidad se presentan sedimentos con influencia fluvial y varias discontinuidades que evidencian el levantamiento de la Cordillera Oriental; el pozo alcanza el basamento rocoso sedimentario a 386 m de profundidad (Helmes & Van der Hammen, 1995 EN Montoya & Reyes, 2005). Cerca del 95% del proyecto de túnel correspondiente al proyecto L2MB, discurre entre esta unidad.

Para Carvajal (2005), este depósito es el resultado de la acumulación de sedimentos finos en un antiguo lago, con fluctuaciones en el nivel de agua. Está conformado principalmente por arcillas lacustres, y hacia los bordes de la cuenca, arcillas orgánicas, turbas, arcillas arenosas y arenas arcillosas intercaladas. Este lago dejó planicies y deltas lacustres, los cuales son extensos, de aspecto aterrazado y con morfología ondulada suavemente inclinada y limitada hacia los cauces por escarpes.

Esta unidad se encuentra inter-digitada con los sedimentos distales del complejo de conos y depósitos coluviales, así como con los depósitos de llanura aluvial del río Bogotá. Anexo 5.2 -1.1 al Anexo 5.2 -1.4.

- Depósitos de llanura de inundación (Qlla)

Corresponde a depósitos aluviales recientes del río Bogotá, y de sus principales afluentes, que para la zona del proyecto L2MB es el río Juan Amarillo y su correspondiente humedal. Son depósitos constituidos por arcillas, limos y arenas, depositados sobre la secuencia cuaternaria de la Formación Sabana.

Esta unidad litológica será intervenida por el proyecto L2MB, en la zona del Patio -Taller, en la margen izquierda del río Bogotá y en el tramo elevado del metro cerca de esta zona. A nivel del metro subterráneo esta unidad no es cortada ni en la zona de la llanura de inundación del río Bogotá ni en la zona del humedal Juan Amarillo. Ver Fotografía 60. Anexo 5.2 -1.1 al Anexo 5.2 -1.4.



Fotografía 60. Llanura de inundación. Río Arzobispo barrio Jaime Bermeo Suba - adyacente Avenida Ciudad de Cali
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- Depósitos de coluvión (Qdp)

Depósitos producto de la meteorización y erosión de rocas en superficie cuyos fragmentos han sido transportados y removidos por el agua y la gravedad y se han acumulado en las laderas media e inferior de los cerros de la Cordillera Oriental. Están formados por bloques angulares a subangulares, embebidos en una matriz arcillosa o arcillo-arenosa (Carvajal, 2005), cuya morfología corresponde a conos coluviales observables al este del trazado del túnel, hacia los cerros orientales y bordeando los cerros de Suba, y no son interceptados por el trazado del proyecto L2MB. Ver Fotografía 61. Anexo 5.2 -1.1 al Anexo 5.2 -1.4.



Fotografía 61. Detalle depósito de coluvión
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- Depósitos de origen antrópico (Qant)

Corresponde a los rellenos con materiales sobrantes de excavaciones o materiales de demolición de construcciones que fueron acumulados principalmente en zonas deprimidas y de humedal para la adecuación de terrenos en el desarrollo urbanístico, industrial y vial del distrito capital y de los municipios de la Sabana de Bogotá. De igual manera comprende rellenos sanitarios y los materiales de base y sub-base de la red vial. Estas zonas de intervención antrópica constituyen una extensa cobertura y se identifican a lo largo de todo el trazado del proyecto L2MB. Anexo 5.2 -1.1 al Anexo 5.2 -1.4.

5.2.2.5.3. Geología estructural

La geometría de la cuenca de la Sabana en la Cordillera Oriental de Colombia, corresponde a un sinclinorio producto de la deformación en un marco de esfuerzos compresivos de las rocas sedimentarias del Cretácico, Paleógeno y Neógeno que hacen parte del basamento sobre el cual se dispone discordantemente el relleno cuaternario lacustre de la Sabana. Esta deformación es notable por los cerros orientales de la ciudad de Bogotá así como por los cerros y cuchillas, igualmente de origen estructural, que sobresalen de la planicie lacustre o que se localizan hacia los bordes de la cuenca, en general siendo de menor altura y de orientación preferencial NE.

Las rocas sedimentarias Cretácicas y Cenozoicas se encuentran plegadas, formando anticlinales angostos y sinclinales amplios, cuyos ejes tienen dirección NE y NNE. Paralelamente a los plegamientos, se encuentran fallas longitudinales de cabalgamiento, con buzamiento y vergencia principalmente al oriente y al occidente, aunque también existen fallas de esta

misma tendencia y cinemática pero con buzamientos y vergencias contrarias a las fallas principales que permiten la conformación de estructuras de relieve positivo o cerros. En términos generales estas fallas se interpretan como un sistema imbricado de cabalgamientos.

También se reportan fallas de dirección NW como la Falla de Facatativá o la Falla de Usaquén - Sasaima. Son interpretadas como estructuras de desgarre o rampas laterales que pudieron haber desplazado horizontalmente los cabalgamientos.

Las diferentes estructuras que se identifican a nivel de la Sabana de Bogotá y del proyecto de L2MB, se pueden observar en la Figura 323.

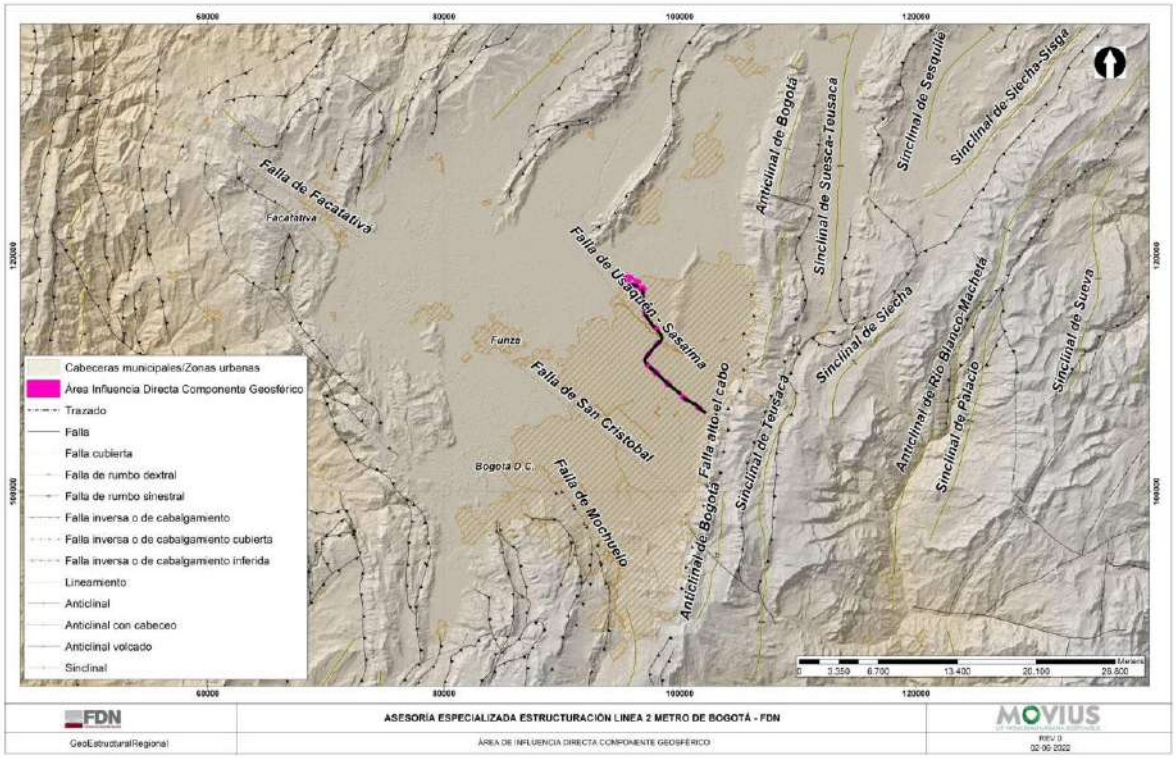


Figura 323. Rasgos estructurales regionales en la Sabana de Bogotá.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

5.2.2.5.3.1. Fallas

- Falla de Bogotá

Esta falla se extiende desde el límite sur de la ciudad hasta aproximadamente el sector de Santa Ana oriental (Usaquén), y probablemente sigue hacia el norte cubierta por coluviones y sedimentos lacustres del Cuaternario. Se trata de una falla inversa con rumbo general N10ºE con buzamiento hacia el Este con una longitud aproximada de 54 km y es el límite estructural más sobresaliente que bordea la Sabana de Bogotá por el costado oriental. Pone en contacto en la mayor parte

de su recorrido rocas de la Formación Arenisca Labor y Tierna con rocas del conjunto superior de la Formación Guaduas, como ocurre en el sector de Los Rosales de la localidad de Chapinero. Ver Figura 321

- Falla de Alto El Cabo

Esta falla inversa se localiza al oriente de la Falla de Bogotá. Presenta dirección noreste y buzamiento hacia el Este (Figura 321). Corta y deforma rocas sedimentarias del Cretácico del Grupo Guadalupe según se observa en el mapa de microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá (INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997)

- Falla de Usaquén - Sasaima

La traza de esta falla presenta orientación N50ºW y genera un alineamiento en la parte sur de los cerros de Suba, Cota-Chía y Tabio-Tenjo, continúa al sureste controlando el curso del río Juan Amarillo y parece prolongarse al sureste por varias decenas de kilómetros (Figura 4). Esta estructura interrumpe la continuidad de los cerros orientales hacia el norte caracterizada por un aumento en la altura de los cerros Guadalupe y Monserrate. Se encuentra cubierta por los sedimentos lacustres de la Formación Sabana de edad Cuaternario, como se observa en el mapa de microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá (INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997).

La Falla Usaquén - Sasaima está reportada en el mapa de la Microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá (INGEOMINAS - UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 1997) y en el texto correspondiente se describe como la Falla Usaquén. Para otros autores como Velandia & De Bermoudes (2002) y Lobo-Guerrero (1994), esta estructura se denomina Falla del Río Juan Amarillo y Falla de Los Lagartos respectivamente. Esta falla no es indicada en las cartografías geológicas del SGC a escala 100K, específicamente el Mapa Geológico de La Sabana de Bogotá (Montoya & Reyes, 2005) y Plancha geológica No. 227 - La Mesa (Ulloa et al, 1998).

Teniendo en cuenta que los rasgos principalmente morfológicos relacionados al alinemiento del río Juan Amarillo y a la terminación de cerros al norte de la estructura indicada, las fallas Usaquén - Sasaima, Usaquén, del Río Amarillo y Los Lagartos, son la misma estructura pero con denominaciones diferentes según el estudio como se indicó. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0006_V01.

- Falla San Cristóbal

La falla de San Cristóbal controla el curso del río del mismo nombre, en los cerros orientales de la Sabana. Su prolongación hacia el sureste se manifiesta por una serie de rasgos topográficos y drenajes alineados. La prolongación de su traza hacia el NW parece limitar el borde sur de la depresión de Funza, y de manera aproximada con el límite sur del relieve plano del valle de la sabana (Figura 321). Esta falla, junto con el sistema de fallas de Facatativá, marca la frontera sur de la cuenca de la Sabana de Bogotá las cuales probablemente ejercieron control tectónico que sirvió de barrera estructural e impidió la depositación hacia el sur. Se localiza al sur y es paralela a la Falla Usaquén - Sasaima.

Propuesta por Hubach (1929), hace parte de una serie de estructuras que denominó N56W y define la morfología de la Sabana de Bogotá hacia el sur y controló la depositación de sedimentos a lo largo del Pleistoceno. Su expresión morfológica es notoria en la zona de los cerros orientales de Bogotá, en el sector de la cuenca del río Fucha a lo largo de su cauce. Los rasgos morfológicos asociados a esta falla incluyen alineamiento de valles, lomos y cursos de agua, (principalmente los ríos Fucha y la quebrada La Upata) a lo largo de más de 30 km. Otros rasgos corresponden al cambio

del curso del río Bogotá (NS a S70ºW) al sur del Aeropuerto el Dorado y los afloramientos de rocas del Grupo Guadalupe a manera de islas dentro de la planicie de la Sabana al norte de esta falla. (Fierro, et. Al 2007)

El estudio de Fallas Longitudinales y Transversales en la Sabana de Bogotá. (Velandia Patiño F.A.1. De Bermoudes O.1, 2002) describe que la Falla San Cristobal tampoco presenta la continuidad, que Caro et al. (1996) sugieren, atravesando la Sabana hasta Facatativá. Igual continuidad le atribuye Gómez (1985) cuando la denomina Falla de Faca-Madrid. El estudio indica que esta falla presenta segmentos cortados por fallas longitudinales en los cerros orientales, la Falla Bogotá y hacia la Sabana, por la Falla El Dorado, culminando en la Falla El Porvenir, sin extenderse hasta Facatativá. Se nombra en este trabajo como Falla Facatativá a un segmento orientado NWW, que pasa por la localidad, partiendo desde el sistema de fallas de rumbo del Río Bojacá, hasta la Falla Madrid. Esta falla es el límite transversal de diferentes espesores de depósitos inconsolidados (aprox. 300 m al sur y más de 500 m al norte).

5.2.2.5.3.2. Pliegues

Estas estructuras geológicas hacen parte del contexto estructural de la Sabana de Bogotá. Tienen rumbo NE a NNE y afectan principalmente rocas sedimentarias del Cretácico Superior y del Terciario. En general los ejes de los sinclinales albergan unidades terciarias y coinciden con bajos topográficos por los que corren drenajes principales. En los ejes de los anticlinales afloran las rocas cretácicas y forman altos topográficos.

- Anticlinal - Sinclinal de Suba

Corresponde a la principal estructura geológica que conforma los Cerros de Suba, compuesta por rocas sedimentarias cretácico-terciarias de la Formación Guaduas. Presenta buzamientos suaves (entre 0 – 25°) a cada lado. Es una estructura mixta y asimétrica dentro de la cual se tiene un sinclinal al sur y un anticlinal al norte. Ver Figura 321; Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0006_V01.

5.2.2.5.4. Marco geológico local

5.2.2.5.4.1. Zonas homogéneas

A lo largo del alineamiento del Proyecto L2MB con base en la interpretación geológica y el análisis de la información obtenida en los ensayos de laboratorio, se definieron cuatro zonas homogéneas como se muestra desde la Figura 324 hasta la Figura 327.



Figura 324. Zona homogénea 1 y 2 entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial
Fuente: UT MOVIUS 2022

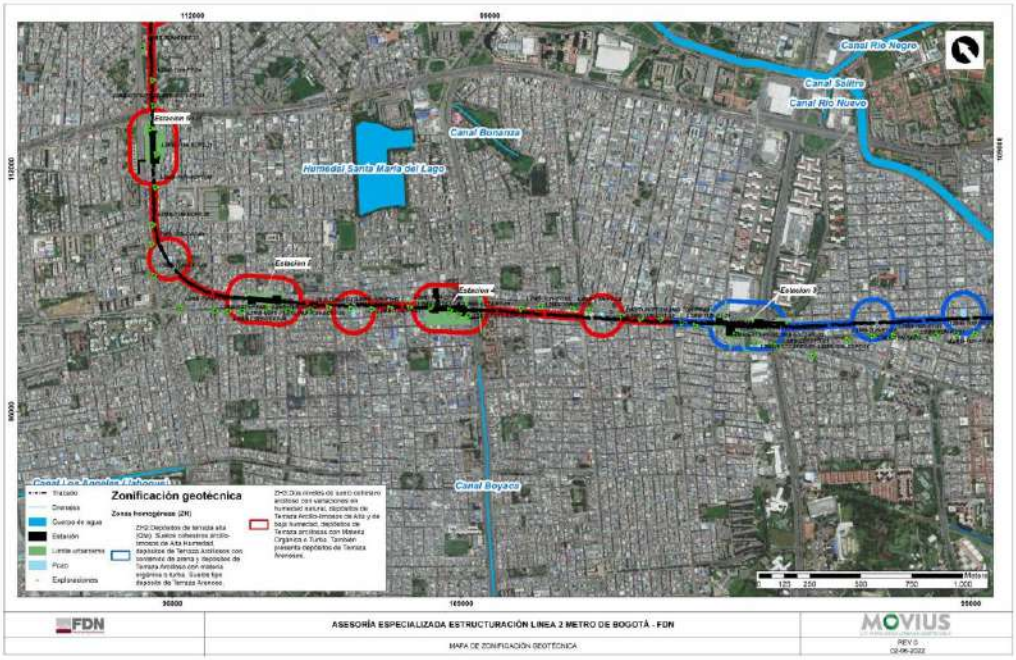


Figura 325. Zona homogénea 2 y 3 entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial
Fuente: UT MOVIUS 2022

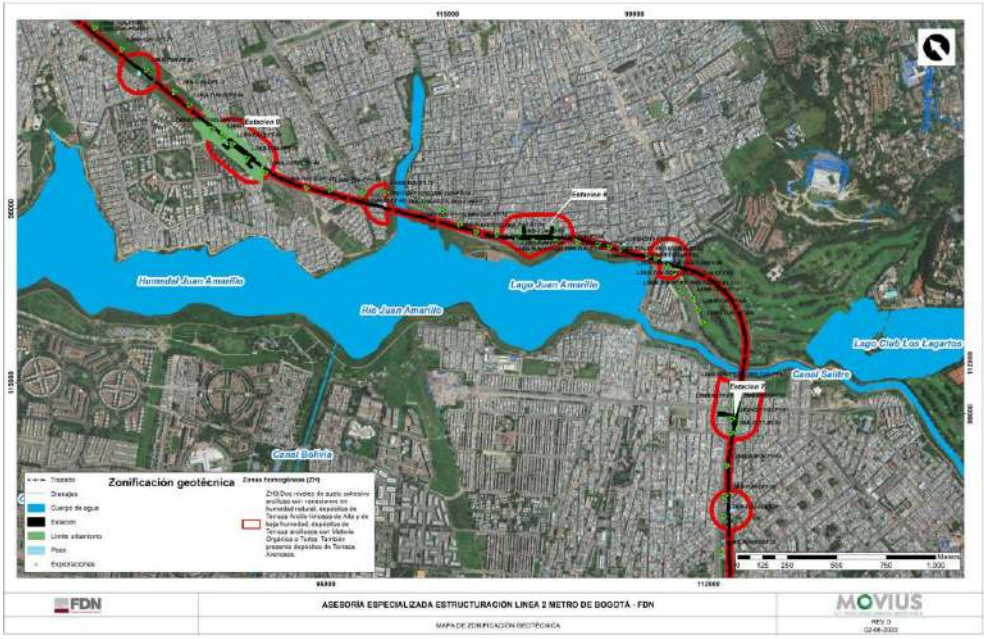


Figura 326. Zona homogénea 3 entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial
Fuente: UT MOVIUS 2022

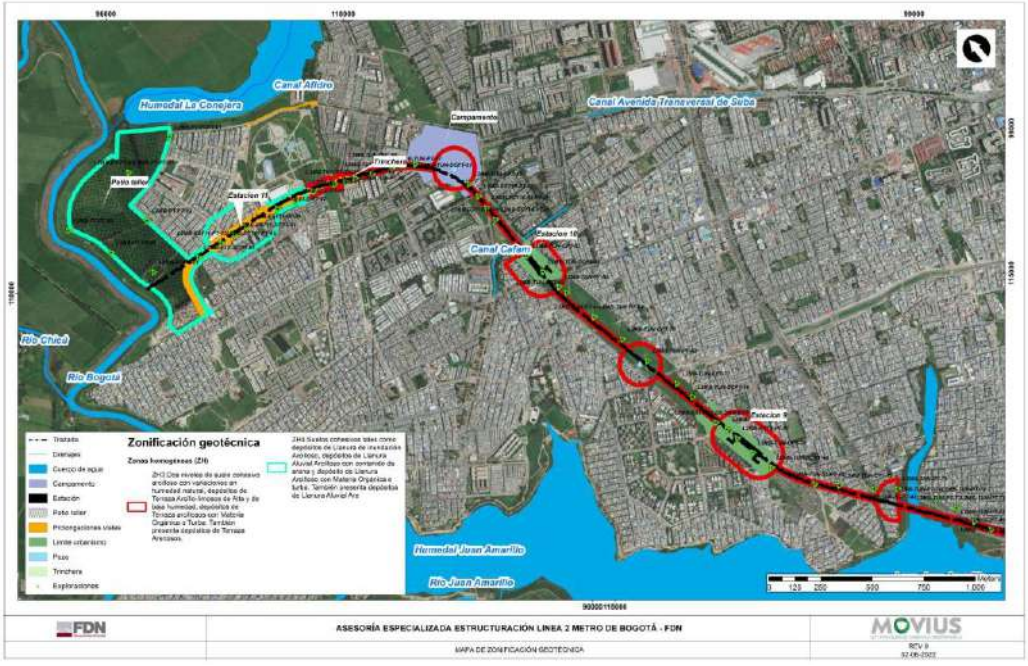


Figura 327. Zona homogénea 3 y 4, entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - río Bogotá.
Fuente: UT MOVIUS 2022

La interpretación geológica de las perforaciones realizadas a lo largo del trazado, permitió identificar tres tipos de depósitos: Qcc (depósito de pendiente), Qta (terraza alta) y Qlla (llanura de inundación). siendo el depósito de Terraza Alta o Formación Sabana (Qta) el de mayor extensión.

Como complemento a la identificación geológica se realizó un análisis de la información obtenida con los ensayos de laboratorio para las fases 1 y 2, donde se pudo establecer un cambio en el depósito Qta que coincide con el contacto entre las zonas 3 y 4 que se presentan en el mapa de microzonificación sísmica de Bogotá (INGEOMINAS, UNIANDES, 1997). El cambio de las propiedades del suelo es evidente principalmente en el contenido de humedad de la arcilla (Qta-arc).

En la interpretación geotécnica para cada zona homogénea se realizó la asignación del suelo en función principalmente de su clasificación entre suelo granular y suelo cohesivo, esto con la intención de identificar diferentes comportamientos del suelo asociados a su gradación, y a diferenciar un comportamiento drenado de uno no drenado, donde además se consideró como relevante el contenido de materia orgánica. A continuación, se describe cada una de las zonas homogéneas y los tipos de suelos que la componen.

- Zona Homogénea 1

La zona homogénea 1 va desde la abscisa K0+000 hasta la abscisa K0+446 y coincide con los niveles asociados al complejo de Conos (Qcc) y Terraza Alta o Formación Sabana (Qta), se caracteriza por ser la zona del proyecto donde se presenta la mayor variación de los tipos de suelo por su heterogeneidad, Figura 328. Los niveles en profundidad para esta zona muestran suelos granulares en su mayoría, tales como depósitos Aluviales (Qcc-Alu), depósitos de Ladera Arenoso y Gravoso (Qcc-are+gra), depósitos de Ladera Arenoso (Qcc-are), depósitos de Ladera Arenoso y Limoso (Qcc-are+lim), depósitos de Ladera Arenoso con Materia Orgánica (Qcc-are+mat). Esta primera zona también presenta suelos cohesivos conformando parte de la matriz de los depósitos Coluviales, y conformando principalmente lo que se ha denominado como depósitos de Ladera Arcillosos con contenido de arena (Qcc-arc+are), depósitos de Ladera Arcillosos (Qcc-arc) y depósitos de Ladera Arcilloso con Materia Orgánica o Turba (Qta-mat). Adicionalmente, en la zona homogénea 1 también se presenta la roca de la Formación Bogotá (Tpb) subyaciendo los depósitos de suelo.

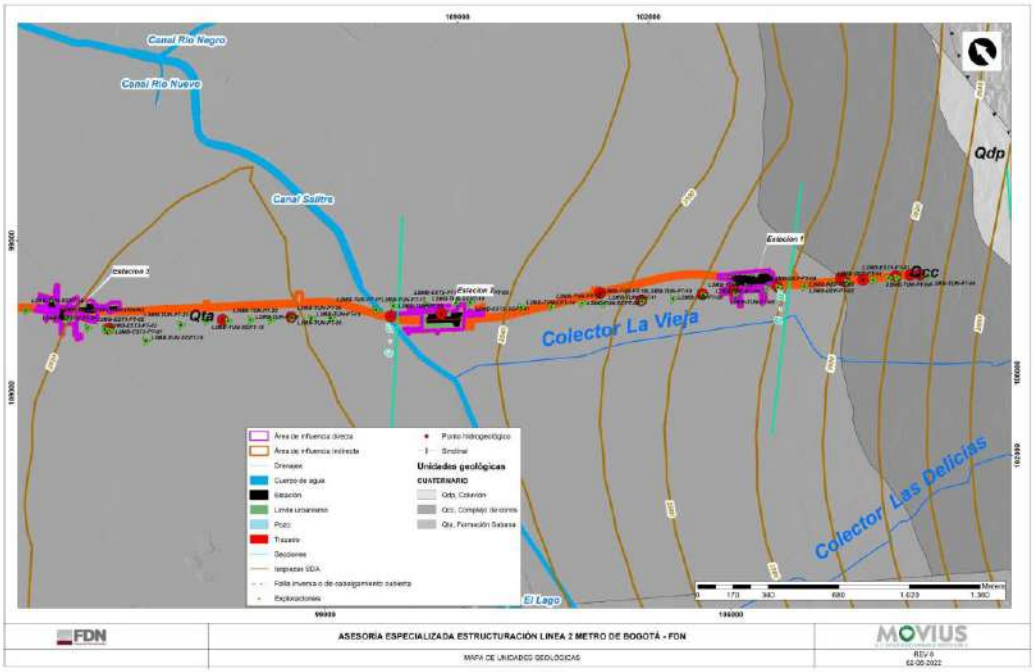


Figura 328. Mapa geológico de la ZH1 y ZH2, entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Zona Homogénea 2

La zona homogénea 2 va desde la abscisa K0+446 hasta la abscisa K4+300 y su inicio está cercano a la finalización del depósito de Complejo de Conos (Qcc) y donde inicia el depósito correspondiente a la terraza alta (Qta), . Los niveles en profundidad para esta zona muestran en su gran mayoría suelos cohesivos tales como depósitos de Terraza Arcilloso/Limoso de Alta Humedad (Qta-arc1), depósitos de Terraza Arcillosos con contenido de arena (Qta-arc+are) y depósitos de Terraza Arcilloso con materia orgánica o turba (Qta-mat).

- Zona Homogénea 3

La zona homogénea 3 va desde la abscisa K4+300 hasta la abscisa K14+500 y se diferencia de la zona 2 al identificar en profundidad dos estratos de suelo arcilloso (Qta-arc2 y Qta-arc3) con variaciones en su humedad natural, lo que se presume y más adelante se presenta como un comportamiento diferente del suelo, Figura 329, Figura 330. Esta diferencia también se identifica en el estudio de microzonificación sísmica de Bogotá, donde la "Zona 4", se asocia a un suelo superficial más blando con espesor variable entre 30 m y 50 m. En su gran mayoría esta zona presenta suelos cohesivos tales como depósitos de Terraza Arcilloso/Limoso de Alta Humedad (Qta-arc2), Terraza Arcilloso/Limoso de Baja Humedad (Qta-arc3), depósitos de Terraza Arcilloso con Materia Orgánica o Turba (Qta-mat). Localmente entre el K8+830 y K9+770; K11+000 y K11+060; K14+530 y K15+530, se evidencian superficialmente sedimentos finos constituidos por arcillas, limos y arenas asociados al depósito de llanura de inundación (Qlla).

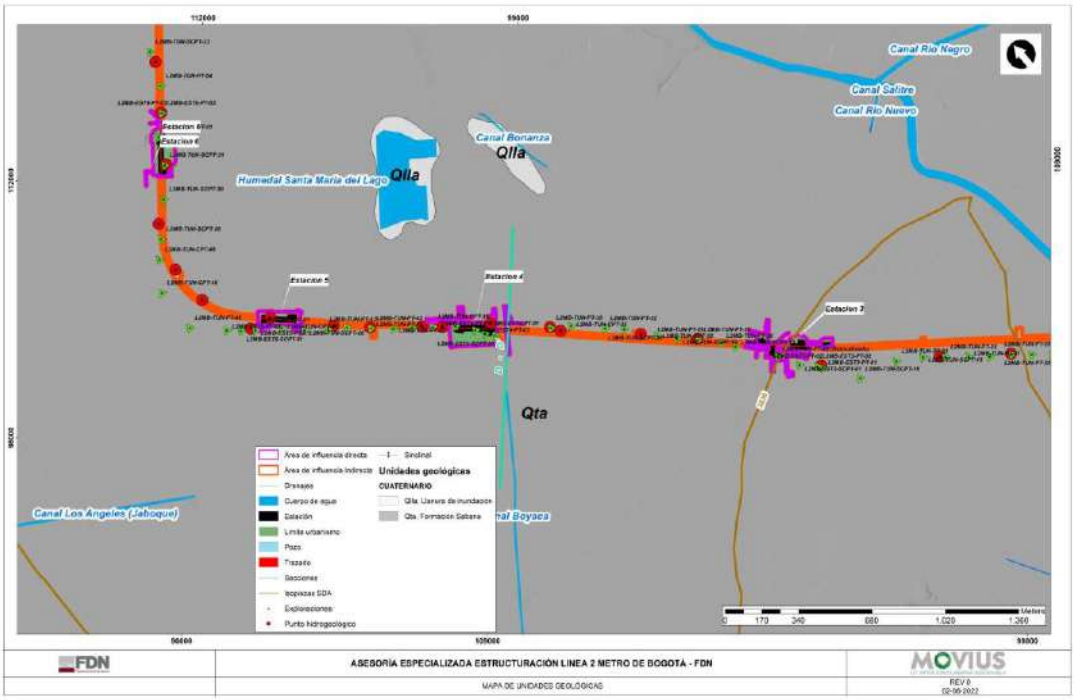


Figura 329. Mapa geológico de la ZH2 y ZH3, entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Zona Homogénea 4

La zona homogénea 4 va desde la abscisa K14+500 hasta la abscisa K15+530 y coincide con el contacto inferido entre el depósito de la terraza alta (Qta) y el depósito de la llanura de inundación del río Bogotá (Qlla), que fue definido con la identificación de un suelo arenoso, Figura 331. Los niveles en profundidad para esta zona muestran en su gran mayoría suelos cohesivos tales como depósitos de Arcilla de terraza alta (Qta-arc), depósitos de terraza Arcillosos con contenido de arena (Qta-arc+are) y depósito de terraza Arcilloso con Materia Orgánica o Turba (Qta-mat). Esta zona también presenta suelos granulares tales como depósitos de Llanura Aluvial Arenoso (Qlla-are).

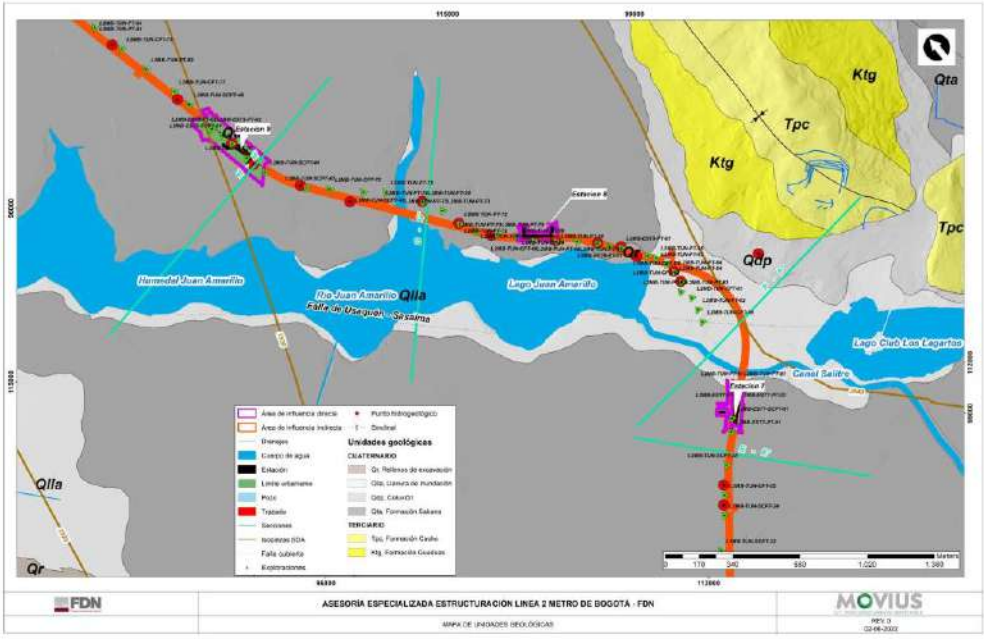


Figura 330. Mapa geológico de la ZH3, entre la estación 7 y la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)
Fuente: UT MOVIUS 2022

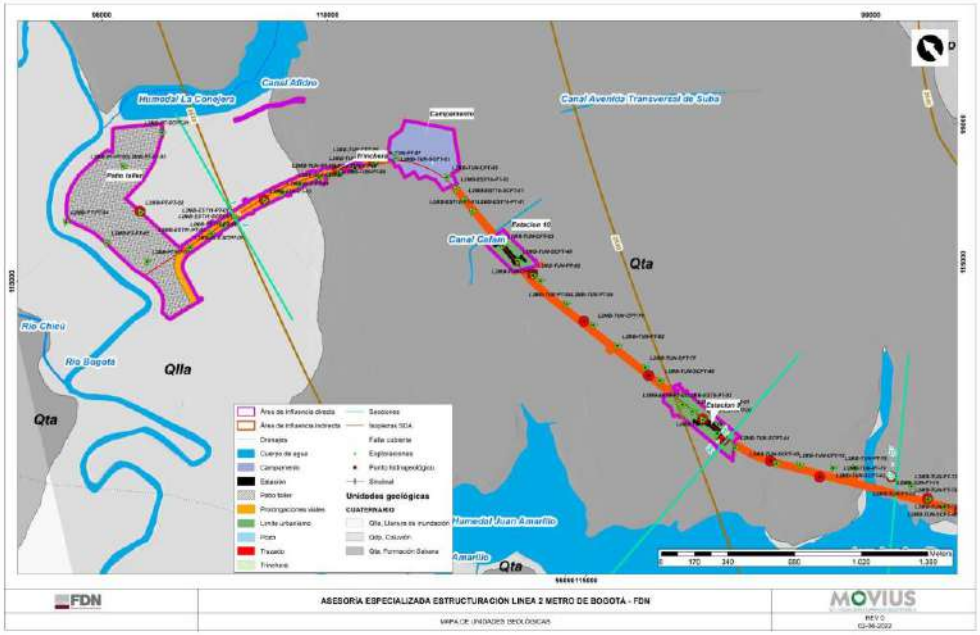


Figura 331. Mapa geológico del final de la ZH3 y ZH4, entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - Tibauyes - río Bogotá. Se ilustra las perforaciones, cuerpos de agua, isopiezas acuífero cuaternario (líneas en café)
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.2.5.5. Hidrología y balance hídrico superficial - BHS

En el presente capítulo se incluyen los resultados de la caracterización hidrológica de las subcuencas que cruzan el trazado de la Línea 2 del Metro de Bogotá - L2MB, identificadas a partir de la cartografía base del proyecto y los resultados del Balance Hídrico Superficial.

5.2.2.5.5.1. Localización y selección de las estaciones hidroclimatológicas

El área de estudio se encuentra instrumentada con estaciones climatológicas operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) y la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, las cuales permiten conocer el comportamiento altitudinal y temporal de variables climáticas como: temperatura, brillo solar, radiación solar, humedad relativa, evaporación, velocidad y dirección del viento, nubosidad y la distribución espacial y temporal de la precipitación total. En la Figura 45, se presentan las estaciones identificadas en la zona del proyecto, diferenciadas por colores según las entidades operadoras. Figura 332.

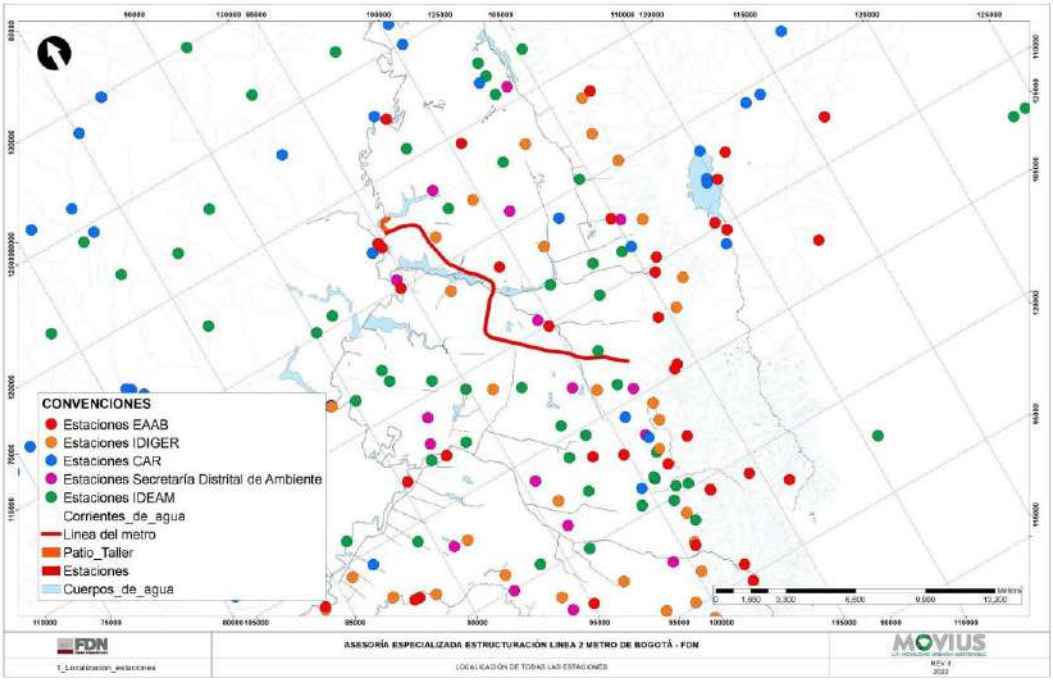


Figura 332. Localización espacial de las estaciones de todas las entidades disponibles en la zona.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Para la selección de las estaciones y la escogencia de los periodos comunes a analizar se revisó la disponibilidad de datos para cada parámetro a evaluar. En la Tabla 202, se presenta de forma esquemática los periodos de registro de cada estación para diferentes variables climáticas.

Teniendo identificada la información disponible para cada estación, se definió un periodo común para cada parámetro climático, en función de la disponibilidad de datos de cada estación. Con los periodos comunes establecidos se realizó la selección de las estaciones y la definición de la distribución temporal de cada uno de los parámetros registrados.

Tabla 202. Periodo común de los parámetros climáticos

Parámetro	Periodo común
Brillo Solar	1987-2021
Evaporación	1991 - 2019
Humedad Relativa	2010-2021
Precipitación Total	1987 - 2021
Precipitación número de días	1980 - 2019
Nubosidad	1998-2016
Temperatura media	1998-2019
Temperatura máxima	1998-2019
Temperatura mínima	1998-2019
Velocidad del viento	2010 - 2021
Radiación solar	2010 - 2021

Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Tabla 203 a la Tabla 205, se presentan las características de las estaciones a analizar en la zona de estudio según la entidad a cargo de su operación, y en la Figura 333 se presenta su localización espacial.

Tabla 203. Características de las estaciones climatológicas del IDEAM cercanas a la zona de estudio.

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas[1]	
							Norte	Este
21205791	IDEAM	APTO EL DORADO AUTOMATICA	MET	ACTIVA	BOGOTÁ	2547	112097,37	91882,59
21206960	IDEAM	IDEAM BOGOTÁ AUTOMÁTICA	MET	ACTIVA	SAN FRANCISCO	2646	100417,63	101207,17
21206560	IDEAM	INEM KENNEDY	MET	ACTIVA	BOGOTÁ	2580	107177,60	93646,20
21205012	IDEAM	UNIV NACIONAL AUTOMÁTICA	MET	ACTIVA	BOGOTÁ	2556	104630,38	98718,41

[1] Sistema de coordenadas: MAGNA Ciudad Bogotá.

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas[1]	
							Norte	Este
21201210	IDEAM	EL HATO *	PM	ACTIVA	SUBACHOQUE	2575	129917,42	91528,22

* Estación analizada para desarrollo de isoyetas

Fuente: IDEAM, 2022

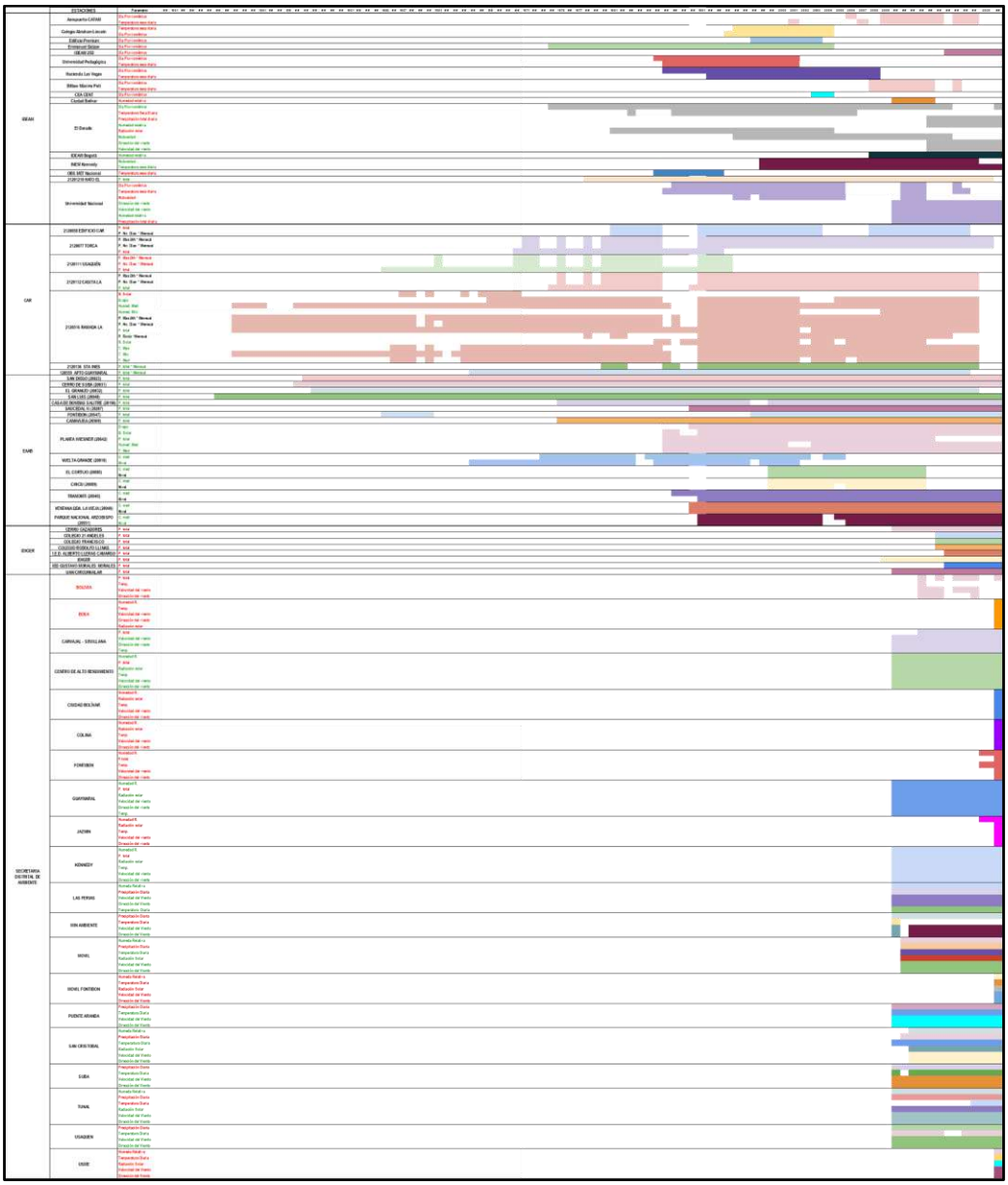


Figura 333. Periodos de registros para las estaciones identificadas según la entidad operadora.

Fuente: UT MOVIUS 2022

Dónde: CO: Climatológica ordinaria, CP: Climatológica principal, PM: Pluviométrica, PG: Pluviográfica MET: Estación meteorológica, AM: Agrometeorológica, SP: Sinóptica principal.

Tabla 204. Características de las estaciones climatológicas de la CAR cercanas a la zona de estudio.

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Norte	Este
2120058	CAR	EDIFICIO CAR	PG	ACTIVA	R. BOGOTÁ	2622	103051,14	101237,71
2120077	CAR	TORCA	PM	ACTIVA	R. BOGOTÁ	2572	114144,65	102740,95
2120112	CAR	CASITA LA	PM	ACTIVA	R. TEUSACÁ	3094	104433,91	100753,46
2120516	CAR	RAMADA LA	CP	ACTIVA	R. BOGOTÁ	2538	111827,02	88938,23
2120136	CAR	SANTA INÉS *	PM	ACTIVA	R. CHICÚ	2591	123264,46	92896,84
2120559	CAR	APTO GUAYMARAL *	CP	ACTIVA	R. BOGOTÁ	2603	121547,38	102669,04

Fuente: CAR, 2022

* Información a escala mensual, registros utilizados únicamente para la creación de las isoyetas.

Dónde: CO: Climatológica ordinaria, CP: Climatológica principal, PM: Pluviométrica, PG: Pluviográfica ME: Estación meteorológica, AM: Agrometeorológica, SP: Sinóptica principal.

Tabla 205. Características de las estaciones climatológicas de la EAAB cercanas a la zona de estudio.

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Norte	Este
2120023	EAAB	SAN DIEGO	PVG	ACTIVA	RÍO ARZOBISPO	2700	101497,85	101394,52
2120031	EAAB	CERRO DE SUBA	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2691	113543,43	99139,50
2120032	EAAB	EL GRANIZO	PVG	ACTIVA	RÍO ARZOBISPO	3125	102198,26	102835,03
2120040	EAAB	SAN LUIS	PVG	ACTIVA	RIO TEUSACA	2300	105379,65	104135,25
2120196	EAAB	CASA DE BOMBAS SALITRE	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2580	109951,06	99773,09
2120207	EAAB	SAUCEDAL II	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2900	106927,95	90313,97
2120547	EAAB	FONTIBÓN	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2518	107082,01	92527,07
2120569	EAAB	CAMAVIEJA	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2680	103578,41	98483,17
2120642	EAAB	PLANTA WIESNER	CO	ACTIVA	RIO TEUSACA	2795	110265,59	109012,40
2120810	EAAB	RIO BOGOTA - VUELTA GRANDE	LMG	SUSP	RÍO BOGOTÁ	2570	117103,44	94800,44
2120888	EAAB	RÍO BOGOTÁ EL CORTIJO	LMG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2540	115002,58	94600,56
2120889	EAAB	RIO BOGOTA CHICU	LMG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2550	117353,53	94750,40

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Norte	Este
2120948	EAAB	QDA. CHICO - TRAMONTI	LMG	ACTIVA	QUEBRADA CHICO	2760	107730,62	104455,16
2120949	EAAB	QDA. LA VIEJA - VENTANA - CAPTACIÓN	LMG	ACTIVA	QUEBRADA LA VIEJA	2850	105239,58	103925,18
2120951	EAAB	ARZOBISPO - PARQUE NACIONAL	LMG	ACTIVA	RÍO ARZOBISPO	2730	102928,27	99803,76

Fuente: EAAB, 2022

Dónde: CO: Climatológica ordinaria, CP: Climatológica principal, PVM: Pluviométrica, PVG: Pluviográfica ME: Estación meteorológica, LMM: Limnimétrica, LMG: Limnigrafica.

Tabla 206. Características de las estaciones climatológicas de la Secretaría Distrital de Ambiente cercanas a la zona de estudio.

Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Altitud (msnm)	Coordenadas	
					Norte	Este
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	GUAYMARAL	ME	ACTIVA	2580	120745,49	103704,96
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	USAQUÉN	ME	ACTIVA	2570	112625,76	105229,19
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	SUBA	ME	ACTIVA	2571	118255,47	98231,43
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	LAS FERIAS	ME	ACTIVA	2552	110451,21	99450,49
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO	ME	ACTIVA	2552	106885,35	99286,17
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	ESTACIÓN MÓVIL 7MA	ME	ACTIVA	2583	105417,36	101773,95
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	MINAMBIENTE	ME	ACTIVA	2621	103237,04	101172,01
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	PUENTE ARANDA	ME	ACTIVA	2590	103931,40	95565,98
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	KENNEDY	ME	ACTIVA	2580	103188,32	90698,50
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	CARVAJAL-SEVILLANA	ME	ACTIVA	2563	99956,19	92123,04
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	TUNAL	ME	ACTIVA	2589	97787,02	94070,66
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	SAN CRISTÓBAL	ME	ACTIVA	2688	97381,07	99303,96

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2022

Donde: CO: Climatológica ordinaria, CP: Climatológica principal, PM: Pluviométrica, PG: Pluviográfica ME: Estación meteorológica, AM: Agrometeorológica, SP: Sinóptica principal.

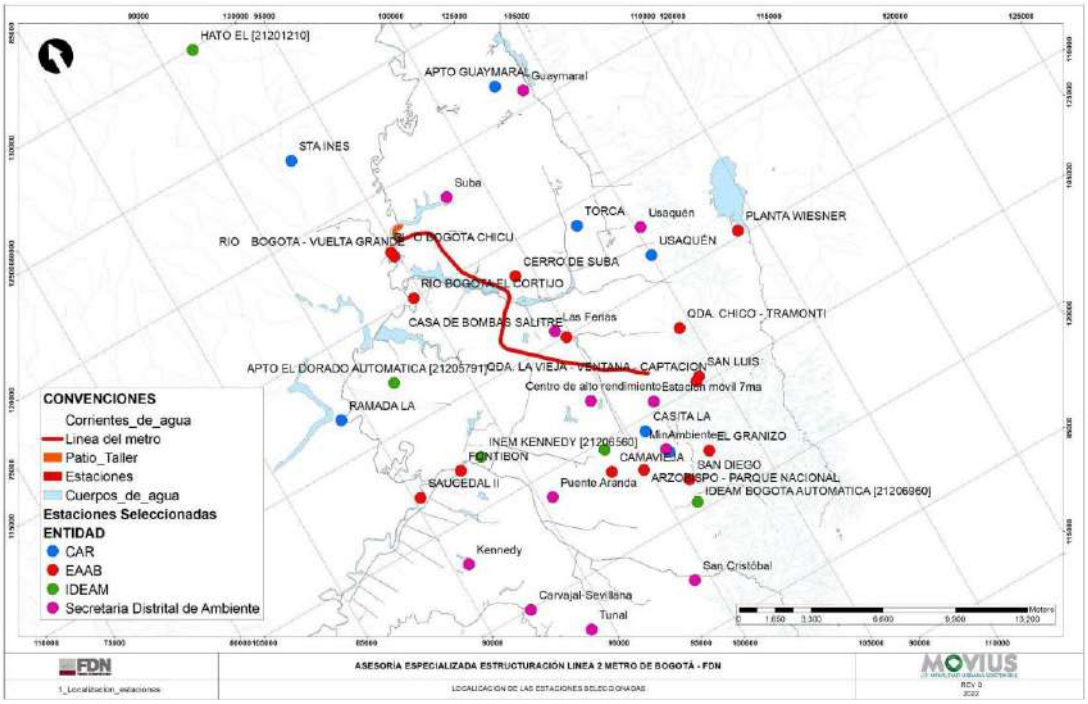


Figura 334. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por entidad operadora.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Una vez recopilados los registros de las estaciones seleccionadas y definidos los periodos de análisis, se realizó la caracterización temporal de los parámetros climáticos y adicionalmente se determinó la distribución espacial de la precipitación total, la evaporación y la temperatura.

En la Tabla 207, se presentan los periodos de registro de temperatura y evaporación para cada una de las estaciones seleccionadas, los periodos de registro para la precipitación se presentan en la Tabla 208, dado que el cubrimiento espacial de las cuencas considera un número mayor de estaciones.

Tabla 207. Periodos de registros de temperatura y evaporación para cada estación.

Estación	Evaporación	Temperatura media	Temperatura máxima	Temperatura mínima
INEM KENNEDY	-	1998-2021	-	-
LA RAMADA	1967-1986, 1991-2001, 2005-2019	1956-1958, 1960, 1964-1987, 1991-2001, 2003-2005, 2007-2019	1956-1958, 1960, 1964-1986, 1991-2019	1938-1961, 1963-1987, 1991-2019
PLANTA WIESNER	1990-2021	1987-2021	-	-
CARVAJAL - SEVILLANA	-	2010-2021	-	-
CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO	-	2010-2021	-	-
GUAYMARAL	-	2010-2021	-	-
KENNEDY	-	2010-2021	-	-
LAS FERIAS	-	2010-2021	-	-
MÓVIL SÉPTIMA	-	2010-2021	-	-
PUENTE ARANDA	-	2010-2021	-	-

Estación	Evaporación	Temperatura media	Temperatura máxima	Temperatura mínima
SAN CRISTÓBAL	-	2010-2021	-	-
SUBA	-	2010, 2012-2021	-	-
USAQUÉN	-	2010-2015, 2018-2021	-	-

Fuente: UT MOVIUS 2022

Como se mencionó anteriormente, la distribución temporal y espacial de la precipitación para las cuencas analizadas tuvo como base la información de 15 estaciones.

Tabla 208. Periodos de registros de precipitación recopilados.

N°	Estación	Precipitación total	Precipitación Número de días
1	SAN DIEGO	1946-2021	1946-2021
2	CERRO DE SUBA	1946-2021	1946-2021
3	EL GRANIZO	1947-2019	1947-2019
4	SAN LUIS	1936-2021	1936-2021
5	CASA DE BOMBAS SALITRE	1975-2021	1975-2021
6	SAUCEDAL II	1990-2021	1990-2021
7	FONTIBÓN	1955-2021	1955-2021
8	CAMAVIEJA	1975-2021	1975-2021
9	PLANTA WIESNER	1987-2021	1987-2021
10	APTO EL DORADO AUTOMATICA	1974-2021	1974-2021
11	CASITA LA	1973-2021	1973-2021
12	RAMADA LA	1938-2021	1938-2021
13	SANTA INÉS	1980-2019	1980-2019
14	APTO GUAYMARAL - USTA	1965-2019	1965-2019
15	HATO EL	1987-2020	1987-2020

Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.2.5.5.2. Localización del proyecto zonificación nacional

El sistema hídrico analizado está compuesto principalmente por la cuenca del río Bogotá y afluentes tales como: San Francisco, Juan Amarillo, Jaboque y los Rosales. Se presenta la localización del proyecto en la zonificación nacional en sus diferentes niveles. Figura 335

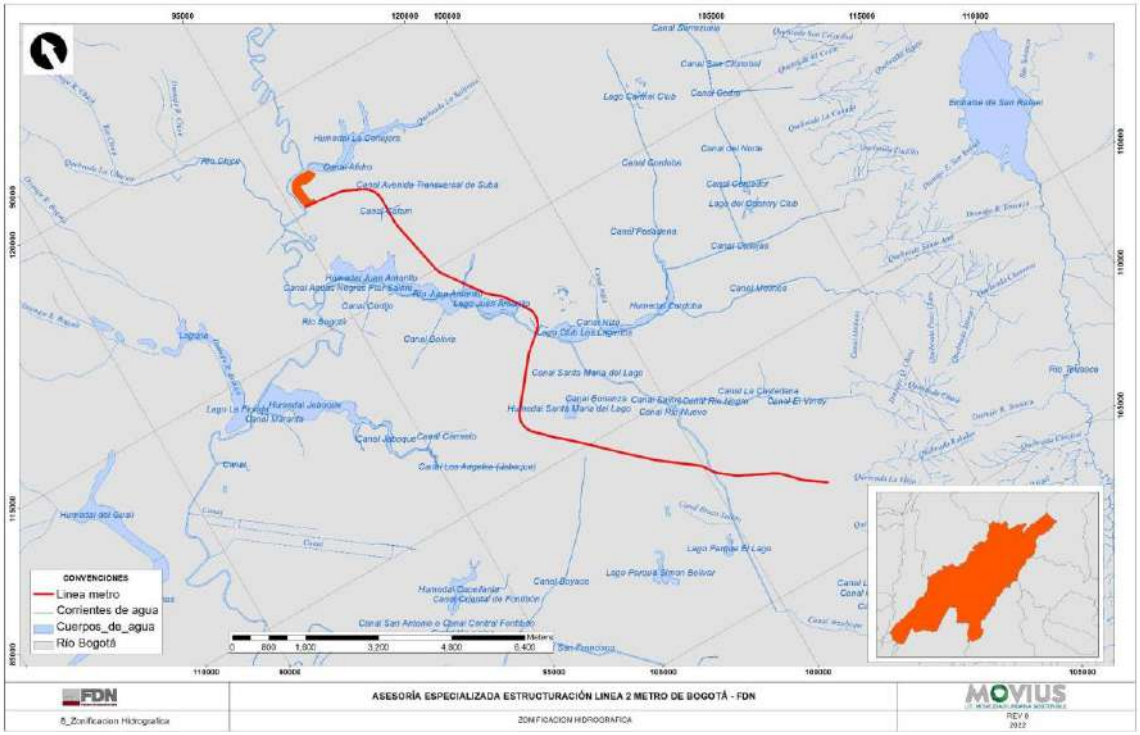


Figura 335. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, subzona hidrográfica.
Fuente: SIAC.*Zonificación hidrográfica año 2013*. (2013).

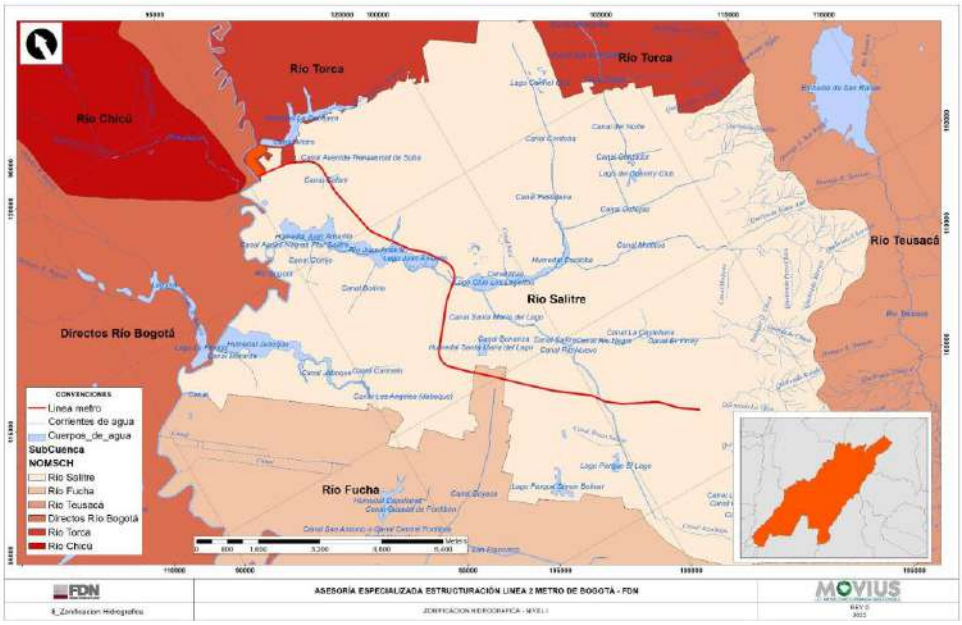


Figura 336. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, unidad hidrológica nivel I.
Fuente: IDIGER. *Microcuenca. Bogotá D.C.*(2021).

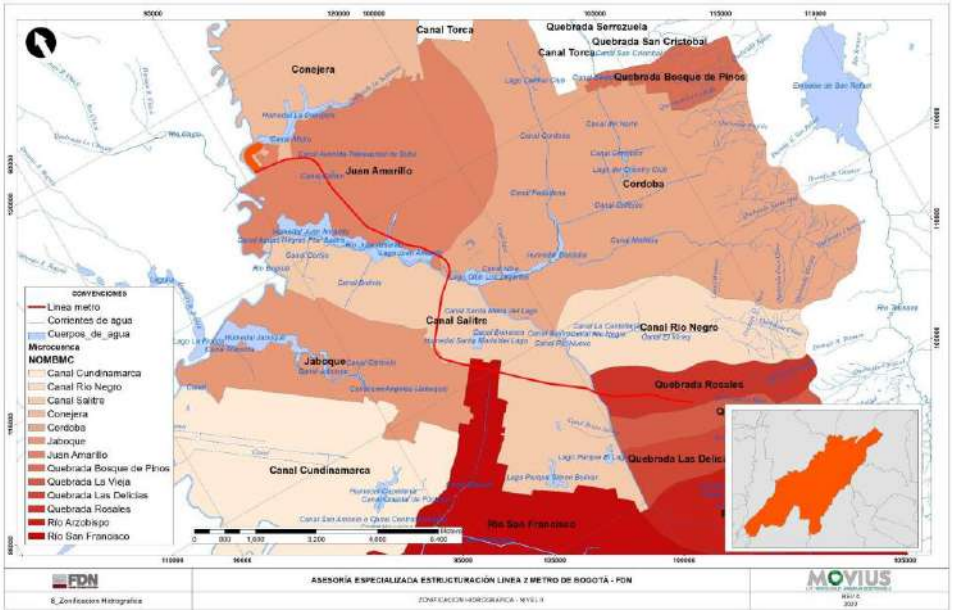


Figura 337. Localización del proyecto en la zonificación Nacional, unidad hidrológica nivel II
Fuente: IDIGER. *SubCuenca. Bogotá D.C.*(2021).

Se realizó la clasificación hidrográfica de las subcuencas con base en lo establecido en el mapa de Zonificación Ambiental de Colombia[2], mencionado dentro de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, expedida en marzo de 2010 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y plasmadas igualmente dentro del Decreto 1640 del 2 de agosto de 2012 del MADS y la Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia del IDEAM (2013), de los cuales se derivan para el territorio colombiano: 5 Áreas Hidrográficas, 41 Zonas Hidrográficas y 309 Subzonas Hidrográficas.

De acuerdo con la zonificación hidrográfica establecida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el informe de "Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia" (IDEAM, 2014), el proyecto se localiza en el área hidrográfica Magdalena Cauca (Código IDEAM 2), Zona hidrográfica Alto Magdalena (Código IDEAM 21) y la subzona hidrográfica río Bogotá (Código IDEAM 2120). Para los niveles subsiguientes se utilizarán los presentados en la Tabla 209

Tabla 209. Localización del proyecto en la zonificación Nacional.

Área hidrográfica	Zona hidrográfica	Subzona hidrográfica	Unidad hidrográfica nivel I	Unidad hidrográfica nivel II	Código unidad hidrográfica nivel II
Magdalena Cauca (2)	Alto Magdalena (21)	Río Bogotá (2120)	Río Fucha (212008)	Río San Francisco	21200809
			Río Salitre (212009)	Juan Amarillo	21200909
				Canal Salitre	21200901
				Jaboque	21200902
				Quebrada Los Rosales	21200906
				Quebrada La Vieja	21200905

Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.2.5.5.3. Sistemas lóticos y lénticos

A continuación, se presenta la identificación de sistemas lénticos y lóticos localizados en el corredor del proyecto:

- Sistemas Lóticos

Se identificó que los sistemas lóticos que cruzan el trazado del proyecto son: Canal Salitre, Canal Cafam y el Brazo del Humedal Juan Amarillo. En cuanto a la Quebrada La Vieja, esta no cruza con el proyecto pero su recorrido con sección natural antes de ser canalizado hasta el canal salitre está próximo al trazado del proyecto, en la zona de la iglesia de la porciúncula, adicionalmente se hace una descripción del río de Bogotá por su cercanía a la zona del patio taller del proyecto. Se resalta que los cruces con estos cuerpos de agua son solo en la vista en planta ya que estos se localizan a

[2] IDEAM, Mapa de Zonificación Ambiental de Colombia, 2013.

nivel de terreno y el trazado del proyecto, la tipología es de forma subterránea en gran parte de su recorrido incluidos los pasos con los cuerpos de agua mencionados, Figura 338.

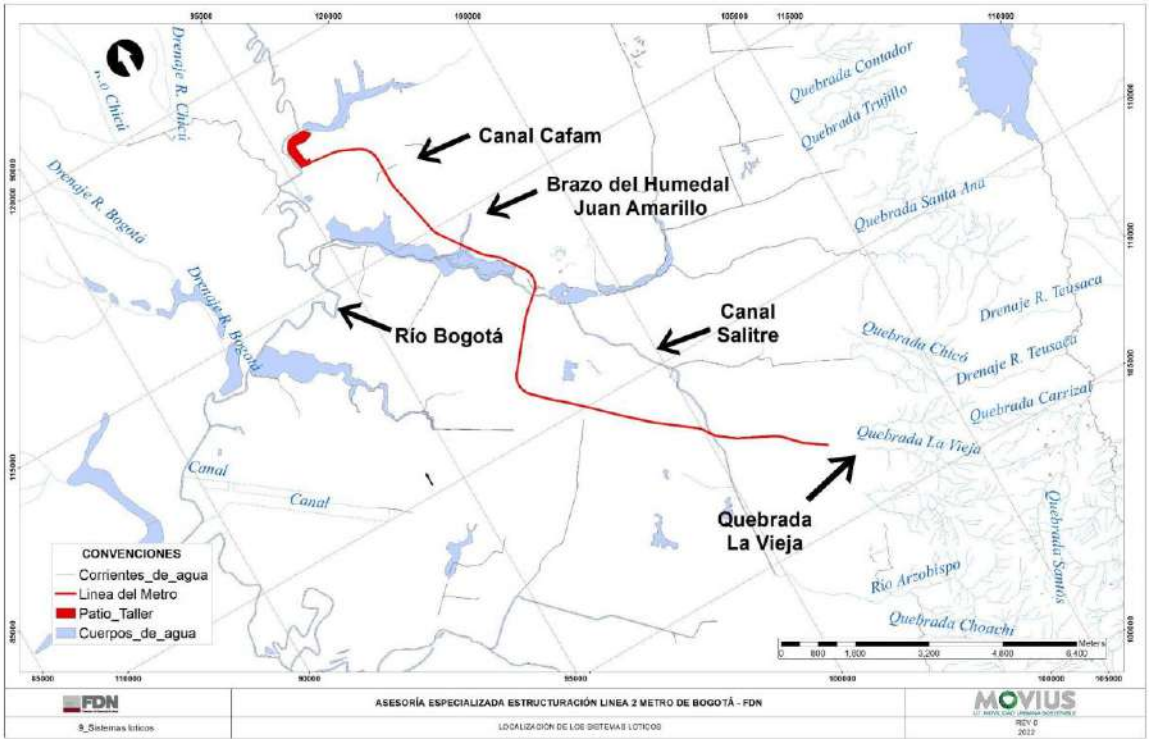


Figura 338. Ubicación de los sistemas lóticos que cruzan con el proyecto
Fuente: UT MOVIUS 2022

A continuación se presenta una descripción de los sistemas lóticos identificados en la zona del proyecto.

- Quebrada La Vieja

La Quebrada La Vieja nace a 3200 metros sobre el nivel del mar y desemboca en el río Bogotá, hace parte de la cuenca Salitre, y está incluida en la Reserva Forestal de los Cerros Orientales de Bogotá. Debido a su ubicación permite el aprovechamiento del servicio ecosistémico cultural por medio de recreación, observación y apreciación de la naturaleza. La longitud de esta quebrada con sección natural es de aproximadamente 3 025 m, iniciando en los cerros orientales de Bogotá hasta aproximadamente la coordenada 4 883 365E, 2 072 193N, luego de este punto, la quebrada la vieja se incorpora al sistema de alcantarillado sanitario combinado mediante el colector la vieja el cual tiene una sección circular de 1,30 m de diámetro revestida con la ladrillo. Fotografía 62.



Fotografía 62. Vista de la Quebrada La Vieja.
Fuente: Google Earth

- Canal Salitre

También conocido como río Arzobispo, río Salitre y río Juan Amarillo, nace como río Arzobispo en los cerros orientales de Bogota a 3200 msnm en la laguna del Verjón, que se encuentra en el páramo de Cruz verde en la cordillera oriental. El canal Salitre desciende por el costado del cerro de Monserrate y bordea el pico Salto de la Ninfa marcando el costado norte del parque nacional tomando el nombre de río Salitre, luego atraviesa las localidades de Santa Fe, Chapinero, Teusaquillo, Barrios Unidos, Engativá y Suba, y en el cruce con la carrera 68 toma finalmente el nombre de río Juan Amarillo, terminando su recorrido en el humedal Tibabuyes y desemboca finalmente en el río Bogotá.

Este canal pertenece a la cuenca Salitre que cuenta con un área de drenaje de 13,96 ha, una longitud de cauce principal de 19,76 km y pendiente media de cauce de 3,32%, su elevación promedio es la 2 879 msnm, donde su cota máxima está por el orden de los 3 200 msnm y la mínima está por el orden de los 2 540 msnm.

En los últimos años los canales de este tipo han sido recubiertos con concreto debido al incremento del riesgo de inundaciones, perdiendo el área permeable, aumentando la escorrentía superficial y reduciendo el tiempo de concentración, además se ha perdido la necesidad de espacio y biodiversidad alrededor de estos; el canal río Salitre presenta problemas de acumulación de sedimentos, contaminación del agua y malos olores, esto debido a la intención de solucionar la conducción de aguas lluvias de forma artificial. Se ha eliminado el drenaje urbano natural en el sitio, lo que ha aumentado las velocidades de escorrentía hacia el borde occidental de la ciudad con destino al río Bogotá sin utilizar los humedales como zonas de amortiguación natural. Fotografía 63.



Fotografía 63. Canal Salitre.

- Canal Cafam

Este canal pertenece a la cuenca Canal Cafam, tiene una longitud aproximada de 1 259 m y un área de aporte de 4 365 m^2. En la zona de cruce con el proyecto el canal tiene una sección trapezoidal de 1,0 m de base y 2,15 m de profundidad y en el cruce con la línea 2 del metro el paso se realiza con un Box Culvert de 2 celdas de aproximadamente 2,0 m de base y 2,15 m de altura. Fotografía 64, Fotografía 65.



Fotografía 64. Canal Cafam - Paso con Canal



Fotografía 65. Canal Cafam - Paso con Box Culvert.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Río Bogotá

Está ubicado en el altiplano cundiboyacense en el departamento de Cundinamarca, es el principal cauce fluvial de la sabana de Bogotá, nace en el páramo de Guacheneque en el municipio de Villapinzón a 3 300 msnm y su desembocadura es en el río Magdalena a la altura del municipio de Girardot a 280 msnm, subcuenca río Bajo Bogotá Apulo – Girardot. Cuenta con 347 km longitudinales, un área aportante de 6 000 km^2 aproximadamente y su caudal medio es de 27 m/s. Fotografía 66

Según el documento POMCA del río Bogotá, el 30% de la cuenca se caracteriza por presentar un relieve fuertemente ondulado a fuertemente quebrado, con pendientes entre 12 y 25%, le sigue en importancia el relieve Fuertemente Quebrado con pendientes entre 25 y 50%. Estas condiciones de relieve y pendiente se presentan de forma general en toda la cuenca, con excepción del área comúnmente denominada como sabana y en la parte baja de la cuenca, donde predominan las pendientes entre 0 y 7% y los relieves planos, ligeramente plano, ligeramente inclinado y ligeramente ondulado. En la actualidad la Corporación Autónoma Regional CAR ha realizado obras de adecuación hidráulica en varios tramos a lo largo del recorrido del río.

El río Bogotá es muy importante para Colombia ya que en sus zonas aledañas se desarrollan actividades económicas (agrícola, pecuaria e industrial) que representan el 26% del total a nivel nacional. El río se divide en tres cuencas, alta comprendida por 170 km entre Villapinzón – Puente La Virgen Cota, media comprendida por 90 km entre Cota – Salto del Tequendama donde las aguas reciben una fuerte carga de contaminación debido a los asentamientos y los afluentes como los ríos Salitre, Fucha, y Tunjuelo, y finalmente la cuenca baja comprendida por 120 km entre el Salto del Tequendama – Girardot, atraviesa 47 municipios del departamento de Cundinamarca.



Fotografía 66. Río Bogotá
Fuente: Google Earth

- Brazo del humedal Juan Amarillo

El brazo del humedal Juan Amarillo pertenece a la cuenca asociada al Humedal Juan Amarillo, este canal tiene una longitud de aproximadamente 2 661 m desde el inicio hasta su descarga aproximada al humedal juan amarillo en la coordenada 4 877 363E, 2 080 411N, su sección transversal es trapezoidal cubierta con pastos y vegetación en el inicio de su recorrido y con abundante vegetación en las bancas en su recorrido hasta el sitio de descarga. Fotografía 67.



Fotografía 67. Brazo del humedal Juan Amarillo.
Fuente: Google Earth

- Sistemas Lénticos

A partir de la cartografía base y datos obtenidos en campo, se identificaron los sistemas lénticos que corresponden al Lago Club los Lagartos, el Humedal Juan Amarillo y el Humedal La Conejera. Se resalta que la configuración de las obras de la L2MB no intervienen la ronda hídrica y afectaciones directas debido a que la tipología es subterránea en gran parte de su recorrido incluidos los pasos con los cuerpos de agua mencionados. Figura 339.

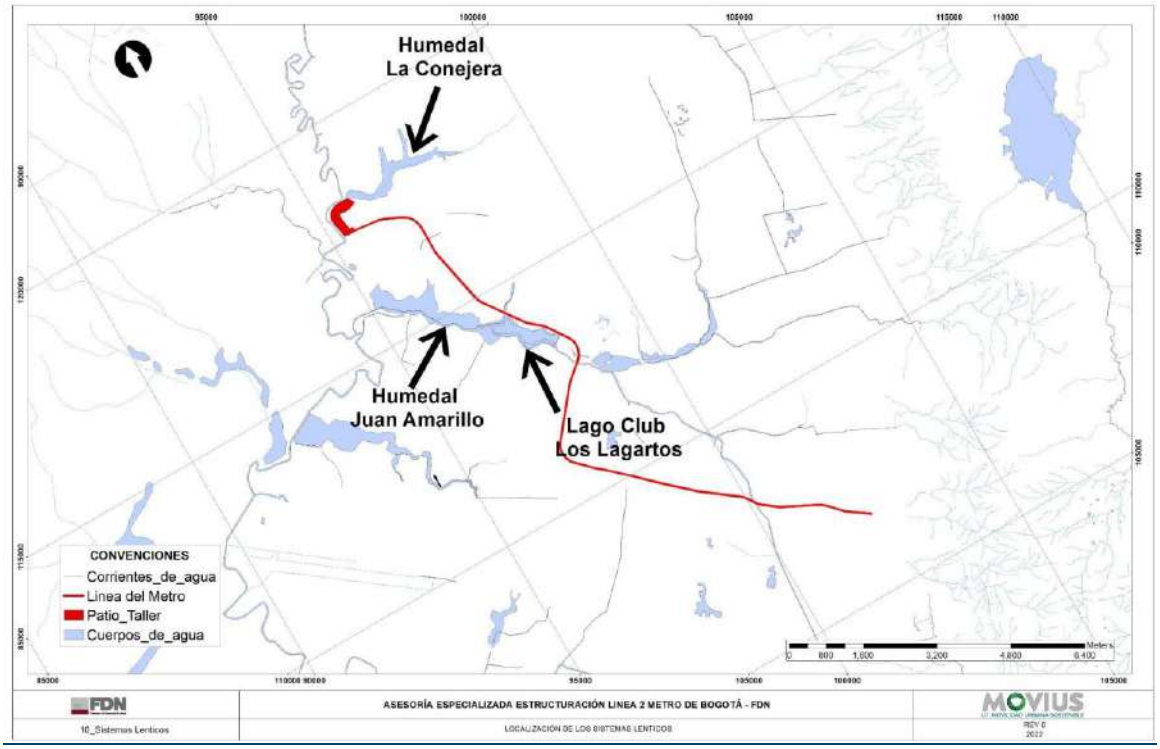


Figura 339. Ubicación de los sistemas lénticos que cruzan con el proyecto.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Lago Club Los Lagartos

El Lago Club Los Lagartos está ubicado en un predio privado (Figura 44) y no está definido como Parque Ecológico DIstrital Humedal, hace parte de un corredor conformado por el Humedal Córdoba y el Humedal Juan Amarillo, ya que los tres hacen conforman un mismo sistema biofísico en el que el canal salitre es el eje integrador. El Parque Ecológico Distrital de Humedal Córdoba, se encuentra ubicado al noroccidente de Bogotá en la localidad de Suba, es un humedal de planicie que forma parte de la subcuenca Salitre, su área protegida es de 40,4 ha, actualmente se encuentra fragmentado en tres partes y está conectado con el “Parque Urbano Canal Córdoba” y el “Parque Metropolitano Canal de los Molinos”, continúa al occidente con el lago del Club Choquenzá, Los Lagartos, y el Humedal TIbabuyes formando el sistema Córdoba - Juan Amarillo, siendo alimentado por las aguas de los canales Molinos, Callejas y Córdoba. Su temperatura es de 12,6 °C y su precipitación es de 1000 mm por año, la humedad relativa es del 64,3% y la velocidad del viento es de 1,8 m/s en dirección noreste.

En la zona del Club Los Lagartos afloran aguas calientes relacionadas con actividad hidrotermal, su origen está relacionado con el fracturamiento asociado a fallas N-S que generan un sistema de bloques en el conjunto de pliegues sinclinal-anticlinal que forman los cerros de suba. Los ejes de plegamiento tienen una dirección N-S y algunas de las fallas son paralelas. Se ha considerado por diferentes autores que el movimiento del agua termal hacia la superficie ocurre por las fallas como el Dorado y el Porvenir de dirección N-S (Velandia 2002) y que segmentarian la falla transveral E-W Juan Amarillo (Gomez 1985) o falla los lagartos (Royo y Gomez-1946; Lobo Guerrero 1996). La dirección de las lomas N-S de los cerros de suba compuestos por la formación Guaduas y formación Cacho, se relacionan discordantemente con la formación Sabana de edad pleistoceno y afloran en cerros aislados separados por los sedimentos lacustres de la formación Sabana. Uno de estos cerros cercano al Club los lagartos donde La falla los lagartos (E-W) es disectada e interrumpida por trazas de la falla el Porvenir y/o el Dorado (N-S), podrían ser el corredor fracturado vertical dentro del macizo rocoso

de la formación Guaduas, por donde se desplaza el agua termal a superficie y se manifiesta en un punto de agua que se acumula en los niveles arcillosos impermeables de la formación Sabana que rodean los cerros pre cuaternarios. Fotografía 68.





Fotografía 68. Lago Club los Lagartos
Fuente: Secretaría de Ambiente Bogotá. (2019).

- Humedal Juan Amarillo

Este humedal se encuentra ubicado al noroccidente de Bogotá, entre las localidades de Suba y Engativá sobre la transversal 91 y la carrera 140 aproximadamente, siendo el más extenso de la sabana de Bogotá. En su parte final se conecta con la cuenca Salitre y desemboca en el río Bogotá, . El humedal Juan Amarillo, tiene un área de 2,22 km^2 y fue decretado como Parque Ecológico Distrital Humedal Juan Amarillo; cuenta con un área de 222,74 ha y está declarado como Reserva Ambiental Natural. Su tamaño y posición geográfica favorecen la conectividad entre los humedales de La Conejera, Jaboque y La Florida a través del río Bogotá y Córdoba a través del río Juan Amarillo. Su cercanía con los cerros favorece el tránsito de especies entre estos dos ecosistemas, siendo un hidrosistema en una matriz urbana que presenta un alto grado de intervención y deterioro, aún así, conserva una serie de atributos ambientales (hidrológicos, ecológicos y sociales) de gran importancia. Este espacio, que se encuentra dividido en tres tercios: alto, medio y bajo, cuenta con una gran variedad de flora y fauna y posee las siguientes características:

- Tercio alto: se conoce como la laguna de Tibabuyes y es el hábitat de aves endémicas como la garza buyera, garza real, tingüa de pico amarillo, patico zambullidor y garza nocturna; aves migratorias nacionales como el alcaraván, ibis de cara roja y cormorán; e internacionales como las tringas. También cuenta con vegetación acuática con plantas como enea, buchón y helecho de agua, y vegetación terrestre con plantas como el nogal, el roble, el cedro, entre otros.
- Tercio medio: en este tercio, se encuentran animales como la chucua de los curies y se evidencia la presencia de avifauna con especies como la tingüa de pico rojo, el garrapatero, chirlobirlo, bichofué, gavilán maromero y pato turrio; en uno de los canales afluentes a este tercio, se localizan los peces guppys. En cuanto a la vegetación acuática se incluyen el junco, la enea, botoncillo y barbasco, y en cuanto a la vegetación terrestre se incluyen especies como la higuerilla, la zarzamora, pasto kikuyo, uchuva, entre otras.
- Tercio bajo: en el tercio bajo hay presencia de especies de avifauna como la focha, tingüa de pico rojo, tingüa bogotana, monjitas y cucarachero, con respecto a la vegetación acuática cuenta con el junco, la enea, el buchón y botoncillo, y la vegetación terrestre, es conformada por los asilos y especies de porte alto.





Fotografía 69. Humedal Juan Amarillo.
Fuente: Secretaría de Ambiente Bogotá, (2019).

- Humedal La Conejera

El humedal La Conejera, fue decretado Parque Ecológico Distrital de Humedal La Conejera, cuenta con un área de 58,9 ha incluyendo el Área Forestal Protectora o Zona de Manejo y Preservación Ambiental, se encuentra ubicado en la localidad de Suba de Bogotá, entre la quebrada La Salitrosa al oriente y el río Bogotá al occidente; el sector norte del humedal, está rodeado en su mayoría por predios rurales, mientras que, al sur y al oriente se rodea por predios urbanizados. El humedal pertenece a la cuenca de Torca y a la subcuenca del río Bogotá, cuenta con una temperatura de 12,6°C y su precipitación es de 1000 mm por año, la humedad relativa es de 65%, velocidad del viento de 2,0 m/s dirección noreste, y además cuenta con suelos arcillosos con ciento de metros de profundidad. El principal afluente del humedal es la Quebrada La Salitrosa, que nace en el Cerro La Conejera; el humedal contribuye a la regulación del caudal del río Bogotá, tanto en época de lluvias como en temporadas de estiaje, y mantiene un nivel hídrico estable. Actualmente, su capacidad de regulación se ha visto afectada por la desecación de sus afluentes primarios y nacederos que captan el agua de los cerros de La Conejera y El Indio. Fotografía 70.

Actualmente el PEDH La Conejera, cuenta con algunas problemáticas como, afectación de la calidad del agua debido a las conexiones erradas y a los residuos sólidos que llegan por el sistema pluvial de áreas aledañas, problemas de seguridad, deterioro y transgresión de la malla de cerramiento, presencia de habitantes de calle y zonas de consumo de sustancias psicoactivas, viviendas ubicadas al interior del límite legal, competencia agresiva con la flora típica por parte de pastos y especies acuáticas y forestales introducidas, presencia de animales domésticos, colmatación del humedal por aportes de sedimentos, entre otras.





Fotografía 70. Humedal La Conejera.
Fuente: Secretaría de Ambiente Bogotá. (2019).

5.2.2.5.6. Balance hídrico superficial - BHS

Para el cálculo del balance hídrico anual, se asume que el volumen de control comprende desde la superficie hasta la máxima profundidad de la zona vadosa, incluyendo el acuífero superficial o poco profundo, tal como lo propone Eagleson (1978), en el esquema del suelo para balance hídrico superficial, presentado en la Figura 340 y la Figura 341 .

En un balance hídrico se determinan cuales son las entradas y las salidas de la cuenca:

$$Entradas \ - \ Salidas = \frac{dV}{dt}$$

En donde la entrada corresponde a la precipitación total media (P), teniendo en cuenta que se trata de una cuenca cerrada. En cuanto a las salidas, estas corresponden a la evapotranspiración (ET), el caudal de salida (Qs) o escorrentía y la percolación (Gs), en donde la suma de esas entradas y salidas tendrá que ser igual cambio del almacenamiento de agua en el suelo para un determinado periodo de tiempo $\left(\frac{dS}{dt}\right)$, este balance se expresa mediante:

$$(P) \ - \ (ET + Q_s + G_s) = \frac{dS}{dt}$$

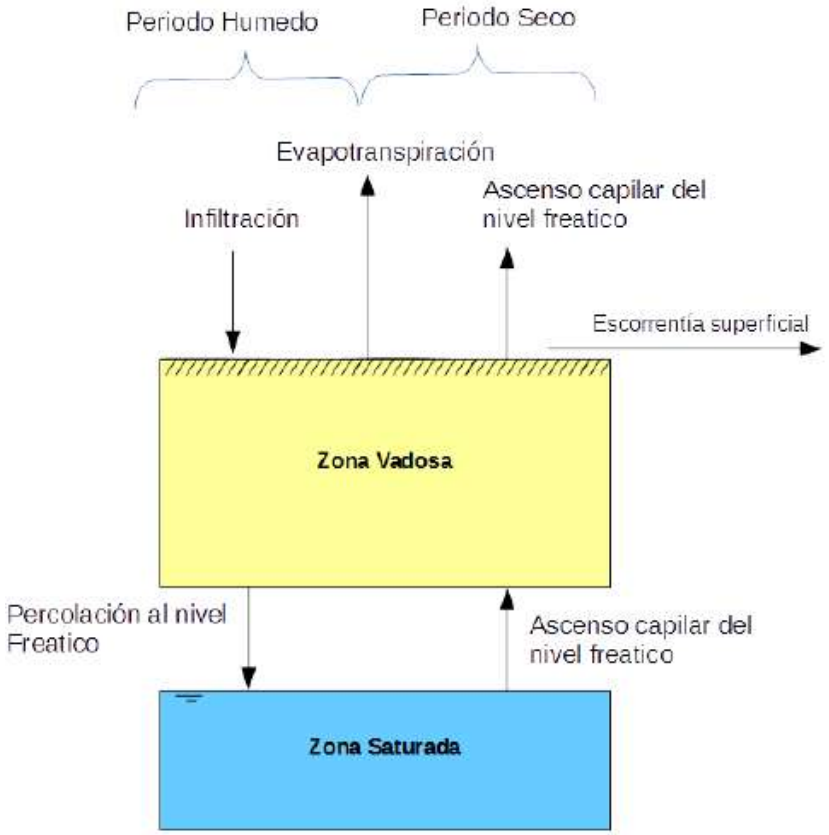


Figura 340. Representación de la columna de suelo. Adaptado de (Eagleson, 1978)

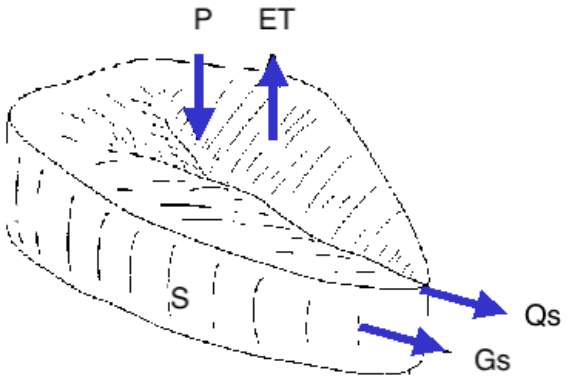


Figura 341. Balance hídrico superficial
Fuente: Adaptada de S.L.Dingman. Physical Hydrology. (1994).

Para el balance hídrico de las cuencas en el proyecto se utiliza el método de Thornthwaite y Matter (1955), este método supone que el agua llega al suelo proviene de la precipitación, escorrentía o aportes subterráneos y que las pérdidas hacia la atmósfera son ocasionadas por la evaporación y por la transpiración desde la vegetación existente en condiciones

medias climáticas. Para este caso se utilizará como salidas la evapotranspiración potencial (ETP) y el caudal de salida (Qs), dejando el balance de la siguiente forma:

$$(P) \; - \; (ETP + Q_s) = \frac{dS}{dt}$$

A partir de la ecuación anterior, se define el almacenamiento $\left(\frac{dS}{dt}\right)$, para después poder definir la percolación (Gs) generada por el suelo una vez el suelo se sature.

5.2.2.5.6.1. Precipitación (P)

Para el cálculo de la precipitación media se utilizará el método de las isoyetas siguiendo la formulación:

$$P = \frac{\sum_{j=1}^{m} \left[\left(P_j + P_{j+1}\right)/2\right] \cdot A_j}{\sum_{j=1}^{m} A_j}$$

Donde:

Pj: Precipitación de la Isoyeta
Aj: Área entre las isoyetas consecutivas (j y j+1)
m: Número total de isoyetas

En la Tabla 210, se presentan las precipitaciones medias mensuales para cada subcuenca delimitada.

Tabla 210. Resultados de la precipitación media mensual por el método de las isoyetas.

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Humedal La Conejera	37,81	56,27	78,32	104,67	94,65	53,46	44,58	45,64	63,38	103,33	106,23	57,3
Canal Cafam	41,78	58,62	83,87	107,39	97,98	50,81	43,90	46,36	63,20	104,21	112,63	61,23
Cuenca 1	43,10	59,42	86,00	108,43	99,43	50,38	44,00	46,78	63,20	104,58	115,11	62,54
Humedal Juan Amarillo	45,12	60,67	87,59	108,41	99,87	50,07	43,99	47,17	62,90	104,49	117,70	63,53
Cuenca 2	47,65	62,40	91,00	109,58	102,06	49,76	44,05	47,65	62,80	105,13	122,18	65,92
Canal Salitre B	61,52	73,03	109,98	124,61	121,16	79,64	73,53	62,81	55,93	121,83	150,12	81,69
Canal Salitre Completo	55,52	66,61	100,14	115,43	110,24	66,04	60,96	54,83	57,67	113,85	136,29	72,68

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Coeficiente de escorrentía:

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía, se utilizarán las tablas de referencia presentadas en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS y el shape de coberturas disponible en el Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia del año 2017 del SIAC, Tabla 211; Figura 342.

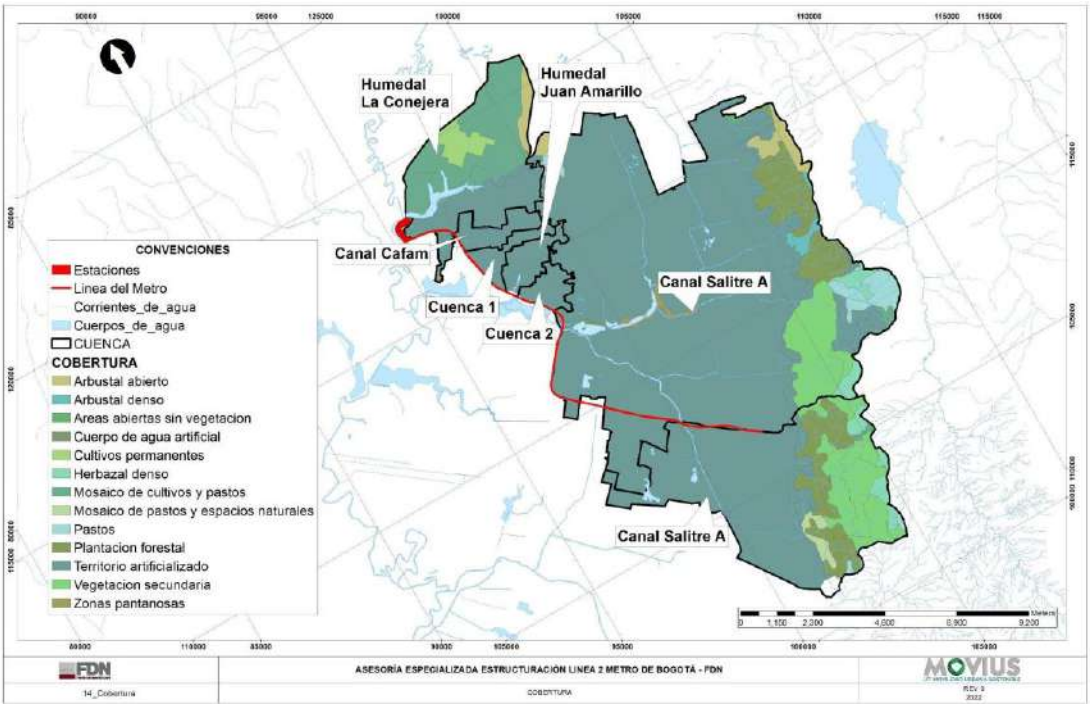


Figura 342. Cobertura de las subcuencas.

Fuente: SIAC. *Mapa de ecosistemas continentales, marinos y costeros de Colombia 2017. Versión 2.1*. (2017).

Tabla 211. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas urbanas y rurales.

TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C
PRADOS	
Suelos arenosos, planos, 2%	0.05 - 0.10
Suelos arenosos, promedio, 2 -7 %	0.15 - 0.20
Suelos pesados (arcillosos), planos, 2%	0.13 - 0.17
Suelos pesados (arcillosos), promedio, 2 -7 %	0.18 - 0.22
Suelos pesados (arcillosos), pendientes, 7%	0.25 - 0.35
DISTRITOS COMERCIALES	
Áreas de centro de ciudad	0.70 - 0.95
Áreas vecinas	0.50 - 0.70
RESIDENCIAL	
Casas individuales separadas	0.30 - 0.50
Casas multifamiliares separadas	0.40 - 0.60
Casas multifamiliares unidas	0.60 - 0.75
Suburbana	0.25 - 0.40
Áreas de apartamentos de vivienda	0.50 - 0.70
INDUSTRIAL	
Áreas livianas	0.50 - 0.80
Áreas pesadas	0.60 - 0.90
PARQUES CEMENTERIOS	0.10 - 0.25
CAMPOS DE JUEGOS	0.20 - 0.35
ÁREAS DE PATIOS DE FERROCARRILES	0.20 - 0.40
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0.10 - 0.30
CALLES	
Asfaltadas	0.70 - 0.95
Concreto	0.80 - 0.95
Ladrillo	0.70 - 0.85
CALZADAS Y ALAMEDAS	0.75 - 0.85
TECHOS	0.75 - 0.95

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82

Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.

Fuente: INVIAS. *Manual de Drenaje para Carreteras*. (2009)

A partir de la información del shape de coberturas y las recomendaciones del Manual de drenajes, se obtuvieron los resultados de coeficientes para cada subcuenca indicados en la

Tabla 212. Coeficientes de escorrentía para cada subcuenca.

Cuencas	C
Humedal La Conejera	0,65
Canal Cafam	0,85
Cuenca 1	0,85
Humedal Juan Amarillo	0,85
Cuenca 2	0,85
Canal Salitre B	0,66
Canal Salitre Completo	0,73

Fuente: UT MOVIUS 2022

Adicionalmente, para establecer el porcentaje de error de los valores estimados para el coeficiente de escorrentía, se determina a partir de los registros de las estaciones de caudal dentro de las subcuencas el coeficiente de escorrentía calculado (C cal) definido con la Tabla 26 y el coeficiente de escorrentía real (C real) despejando este parámetro de la Ecuación 16, y utilizando los valores de precipitación media, área, y caudal registrado, obteniendo los resultados presentados en la Tabla 213.

Tabla 213. Cálculo del porcentaje de error del coeficiente de escorrentía.

Estación	A (km²)	P (mm)	Q (m³/s)	C Cal	C Real	Error
Tramonti -QDA. Chico (2120948)	1,81	1092,75	0,02	0,38	0,37	3%
Ventana-Captación - QDA. La Vieja (2120949)	1,26	1159,02	0,02	0,38	0,41	7%
Parque Nacional - Río Arzobispo (2120951)	2,87	1169,15	0,03	0,36	0,32	11%

Fuente: UT MOVIUS 2022

Una vez definidos los parámetros requeridos para el cálculo del caudal medio; precipitación media que se relaciona en la , coeficiente de escorrentía en la , las áreas de drenaje y mediante la siguiente ecuación se calcula el caudal medio. Los resultados de este análisis se presentan en la

$$Q = C \cdot P \cdot A$$

Tabla 214. Caudal medio mensual multianual y medio multianual.

Subcuenca	Caudal (m³/s)												Q (m³/s)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Humedal La Conejera	0,15	0,23	0,32	0,43	0,39	0,22	0,18	0,19	0,26	0,42	0,43	0,23	0,29
Canal Cafam	0,03	0,04	0,06	0,07	0,06	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,07	0,04	0,05
Cuenca 1	0,02	0,03	0,05	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,06	0,06	0,03	0,04
Humedal Juan Amarillo	0,03	0,04	0,06	0,08	0,07	0,04	0,03	0,03	0,04	0,07	0,08	0,04	0,05
Cuenca 2	0,03	0,03	0,05	0,06	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,06	0,06	0,03	0,04
Canal Salitre B	0,5	0,6	0,9	1,02	0,99	0,65	0,6	0,51	0,46	0,99	1,23	0,67	0,76
Canal Salitre Completo	1,89	2,26	3,4	3,92	3,75	2,24	2,07	1,86	1,96	3,87	4,63	2,47	2,86

Fuente: UT MOVIUS 2022

A partir de los valores presentados en la Tabla 214, se define el rendimiento hídrico para cada cuenca en donde el rendimiento es igual al caudal sobre el área de la cuenca, Tabla 215. De este análisis se evidencia que el Humedal La Conejera, tiene el menor rendimiento con un valor de 17,61 l/s/km² y la Cuenca 2 tiene el mayor rendimiento con un valor de 24,76 l/s/km².

Tabla 215. Resultados del rendimiento hídrico de cada subcuenca.

Subcuenca	Q (m^3/s)	A (km^2)	Q (l/s)	Rend. H ($l/s/km^2$)
Humedal La Conejera	0,29	16,35	287,89	17,61
Canal Cafam	0,05	2,02	48,11	23,83
Cuenca 1	0,04	1,61	38,73	24,13
Humedal Juan Amarillo	0,05	2,13	51,58	24,25
Cuenca 2	0,04	1,62	40,00	24,76
Canal Salitre B	0,76	32,43	758,83	23,4
Canal Salitre Completo	2,86	121,37	2861,30	23,57

Fuente: UT MOVIUS 2022

Con los valores obtenidos para el rendimiento hídrico que se relacionan en la Tabla 216, se realizó una comparación con los valores de Rendimiento hídrico total para condiciones de año medio presentados en el Estudio Nacional del Agua (ENA, 2014[3]), los cuales se muestran en la Figura 343. De la comparación entre los valores calculados y los presentados en el Estudio Nacional del Agua, se concluye que el rendimiento calculado se encuentra en el mismo orden de estos, por lo que se aceptan los valores calculados.

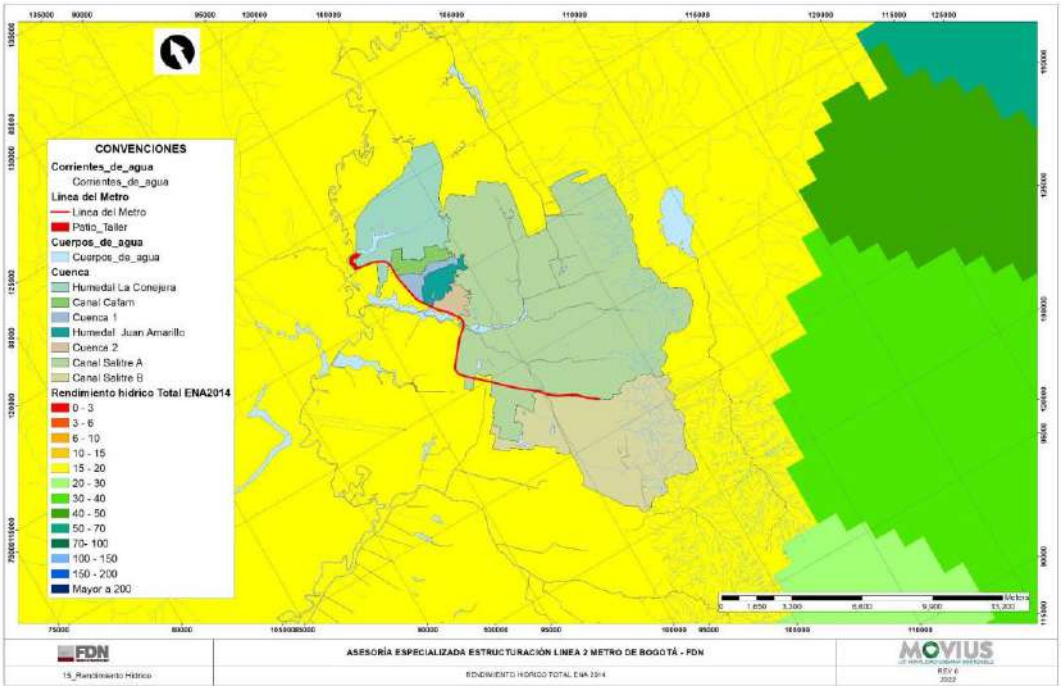


Figura 343. Rendimiento hídrico total año medio.
Fuente: SIAC. *Rendimiento hídrico total condiciones año medio. ENA 2014*, (2014).

[3] SIAC. Rendimiento hídrico total condiciones año medio. ENA 2014. (2014)

Para las estaciones Río Bogotá Chicú, Río Bogotá Vuelta Grande y Río Bogotá El Cortijo relacionadas con el Río Bogotá, se hallaron los caudales medios con un periodo independiente para cada estación y con base en estos, se calculó el rendimiento hidráulico de cada una. Los resultados de los caudales medios y el rendimiento hídrico se presentan en la Tabla 216.

Tabla 216. Resultados del rendimiento hídrico de las subcuencas río Bogotá.

Subcuenca	Q (m^3/s)	A (km^2)	Q (l/s)	Rend. H ($l/s/km^2$)
Estación Río Bogotá Chicú	13,33	2478,16	13333,07	5,38
Estación Río Bogotá Vuelta Grande	9,61	2479,07	9611,69	3,88
Estación Río Bogotá El Cortijo	22,48	2618,20	22482,19	8,59

Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.2.5.6.2. Evapotranspiración (ETP)

Se aclara que como la estación Planta Wiesner es la más cercana a la cuenca, se toman los valores de evapotranspiración potencial calculados para esa estación y se aplica para todas las subcuencas. Se calcula la evapotranspiración potencial mediante la siguiente ecuación:

$$E_P = EV \cdot K_P$$

Método del tanque evaporímetro

Se presentan los resultados para las estaciones evaluadas en la Tabla 217.

Tabla 217. Evapotranspiración potencial con el método del Tanque evaporímetro.

Estación	ETP (Mm/Mes)												ETP (mm/año)
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Planta wiesner	59,16	52,12	52,26	47,11	46,1	42,73	42,99	44,78	46,5	49,04	48,5	50,55	581,84
Ramada La	58,81	54,26	55,58	48,61	45,76	46,09	50,17	54,88	52,97	53,77	49,02	53,51	623,45

Fuente: UT MOVIUS 2022

En la se resumen los resultados obtenidos por los tres métodos evaluados para las estaciones seleccionadas en la zona de estudio. En esta se evidencia que la menor evapotranspiración se obtiene con el método del tanque evaporímetro, y la más alta con el método de Penman. No obstante, para este caso se selecciona la metodología del Tanque Evaporímetro teniendo en cuenta que esta se basa en mediciones realizadas de la evaporación, mientras que los métodos de Thornthwaite y Penman son metodologías indirectas basadas en formulaciones.

Tabla 218. Comparación de los resultados de evapotranspiración potencial.

Estación	Método	Prom
20642 Planta wiesner	Tanque evaporímetro	581,84
	Thornthwaite	778,08
	Penman	734,29
2120516 Ramada la	Tanque evaporímetro	623,45
	Thornthwaite	822,17
	Penman	792,26

Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.2.5.6.3. Caudal de salida (Qs)

Para el cálculo del caudal de salida o la escorrentía, se toman los valores determinados para el caudal medio mensual multianual y medio multianual que se muestran en la Tabla 219 y mediante se obtienen los valores para el caudal de salida.

Tabla 219. Caudal de salida/Escurrimiento (Qs) de cada subcuenca (mm).

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Humedal la conejera	24,49	36,45	50,73	67,8	61,31	34,63	28,88	29,56	41,05	66,93	68,81	37,11
Canal cafam	35,51	49,82	71,29	91,28	83,29	43,19	37,32	39,41	53,72	88,58	95,74	52,04
Cuenca 1	36,64	50,51	73,1	92,16	84,52	42,82	37,4	39,76	53,72	88,89	97,84	53,15
Humedal juan amarillo	38,18	51,34	74,12	91,74	84,51	42,37	37,22	39,91	53,23	88,42	99,6	53,76
Cuenca 2	40,32	52,81	77	92,73	86,37	42,11	37,28	40,32	53,15	88,96	103,39	55,79
Canal salitre B	40,5	48,08	72,4	82,04	79,76	52,43	48,41	41,35	36,82	80,2	98,83	53,78
Canal salitre completo	40,4	48,47	72,87	83,99	80,22	48,05	44,36	39,89	41,96	82,84	99,17	52,88

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Almacenamiento (S)

El almacenamiento o reserva de agua del suelo es la cantidad de agua que un suelo contiene en un momento dado, dicha reserva varía entre un valor de cero (suelo seco) y la capacidad de campo, la cual corresponde a la cantidad de agua que queda en el suelo después de que un exceso de agua ha drenado.

Para el cálculo de este parámetro se sigue la secuencia indicada en la , en esta se consideran dos restricciones, la primera indica que no se puede tener un valor negativo, y la segunda es que no se exceda la capacidad máxima que permite almacenar el suelo. Para determinar cuál es la capacidad máxima, se utiliza la ecuación definida en el libro "Hidrología Aplicada" de Ven te Chow:

$$Smax = \frac{25400}{CN} - 254$$

Ecuación 48. Capacidad máxima de almacenamiento

Donde:
Smax: es el almacenamiento máximo en mm
CN: es la curva de nivel

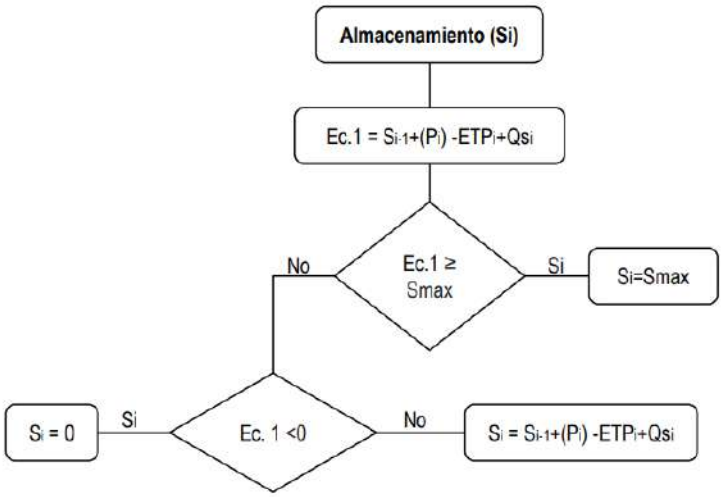


Figura 344. Diagrama de flujo del cálculo del almacenamiento (Si).
Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Tabla 220, se presentan los valores calculados para el almacenamiento de cada cuenca evaluada.

Tabla 220. Capacidades máximas de cada subcuenca.

Subcuenca	CN	S (Mm)
Humedal la conejera	86	40,89
Canal cafam	98	5,18
Cuenca 1	98	5,18
Humedal juan amarillo	98	5,20

Subcuenca	CN	S (Mm)
Cuenca 2	98	6,08
Canal salitre B	81	58,87
Canal Salitre Completo	87	36,78

Fuente: UT MOVIUS 2022

Adicionalmente, se establece el uso del almacenamiento (SU), para cuando se produce un balance negativo (P-ETP-Qs) del cual se utiliza el almacenamiento disponible hasta agotarlo. En la Figura 345, se indica el procedimiento para su cálculo.

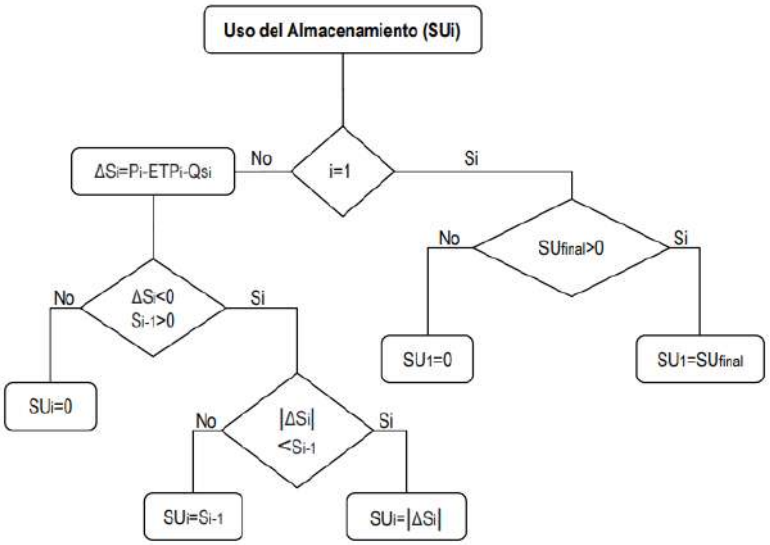


Figura 345. Diagrama de flujo del cálculo del uso del almacenamiento (SUi).
Fuente: UT MOVIUS 2022

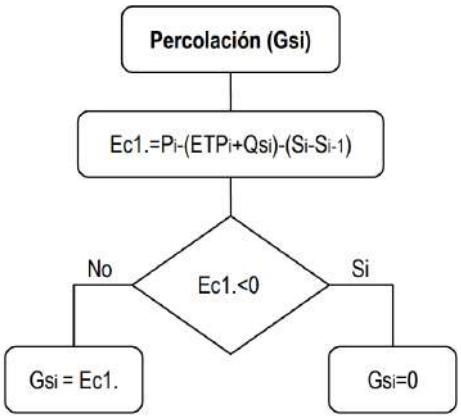
5.2.2.5.6.4. Percolación (Gs)

En el cálculo de la percolación, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$(P) \; - \; (ET + Q_s + G_s) = \frac{dS}{dt}$$

Ecuación 49. Cálculo de la Percolación

En esta se despeja el valor de Gs, aplicándolo para cuando el almacenamiento llegue a su capacidad máxima. El procedimiento se resume en el diagrama de flujo mostrado en la siguiente figura:



Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.2.5.6.5. Déficit (D)

El déficit de agua es el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (Evapotranspiración). Se presenta la secuencia de cálculo utilizada para estimar este valor, Figura 346.

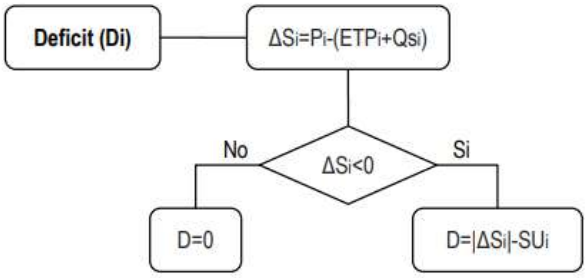


Figura 346. Diagrama de flujo del cálculo del déficit (Di).
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.2.5.6.6. Excesos (E)

El exceso es el volumen de agua que supera la capacidad máxima de almacenamiento (Smax) y que se perderá por escorrentía superficial o profunda[4]. En la Figura 347, se presenta la secuencia de cálculo utilizada para estimar este valor.

[4] Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Balance hídrico y sus aplicaciones. (2021).

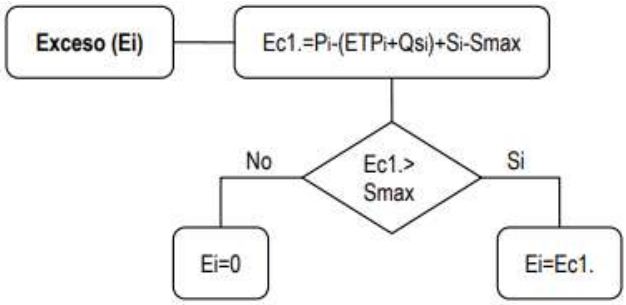


Figura 347. Diagrama de flujo del cálculo del exceso (Ei).
Fuente: IGAC.Balance hídrico y sus aplicaciones. (2021).

5.2.2.5.6.7. Evapotranspiración Real (ETR)

La evapotranspiración real es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes, dependiendo de la disponibilidad de agua para evaporar, esta se puede definir con el déficit (D) que se genera utilizando la evaporación potencial. Este parámetro se determina mediante la siguiente ecuación:

$$ETR_i = ETP_i - D_i$$

Ecuación 50. Evapotranspiración real

5.2.2.5.6.8. Resultado del balance hídrico

Definidos los parámetros requeridos para el balance hídrico superficial, se presentan los resultados para cada una de las cuencas analizadas para el proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.

- Humedal La Conejera

En el balance hídrico del Humedal La Conejera mostrado en la Figura 348 y Tabla 221, se obtiene una precipitación total anual de 845,64 mm, una escorrentía de total anual de 547,74 mm, una evapotranspiración real total anual de 297,90 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -23,66 mm.

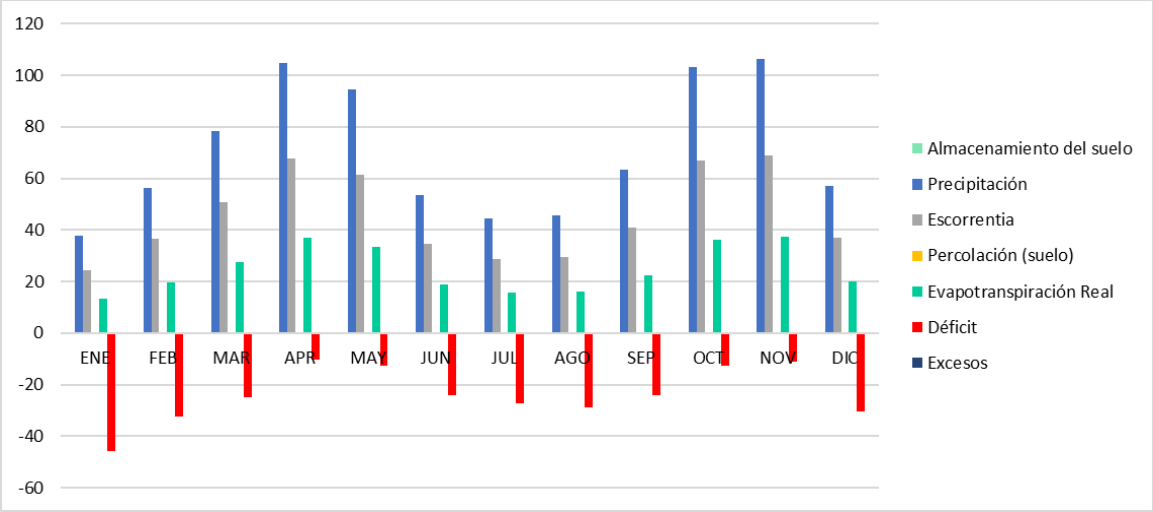


Figura 348. Balance hídrico del Humedal La Conejera en (mm).
Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 221. Balance hídrico del Humedal La Conejera en (mm).

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	[P]	37,8	56,3	78,3	104,7	94,7	53,5	44,6	45,6	63,4	103,3	106,2	57,3
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,6
Escorrentía	[Qs]	24,5	36,5	50,7	67,8	61,3	34,6	28,9	29,6	41,1	66,9	68,8	37,1
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Evapotranspiración real	[ETR]	13,3	19,8	27,6	36,9	33,3	18,8	15,7	16,1	22,3	36,4	37,4	20,2
Déficit	[D]	45,8	32,3	24,7	10,2	12,8	23,9	27,3	28,7	24,2	12,6	11,1	30,4
Excesos	[E]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Canal Cafam

En el balance hídrico del Canal Cafam mostrado en la Figura 349 y la Tabla 222, se obtiene una precipitación total anual de 871,98 mm, una escorrentía de total anual de 741,19 mm, una evapotranspiración real total anual de 130,80 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -37,59 mm.

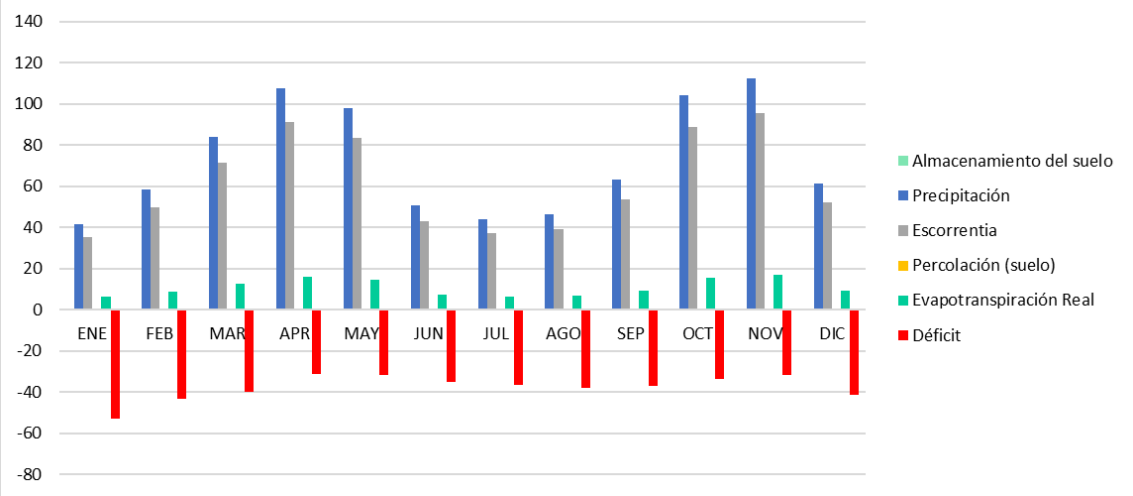


Figura 349. Balance hídrico del Canal Cafam en (mm).
Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 222. Balance hídrico del Canal Cafam en (mm).

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	[P]	41,8	58,6	83,9	107,4	98,0	50,8	43,9	46,4	63,2	104,2	112,6	61,2
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,6
Escorrentía	[Qs]	35,5	49,8	71,3	91,3	83,3	43,2	37,3	39,4	53,7	88,6	95,7	52,0
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Evapotranspiración real	[ETR]	6,3	8,8	12,6	16,1	14,7	7,6	6,6	7,0	9,5	15,6	16,9	9,2
Déficit	[D]	52,9	43,3	39,7	31,0	31,4	35,1	36,4	37,8	37,0	33,4	31,6	41,4
Excesos	[E]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Cuenca 1

En el balance hídrico de la Cuenca 1 mostrado en la Figura 350 y Tabla 223, se obtiene una precipitación total anual de 882,97 mm, una escorrentía de total anual de 750,52 mm, una evapotranspiración real total anual de 132,44 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -37,45 mm.

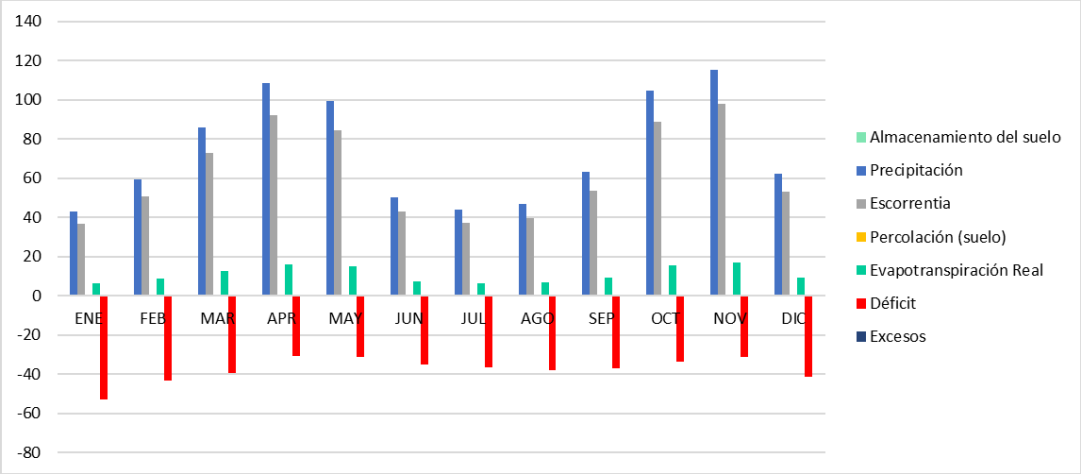


Figura 350. Balance hídrico de la Cuenca 1 en (mm).
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Humedal Juan Amarillo

En el balance hídrico del Humedal Juan Amarillo mostrado en la Figura 351 y la Tabla 224 , se obtiene una precipitación total anual de 891,51 mm, una escorrentía de total anual de 754,41 mm, una evapotranspiración real total anual de 137,10 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -37,06 mm.

Tabla 223. Balance hídrico de la Cuenca 1 en (mm).

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	[P]	43,1	59,4	86,0	108,4	99,4	50,4	44,0	46,8	63,2	104,6	115,1	62,5
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,6
Escorrentía	[Qs]	36,6	50,5	73,1	92,2	84,5	42,8	37,4	39,8	53,7	88,9	97,8	53,2
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Evapotranspiración real	[ETR]	6,5	8,9	12,9	16,3	14,9	7,6	6,6	7,0	9,5	15,7	17,3	9,4
Déficit	[D]	52,7	43,2	39,4	30,9	31,2	35,2	36,4	37,8	37,0	33,4	31,2	41,2
Excesos	[E]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: UT MOVIUS 2022

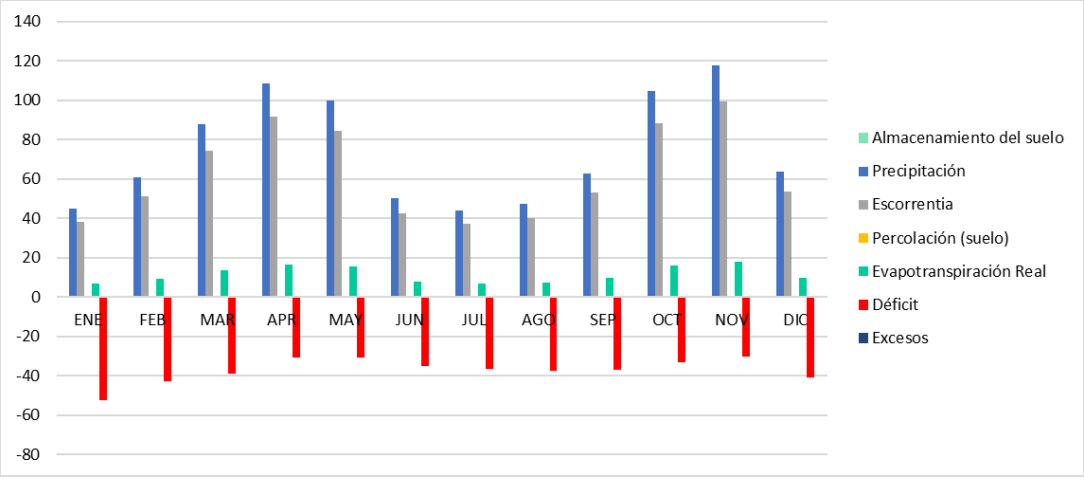


Figura 351. Balance hídrico del Humedal Juan Amarillo en (mm)
Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 224. Balance hídrico del Humedal Juan Amarillo en (mm).

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	[P]	45,1	60,7	87,6	108,4	99,9	50,1	44,0	47,2	62,9	104,5	117,7	63,5
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,6
Escorrentía	[Qs]	38,2	51,3	74,1	91,7	84,5	42,4	37,2	39,9	53,2	88,4	99,6	53,8
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Evapotranspiración real	[ETR]	6,9	9,3	13,5	16,7	15,4	7,7	6,8	7,3	9,7	16,1	18,1	9,8
Déficit	[D]	52,2	42,8	38,8	30,4	30,7	35,0	36,2	37,5	36,8	33,0	30,4	40,8
Excesos	[E]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Cuenca 2

En el balance hídrico de la Cuenca 2 mostrado en la Figura 352 y la Tabla 225, se obtiene una precipitación total anual de 910,19 mm, una escorrentía de total anual de 770,22 mm, una evapotranspiración real total anual de 139,97 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -36,82 mm.

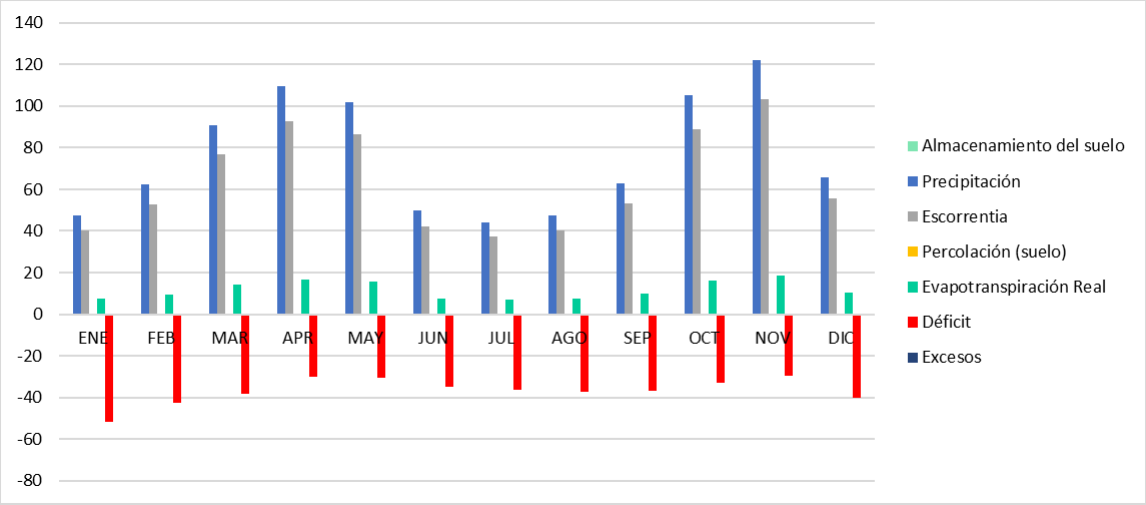


Figura 352. Balance hídrico de la Cuenca 2 en (mm).

Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 225. Balance hídrico de la Cuenca 2 en (mm).

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	[P]	47,7	62,4	91,0	109,6	102,1	49,8	44,1	47,7	62,8	105,1	122,2	65,9
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,6
Escorrentía	[Qs]	40,3	52,8	77,0	92,7	86,4	42,1	37,3	40,3	53,2	89,0	103,4	55,8
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Evapotranspiración real	[ETR]	7,3	9,6	14,0	16,9	15,7	7,7	6,8	7,3	9,7	16,2	18,8	10,1
Déficit	[D]	51,8	42,5	38,3	30,3	30,4	35,1	36,2	37,5	36,8	32,9	29,7	40,4
Excesos	[E]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Canal Salitre B

En el balance hídrico del Canal Salitre B mostrado en la Figura 353 y la Tabla 226, se obtiene una precipitación total anual de 1115,85 mm, una escorrentía de total anual de 734,6 mm, una evapotranspiración real total anual de 381,24 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -16,72 mm.

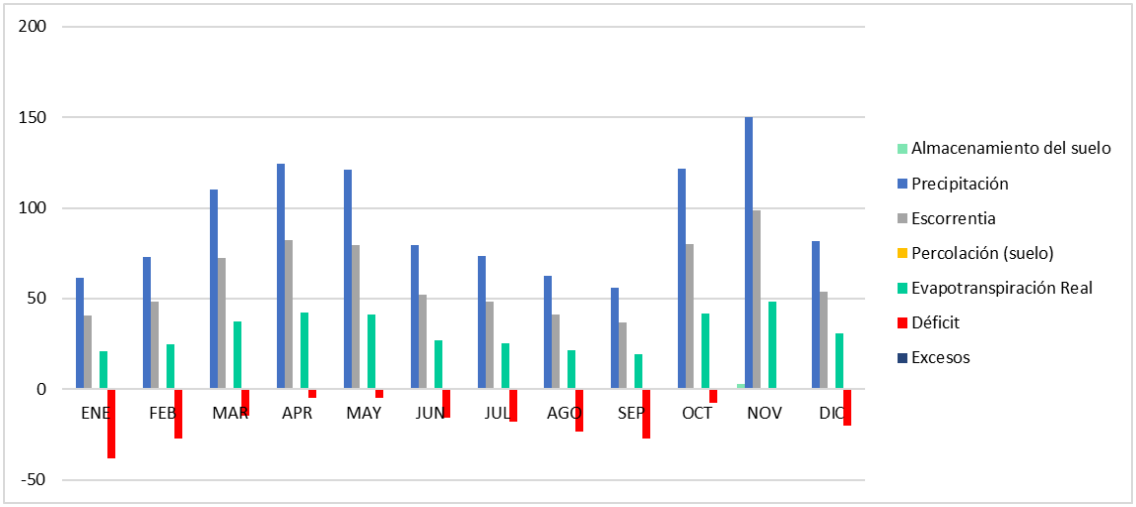


Figura 353. Balance hídrico del Canal Salitre B en (mm)
Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 226. Balance hídrico del Canal Salitre B en (mm).

Parámetro		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación	[P]	61,5	73,0	110,0	124,6	121,2	79,6	73,5	62,8	55,9	121,8	150,1	81,7
Evapotranspiración potencial	[ETP]	59,2	52,1	52,3	47,1	46,1	42,7	43,0	44,8	46,5	49,0	48,5	50,6
Escorrentía	[Qs]	40,5	48,1	72,4	82,0	79,8	52,4	48,4	41,4	36,8	80,2	98,8	53,8
Capacidad máxima del suelo	[Smax]	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9	58,9
Almacenamiento del suelo	[S]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0
Percolación (suelo)	[Gs]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso del almacenamiento	[SU]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0
Evapotranspiración real	[ETR]	21,0	25,0	37,6	42,6	41,4	27,2	25,1	21,5	19,1	41,6	48,5	30,7
Déficit	[D]	38,1	27,2	14,7	4,5	4,7	15,5	17,9	23,3	27,4	7,4	0,0	19,8
Excesos	[E]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: UT MOVIUS 2022

El balance hídrico se realizó con el fin de establecer si existe o no déficit del recurso hídrico en las cuencas localizadas dentro de una determinada zona de estudio. Para este caso particular este es un insumo mediante el cual se calculó la infiltración potencial hacia el acuífero en la zona proyecto. De los resultados obtenidos para las diferentes subcuencas analizadas, se pudo determinar que, en general la escorrentía en toda la zona es alta debido a que la mayor parte de las

subcuencas están compuesta por territorios artificiales, en otras palabras, territorios cuyas coberturas son impermeables y por ello se tienen altos valores de los coeficientes de escorrentía.

Para la modelación hidrogeológica de la zona de calle 72 el balance se realizó teniendo en cuenta que esta zona se encuentra dentro de la cuenca caracterizada del canal Salitre que abarca un área mayor a la aferente a la zona de calle 72. De esta manera, se realizó el cálculo de la recarga para la subcuenca de los cerros orientales, correspondiente a zona rural y subcuenca urbana.

En el balance hídrico para la subcuenca rural de los cerros orientales, se obtuvo una precipitación total anual de 1115,8 mm, una escorrentía de total anual de 424 mm, una evapotranspiración real total anual de 581,8 mm y una percolación de 83 mm que representa el 7,4% de la precipitación total. En este caso, se definió un déficit promedio de 2,3 mm. En el balance hídrico para la subcuenca urbana de los cerros orientales, se obtuvo una precipitación total anual de 1115,8 mm, una escorrentía de total anual de 948,5 mm, una evapotranspiración real total anual de 581,8 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -34,5 mm.

De acuerdo con lo anterior, para el área afluente al polígono de estudio de la zona de calle 72, la subcuenca urbana aferente tiene menor capacidad de infiltración debido a que su cobertura en su mayoría es impermeable, lo cual se refleja en el balance hídrico realizado, donde se encontró una percolación de 0 mm, mientras que, para sa subcuenca rural de los cerros orientales se obtuvo una percolación de 83 mm que representa el 7,4% de la precipitación total.

De los resultados obtenidos para las diferentes subcuencas analizadas, se puede determinar que, en general la escorrentía en toda la zona es alta, y los valores del BHS lo reflejan, debido a que la mayor parte de las subcuencas están compuesta por territorios artificiales, en otras palabras, territorios cuyas coberturas son impermeables y por ello se tienen altos valores de los coeficientes de escorrentía. En este sentido, se puede concluir que no hay recarga del acuífero por precipitación en las cuencas analizadas.



5.2.2.5.7. Unidades hidrogeológicas

Dentro de la caracterización hidrogeológica del área de influencia del proyecto L2 del Metro de Bogotá, se identificaron las unidades de roca y suelo con base en sus características estratigráficas, texturales y composicionales, incluyendo además porosidad (primaria o secundaria por fracturamiento o por disolución) y estado dentro del perfil de meteorización. Además, se identifica el espesor de la unidad, relaciones estratigráficas, cambios litológicos o variación litofacial, geometría de los horizontes y relación con estructuras geológicas como fallas (zonas de fracturamiento intenso), pliegues y discordancias. Los datos de instrumentación como permeabilidad y conducción hidráulica complementan la definición de las unidades hidrogeológicas. Anexo 5.2 - 8.1 al Anexo 5.2 - 8.7. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0071_V01.

En general, uno de los parámetros principales que permiten el almacenamiento y transmisión de agua es la porosidad, esta puede ser diferenciada dentro de los siguientes tipos:

- Porosidad intergranular o primaria: Es típica de materiales detríticos no consolidados, es decir depósitos o sedimentos sueltos, y de las rocas sedimentarias poco cementadas. En estas unidades litológicas los poros constituyen una intrincada red de canales de pequeño diámetro por los que circula el agua subterránea debido a que los poros o espacios vacíos se encuentran interconectados entre sí. La porosidad en estos materiales suele estar en el rango entre 45% – 25%. En el caso del presente estudio, todas las unidades geológicas identificadas poseen este tipo de porosidad dada su génesis sedimentaria.
- Porosidad secundaria: Se asocia dominantemente en rocas sedimentarias cementadas, ígneas y metamórficas afectadas por procesos tectónicos que generan una red de fracturas de mayor o menor densidad. La porosidad en estos materiales suele ser inferior al 5%. En el escenario del proyecto no se identifica este tipo de unidades con porosidad secundaria.

- Porosidad por disolución (secundaria): Es la porosidad que se da en rocas potencialmente solubles como las carbonatadas por los efectos de las aguas meteóricas que circulan a través de pequeñas fracturas y planos de estratificación/foliación, disolviendo la roca y formando redes de canales. El valor de porosidad dependerá del desarrollo de estos conductos, y suele estar en el rango entre 5% – 50%. Dentro del área de estudio no se diferencian rocas carbonatadas con este tipo de porosidad.

En este sentido, las propiedades de los materiales permiten diferenciar unidades hidrogeológicas de la siguiente manera:

- Acuífero: Formación geológica constituida por una o más capas de roca en donde existen espacios intercomunicados que permiten el almacenamiento y flujo de agua.
- Acuicludo: Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite la circulación del agua a través del medio.
- Acuitardo: Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que solo permite su flujo muy lentamente.
- Acuifugo: Formación geológica de muy baja permeabilidad y porosidad efectiva, que no tiene capacidad de almacenar ni de permitir el flujo de agua.

A partir de estos conceptos, las unidades hidrogeológicas con base en la capacidad específica identificadas para la L2MB se presentan en la Tabla 227. Esta información se contrastó con el Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia - Mapa de Unidades Hidrogeológicas (INGEOMINAS, 2000), el cual constituye una de las fuentes de referencia para los parámetros hidráulicos asignados a cada unidad acuífera o de interés hidrogeológico.

Las unidades hidrogeológicas cartografiadas corresponden a los polígonos del mapa geológico agrupados en algunos casos teniendo en cuenta parámetros compartidos a pesar de las diferencias texturales especialmente en las unidades cuaternarias.

5.2.2.5.7.1. Unidad sin interés hidrogeológico

Depósitos de relleno antrópico (Qan) con textura y composición heterogénea. Predomina la matriz limo arcillosa con alto porcentaje de materia orgánica producto del descapote de la capa superficial del suelo. Contiene fragmentos en diversos porcentajes de escombros, areniscas cuarzosas, concreto, baldosa, plástico, ladrillo, entre otros. Anexo 5.2 - 8.1 al Anexo 5.2 - 8.7. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0071_V01.

5.2.2.5.7.2. Acuíferos pobres o de baja productividad (A-Qlla y A-Qdp) o con niveles impermeables (A-Tpc)

Incluye arenas finas con matriz limo arcillosa de la llanura de inundación (Qlla) de los principales ríos de la zona de estudio, así como los depósitos coluviales (Qdp) de los cerros de Suba y Orientales que contienen fragmentos heterométricos embebidos en una matriz con arcilla, limo y arena. También incluye la secuencia de areniscas con intercalaciones de arcillolitas de la Formación Cacho (Tpc). No se tienen mediciones de permeabilidad. Su denominación se hace desde el punto de vista textural y composicional. Anexo 5.2 - 8.1 al Anexo 5.2 - 8.7. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0071_V01.

5.2.2.5.7.3. Acuitardos en depósitos cuaternarios (Ac-Qta y Ac-Qcc) y en rocas pre-cuaternarias (Ac-Tpb, Ac-Ktg y Ac-Ksgp)

Incluye depósitos principalmente arcillosos de la Formación Sabana (Qta), así como niveles de poco espesor de arenas finas arcillosas, limos arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre. Así mismo incluye diferentes niveles matriz soportados y clasto soportados de la formación Complejo de Conos (Qcc), cuya matriz tiene un alto porcentaje de arcillas. También pertenecen a este grupo, unidades roca cuya litología dominante son las arcillolitas o rocas de grano muy fino, entre ellas las formaciones Bogotá (Tpb), Guaduas (Ktg) y Plaeners (Ksgp). Anexo 5.2 - 8.1 al Anexo 5.2 - 8.7. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0071_V01.

Para las formaciones cuaternarias (Formación Sabana y Complejo de Conos), las mediciones de permeabilidad son menores a 10^{-6} m/seg, Tabla 227.

Tabla 227. Unidades hidrogeológicas en la zona de influencia de la linea L2 del Metro de Bogotá

Nomenclatura	Unidad hidrogeológica	Capacidad específica de referencia	Unidad geológica asociada
Ant	Unidad sin interés hidrogeológico	-	Depósito Antrópico (Qant)
A-Qdp	Acuíferos de baja productividad asociados a sedimentos grueso - granulares	Capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m	Depósitos de Coluvión (Qdp)
A-Qlla	Acuíferos de baja productividad asociados a sedimentos granulares finos	Capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m	Depósitos de Llanura de Inundación (Qlla)
A-Qcc	Acuíferos de baja productividad asociados a sedimentos grueso - granulares	Capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m	Complejo de Conos (Qcc)
Ac-Qta	Acuitardo en Depósito Cuaternario	Muy baja productividad Capacidad específica promedio menor a 0.05 l/s/m	Depósitos Lacustres o Formación Sabana (Qta)
Ac-Tpb	Acuitardo y niveles de acuíferos semiconfinados a confinados locales.	Muy baja productividad Capacidad específica promedio menor a 0.05 l/s/m	Formación Bogotá (Tpb)
A-Tpc	Acuífero libre y semiconfinado	Capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m	Formación Cacho (Tpc)
Ac-Ktg	Acuitardo y niveles de acuíferos semiconfinados a confinados locales.	Muy baja productividad Capacidad específica promedio menor a 0.05 l/s/m	Formación Guaduas (Ktg)
Ac-Ksglt	Acuífero libre y semiconfinado. Regional.	Mediana productividad Capacidad específica entre 1.0 y 2.0 l/s/m	Grupo Guadalupe: Formación Arenisca Labor y Tierna (Ksglt)
Ac-Ksgp	Acuitardo y niveles de acuíferos semiconfinados a confinados locales.	Muy baja productividad Capacidad específica promedio menor a 0.05 l/s/m	Grupo Guadalupe: Formación Plaeners (Ksgp)
A-Ksgd	Acuífero libre y semiconfinado. Regional.	Mediana productividad Capacidad específica entre 1.0 y 2.0 l/s/m	Grupo Guadalupe: Formación Arenisca Dura (Ksgd)

Fuente: UT MOVIUS 2022

Con base en las características litológicas registradas en profundidad se realizó la sectorización del trazado en “zonas homogéneas”. Con esta información y los parámetros descritos en la Tabla 229 se elaboró la sectorización de unidades hidrogeológicas denominadas: Unidad sin interés hidrogeológico, Acuífero pobre o de baja productividad, Acuitardo en depósitos cuaternarios y rocas pre cuaternarias. Ver Tabla 228. Anexo 5.2 - 8.1 al Anexo 5.2 - 8.7. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0071_V01.

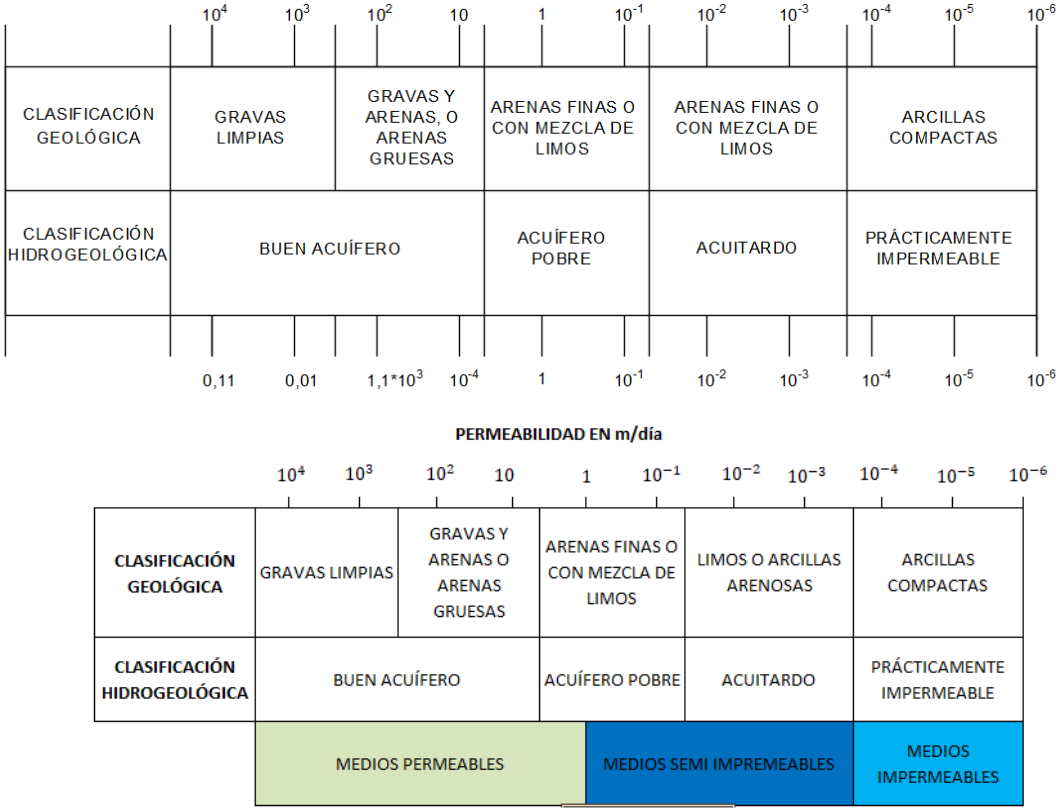
Tabla 228. Unidades hidrogeológicas definidas con base en la condición litológica para la zona L2 del Metro de Bogotá

Unidad hidrogeológica	**Unidad geológica asociada**	**Nomenclatura**		**Litología**
Unidad sin interés hidrogeológico	Depósito de Relleno Antrópico	Qan		Relleno Antrópico
Acuífero pobre o de baja productividad	Depósitos de Llanura de inundación	Qlla	Qlla-are	Arenas finas
	Depósitos coluviales	Qdp		Fragmentos heterométricos embebidos en una matriz con arcilla, limo y arena.
	Complejo de conos	Qcc	Qcc-are+mat	Niveles arenosos con alto contenido de materia orgánica
			Qcc-arc+are	Intercalación de niveles delgados de arcillas y arenas
	Formación Cacho	Tpc		Areniscas con Intercalaciones de arcillolitas..
Acuitardo en depósitos cuaternarios y rocas pre cuaternarias	Complejo de conos	Qcc	Qcc-col	Depósito de Coluvión: Arcillas, limos y arenas con gravas (bloque-bolo pequeño y medio) de cuarzo arenisca
	Depósitos lacustres de la Formación Sabana o Terraza Alta	Qta	Qta-mat	Niveles o lentes de arcillas color negro o gris oscuro con alto contenido de materia orgánica. También se asocian niveles delgados de turbas
			Qta-arc1 (Qta-1)	Arcillas color gris verdoso, verde oliva o marrón oliva con bajo contenido de materia orgánica
			Qta-arc2 (Qta-2)	Arcillas color gris oliva, gris pardusco o marrón medio con materia orgánica
	Formación Bogotá Formación Guaduas Formación Plaeners	Tpb Ktg Kgsp		Unidades predominantemente arcillosas con intercalaciones de areniscas

Fuente: UT MOVIUS 2022

Los valores de permeabilidad utilizados como referencia para la caracterización de la permeabilidad en los niveles litológicos diferenciados en profundidad a lo largo del trazado de la L2MB, se muestran en la Tabla 229.

Tabla 229. Relación entre los valores de permeabilidad y las clasificaciones geológicas e hidrogeológicas



Fuente: Adaptado de Custodio y Llamas, 1983; modificado por UT MOVIUS 2022

Las posibilidades de acuífero se califican de acuerdo al valor de permeabilidad (K) en m/día con base en lo indicado en la Tabla 230.

Tabla 230. Relación entre permeabilidad, su clasificación y la posibilidad de acuífero

K (m/día)	CALIFICACIÓN ESTIMATIVA	POSIBILIDADES DE ACUÍFERO
$K<10^{-2}$	Muy Baja	Pozos de menor a 1 l/s con 10 m de depresión teórica
$10^{-2}<K<1$	Baja	Entre 1 y 10 l/s con 10 m de depresión teórica
1<K<10	Media	Entre 10 y 50 l/s con 10 m de depresión teórica
10<K<100	Alta	Entre 50 y 100 l/s con 10 m de depresión teórica
K>100	Muy Alta	Más de 100 l/s con 10 m de depresión teórica

Fuente: Villanueva e Iglesias, 1984

5.2.2.5.7.4. Sectorización hidrogeológica y geometría de los acuíferos identificados

La distribución superficial de las unidades hidrogeológicas a lo largo de la zona del proyecto L2MB se muestra en la Figura 354 a la Figura 853. Anexo 5.2 - 8.1 al Anexo 5.2 - 8.7. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0071_V01.

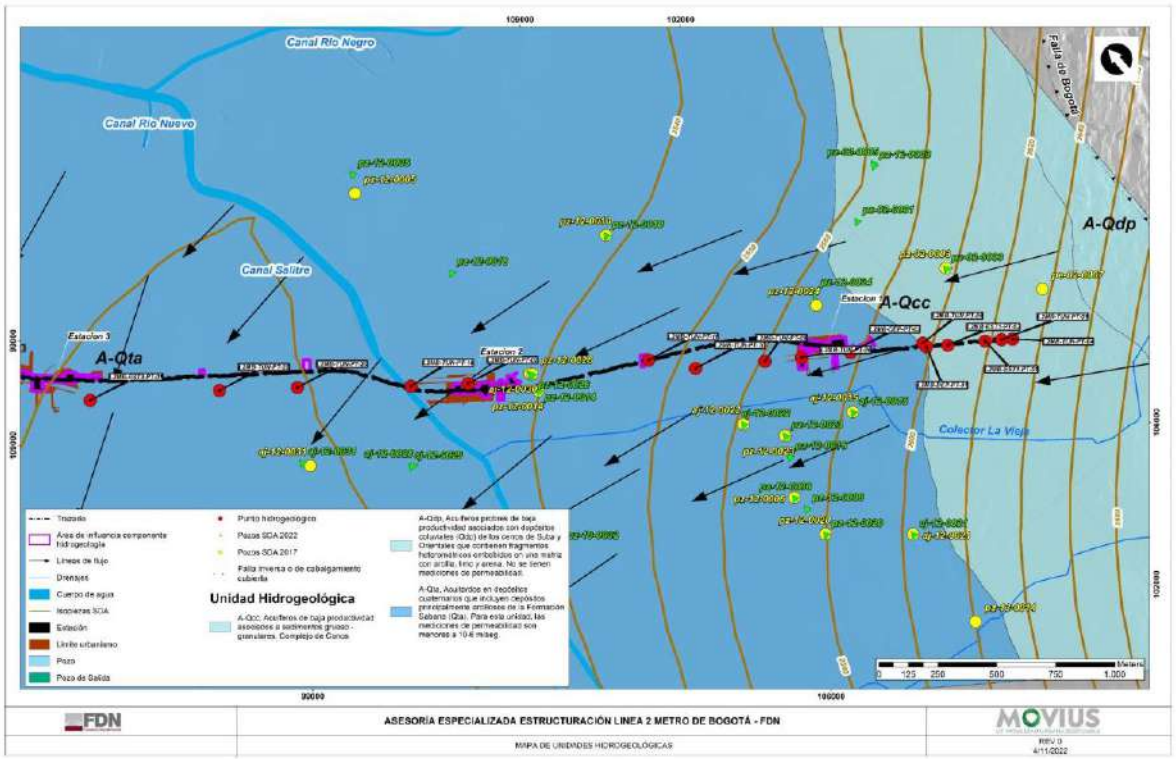


Figura 354. Distribución superficial de las unidades hidrogeológicas entre el pozo de salida - estación 1 - estación 3. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial
Fuente: UT MOVIUS 2022

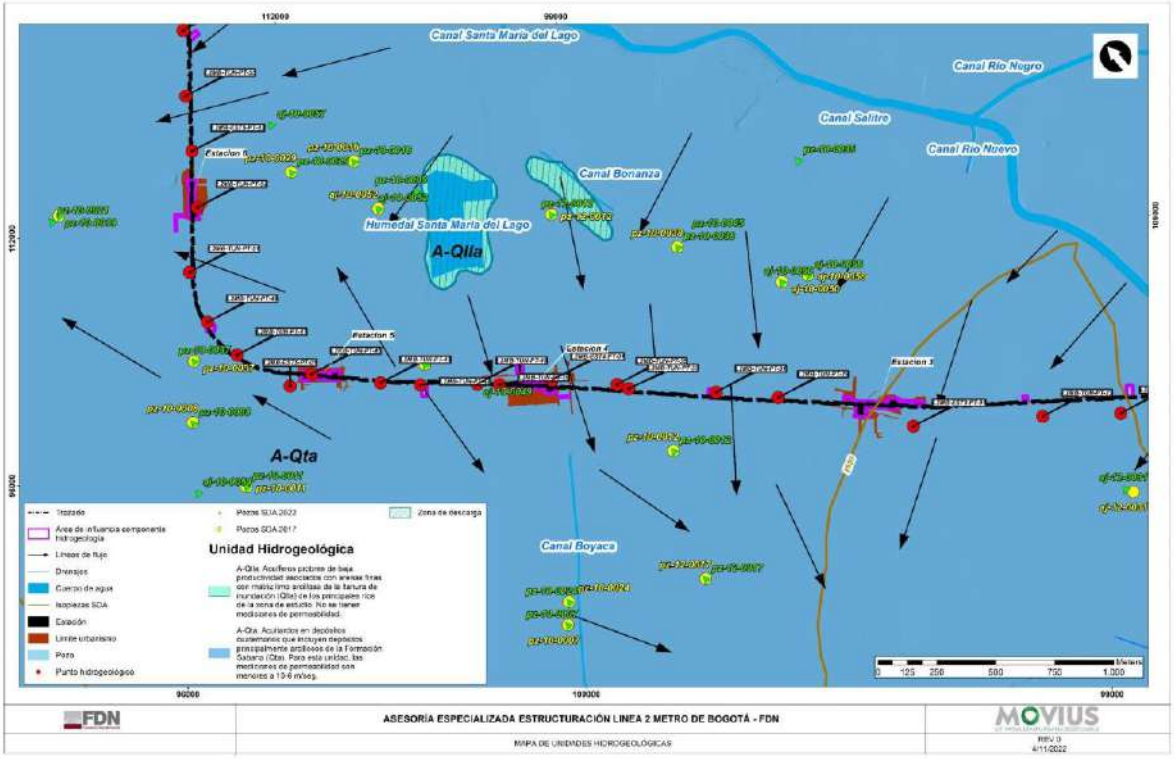


Figura 355. Distribución superficial de las unidades hidrogeológicas entre la estación 3 y la estación 6. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial
Fuente: UT MOVIUS 2022

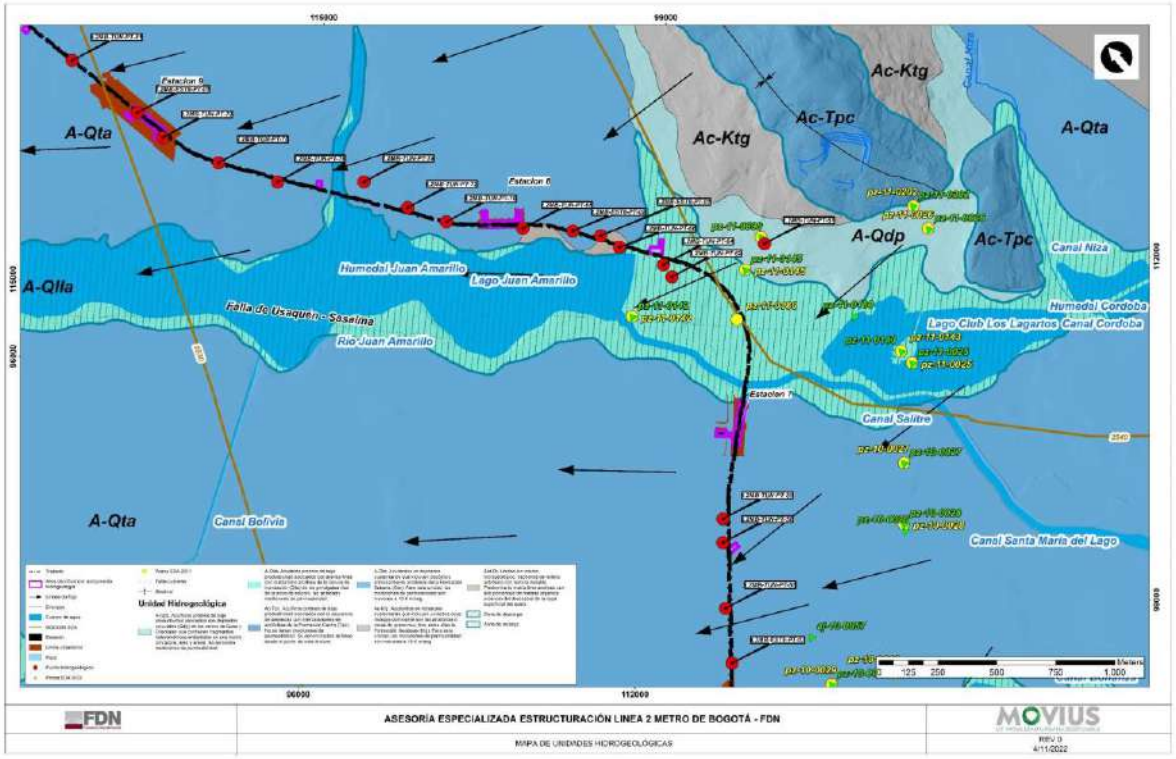


Figura 356. Distribución superficial de las unidades hidrogeológicas, zonas de recarga y descarga con la dirección del flujo subterráneo entre la estación 7 a la estación 9. Sector Humedal Juan Amarillo. Se ilustra el trazado, estaciones, obras anexas y los cuerpos de agua superficial
Fuente: UT MOVIUS 2022

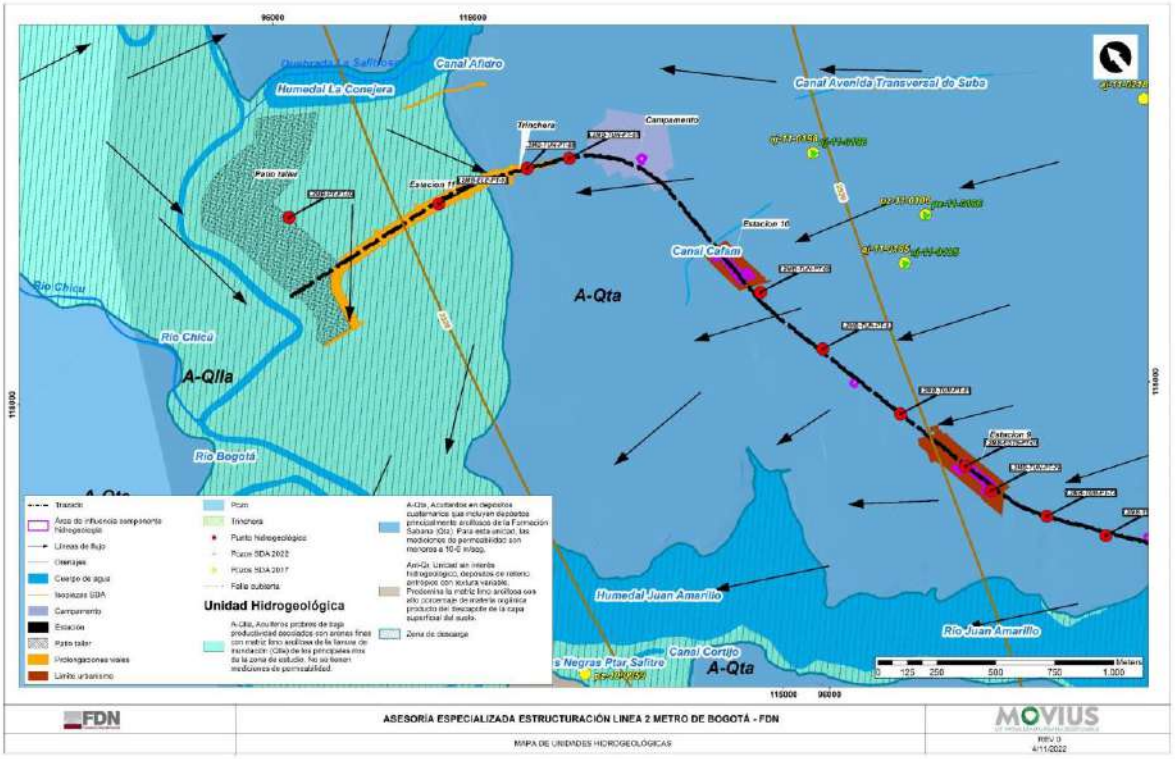


Figura 357. Distribución superficial de las unidades hidrogeológicas, zonas de recarga y descarga con la dirección del flujo subterráneo entre la estación 9 a la estación 11 y Patio Taller. Sector Humedal Juan Amarillo - río Bogotá.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Las condiciones hidrogeológicas (NW-SE), (NS) y (NE-SW) se describen a continuación:

Sección longitudinal A-A'. Por el lineamiento del túnel, desde el K0+000 en inmediaciones de la Estación 1 hasta el K0+100, atraviesa la unidad hidrogeológica Ac - Qcc caracterizada inicialmente por niveles matriz soportados y clasto soportados del Complejo de Conos (Qcc), cuya matriz tiene un alto porcentaje de arcillas y corresponden a Acuíferos de baja productividad asociados a sedimentos grueso - granulares con capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m. Entre el K0+100 y K8+830 en la Estación 7; entre el K9+770; K11+000; entre el K11+060 y K14+530 está conformado por una secuencia continua de niveles arcillosos con intercalaciones de poco espesor de arenas finas arcillosas, limos arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre de la Formación Sabana (Qta), asociada a la unidad hidrogeológica Ac-Qta como acuitardo en depósito cuaternario de muy baja productividad con capacidad específica promedio menor a 0.05 l/s/m. Entre el K8+830 y K9+770; K11+000 y K11+060; K14+530 y K15+530 atraviesa la unidad hidrogeológica A-Qlla caracterizada por Acuíferos pobres o de baja productividad asociados a sedimentos granulares finos con capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m. Anexo 5.2 - 8.1 al Anexo 5.2 - 8.7.

La distribución litológica en profundidad de la sección longitudinal A-A muestra

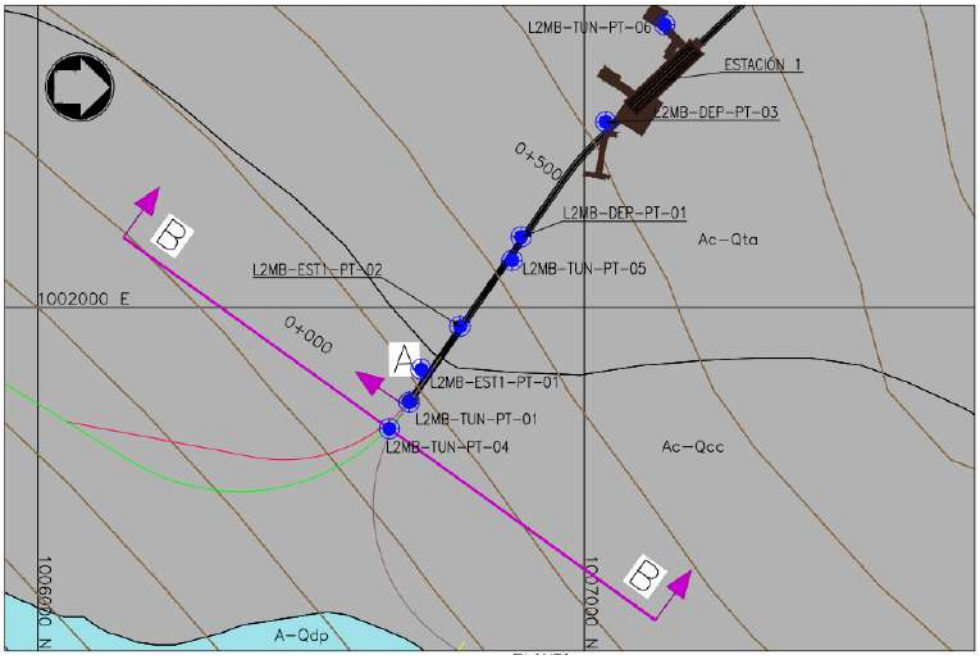
- Entre el K0+000 y K0+500 se presentan sedimentos del complejo de conos (Qcc) asociado a las unidad hidrogeológicas Ac-Qcc denominada Acuíferos de baja productividad asociados a sedimentos grueso - granulares. Bajo esta unidad se diferencia el nivel de rocas de la formación Bogotá (Tpb) asociado a la unidad hidrogeológica Ac-Tpb denominada Acuitardo y niveles de acuíferos semiconfinados a confinados locales de muy baja productividad con capacidad específica promedio menor a 0.05 l/s/m.

- Entre el K0+500 y el K14+480 la secuencia de sedimentos corresponden a niveles arcillosos con intercalaciones de poco espesor de arenas finas arcillosas, limos arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre Formación Sabana (Qta) asociados con la unidad hidrogeológica Ac-Qta denominada acuitardo en depósito cuaternario de muy baja productividad.

- Entre el K14+480 y K15+530 la secuencia de sedimentos a nivel más superficial corresponde al Depósito de Llanura de Inundación (Qlla) que reposa sobre los niveles arcillosos con intercalaciones de poco espesor de arenas finas arcillosas, limos arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre Formación Sabana (Qta) Esta secuencia litológica corresponde con las unidades hidrogeológicas A-Qlla Acuíferos de baja productividad asociados a sedimentos granulares finos con capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m y Ac-Qta denominada acuitardo en depósito cuaternario de muy baja productividad con capacidad específica promedio menor a 0.05 l/s/m.

- Secciones transversales a lo largo del eje del túnel:

Sección B-B. En profundidad registra una secuencia continua de niveles matriz soportados y clasto soportados cuya matriz presenta un alto porcentaje de arcillas el espesor alcanza los 50 m en profundidad del Complejo de Conos (Qcc) (Figura 358). Bajo éste se evidencia un nivel de arcillolitas de la formación Bogotá (Tpb). El nivel freático registrado mediante la perforación L2MB-TUN-PT-04 alcanza una profundidad promedio de 13.23 m. Anexo 5.2 - 8.2.



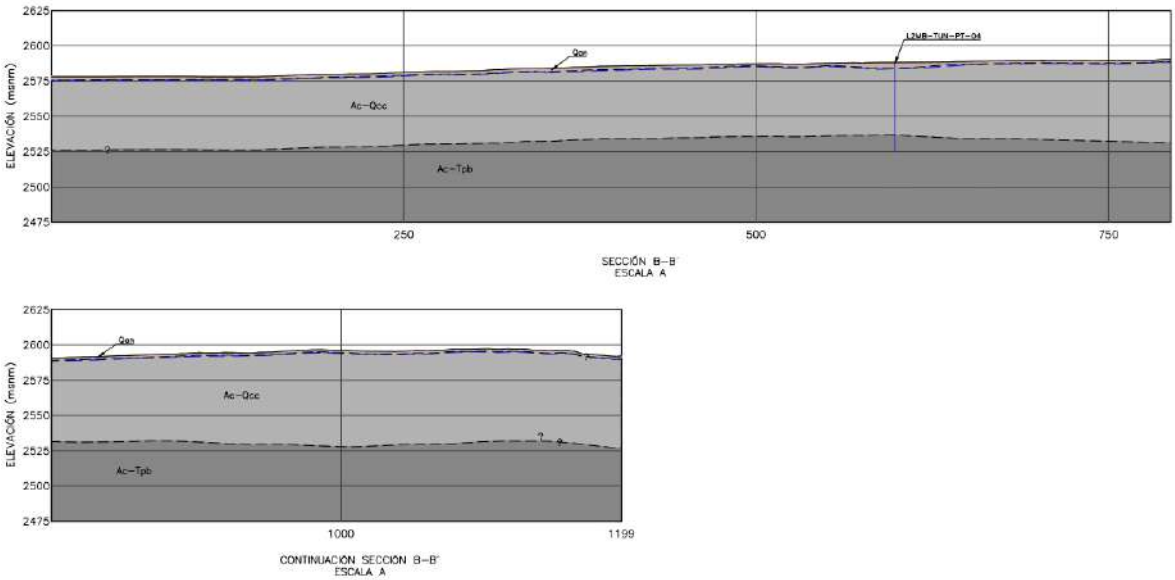
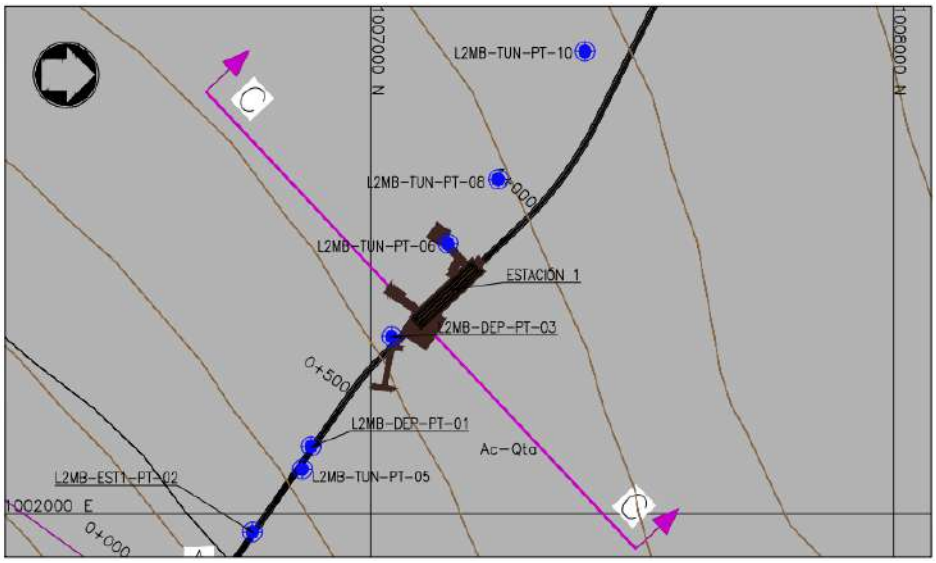


Figura 358. L2MB. Sección B-B'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad
Fuente: UT MOVIUS 2022

Sección C-C. Con base en los niveles registrados en la perforación L2MB-DEP-PT-04 en profundidad se presenta un depósito antrópico (Qan) hasta de 5,0 m cubriendo parcialmente una secuencia continua de niveles arcillosos con intercalaciones de poco espesor de arenas finas arcillosas, limos arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre Formación Sabana (Qta) con espesor hasta de 35 m (Figura 359). Bajo esta secuencia se registran niveles matriz soportados y clasto soportados del Complejo de Conos (Qcc), cuya matriz tiene un alto porcentaje de arcillas. El nivel freático promedio alcanza los 5 m de profundidad. Ver Anexo 5.2 - 8.2.



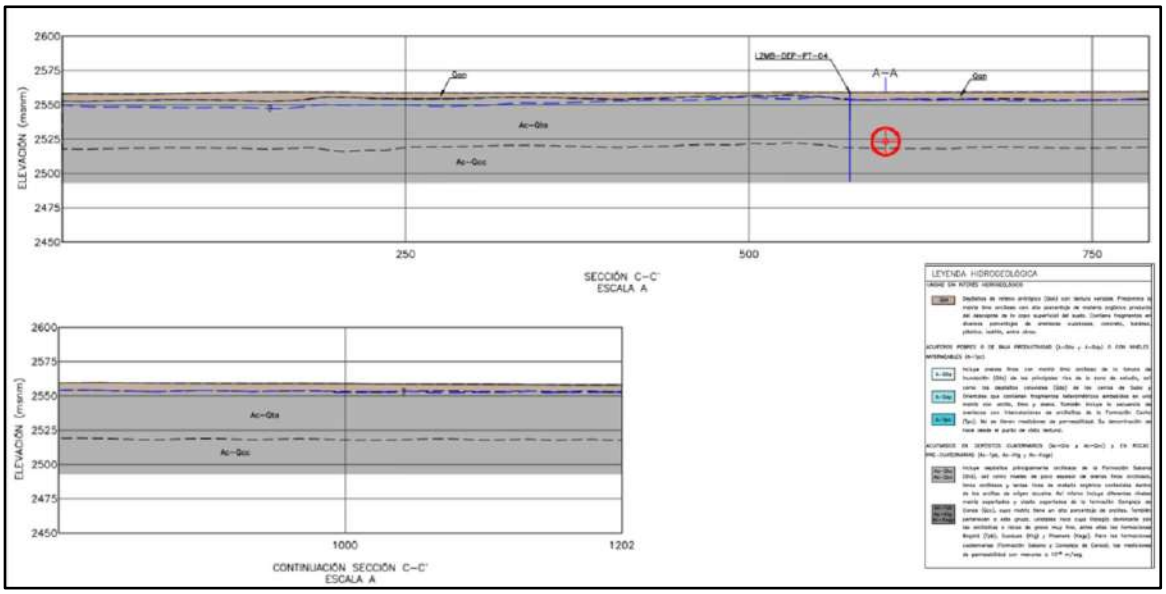
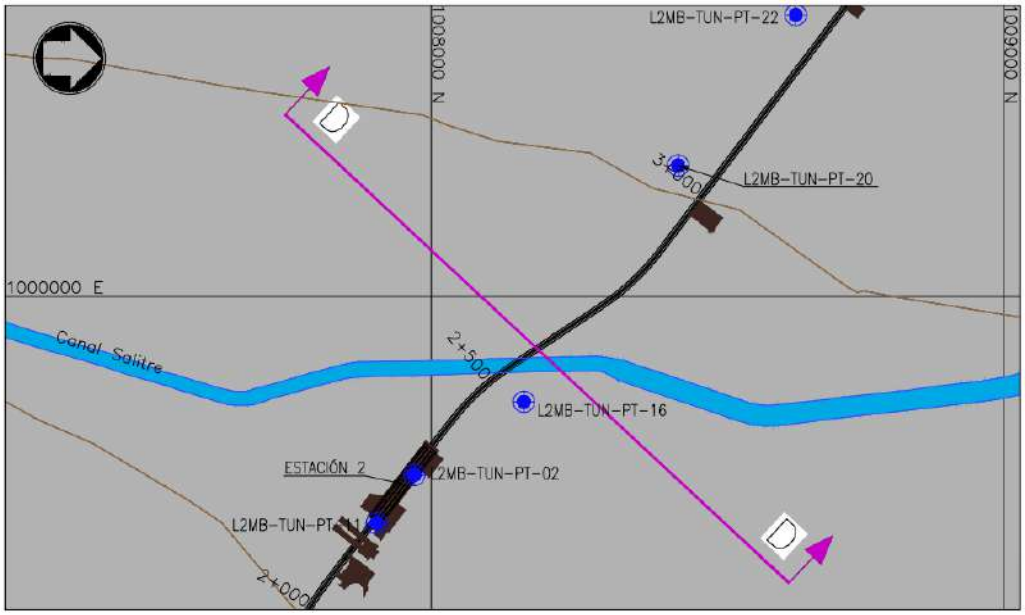


Figura 359. L2MB. Sección C-C'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad
Fuente: UT MOVIUS 2022

Sección D-D'. En profundidad los niveles registrados mediante la perforación L2MB-TUN-PT-17 corresponde a un depósito antrópico (Qan) hasta de 5,0 m cubriendo parcialmente la secuencia continua de niveles arcillosos con intercalaciones de poco espesor de arenas finas arcillosas, limos arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre Formación Sabana (Qta). (Figura 360) El nivel freático promedio alcanza los 1.3 m de profundidad en cercanías del Canal Salitre. Ver sección hidrogeológica en el Ver Anexo 5.2 - 8.2.



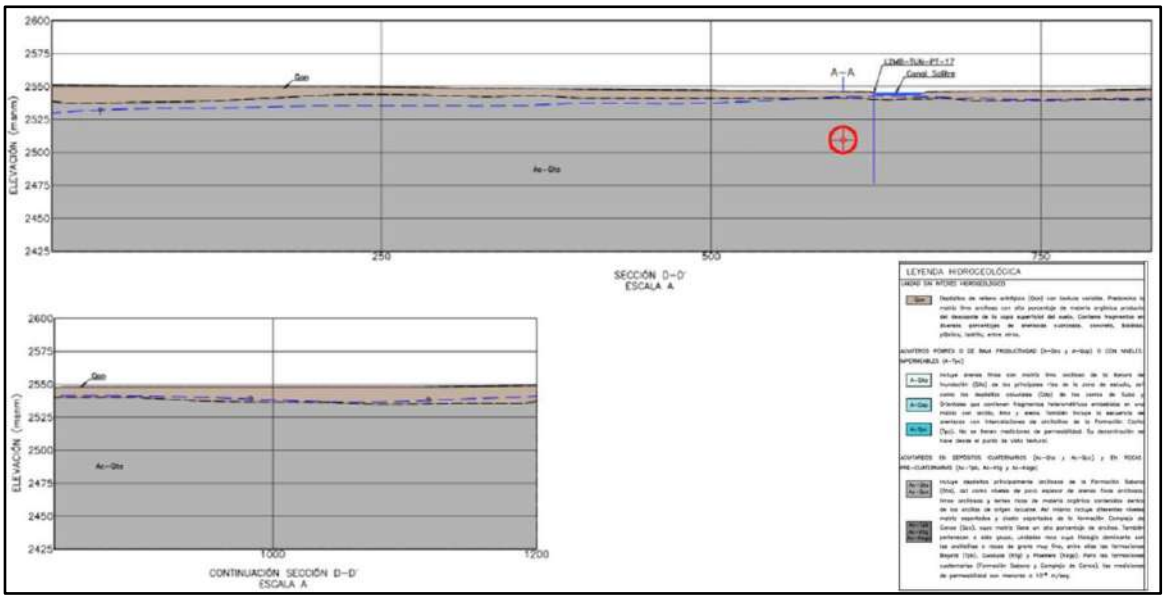
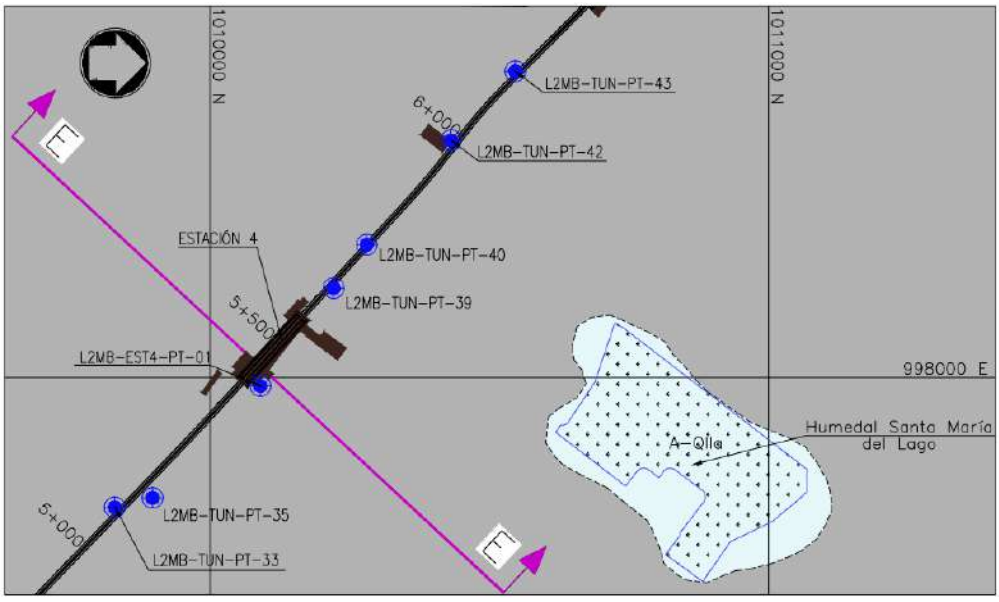


Figura 360. L2MB. Sección D-D'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad
Fuente: UT MOVIUS 2022

Sección E-E'. En profundidad los niveles registrados mediante la perforación L2MB-EST4-PT-01 corresponde a un depósito antrópico (Qan) hasta de 1,55 m cubriendo parcialmente la secuencia continua de niveles arcillosos con intercalaciones de poco espesor de arenas finas arcillosas, limos arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre Formación Sabana (Qta). (Figura 361). El nivel freático promedio alcanza los 2.0 m de profundidad. Ver sección hidrogeológica en el Anexo 5.2 - 8.2.



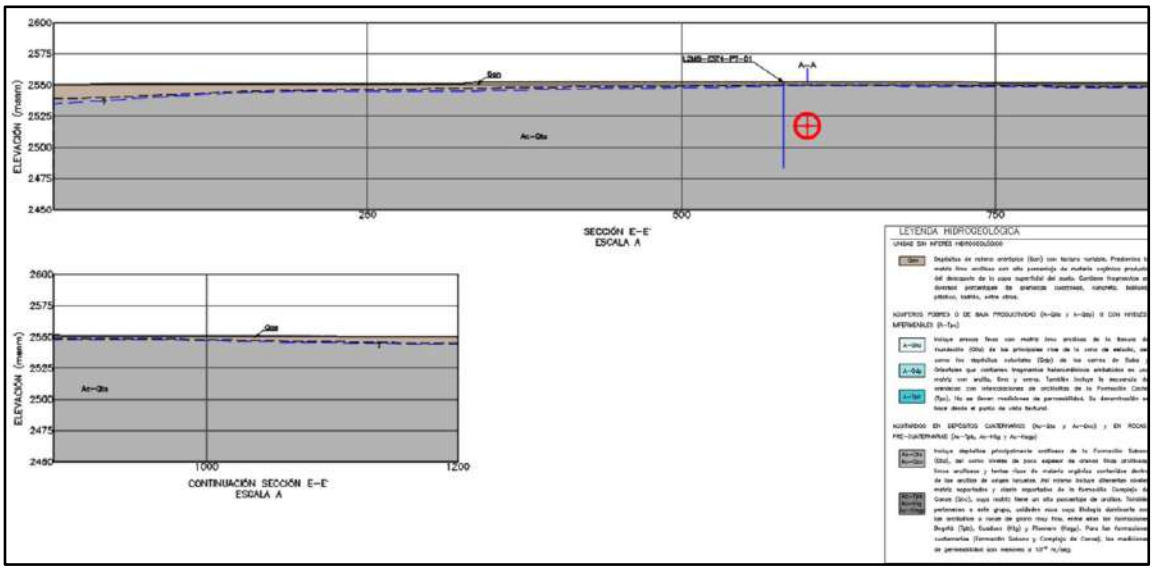


Figura 361. L2MB. Sección E-E'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad
Fuente: UT MOVIUS 2022

Sección F-F'. En profundidad los niveles registrados mediante la perforación L2MB-EST7-PT-01, corresponde a un depósito antrópico (Qan) hasta de 4.3 m cubriendo parcialmente la secuencia continua de niveles arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre Formación Sabana (Qta) Figura 362. El nivel freático promedio alcanza los 5.5 m de profundidad. Ver sección hidrogeológica en el Anexo 5.2 - 8.2.

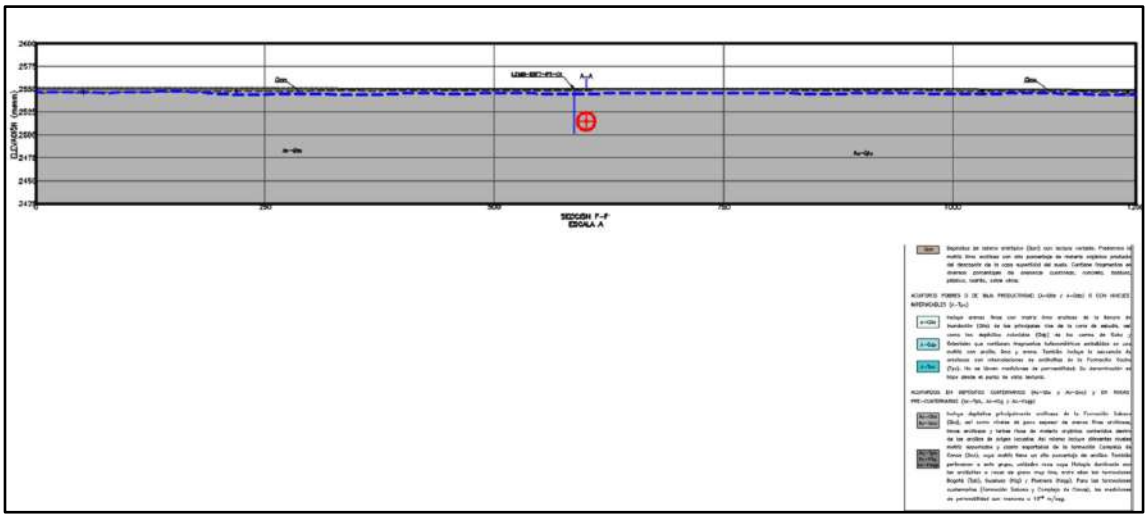
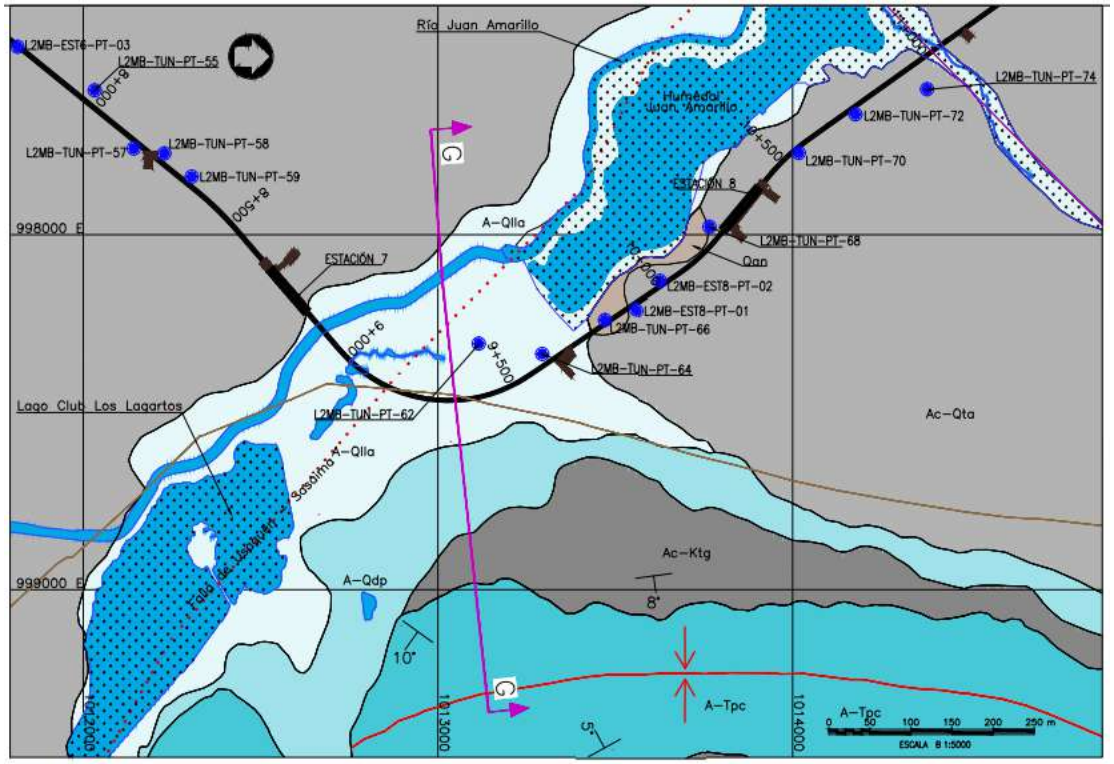


Figura 362. L2MB. Sección F-F'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad
Fuente: UT MOVIUS 2022

Sección G-G'. Superficialmente se extiende al norte hacia el río Juan Amarillo y al sur hacia los cerros de Suba (Figura 363). En profundidad los niveles registrados hacia el sector sur mediante la perforación L2MB-TUN-PT-57 (20.90 m) presentan un depósito antrópico hasta los 2,10 m cubre parcialmente depósitos de coluvión (Qdp) bajo la cual se encuentra una secuencia de arcillas y arenas finas a limosas de origen lacustre de la Formación Sabana (Qta) hasta los 13.5 m

alcanzando el nivel de areniscas fina a limosas de la Formación Guaduas (Ktg). Hacia el sector central la perforación L2MB-TUN-PT-53 (150 m) bajo el nivel antrópico se registran niveles de arcillas con trazas arenosas de llanura de inundación (Qlla), bajo éste se presenta una secuencia de niveles arcillosos con intercalaciones de poco espesor de arenas finas arcillosas, limos arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre Formación Sabana (Qta). Hacia el sector norte la perforación TACC-PM-INT-SALITRE-001 (100 m) cercana al río Juan Amarillo, indica la presencia niveles arcillosos de llanura de inundación (Qlla) aproximadamente hasta los 6,0 m, suprayacen una secunencia de niveles arcillosos con intercalaciones de poco espesor de arenas finas arcillosas, limos arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre Formación Sabana (Qta). El talud formado por las rocas de la Formación Guaduas (Ktg) y Formación Cacho (Tpc), cubiertas discordantemente por la Formación Sabana (Qta) hacia el este del lineamiento del túnel, presenta una pendiente mayor a 45° que clarifica la distancia de las unidades pre cuaternarias de los cerros de suba con la posición del túnel. El nivel freático promedio alcanza los 3,0 m de profundidad. Anexo 5.2 - 8.1 al Anexo 5.2 - 8.7.



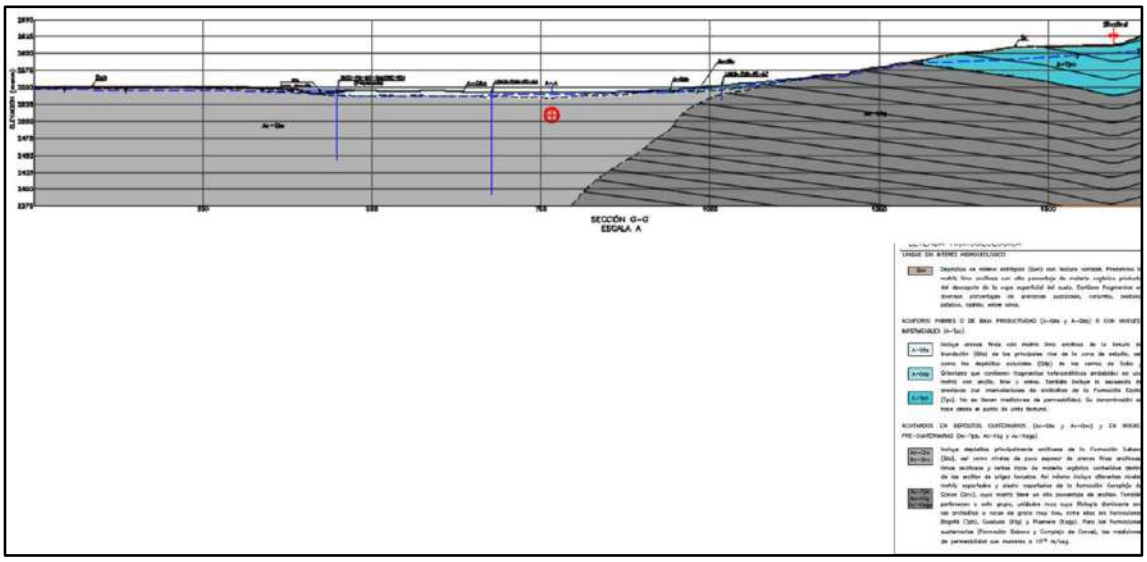
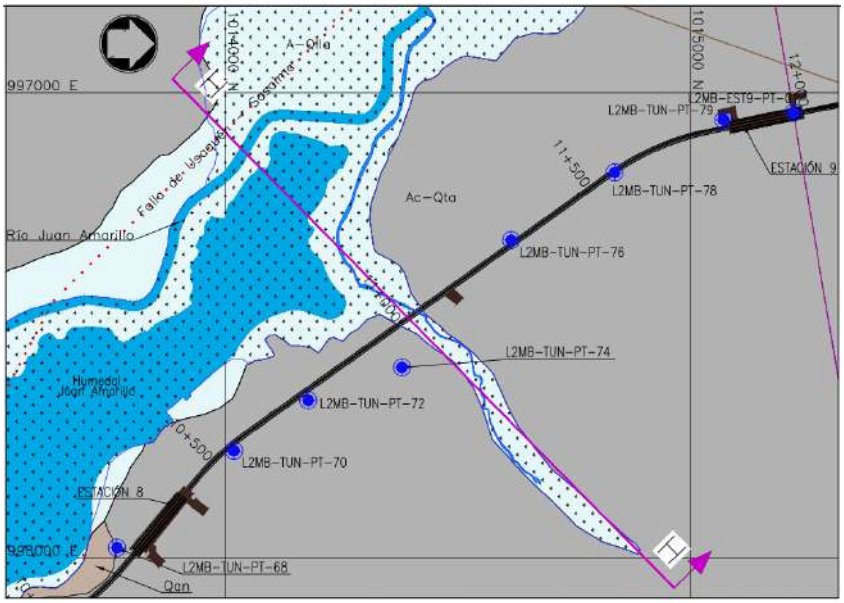


Figura 363. L2MB. Sección G-G'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad
Fuente: UT MOVIUS 2022

Sección H-H'. Superficialmente su trazado se extiende en una franja del humedal y del río Juan amarillo (Figura 364) . En profundidad los niveles registrados muestran un depósito antrópico (Qan) de 3,0 m de espesor (L2MB-TUN-PT-73) que cubre parcialmente arenas finas con matriz limo arcillosa de la llanura de inundación (Qlla) hasta de 8,0 m de espesor, asociados al humedal y las corrientes superficiale. Bajo éste se presenta una secuencia continua de niveles arcillosos con intercalaciones de poco espesor de arenas finas arcillosas, limos arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre Formación Sabana (Qta). El nivel freático promedio alcanza una profundidad de 4,0 m. Anexo 5.2 - 8.1 al Anexo 5.2 - 8.7.



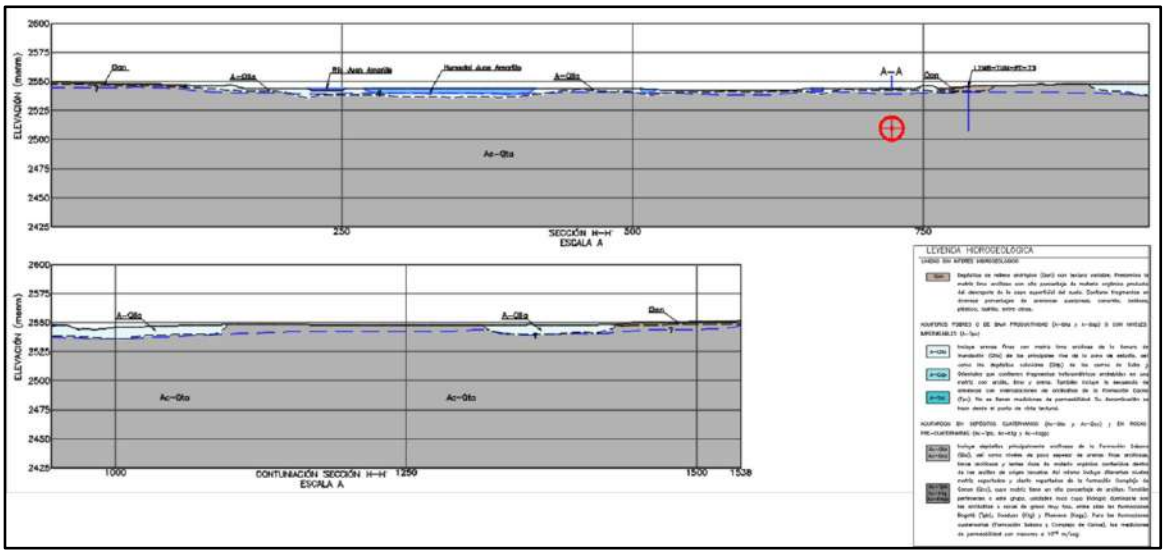
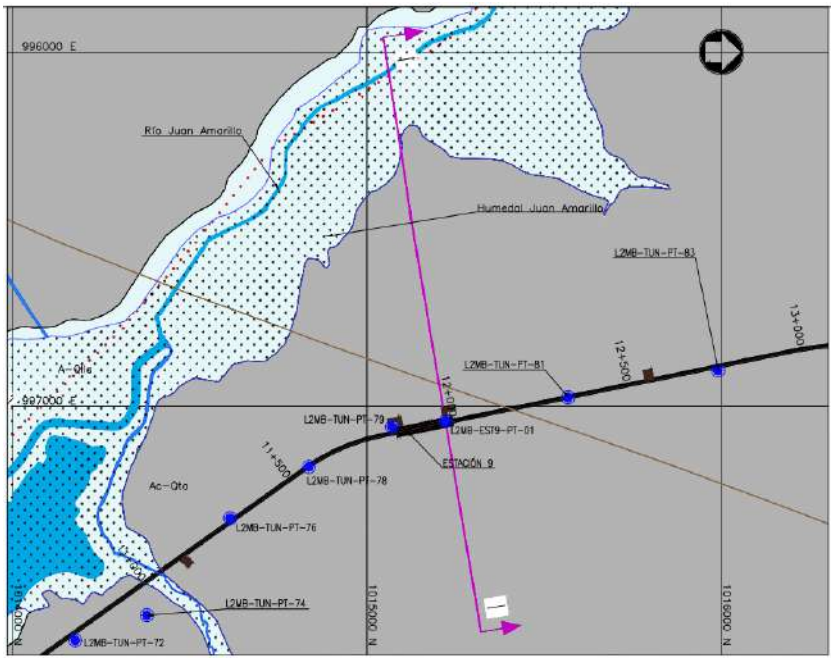


Figura 364. L2MB. Sección H-H'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad
Fuente: UT MOVIUS 2022

Sección I-I'. Superficialmente su trazado se extiende al oeste en una franja del humedal y del río Juan amarillo, (Figura 365). En profundidad los niveles registrados muestran un depósito antrópico (Qan) de 4,25 m de espesor que cubre parcialmente niveles de arcillas con trazas arenosas de llanura de inundación (Qlla), y la secuencia de niveles arcillosos con intercalaciones de poco espesor de arenas finas arcillosas, limos arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre Formación Sabana (Qta) registrada en la perforación L2MB-EST9-PT-01. Anexo 5.2 - 8.1 al Anexo 5.2 - 8.7.



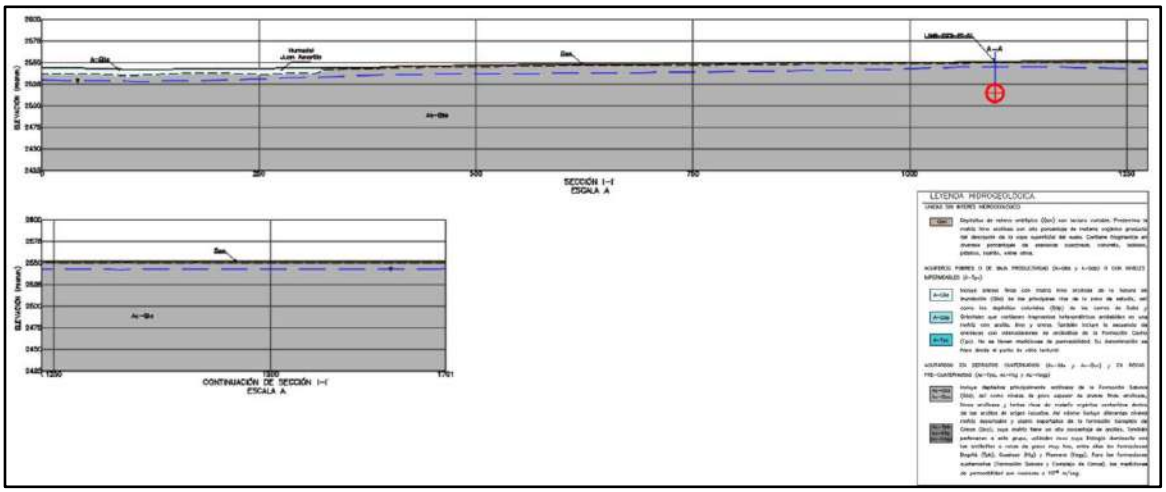
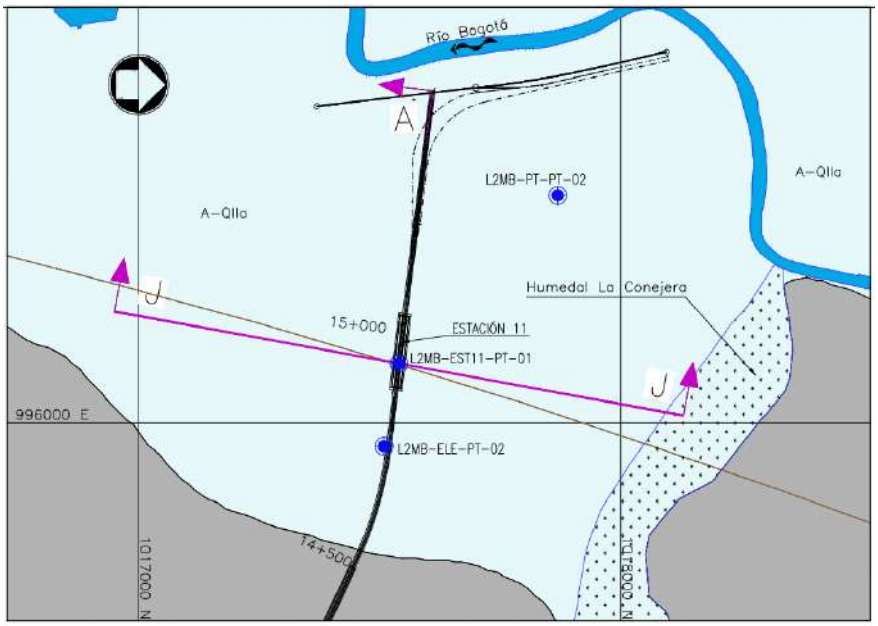


Figura 365. L2MB. Sección I-I'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad
Fuente: UT MOVIUS 2022

Sección J-J'. Superficialmente su trazado al norte discurre localmente en el humedal La Conejera (Figura 366). En profundidad la litología corresponde a un depósito Antrópico /Qan) que cubre parcialmente la secuencia de arcillas con trazas arenosas de Llanura de Inundación (Qlla) evidenciadas en la perforación L2MB-EST11-PT-01, y suprayacen sobre los niveles arcillosos con intercalaciones de poco espesor de arenas finas arcillosas, limos arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre Formación Sabana (Qta). Anexo 5.2 - 8.1 al Anexo 5.2 - 8.7. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0071_V01.



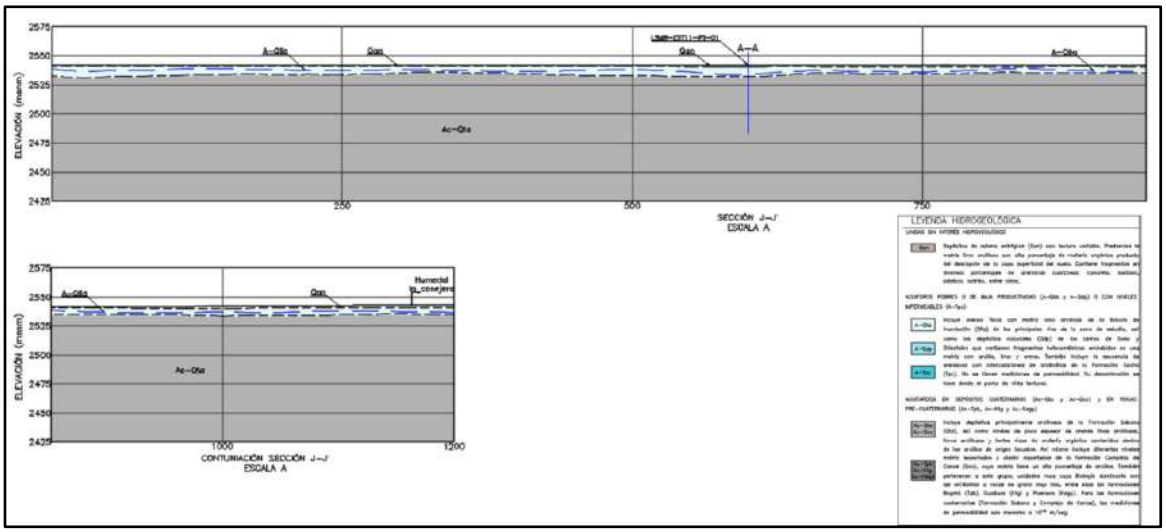


Figura 366. L2MB. Sección J-J'. Distribución unidades hidrogeológicas en profundidad
Fuente: UT MOVIUS 2022

A partir de interpretación de cada una de las secciones A-A' a J-J` se concluye que a lo largo del alineamiento de la L2MB, en profundidad, las secuencias litológicas identificadas corresponden en general a la presencia de depósitos de llanura de inundación (Qlla) y de coluvión (Qdp) cuya disposición local se restringen hacia el sector de los cerros orientales y los cerros de suba estos materiales dadas sus características de granulometría y valores de capacidad específica que varía entre 0.05 y 1.0 l/s/m, y se catalogan como acuíferos de baja productividad asociados a sedimentos grueso - granulares y granulares finos. Hacia la parte central y de topografía plana se registra en profundidad mediante las exploraciones ejecutadas una secuencia continua de niveles arcillosos con intercalaciones de poco espesor de arenas finas arcillosas, limos arcillosos y lentes ricos de materia orgánica contenidos dentro de las arcillas de origen lacustre Formación Sabana (Qta) ocupando la mayor extensión a lo largo del área del proyecto. Esta unidad se cataloga como un acuitardo en depósito cuaternario de muy baja productividad con capacidad específica promedio menor a 0.05 l/s/m.

La sección B-B' localizada en cercanías de la Estación 1, permite catalogar la presencia de de la secuencia de niveles matriz soportados y clasto soportados del Complejo de Conos (Qcc) como un acuíferos de baja productividad asociados a sedimentos grueso - granulares con capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m.

La sección J-J', localizada en el sector de la Estación 11 y Patio Taller, la litología corresponde a arenas finas asociada a la llanura de inundación (Qlla) y alcanzan un espesor promedio hasta de 8,0 m, permiten catalogar el depósito como un acuífero de baja productividad asociado a sedimentos granulares finos con capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m.

5.2.2.5.8. Parámetros hidráulicos

La evaluación de los parámetros hidráulicos se realiza a partir de la información obtenida de las investigaciones subterráneas (piezómetros), datos de ensayos de permeabilidad, e información secundaria disponible. Se tiene en cuenta las condiciones de los drenajes relacionados con humedales, quebradas y fuentes de agua superficiales asociados.

5.2.2.5.8.1. Permeabilidad

En el presente estudio se ejecutaron perforaciones a lo largo del trazado del túnel con ejecución de ensayos de permeabilidad tipo Lefranc. En la Tabla 231, se indican los sectores de ejecución de ensayos con los valores de permeabilidad máximo y mínimo obtenidos. Anexo 5.2 - 8.1 al Anexo 5.2 - 8.7.

Tabla 231. Zonas Homogéneas. Valores de permeabilidad máximo y mínimo

ZONA HOMOGÉNEA	PERFORACIÓN	COORDENADAS DE EJECUCIÓN			TIPO DE ENSAYO	RESULTADOS PERMEABILIDAD (m/s) TIPO DE SUELO(1)		
		NORTE	ESTE	El. msnm		Máximo	Mínimo	TIPO DE SUELO
ZH1 K0+000-K0+446	L2MB-TUN-PT-04	1006622,589	1002235,688	2579	Lefranc	$2,16x10^{-7}$	$1,13x-10-^{10}$	Qcc-col Qcc-alu Tpb
	L2MB-TUN-PT-01	1002173,53	1006679,68	2594	Lefranc	$2,46x10^{-7}$	$7,03x10^{-9}$	Qcc-col Qcc-are+gra
	L2MB-TUN-PT-05	1001914,342	1006868,139	2568	Lefranc	$8,86x10^{-7}$	$6,62x10^{-9}$	Qcc-mat Qcc-are+lim Qcc-are+gra Qcc-alu
ZH2 K0+446 - K4+300	L2MB-DEP-PT-02	1001756,954	1006992,261	2565	Lefranc	$2,31x10^{-8}$	$5,25x10^{-11}$	Qcc-are+lim Qcc-mat Qcc-are+gra Qcc-are
	L2MB-DEP-PT-04	1001627,738	1007063,485	2563	Lefranc	$2,58x10^{-8}$	$3,57x10^{-10}$	Qcc-alu Qcc-mat Qta-arc1
	L2MB-TUN-PT-07	1001453,905	1007275,903	2563	Lefranc	$2,11x10^{-8}$	$2,50x10-^{10}$	Qta-arc1
	L2MB-TUN-PT-09	1001237,545	1007328,298	2560	Lefranc	$2,79x10^{-9}$	$2,52x10^{-12}$	Qta-arc1
	L2MB-TUN-PT-13	1000758,907	1007684,492	2555	Lefranc	$1,07x10^{-7}$	$4,94x10^{-9}$	Qta-arc1
	L2MB-TUN-PT-02	1007970,509	1000310,782	2546	Lefranc	$1,09x10^{-8}$	8,02x10-10	Qta-arc1
	L2MB-TUN-PT-20	1008433,331	999770,653	2554	Lefranc	$1,42x10^{-8}$	5,00x10-11	Qta-arc1
	L2MB-TUN-PT-22	1008621,321	999525,943	2554	Lefranc	$6,78x10^{-9}$	$4,20x10^{-10}$	Qta-arc1

ZONA HOMOGÉNEA	PERFORACIÓN	COORDENADAS DE EJECUCIÓN			TIPO DE ENSAYO	RESULTADOS PERMEABILIDAD (m/s) TIPO DE SUELO(1)		
		NORTE	ESTE	El. msnm		Máximo	Mínimo	TIPO DE SUELO
	L2MB-EST3-PT-01	1008949,384	999060,566	2552	Lefranc	$7,30x10^{-9}$	$3,90x10^{-10}$	Qta-arc1
ZH3 K4+300 - K14+500	L2MB-TUN-PT-29	1009416,904	998703,065	2554	Lefranc	$4,72x10^{-8}$	$6,59x10^{-9}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-31	1009602,59	998520,42	2555	Lefranc	$1,56x10^{-8}$	$1,39x10^{-9}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-35	1009898,251	998214,585	2556	Lefranc	$2,89x10^{-9}$	$2,10x10^{-10}$	Qta-arc2 Qta-arc3
	L2MB-TUN-PT-40	997762,51	1010280,45	2556	Lefranc	$1,48x10^{-7}$	$1,20x10^{-10}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-42	1010364,245	997652,761	2555	Lefranc	$8,11x10^{-8}$	$3,44x10^{-10}$	Qta-arc2
	L2MB-EST5-PT-01	1010767,885	997160,592	2555	Lefranc	$4,80x10^{-9}$	$2,77x10^{-11}$	Qta-arc2 Qta-arc3
	L2MB-EST5-PT-03	997053,432	1010859,473	2555	Lefranc	$4,98x10^{-8}$	$2,94x10^{-10}$	Qta-arc2 Qta-arc3
	L2MB-TUN-PT-47	1011027,876	997062,565	2555	Lefranc	$2,40x10^{-8}$	$8,02x10^{-10}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-49	1011221,18	997034,23	2555	Lefranc	$2,18x10^{-8}$	$2,67x10^{-10}$	Qta-arc2 Qta-arc3
	L2MB-TUN-PT-51	1011410,458	997140,429	2555	Lefranc	$5,33x10^{-8}$	$1,90x10^{-9}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-54	997552,276	1011927,334	2556	Lefranc	$1,63x10^{-8}$	$1,09x10^{-9}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-56	997757,172	1012142,598	2556	Lefranc	$1,90x10^{-8}$	$8,07x10^{-10}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-60	997955,711	1012418,007	2555	Lefranc	$2,95x10^{-8}$	$5,06x10^{-10}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-61	998223,894	1012656,344	2551	Lefranc	$2,62x10^{-9}$	$5,36x10^{-11}$	Qta-mat Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-57	998698,64	1013083,66	2556	Lefranc	$5,49x10^{-7}$		Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-63	998295,712	1013195,121	2549	Lefranc	$1,21x10^{-7}$	$3,04x10^{-9}$	Qta-mat Qta-arc2
	L2MB-EST8-PT-01	1013559,43	998208,197	2544	Lefranc	$6,33x10^{-9}$	$5,45x10^{-10}$	Qta-arc2 Qta-arc3
	L2MB-TUN-PT-67	998058,426	1013727,148	2555	Lefranc	$2,96x10^{-9}$	$2,65x10^{-10}$	Qta-arc2 Qta-arc3

ZONA HOMOGÉNEA	PERFORACIÓN	COORDENADAS DE EJECUCIÓN			TIPO DE ENSAYO	RESULTADOS PERMEABILIDAD (m/s) TIPO DE SUELO(1)		
		NORTE	ESTE	El. msnm		Máximo	Mínimo	TIPO DE SUELO
	L2MB-TUN-PT-69	997822,181	1013924,774	2550	Lefranc	$6,88x10^{-9}$	$4,44x10^{-10}$	Qta-mat Qta-arc2 Qta-arc3
	L2MB-TUN-PT-71	997727,112	1014051,315	2548	Lefranc		$6,04x10^{-10}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-73	997621,19	1014284,241	2551	Lefranc	$1,35x10^{-8}$	$1,03x10^{-9}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-75	997434,379	1014454,002	2551	Lefranc	$3,57x10^{-8}$	$2,09x10^{-10}$	Qta-arc2 Qta-arc3
	L2MB-TUN-PT-77	997183,791	1014782,016	2565	Lefranc	$1,76x10^{-8}$	$4,33x10^{-10}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-79	1015070,904	997058,025	2555	Lefranc	$1,78x10^{-8}$	$4,46x10^{-11}$	Qta-arc2
	L2MB-EST9-PT-02	996986,949	1015478,131	2550	Lefranc	$1,77x10^{-9}$	$1,09x10^{-11}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-81	1015567,603	996974,725	2556	Lefranc	$1,29x10^{-6}$	$4,50x10^{-10}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-83	1015990,608	996899,365	2555	Lefranc	$4,53x10^{-6}$	$2,25x10^{-8}$	Qta-arc2
	L2MB-TUN-PT-87	1017299,914	996598,432	2554	Lefranc	0,00Ex00	$1,30x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 4 K14+500 - K15+530	L2MB-PT-PT-01	995531,725	1017968,794	2546	Lefranc	$1,33x10^{-7}$	$3,63x10^{-9}$	Qlla-are Qta-arc4
	L2MB-PT-PT-02	995528,209	1017869,773	2545	Lefranc	$3,39x10^{-8}$	$9,06x10^{-10}$	Qlla-are Qta-arc4
	L2MB-ELE-PT-01	996141,741	1017479,632	2546	Lefranc	$1,40x10^{-9}$	0,00E+00	Qta-arc4

1) Nota: Los resultados de los ensayos de permeabilidad son tomados de ensayos Lefranc y constatados con ensayos de piezoconos.

Fuente: UT MOVIUS 2022

Con los datos presentados en la Tabla 231 se evidencia que para las zonas Homogéneas 1, 2, los sectores donde existe predominio de materiales granulares, asociados principalmente con el Complejo de Conos (Qcc), los valores máximos de permeabilidad obtenidos en las pruebas realizadas oscilan en 10^{-7} m/s y 10^{-9} m/s lo que permite relacionarlas dentro de una unidad hidrogeológica de muy baja permeabilidad

Las pruebas realizadas en las zonas homogéneas 2, 3 y 4 particularmente en los niveles finos que corresponde en general con las arcillas, lentes de arenas finas y materia orgánica de la formación Sabana (Qta), se obtuvieron valores máximos de permeabilidad entre 10-6 m/s y 10-9 m/s, relacionadas dentro de una unidad hidrogeológica de muy baja permeabilidad.

Los valores mostrados en la Tabla 231 registran para las zonas homogéneas 1 a 4, permeabilidades **K (m/día**) con valores que oscilan entre 10^{-7}< K<$10^{-1;}$; este rango y teniendo en cuenta los parámetros indicados en la Tabla 46 para la relación entre permeabilidad, su clasificación y la posibilidad de acuífero, permiten establecer una calificación estimativa Muy Baja, donde las posibilidades de acuífero son de pozos de menor a 1 l/s con 10 m de depresión teórica.

Complementariamente a las pruebas Lefranc realizadas en las perforaciones se obtuvieron valores de permeabilidad mediante la ejecución de piezoconos (CPT y SCPT) a lo largo del trazado de la L2MB. Las profundidades donde se registran los valores de permeabilidad son variables y permiten obtener una calificación para cada estrato encontrado, En general el tipo de suelo donde se realizaron las pruebas corresponden a niveles de arcillas en algunos sectores con un bajo contenido de limo y materia orgánica los cuales corresponden a Depósitos lacustres de la Formación Sabana o Terraza Alta (Qta). Los valores de permeabilidad registrados en cada prueba a diferente profundidad se muestran en la Tabla 232.

Tabla 232. Zonas Homogéneas. Valores de permeabilidad Piezoconos (Fase 1 y 2)

Zona Homogénea	Perforación	Tipo de Ensayo	Profundidad (m)	Resultados Permeabilidad (m/s)	Tipo Suelo
ZH 1	L2MB-TUN-CPT-05	CPT	10.01	$4.44x10^{-10}$	Qta-mat
			15.68	$6.44x10^{-10}$	Qdp-are+lim
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-11	CPT	10.03	$1.31x10^{-7}$	Qta-arc1
			20.02	$5.64x10^{-8}$	Qta-arc1
			30.54	$6.59x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-14	CPT	15.58	$3.52x10^{-8}$	Qta-arc1
			30.67	$2.07x10^{-8}$	Qta-arc1
			55.08	$3.93x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-19	CPT	17.61	$3.52x10^{-8}$	Qta-arc1
			35.60	$2.07x10^{-8}$	Qta-arc1
			55.52	$3.93x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-EST1-SCPT-01	SCPT	6.40	$1.65x10^{-10}$	Qdp-are+gra
ZH2	L2MB-EST2-SCPT-01	SCPT	15.94	$2.27x10^{-8}$	Qta-arc1
			30.98	$1.45x10^{-8}$	Qta-arc1
			50.41	$2.26x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-EST3-SCPT-01	SCPT	10.58	$4.16x10^{-8}$	Qta-arc1
			20.65	$1.82x10^{-8}$	Qta-arc1
			31.25	2.73x10-8	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-08	SCPT	17.03	$2.19x10^{-7}$	Qta-arc1
			35.72	$6.10x10^{-6}$	Qta-arc1
			55.76	$3.34x10^{-6}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-10	SCPT	10.76	$4.56x10^{-8}$	Qta-arc1
			25.08	$2.33x10^{-8}$	Qta-arc1
			40.30	$3.24x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-13	SCPT	17.10	$1.21x10^{-7}$	Qta-arc1
			35.21	$1.86x10^{-8}$	Qta-arc1
			55.14	$8.06x10^{-9}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-15	SCPT	15.53	$1.77x10^{-8}$	Qta-arc1
			30.69	$1.79x10^{-8}$	Qta-arc1
			55.84	$8.25x10^{-9}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-16	SCPT	17.16	$7.16x10^{-8}$	Qta-arc1
			35.11	$4.35x10^{-8}$	Qta-arc1
			55.12	$7.56x10^{-6}$	Qta-arc1
			55.19	$1.29x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-32	CPT	10.69	$7.10x10^{-8}$	Qta-arc2

Zona Homogénea	Perforación	Tipo de Ensayo	Profundidad (m)	Resultados Permeabilidad (m/s)	Tipo Suelo
			25.72	$2.61x10^{-8}$	Qta-arc2
			40.10	$4.53x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-35	CPT	13.50	$7.36x10^{-8}$	Qta-arc2
			26.48	$5.43x10^{-8}$	Qta-arc2
			41.31	$2.05x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-55	CPT	30.53	$6.66x10^{-7}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-66	CPT	28.86	$2.01x10^{-11}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-72	CPT	11.21	$1.37x10^{-7}$	Qta-arc2
			21.22	$4.29x10^{-8}$	Qta-arc2
			31.23	$2.56x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-75	CPT	4.80	$5.25x10^{-8}$	Qant
			6.21	$1.59x10^{-8}$	Qta-arc2
			11.22	$4.12x10^{-8}$	Qta-arc2
			12.73	$1.45x10^{-5}$	Qta-arc2
			16.22	$6.01x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.23	$7.08x10^{-6}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-77	CPT	51.52	$6.68x10^{-9}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-79	CPT	51.51	$8.22x10^{-10}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-81	CPT	51.38	$2.51x10^{-9}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-83	CPT	51.21	$9.67x10^{-9}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-86	CPT	1.21	$8.81x10^{-7}$	Qant
			31.50	$1.10x10^{-9}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-18	SCPT	15.69	$2.50x10^{-8}$	Qta-arc1
			30.82	$1.96x10^{-8}$	Qta-arc1
			55.12	$1.77x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-19	SCPT	17.10	$9.60x10^{-8}$	Qta-arc2
			35.06	$3.70x10^{-8}$	Qta-arc2
			55.18	$4.05x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-20	SCPT	15.84	$1.15x10^{-8}$	Qta-arc2
			30.06	$1.11x10^{-8}$	Qta-arc2
			50.24	$2.82x10^{-9}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-EST9-SCPT-01	SCPT	2.82	$3.34x10^{-8}$	Qant
			51.52	$3.62x10^{-9}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-EST10-SCPT-01	SCPT	34.59	$9.96x10^{-8}$	Qta-arc2
			50.03	$1.98x10^{-8}$	Qta-arc3

Zona Homogénea	Perforación	Tipo de Ensayo	Profundidad (m)	Resultados Permeabilidad (m/s)	Tipo Suelo
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-43	SCPT	6.22	$4.54x10^{-8}$	Qta-arc2
			11.23	$5.89x10^{-8}$	Qta-arc2
			16.27	$9.35x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.24	$7.93x10^{-8}$	Qta-arc2
			26.24	$5.75x10^{-8}$	Qta-arc2
			31.50	$2.18x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-44	SCPT	2.45	$3.50x10^{-7}$	Qant
			16.44	$8.32x10^{-8}$	Qta-arc2
			31.48	$4.01x10^{-8}$	Qta-arc2
			51.71	$2.19x10^{-8}$	Qta-arc3
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-46	SCPT	31.52	$2.67x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-49	SCPT	31.49	$1.24x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-52	SCPT	6.51	$2.69x10^{-8}$	Qta-arc2
			9.76	$4.92x10^{-8}$	Qta-arc2
			11.76	$1.61x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.80	$1.04xx10^{-8}$	Qta-arc2
			29.75	$4.24x10^{-9}$	Qta-arc2
			37.81	$2.68xx10^{-9}$	Qta-arc2
			52.16	$3.00xx10^{-9}$	Qta-arc2
ZH 4	L2MB-ELx10-CPT-01	CPT	1.22	$8.10x10^{-7}$	Qta-arc2
			3.36	$2.95x10^{-8}$	Qta-arc2
			32.05	$9.81x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 4	L2MB-EST11-SCPT-01	SCPT	11.86	$1.99x10^{-9}$	Qta-arc
			22.85	$1.57x10^{-8}$	Qta-arc
			32.84	$1.28x10^{-9}$	Qta-arc
			39.82	$1.07x10^{-9}$	Qta-arc
			49.79	$2.90x10^{-9}$	Qta-arc
			23.03	$4.54x10^{-9}$	Qta-arc
FASE 1					
ZH 1	L2MB-TUN-CPT-03	CPT	15.4	$2.25x10^{-8}$	Qta-arc1
			30.11	$2.24x10^{-8}$	Qta-arc1
			40.20	$2.02x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 1	L2MB-TUN-CPT-06	CPT	10.05	$1.80x10^{-7}$	Qta-arc1
			20.06	$3.33x10^{-7}$	Qta-mat
			30.11	$5.37x10^{-9}$	Qta-arc1

Zona Homogénea	Perforación	Tipo de Ensayo	Profundidad (m)	Resultados Permeabilidad (m/s)	Tipo Suelo
ZH 1	L2MB-DEP-CPT-01	CPT	14.9	$1.33x10^{-7}$	Qta-arc1
			16.5	$1.99x10^{-7}$	Qta-arc1
ZH 1	L2MB-PT-CPT-01	CPT	40.05	$1.22x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 1	L2MB-PT-SCPT-01	SCPT	5.93	$3.84x10^{-10}$	Qta-mat
ZH 1	L2MB-DEP-SCPT-01	SCPT	12.94	$6.34x10^{-10}$	Qcc-are+lim
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-07	CPT	14.34	$1.21x10^{-7}$	Qta-arc1
			28.35	$4.92x10^{-8}$	Qta-arc1
			42.33	$4.28x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-08	CPT	14.27	$1.39x10^{-7}$	Qta-arc1
			28.23	$2.47x10^{-7}$	Qta-arc1
			42.17	$6.17x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-09	CPT	11.71	$2.28x10^{-7}$	Qta-arc1
			21.67	$6.33x10^{-8}$	Qta-arc1
			31.62	$4.10x10^{-8}$	Qta-arc1
			41.58	$5.87x10^{-8}$	Qta-arc1
			51.52	$3.76x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-12	CPT	15.04	$5.43x10^{-8}$	Qta-arc1
			30.10	$3.42x10^{-8}$	Qta-arc1
			40.10	$6.59x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-15	CPT	11.03	$1.84x10^{-8}$	Qta-arc1
			21.10	$9.44x10^{-8}$	Qta-arc1
			32.23	$3.34x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-16	CPT	10.01	$2.60x10^{-8}$	Qta-arc1
			20.02	$9.21x10^{-9}$	Qta-arc1
			30.06	$9.07x10^{-9}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-18	CPT	10.10	$3.39x10^{-8}$	Qta-arc1
			20.05	$2.63x10^{-8}$	Qta-arc1
			30.05	$2.85x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-20	CPT	11.85	$4.42x10^{-8}$	Qta-arc1
			21.84	$3.80x10^{-8}$	Qta-arc1
			32.10	$7.32x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-21	CPT	10.02	$5.27x10^{-8}$	Qta-arc1
			20.06	$5.23x10^{-8}$	Qta-arc1
			30.13	$4.97x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH2	L2MB-TUN-CPT-22	CPT	11.79	$2.49x10^{-7}$	Qta-arc1

Zona Homogénea	Perforación	Tipo de Ensayo	Profundidad (m)	Resultados Permeabilidad (m/s)	Tipo Suelo
			31.81	$3.68x10^{-8}$	Qta-arc1
			41.79	$4.47x10^{-8}$	Qta-arc1
			51.79	$3.57x10^{-8}$	Qta-arc1
			52.00	$1.88x10^{-7}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-23	CPT	10.05	$1.94x10^{-8}$	Qta-arc1
			20.07	$2.63x10^{-8}$	Qta-arc1
			30.07	$2.32x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-24	CPT	11.66	$5.09x10^{-8}$	Qta-arc1
			21.54	$4.92x10^{-9}$	Qta-arc1
			31.53	$2.21x10^{-9}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-25	CPT	10.12	$1.53x10^{-9}$	Qta-arc1
			20.11	$1.97x10^{-9}$	Qta-arc1
			30.12	$3.59x10^{-9}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-26	CPT	11.76	$3.47x10^{-8}$	Qta-arc1
			21.80	$3.02x10^{-8}$	Qta-arc1
			31.87	$2.04x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-27	CPT	11.82	$2.19x10^{-8}$	Qta-arc1
			21.95	$4.23x10^{-8}$	Qta-arc1
			32.04	$2.37x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH2	L2MB-TUN-CPT-28	CPT	12.78	$5.85x10^{-8}$	Qta-arc1
			22.24	$2.89x10^{-8}$	Qta-arc1
			33.03	$2.54x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-30	CPT	15.02	$2.14x10^{-8}$	Qta-arc2
			30.57	$1.79x10^{-8}$	Qta-arc2
			40.03	$2.26x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 2	L2MB-TUN-CPT-47	CPT	11.18	$1.30x10^{-7}$	Qta-arc2
			21.24	$7.08x10^{-8}$	Qta-arc2
			31.32	$3.12x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-04	SCPT	15.02	$1.02x10^{-7}$	Qta-arc1
			30.10	$1.05x10^{-7}$	Qta-arc1
			40.11	$5.25x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-05	SCPT	11.20	$3.10x10^{-8}$	Qta-arc1
			21.19	$3.47x10^{-8}$	Qta-arc1
			32.11	$4.18x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-06	SCPT	15.02	$6.05x10^{-8}$	Qta-arc1

Zona Homogénea	Perforación	Tipo de Ensayo	Profundidad (m)	Resultados Permeabilidad (m/s)	Tipo Suelo
			30.06	$4.99x10^{-8}$	Qta-arc1
			40.11	$6.48x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-07	SCPT	14.23	$1.93x10^{-8}$	Qta-arc1
			28.26	$2.49x10^{-8}$	Qta-arc1
			42.27	$1.02x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-09	SCPT	11.16	$3.75x10^{-8}$	Qta-arc1
			21.13	$2.53x10^{-8}$	Qta-arc1
			32.08	$8.36x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-11	SCPT	11.90	$1.68x10^{-8}$	Qta-arc1
			21.87	$2.35x10^{-8}$	Qta-arc1
			31.87	$1.79x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-12	SCPT	10.02	$4.87x10^{-8}$	Qta-arc1
			20.06	$3.83x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-14	SCPT	11.75	$7.17x10^{-8}$	Qta-arc1
			21.76	$3.93x10^{-8}$	Qta-arc1
			31.72	$2.02x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 2	L2MB-TUN-SCPT-17	SCPT	10.01	$2.12x10^{-8}$	Qta-arc1
			20.02	$1.70x10^{-8}$	Qta-arc1
			30.05	$1.77x10^{-8}$	Qta-arc1
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-31	CPT	11.20	$4.33x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.22	$2.70x10^{-8}$	Qta-arc2
			32.02	$2.21x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-34	CPT	10.01	$2.45x10^{-8}$	Qta-arc2
			20.07	$2.67x10^{-8}$	Qta-arc2
			30.03	$2.09x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-36	CPT	10.01	$1.84x10^{-7}$	Qta-arc2
			20.10	$1.12x10^{-7}$	Qta-arc2
			30.02	$4.73x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-38	CPT	10.01	$8.93x10^{-7}$	Qta-arc2
			20.10	$4.98x10^{-7}$	Qta-arc2
			30.02	$2.05x10^{-7}$	Qta-arc2
ZH3	L2MB-TUN-CPT-41	CPT	11.10	$7.69x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.09	$6.51x10^{-8}$	Qta-arc2
			31.99	$3.38x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-42	CPT	12.81	$5.21x10^{-8}$	Qta-arc2

Zona Homogénea	Perforación	Tipo de Ensayo	Profundidad (m)	Resultados Permeabilidad (m/s)	Tipo Suelo
			22.83	$4.27x10^{-8}$	Qta-arc2
			32.84	$3.62x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH3	L2MB-TUN-CPT-43	CPT	12.81	$1.43x10^{-8}$	Qta-arc2
			22.83	$2.94x10^{-9}$	Qta-arc2
			32.84	$6.14x10^{-9}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-44	CPT	10.03	$1.79x10^{-8}$	Qta-arc2
			20.36	$2.67x10^{-8}$	Qta-arc2
			30.11	$1.88x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-46	CPT	10.01	$1.13x10^{-7}$	Qta-arc2
			20.10	$5.26x10^{-8}$	Qta-arc2
			30.02	$3.03x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-50	CPT	10.12	$4.47x10^{-9}$	Qta-arc2
			20.11	$3.03x10^{-8}$	Qta-arc2
			30.12	$2.53x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-51	CPT	10.12	$7.74x10^{-8}8$	Qta-arc2
			20.11	$1.05x10^{-5}$	Qta-arc2
			30.12	$2.46x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-52	CPT	11.21	$1.64x10^{-7}$	Qta-arc2
			21.21	$5.76x10^{-6}$	Qta-arc2
			31.23	$3.45x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-53	CPT	14.13	$2.03x10^{-7}$	Qta-arc2
			26.97	$1.68x10^{-7}$	Qta-arc2
			41.67	$2.12x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-54	CPT	11.31	$9.45x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.31	$1.97x10^{-7}$	Qta-arc2
			31.31	$2.43x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-56	CPT	14.02	$2.23x10^{-7}$	Qta-arc2
			28.52	$9.53x10^{-9}$	Qta-arc2
			41.23	$3.36x10^{-9}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-57	CPT	14.29	$1.79x10^{-7}$	Qta-arc2
			28.19	$2.09x10^{-8}$	Qta-arc2
			32.18	$2.37x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-58	CPT	11.87	$2.01x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.74	$2.45x10^{-8}$	Qta-arc2
			31.71	$2.24x10^{-8}$	Qta-arc2

Zona Homogénea	Perforación	Tipo de Ensayo	Profundidad (m)	Resultados Permeabilidad (m/s)	Tipo Suelo
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-59	CPT	15.68	$4.47x10^{-9}$	Qta-arc2
			36.03	$5.16x10^{-9}$	Qta-arc2
			20.17	$6.99x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-62	CPT	10.06	$1.23x10^{-8}$	Qta-arc2
			20.37	$1.44x10^{-8}$	Qta-arc2
			31.44	$1.96x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-64	CPT	11.87	$6.55x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.74	$3.10x10^{-8}$	Qta-arc2
			31.71	$3.71x10^{-8}$	Qta-arc3
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-65	CPT	10.82	$1.83x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.72	$2.60x10^{-8}$	Qta-arc2
			32.49	$1.83x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-67	CPT	11.17	$1.29x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.06	$1.65x10^{-8}$	Qta-arc2
			32.52	$1.83x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-68	CPT	22.12	$8.93x10^{-8}$	Qta-arc2
			32.23	$1.12x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-69	CPT	11.60	$7.90x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.41	$1.22x10^{-8}$	Qta-arc2
			32.03	$1.37x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-70	CPT	11.13	$1.96x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.22	$2.50x10^{-8}$	Qta-arc2
			31.02	$2.25x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-71	CPT	11.09	$1.89x10^{-8}$	Qta-arc2
			20.91	$1.31x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-73	CPT	11.06	$6.35x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.21	$1.19x10^{-7}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-74	CPT	5.58	$4.93x10^{-7}$	Qta-arc2
			10.02	$1.40x10^{-7}$	Qta-arc2
			20.02	$5.00x10^{-8}$	Qta-arc2
			31.62	$2.33x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-76	CPT	10.31	$2.93x10^{-8}$	Qta-arc2
			20.36	$8.28x10^{-8}$	Qta-arc2

Zona Homogénea	Perforación	Tipo de Ensayo	Profundidad (m)	Resultados Permeabilidad (m/s)	Tipo Suelo
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-78	CPT	10.67	$4.56x10^{-8}$	Qta-arc2
			25.93	$3.46x10^{-8}$	Qta-arc2
			40.37	$2.57x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-80	CPT	10.02	$6.46x10^{-9}$	Qta-arc2
			20.00	$4.06x10^{-8}$	Qta-arc2
			30.01	$9.62x10^{-9}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-82	CPT	14.82	$5.97x10^{-8}$	Qta-arc2
			27.82	$1.37x10^{-8}$	Qta-arc2
			41.72	$1.14x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-84	CPT	11.65	$9.32x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.52	$1.50x10^{-7}$	Qta-arc2
			31.44	$1.17x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-85	CPT	10.70	(*) $-1.00x10^{-4}$	Qta-arc2
			20.01	(*) $-1.00x10^{-4}$	Qta-arc2
			30.32	(*) $-1.05x10^{-6}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-87	CPT	10.67	$6.15x10^{-8}$	Qta-arc2
			20.78	$4.89x10^{-8}$	Qta-arc2
			30.05	$3.32x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-CPT-88	CPT	10.03	$4.06x10^{-8}$	Qta-arc2
			20.02	$3.86x10^{-8}$	Qta-arc2
			30.02	$2.81x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-21	SCPT	15.01	$7.44x10^{-8}$	Qta-arc2
			30.01	$2.47x10^{-8}$	Qta-arc2
			40.01	1.77x10-8	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-23	SCPT	10.05	$4.95x10^{-8}$	Qta-arc2
			20.05	$5.18x10^{-8}$	Qta-arc2
			30.03	$5.28x10^{-8}$	Qta-arc3
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-24	SCPT	12.73	$3.45x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.70	$3.68x10^{-8}$	Qta-arc2
			32.67	$2.74x10^{-8}$	Qta-arc3
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-27	SCPT	12.73	$5.41x10^{-8}$	Qta-arc2
			21.70	$2.64x10^{-8}$	Qta-arc2
			32.67	$1.60x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH3	L2MB-TUN-SCPT-28	SCPT	10.93	$3.39x10^{-7}$	Qta-arc2
			20.90	$9.23x10^{-8}$	Qta-arc2

Zona Homogénea	Perforación	Tipo de Ensayo	Profundidad (m)	Resultados Permeabilidad (m/s)	Tipo Suelo
			30.98	$4.20x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-37	SCPT	10.03	$1.84x10^{-8}$	Qta-arc2
			20.02	$1.68x10^{-8}$	Qta-arc2
			30.03	$1.04x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-38	SCPT	10.03	$2.15x10^{-6}$	Qta-arc2
			20.02	$1.02x10^{-8}$	Qta-mat
			30.03	$2.40x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-39	SCPT	11.59	$1.19x10^{-7}$	Qta-arc2
			13.60	$1.06x10^{-7}$	Qta-arc2
			21.68	$2.87x10^{-8}$	Qta-arc2
			30.49	$3.37x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-41	SCPT	11.31	$1.08x10^{-7}$	Qta-arc2
			20.89	$6.89x10^{-8}$	Qta-arc2
			31.32	$2.62x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-45	SCPT	14.72	$8.33x10^{-8}$	Qta-arc2
			28.63	$5.69x10^{-8}$	Qta-arc2
			41.23	$3.25x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-47	SCPT	12.84	$1.20x10^{-8}$	Qta-arc2
			22.83	$2.06x10^{-8}$	Qta-arc2
			32.86	$1.42x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-48	SCPT	14.81	$5.96x10^{-9}$	Qta-arc2
			28.81	$1.00x10^{-8}$	Qta-arc2
			41.74	$3.48x10^{-9}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-50	SCPT	14.17	$5.88x10^{-8}$	Qta-arc2
			28.22	$6.55x10^{-8}$	Qta-arc2
			41.26	$2.42x10^{-8}$	Qta-arc2
ZH 3	L2MB-TUN-SCPT-53	SCPT	14.13	$2.03x10^{-7}$	Qta-arc2
			26.97	$1.68x10^{-7}$	Qta-arc2
			41.67	$2.12x10^{-8}$	Qta-arc2

(*) Valor indeterminado

Fuente: UT MOVIUS 2022

Con base en los datos presentados en la Tabla 232, el rango de valores de permeabilidad en general muestra que para la zona homogénea 1 varía entre 10^{-7}m/s y 10^{-10}m/s , para la zona homogénea 2 entre 10^{-6} m/s y 10^{-10} m/s ; para la zona homogénea 3 con el mayor número de pruebas acorde con la extensión del área evaluada, varía entre 10^{-5} m/s y 10^{-11} m/s para la zona homogénea 4 varía entre 10^{-6} m/s y 10^{-8}, estos rangos asociados con la litología evaluada permiten establecer de acuerdo a la clasificación mostrada en la Tabla 47 una caracterización de los materiales como arcillas compactas de

condición prácticamente impermeable y estarían correlacionados dentro de una unidad hidrogeológica de muy baja permeabilidad.

Los valores promedio de permeabilidad obtenidos con los piezoconos en cada zona homogénea se resumen en la Tabla 233, indicando valores en **m/s y m/día**. Los resultados obtenidos en los ensayos realizados permiten clasificar estas cuatro zonas con permeabilidad Muy Baja indicando pozos de menor a 1 l/s con 10 m de depresión teórica, según la clasificación mostrada en la Tabla 229.

Tabla 233. Zonas homogéneas - Permeabilidad piezoconos

ZONA HOMOGÉNEA	Valor permeabilidad mínima		Valor permeabilidad máximo		Valor permeabilidad promedio	
	m/s	m/dia	m/s	m/dia	m/s	m/dia
ZH1	$3{,}84x10^{-10}$	$3{,}23x10^{-5}$	$1.80x10^{-7}$	$1{,}56x10^{-2}$	$4.99x10^{-8}$	$4.31x10^{-3}$
ZH2	$1{,}65x10^{-10}$	$1{,}43x10^{-5}$	$2{,}49x10^{-7}$	$2{,}15x10^{-2}$	$6{,}46x10^{-8}$	$5{,}558x10^{-3}$
ZH3	$2{,}01x10^{-11}$	$1{,}74x10^{-6}$	$2{,}12x10^{-6}$	$1{,}83x10^{-1}$	$1{,}35x10^{-7}$	$1{,}17x10^{-2}$
ZH4	$1{,}99x10^{-9}$	$1{,}72x10^{-4}$	$8{,}10x10^{-7}$	$7x10^{-2}$	$4{,}06x10^{-7}$	$3{,}51x10^{-2}$

Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.2.5.8.2. Régimen subsuperficial

El mapa de isopiezas subsuperficiales para el Distrito se presenta en la Figura 367, el método de interpolación utilizado en la modelación conceptual por parte de la SDA corresponde al Kriging ordinario, con el cual se buscó minimizar el error de predicción eliminando valores anómalos máximos y mínimos, generando un suavizado en la estimación de los valores. Esta información se correlaciona con los datos puntuales del proyecto los cuales se describen en detalle en el numeral 5.2.2.5.13.

A partir del mapa de isopiezas subsuperficiales, se observa un flujo regional en dirección E-W, con tendencia hacia el centro de la cuenca en dirección al Río Bogotá. Este mapa sigue la tendencia de la dirección regional del acuífero de los depósitos Neógenos-Cuaternarios.

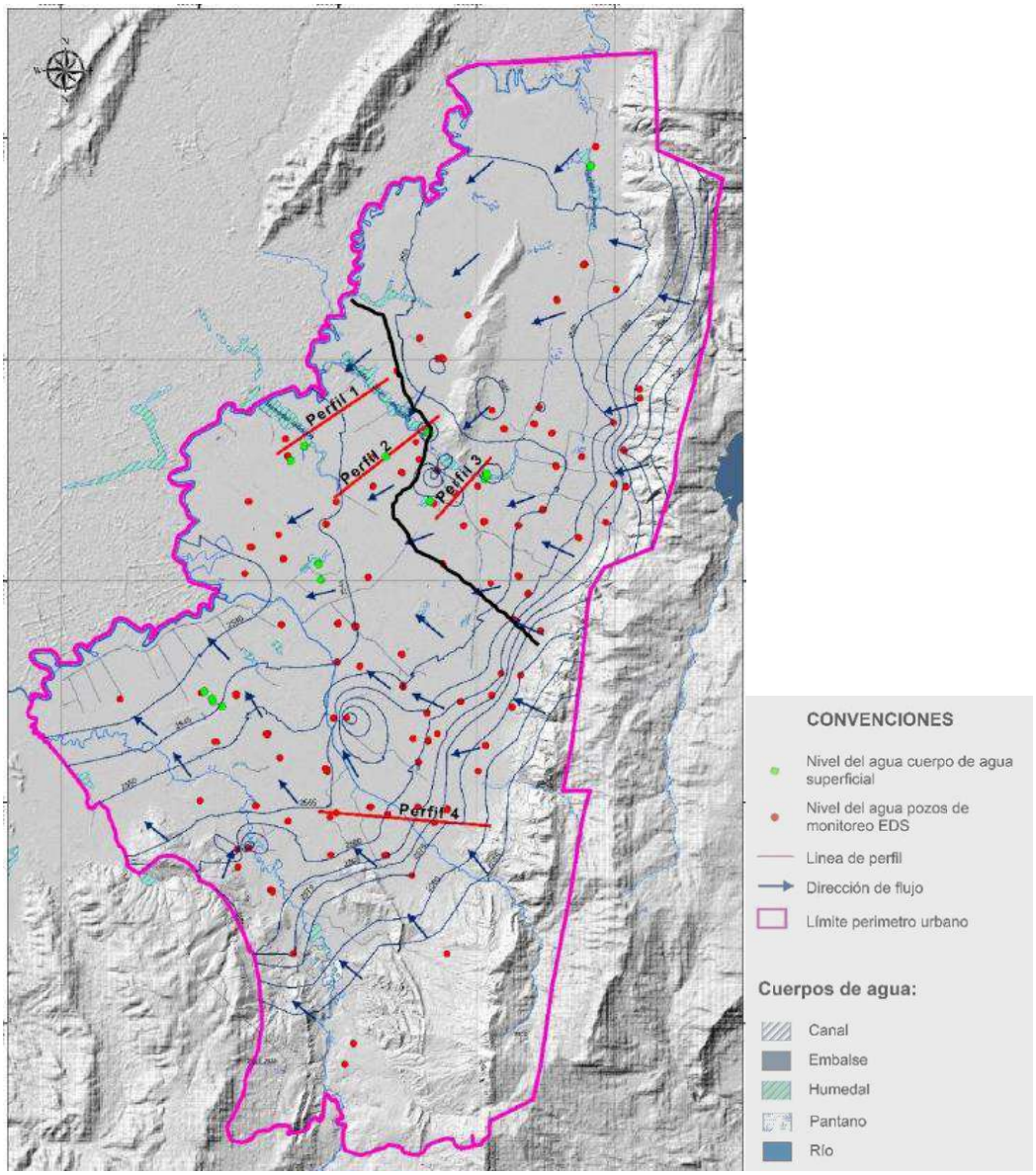


Figura 367. Mapa de Isopiezas Subsuperficiales en el Distrito Capital y el trazado del proyecto (en negro)
Fuente: Adaptado de la SDA, 2018

En el perfil de la Figura 368 se muestra la no interacción con el canal Jaboque de acuerdo con los registros y datos a nivel de la SDA entre el Humedal Jaboque y Juan Amarillo:

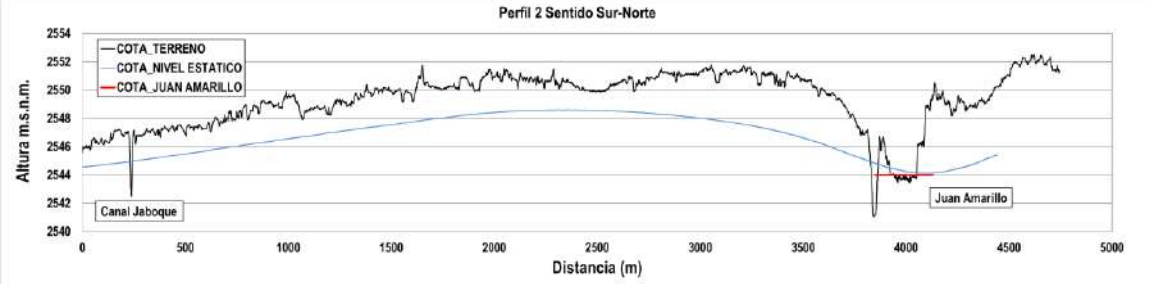


Figura 368. Perfil sentido Sur-Norte. Canal Jaboque y Humedal Juan Amarillo
Fuente: adaptado y modificado de la SDA, 2018

Los resultados a nivel de la modelación de las isopiezas del acuífero superficial (depósitos fluvio lacustres) y profundo a nivel del Distrito Capital con la información de la SDA, define que las entradas están dadas por la recarga natural debido a la precipitación y por las pérdidas del sistema de acueducto y alcantarillado. Similarmente, una entrada importante al sistema se da por el piedemonte donde se tienen flujos locales y su evidencia se ve reflejada en los pozos artesianos presentes en la zona. Los flujos intermedios se desarrollan en la formación Sabana y los flujos regionales abarcan la formación Sabana, Subachoque y Tilatá.La Formación Sabana, que constituye la unidad representativa en el AID del proyecto, presenta una baja permeabilidad incide en que el flujo sea redireccionado hacia la formación Subachoque.

El sistema hidrogeológico del distrito de Bogotá, es complejo debido a su configuración geológica, la presencia de fallas y su régimen hidrológico. La genética de la cobertura cuaternaria fluvio lacustre, generaron una anisotropía muy marcada en el sentido vertical y esto se ve reflejado en la presencia de los diferentes estratos, validado con las exploraciones ejecutadas a lo largo del trazado del la línea 2 del metro de Bogotá. Los cuales presentan variaciones en permeabilidades de varios órdenes de magnitud.

Las entradas al sistema vienen condicionadas por el régimen de precipitación y por el tipo de formación geológica presente. Las litologías que más permiten la recarga son los afloramientos de las formaciones Labor – Tierna y la formación Arenisca dura, esto, debido a su nivel de fracturamiento. La formación Sabana, permite una recarga en su afloramiento y permiten un mayor tránsito del agua sin dejar de tener presente que lo hace con unas velocidades de Darcy bajas.

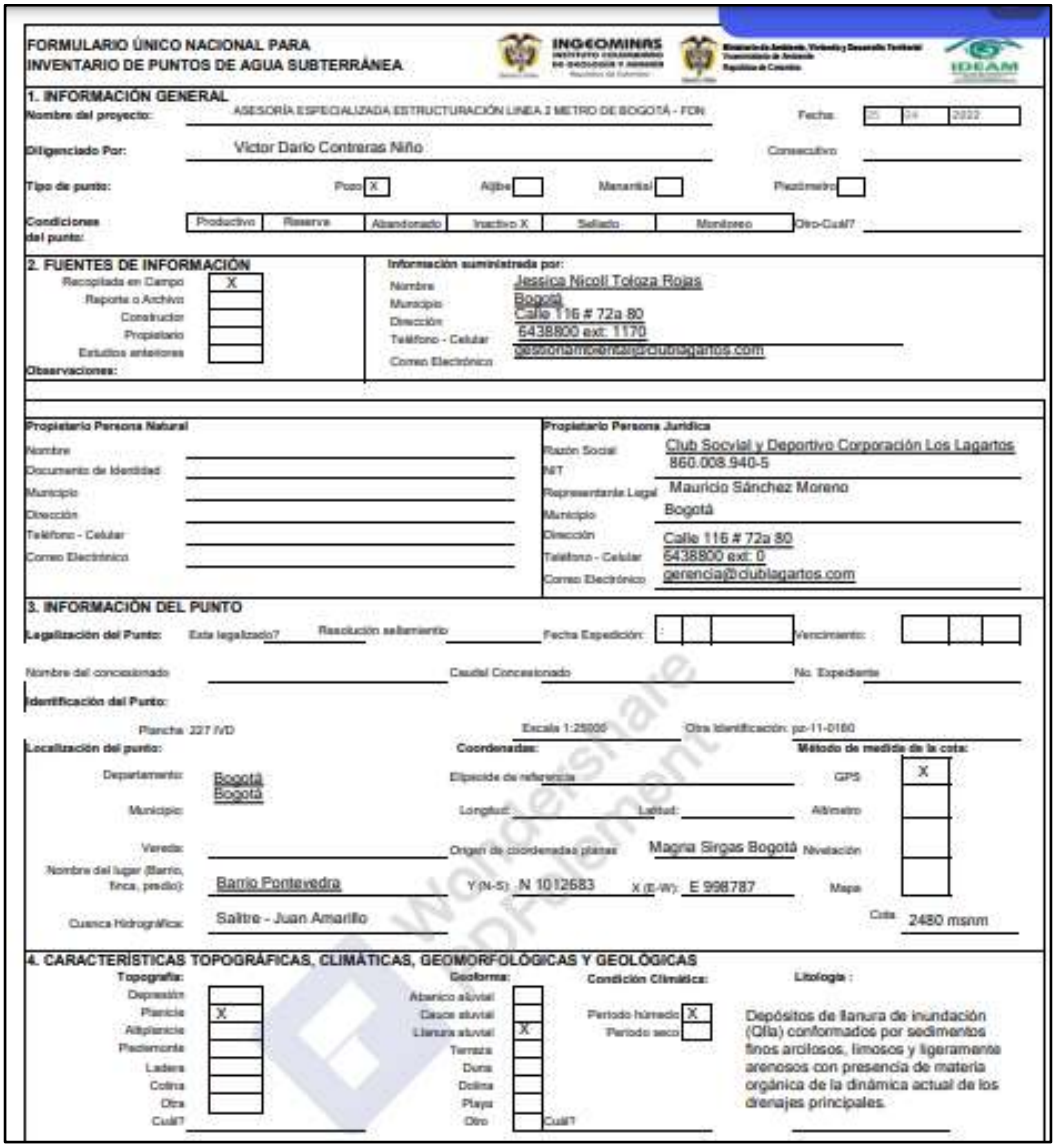
A una escala local se puede decir que por su litología (predominio de arcillas), la Formación Sabana presenta bajas tasas de recarga, sin embargo, a nivel regional (mirando toda la sabana), si se multiplica estas tasas por la extensión total de la sabana resulta que esta recarga se convertiría en uno de los componentes principales de la recarga asociados al sistema regional de la sabana.

5.2.2.5.8.3. Puntos de agua

- Pozos

A lo largo del área de influencia del proyecto L2MB, se inventariaron los pozos de agua subterránea que se ubican a 200 m del eje del trazado y los cuales fueron verificados en campo. Las unidades litológicas que son captadas a través de éstos corresponden en general a las diferenciadas como Depósitos cuaternarios de terraza alta de la formación Sabana (Qta), Depósitos cuaternarios del complejo de Conos (Qcc) y Depósitos de llanura de inundación (Qlla).

Para los pozos inventariados se realizó el diligenciamiento del formato Funias correspondiente, estos incluyen entre otros aspectos las características de construcción, estado actual y descripción general de la unidad geológica asociada. Un ejemplo de este formato se muestra en la Figura 369 y se presenta con detalle en el Anexo 5.2 - 8.4.



FORMULARIO ÚNICO NACIONAL PARA
INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

INGEOMINAS

1. INFORMACIÓN GENERAL

Nombre del proyecto: ASESORÍA ESPECIALIZADA ESTRUCTURACIÓN LINEA 2 METRO DE BOGOTÁ - FDN — Fecha: 05 04 2022

Diligenciado Por: Victor Darío Contreras Niño — Consecutivo:

Tipo de punto: Pozo X — Aljibe — Manantial — Piezómetro

Condiciones del punto: Productivo | Reserva | Abandonado | Inactivo X | Sellado | Monitoreo — Otro-Cuál?

2. FUENTES DE INFORMACIÓN

Recopilada en Campo X
Reporte o Archivo
Constructor
Propietario
Estudios anteriores

Observaciones:

Información suministrada por:
Nombre: Jessica Nicoll Toloza Rojas
Municipio: Bogotá
Dirección: Calle 116 # 72a 80
Teléfono - Celular: 6438800 ext: 1170
Correo Electrónico: asesoriaambiental@clublagartos.com

Propietario Persona Natural
Nombre
Documento de Identidad
Municipio
Dirección
Teléfono - Celular
Correo Electrónico

Propietario Persona Jurídica
Razón Social: Club Socvial y Deportivo Corporación Los Lagartos
NIT: 860.008.940-5
Representante Legal: Mauricio Sánchez Moreno
Municipio: Bogotá
Dirección: Calle 116 # 72a 80
Teléfono - Celular: 6438800 ext: 0
Correo Electrónico: gerencia@clublagartos.com

3. INFORMACIÓN DEL PUNTO

Legalización del Punto: Esta legalizado? — Resolución saliamiento — Fecha Expedición: — Vencimiento:

Nombre del concesionado — Caudal Concesionado — No. Expediente

Identificación del Punto:

Plancha: 227 IVD — Escala 1:25000 — Otra Identificación: pz-11-0180

Localización del punto:
Departamento: Bogotá
Municipio: Bogotá
Vereda:
Nombre del lugar (Barrio, finca, predio): Barrio Pontevedra
Cuenca Hidrográfica: Salitre - Juan Amarillo

Coordenadas:
Elipsoide de referencia:
Longitud: — Latitud:
Origen de coordenadas planas: Magna Sirgas Bogotá
Y (N-S): N 1012683 — X (E-W): E 998787

Método de medida de la cota:
GPS X
Altímetro
Nivelación
Mapa
Cota: 2480 msnm

4. CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS, CLIMÁTICAS, GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS

Topografía:
Depresión
Planicie X
Altiplanicie
Piedemonte
Ladera
Colina
Otra
Cuál?

Geoforma:
Abanico aluvial
Cauce aluvial
Llanura aluvial X
Terraza
Duna
Dolina
Playa
Otro — Cuál?

Condición Climática:
Periodo húmedo X
Periodo seco

Litología:
Depósitos de llanura de inundación (Qlla) conformados por sedimentos finos arcillosos, limosos y ligeramente arenosos con presencia de materia orgánica de la dinámica actual de los drenajes principales.

Figura 369. L2MB. Formato Funias soporte de la evaluación de pozos de agua subterránea a lo largo del corredor
Fuente: UT MOVIUS, 2022

La información recopilada muestra que el pozo pz-11-0180, alcanza una profundidad de 45 m, y se encuentra conformado en depósitos de llanura de inundación (Qlla) reporta nivel freático saltante y actualmente se encuentra inactivo. Ver Fotografía 71.



Fotografía 71. Pozo pz-11-0180. Depósitos de llanura de inundación (Qlla)
Fuente: UT MOVIUS 2022

El estado actual de los pozos registrados en esta etapa y actualmente monitoreados por la SDA, se resumen en la Tabla 234. Los pozos denominados pz-11-0145 y pz-11-0180, han sido ejecutados dentro de los niveles arcillosos del depósito de llanura de inundación (Qlla), los valores de nivel freático en éstos se describe como saltante, para los demás pozos no se tiene información.

Tabla 234. Pozos monitoreados SDA. 2017-2022

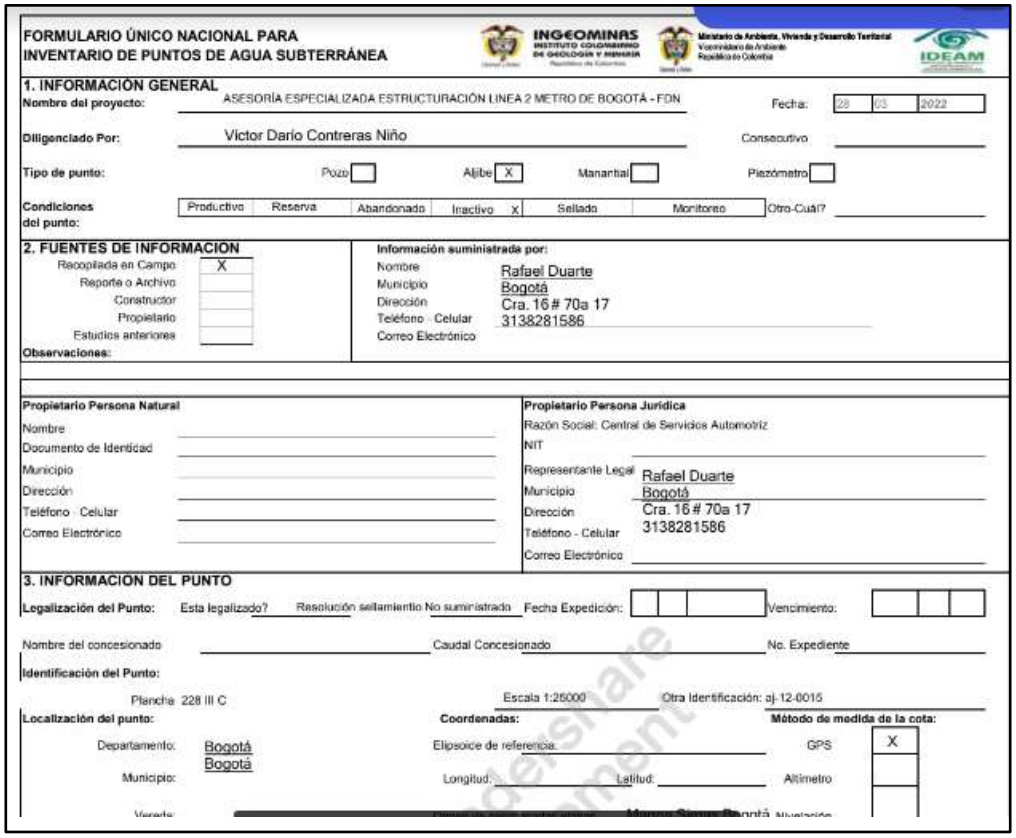
Nomenclatura	Tipo	COORDENADAS			Estado	Prof. (m)	Nivel Freático (m)	Unidad Litológica Captada
		Este	Norte	El. msnm				
pz-02-0003	Pozo	1002077	1007005	2568	Sellado	_____	_____	(Qcc)
pz-12-0024	Pozo	1001673	1007282	2554	Inactivo	_____	_____	(Qta)
pz-12-0023	Pozo	1001219	1006908	2549	Inactivo	_____	_____	(Qta)
pz-12-0006	Tanque de reserva	1001087	1006719	2555	Activo	4	_____	(Qta)
pz-12-0020	Pozo	1001096	1006561	2255	Inactivo	_____	_____	(Qta)
pz-12-0014	Pozo	1000544	1007774	2544	Inactivo	_____	_____	(Qta)
pz-10-0022	Pozo	997601	1010488	2548	Inactivo	_____	_____	(Qta)
pz-10-0037	Pozo	996896	1011140	2548	No existe	_____	_____	(Qta)
pz-10-0038 LavaMax	Pozo	997973	1012495	2551	Sin información	_____	_____	(Qta)
pz-11-0145	Pozo	998581	1013055	2480	Monitoreado por la SDA	_____	Saltante	(Qlla)
pz-11-0180	Pozo	998787	1012683	2480	Inactivo	45	Saltante	(Qlla)

Fuente: UT MOVIUS 2022

Los formatos Funias elaborados para cada pozo se presentan con detalle en el Anexo 5.2 - 8.4 y su localización en planta se muestra en la Figura 369.

- Aljibes

A lo largo del área de influencia del proyecto L2MB, se inventariaron los aljibes localizados en una distancia máxima de 200 m del eje del trazado. Se realizó la verificación en campo de los aljibes con el diligenciamiento del formato Funias correspondiente, estos incluyen entre otros aspectos las características de construcción, estado actual. Un ejemplo de este formato se muestra en la Figura 370 y se presenta con detalle en el Anexo 5.2 - 8.4.



FORMULARIO ÚNICO NACIONAL PARA INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

INGEOMINAS — INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial — Viceministerio de Ambiente — República de Colombia

IDEAM

1. INFORMACIÓN GENERAL

Nombre del proyecto: ASESORÍA ESPECIALIZADA ESTRUCTURACIÓN LINEA 2 METRO DE BOGOTÁ - FDN — Fecha: 28 03 2022

Diligenciado Por: Victor Darío Contreras Niño — Consecutivo

Tipo de punto: Pozo [ ] Aljibe [X] Manantial [ ] Piezómetro [ ]

Condiciones del punto: Productivo | Reserva | Abandonado | Inactivo X | Sellado | Monitoreo | Otro-Cual?

2. FUENTES DE INFORMACION

Recopilada en Campo: X
Reporte o Archivo:
Constructor:
Propietario:
Estudios anteriores:

Observaciones:

Información suministrada por:
Nombre: Rafael Duarte
Municipio: Bogotá
Dirección: Cra. 16 # 70a 17
Teléfono - Celular: 3138281586
Correo Electrónico:

Propietario Persona Natural
Nombre:
Documento de Identidad:
Municipio:
Dirección:
Teléfono - Celular:
Correo Electrónico:

Propietario Persona Jurídica
Razón Social: Central de Servicios Automotriz
NIT:
Representante Legal: Rafael Duarte
Municipio: Bogotá
Dirección: Cra. 16 # 70a 17
Teléfono - Celular: 3138281586
Correo Electrónico:

3. INFORMACIÓN DEL PUNTO

Legalización del Punto: Esta legalizado? Resolución sellamiento No suministrado Fecha Expedición: Vencimiento:

Nombre del concesionado: Caudal Concesionado: No. Expediente:

Identificación del Punto:

Plancha 228 III C — Escala 1:25000 — Otra Identificación: aj-12-0015

Localización del punto: — Coordenadas: — Método de medida de la cota:

Departamento: Bogotá
Municipio: Bogotá
Elipsoice de referencia: — GPS: X
Longitud: — Latitud: — Altímetro:

Figura 370. L2MB. Formato Funias soporte de la evaluación de aljibes a lo largo del corredor
Fuente: UT MOVIUS, 2022

El Aljibe aj-12-0015 conformado en depósitos cuaternarios de la formación Sabana (Qta) alcanza una profundidad de 4,1 m y se reporta nivel freático de 1,5 m Ver Fotografía 72.



Fotografía 72. Aljibe aj-12-0015. Depósitos cuaternarios de terraza alta de la formación Sabana (Qta)
Fuente: UT MOVIUS 2022

Los aljibes aj-12-001 aj-12-0022 se encuentran conformados dentro de los niveles arcillosos de la Formación sabana (Qta) son poco profundos indicando un nivel freático superficial que oscila entre 0,4 m y 1.3 m, indicando la baja permeabilidad de estos materiales.

El estado actual de los aljibes registrados en esta etapa y actualmente monitoreados por la SDA, se resumen en la Tabla 235.

Tabla 235. Aljibes monitoreados SDA. 2017-2022

Nomenclatura	Tipo	COORDENADAS			Estado	Prof. (m)	Nivel Freático (m)	Unidad Litológica Captada
		Este	Norte	El. msnm				
aj-12-0015	Aljibe	1001494	1006844	2554	Inactivo	4,1	1,3	(Qta)
aj-12-0021	Aljibe	1001369	1006291	2562	No existe	_____	_____	(Qta)
aj-12-0022	Aljibe	1001158	1007100	2544	Inactivo	3	0,4	(Qta)
aj-12-0030	Aljibe	1000560	1007846	2544	No existe	_____	_____	(Qta)
aj-12-0031	Aljibe	999603	1008153	2547	Sin información	_____	_____	(Qta)

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Piezómetros

La presente etapa de estudios a lo largo del alineamiento de la L2MB, involucró la ejecución de perforaciones con instalación de piezómetros tipo casagrande y de Hilo Vibrátil los cuales se relacionan en la Tabla 236, en cada piezómetro se realizó el registro del nivel freático, así como la descripción de las características de los materiales presentes en la profundidad de instalación, complementariamente se describieron y analizaron las propiedades fisicoquímicas del agua

tales como PH, Conductividad eléctrica y temperatura, los resultados obtenidos se presentan con detalle en el numeral 5.2.2.5.6. Calidad físico química de las aguas subterráneas.

En el Anexo 5.2 - 8.4 se presentan los formatos Funias diligenciados para cada piezómetro tipo Casagrande.

Tabla 236. L2MB. Piezómetros instalados 2021-2022

EXPLORACIÓN	COORDENADAS DE EJECUCIÓN			TIPO DE PIEZÓMETRO	PROFUNDIDAD PIEZÓMETRO (m)
	NORTE	ESTE	El. msnm		
L2MB-TUN-PT-04	1006622,589	1002235,688	2579	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST1-PT-01	1006703,399	1002958,031	2575	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST1-PT-02	1006774,94	1002032,576	2573	Piez. Hilo Vibrátil 3 profundidades	20-35-55
L2MB-TUN-PT-01	1002173,53	1006679,68	2594	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-05	1001914,342	1006868,139	2568	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-DEP-PT-01	1006887,054	1001868,607	2567	Piez. Hilo Vibrátil 3 profundidades	20-40-60
L2MB-DEP-PT-03	1007041,249	1001659,024	2563	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-06	1007149,062	1001481,187	2562	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-08	1007245,205	1001358,52	2559	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-10	1007411,38	1001113,495	2559	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-11	1000932,444	1007596,835	2558	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-02	1007970,509	1000310,782	2547	Piez. Hilo Vibrátil 3 profundidades	10-25-50
L2MB-TUN-PT-16	1008163,942	1000182,101	2550	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-20	1008433,331	999770,653	2554	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-22	1008621,321	999525,943	2554	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST3-PT-01	1008949,384	999060,566	2552	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-29	1009416,904	998703,065	2554	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-31	1009602,59	998520,42	2555	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-33	1009828,96	998232,09	2555	Piezometro de Casagrande	30

EXPLORACIÓN	COORDENADAS DE EJECUCIÓN			TIPO DE PIEZÓMETRO	PROFUNDIDAD PIEZÓMETRO (m)
	NORTE	ESTE	El. msnm		
L2MB-TUN-PT-35	1009898,251	998214,585	2556	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST4-PT-01	1010073,038	997963,411	2556	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-39	1010221,2	997840,08	2557	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-40	997762,51	1010280,45	2556	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-42	1010364,245	997652,761	2555	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-43	1010554,699	997420,698	2555	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-45	1010763,431	997251,473	2555	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-EST5-PT-01	1010767,885	997160,592	2555	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-47	1011027,876	997062,565	2555	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-49	1011221,18	997034,23	2555	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-TUN-PT-51	1011410,458	997140,429	2555	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-52	1011588,438	997279,737	2555	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST6-PT-03	1011814,72	997470,666	2556	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-55	1012010,91	997616,26	2555	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-58	1012209,67	997773,02	2555	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-59	1012305,932	997836,436	2556	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-57	998698,64	1013083,66	2556	Piezometro de Casagrande	20,9
L2MB-TUN-PT-62	1013071,638	998304,647	2549	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-64	1013293,722	998336,086	2549	Piezometro de Casagrande	55
L2MB-TUN-PT-66	998240,69	1013471,01	2545	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST8-PT-01	1013559,43	998208,197	2544	Piezometro de Casagrande	50
L2MB-TUN-PT-68	1013795,342	997977,993	2550	Piezometro de	40

EXPLORACIÓN	COORDENADAS DE EJECUCIÓN			TIPO DE PIEZÓMETRO	PROFUNDIDAD PIEZÓMETRO (m)
	NORTE	ESTE	El. msnm		
				Casagrande	
L2MB-TUN-PT-70	1014016,819	997769,979	2548	Piezometro de Casagrande	40
L2MB-TUN-PT-72	1014176,551	997661,197	2549	Piezometro de Casagrande	40,1
L2MB-TUN-PT-74	1014378,365	997590,631	2552	Piezometro de Casagrande	60
L2MB-TUN-PT-76	1014613,791	997316,393	2553	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-78	1014854,835	997140,649	2554	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-79	1015070,904	997058,025	2555	Piezometro de Casagrande	35
L2MB-EST9-PT-01	1015224,028	997041,185	2554	Piez. Hilo Vibrátil 3 profundidades	15-30-40
L2MB-TUN-PT-81	1015567,603	996974,725	2556	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-83	1015990,608	996899,365	2555	Piezometro de Casagrande	30
L2MB-TUN-PT-85	1016340,913	996851,088	2555	Piezómetro de Casagrande.	30
L2MB-TUN-PT-87	1017299,914	996598,432	2554	Piezómetro de Casagrande.	35
L2MB-ELE-PT-02	1017507,589	996049,601	2546	Piezometro de Casagrande	35

Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.2.5.9. Condiciones de flujo subterráneo

Las condiciones de flujo del área de influencia del proyecto de la L2MB y en el contexto geológico regional sobre el cual se desarrolla, se encuentran relacionadas con las litologías presentes dentro de dicha área y con las características litológicas de las unidades geológicas presentes. De manera específica para el área de influencia del proyecto, las unidades geológicas asociadas son: Depósitos de Llanura de Inundación (Qlla), Complejo de Conos (Qcc) y los Depósitos Fluviolacustres de Terraza Alta, asociados con la Formación Sabana (Qta). En este sentido, se evidencia que las coberturas cuaternarias predominantes corresponden a sedimentos finogranulares, con zonas locales permeables arenosas con geometrías lenticulares cuya ocurrencia a nivel del subsuelo es puntual y discontinua.

Se ha estimado un flujo regional en dirección E-W, con tendencia hacia el centro de la cuenca en dirección al Río Bogotá. En la Figura 371 se muestra la tendencia de la dirección regional del acuífero de los depósitos Neógenos-Cuaternarios, de acuerdo con las estimaciones de los niveles freáticos medidos a nivel de la red de pozos de monitoreo de la SDA y el registro de mediciones estáticas de la instrumentación instalada en el marco de los estudios de Factibilidad y Estructuración de la L2MB. Los flujos intermedios se desarrollan esencialmente en la Formación Sabana y los flujos regionales abarcan la Formación Sabana, Subachoque y Tilatá.

De manera local, a lo largo del trazado de L2MB las direcciones de flujo siguen la conformación topográfica del terreno, y de manera particular en la zona del humedal Juan Amarillo se orientan hacia este sistema, con un patron direccionado desde los puntos altos (cerros de Suba y contorno del limite de modelacion) hasta los puntos bajos, posicionando al humedal como sistema de drenaje para las unidades geológicas vecinas (tal como se presenta en el numeral 5.2.2.5.12. Modelo hidrogeológico numérico - MHN, sección Simulaciones y escenarios), lo anterior conforme los resultados de la modelación numérica desarrollada para los sectores identificados como críticos. Dicha modelación se realizó para las dos zonas identificadas como críticas -una por la presencia del humedal Juan Amarillo y otra por la presencia de materiales de permeabilidad media-: la primera de ellas se da en el inicio del tramo de la línea (primeros 400 m aproximadamente), zona de transición entre las unidades de los cerros orientales (complejo Conos) y la formación Sabana, y la segunda en el sector entre la abscisa 400 y el final del trazado, que corresponde al depósito lacustre de la formación Sabana.

De manera directa las unidades que presentan conexión hidráulica con los sistemas de agua superficial -y que presentan direcciones de flujo en dirección a los mismos- son la formación Sabana y el depósito de llanura de inundación, sistemas sobre los cuales de desarrolla el canal Salitre y el humedal Juan Amarillo (que hace parte del Complejo Ramsar de Humedales Urbanos de Bogotá), presentado una conexion hidráulica con estos sistemas.

En numeral 5.2.2.5.13 se presenta la Figura 402 y Figura 423 que representan las direcciones de flujo local que resultaron de las modelaciones numéricas.

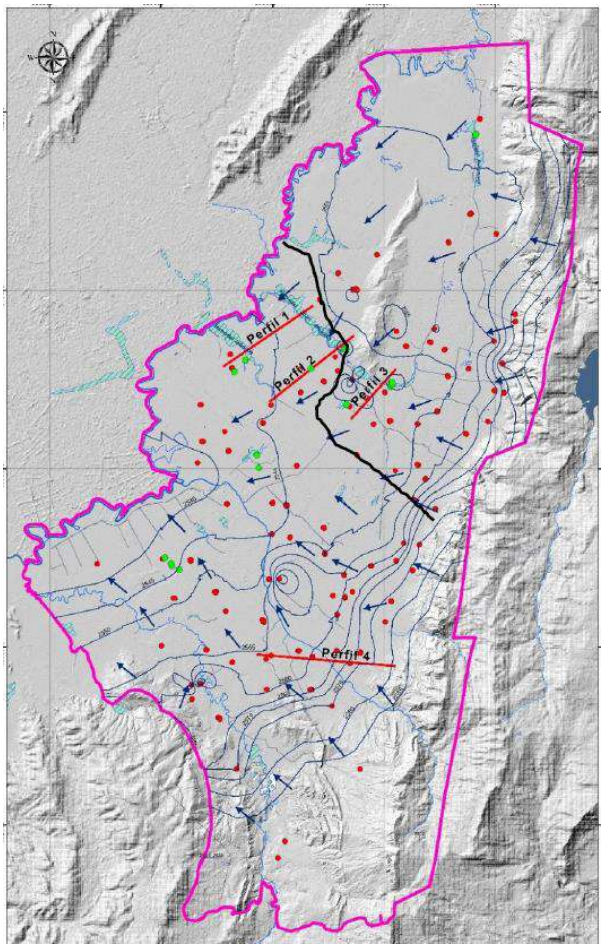


Figura 371. Mapa de isopiezas acuifero somero, direcciones de flujo subterráneo respecto al trazado de la L2MB (línea en negro)
Fuente: Adaptado y modificado de la SDA, 2018

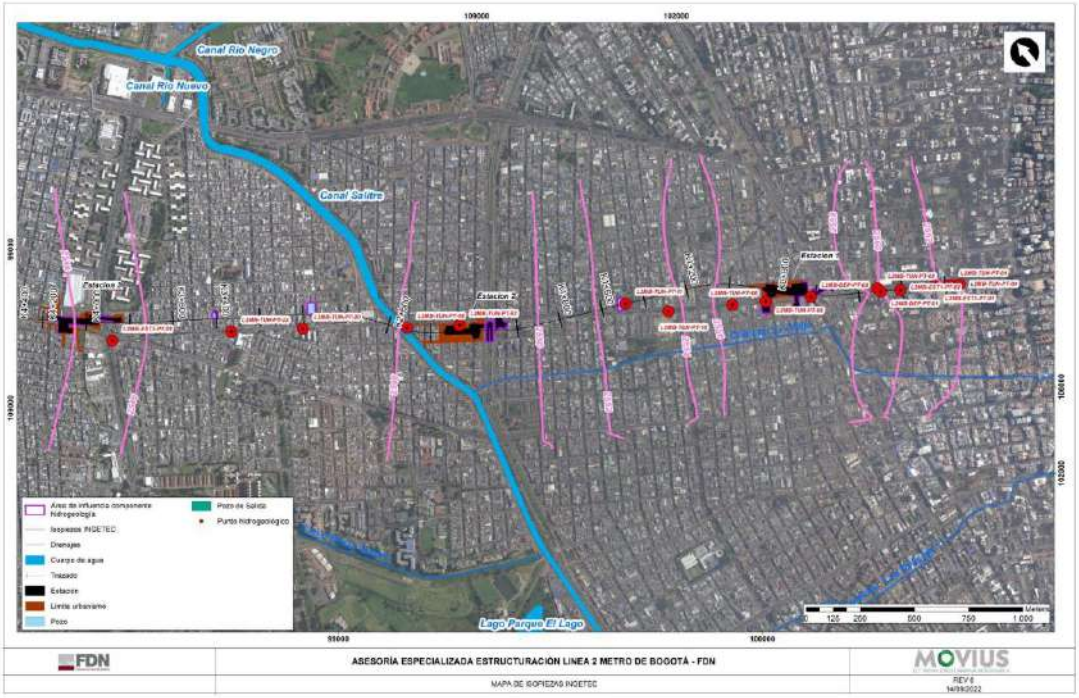
El análisis de dinámica de intercambio, los resultados de la modelación, en el escenario posterior a la entrada de operación de la línea subterránea, en conjunto con estaciones y pozos, no reflejan un cambio en la dinámica de intercambio del sistema; con un flujo que sigue la conformación topográfica del terreno descargando en las fuentes de agua superficial (desde los cerros Orientales hasta el canal Salitre). Las tasas de aporte desde las unidades hidrogeológicas hacia el canal Salitre corresponden a 11,78 l/s, caudal proveniente de la recarga en los cerros Orientales, dinámica que se mantiene una vez entra en operación la línea subterránea del Metro con sus estaciones y pozos.

En el caso de los niveles freáticos, los resultados obtenidos en la modelación (al igual que en la dinámica de intercambio) igualmente para el escenario de operación del sistema, no presentan afectación sobre la superficie freática, producto de las condiciones de muy baja permeabilidad del revestimiento en el túnel, estaciones y pozos.

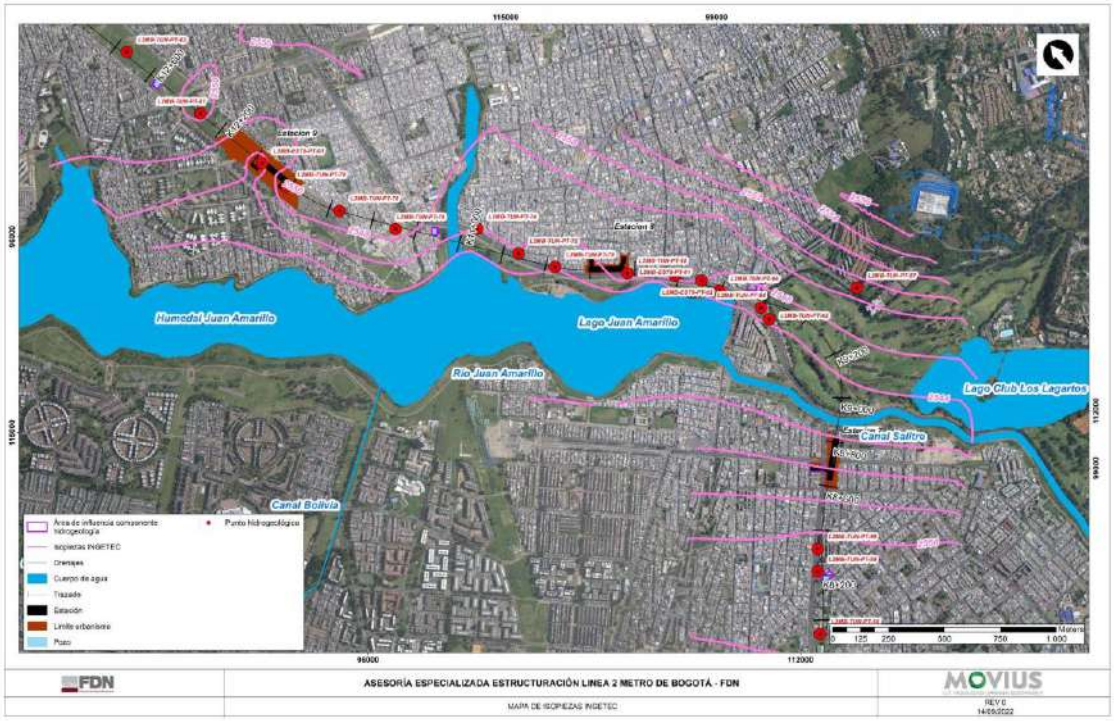
La tendencia de las direcciones del flujo subterráneo, en la etapa de operación del proyecto, no se identifica cambios en las direcciones de flujo; el patrón generalizado sigue la conformación topográfica del sistema, con un gradiente que va desde las zonas altas hasta las zonas bajas.

5.2.2.5.10. Nivel freático

Durante la ejecución de las perforaciones a lo largo del trazado de la L2MB, entre octubre de 2021 y mayo de 2022 (Figura 372), se registró la medición de niveles freáticos los cuales se resumen en la Tabla 237.




Canal Río Negro
Canal Salitre
Canal Río Nuevo
Canal Bonanza
Humedal Santa María del Lago
Canal Boyacá
Área de influencia componente hidrogeología
Punto hidrogeológico
Isopiezas INGETEC
Drenajes
Cuerpo de agua
Trazado
Estación
Límite urbanismo
Pozo
FDN
ASESORÍA ESPECIALIZADA ESTRUCTURACIÓN LINEA 2 METRO DE BOGOTÁ - FDN
MOVIUS
MAPA DE ISOPIEZAS INGETEC


Humedal Juan Amarillo
Lago Juan Amarillo
Río Juan Amarillo
Lago Chib Los Lagartos
Canal Salitre
Canal Bolivia
Área de influencia componente hidrogeología
Punto hidrogeológico
Isopiezas INGETEC
Drenajes
Cuerpo de agua
Trazado
Estación
Límite urbanismo
Pozo
FDN
ASESORÍA ESPECIALIZADA ESTRUCTURACIÓN LINEA 2 METRO DE BOGOTÁ - FDN
MOVIUS
MAPA DE ISOPIEZAS INGETEC

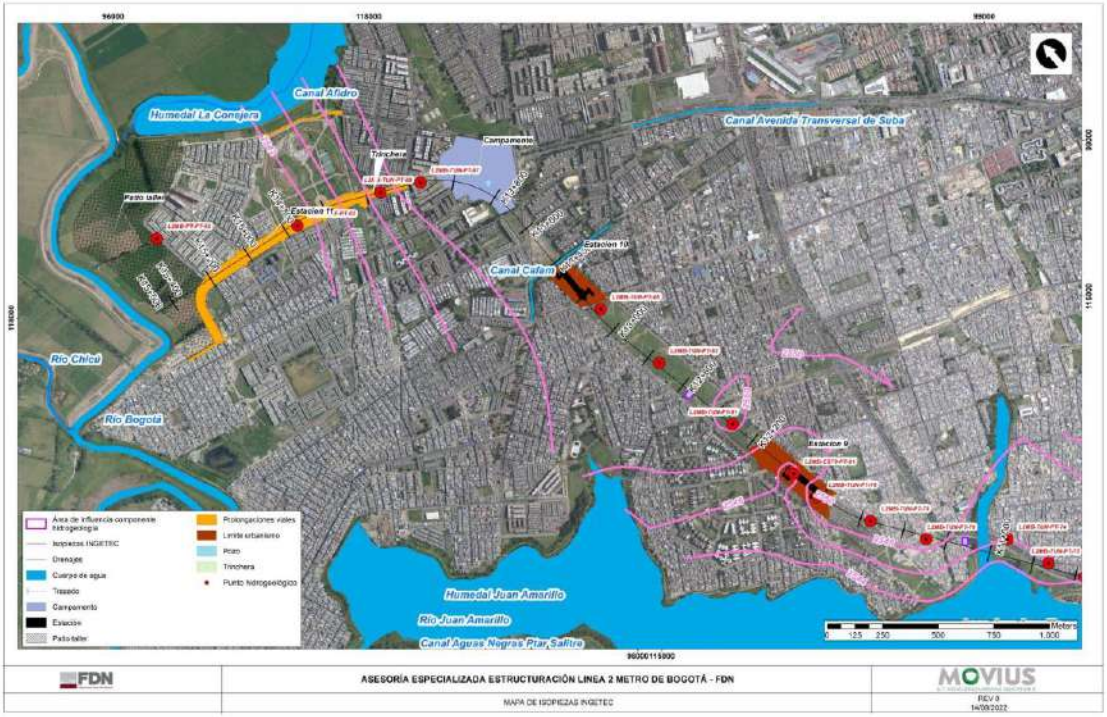


Figura 372. L2MB. Localización general Puntos de Agua e Investigaciones del subsuelo
Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 237. L2MB - Zonas homogéneas. Niveles freáticos registrados en sondeos a lo largo del trazado

ZONA HOMOGÉNEA	PERFORACIÓN	COORDENADAS DE EJECUCIÓN			PIEZÓMETRO El. msnm	COTA PIEZOMÉTRICA PROMEDIO El. msnm	NIVEL FREÁTICO PROMEDIO Prof. (m)
		NORTE	ESTE	El. msnm			
ZH1 K0+000-K0+446	L2MB-TUN-PT-04	1006622,589	1002235,688	2579	2544	2565,77	13,23
	L2MB-EST1-PT-01	1006703,399	1002958,031	2575	2540	2563,89	11,11
	L2MB-EST1-PT-02	1006774,94	1002032,576	2573	2553-2538-2518	2561,51	11,49
	L2MB-TUN-PT-01	1002173,53	1006679,68	2594	2559	2584,14	9,82
	L2MB-TUN-PT-05	1001914,342	1006868,139	2568	2533	2564,45	3,55
	L2MB-DEP-PT-01	1006887,054	1001868,607	2567	2547-2527-2507	2554,965	12,03
ZH2 K0+446 - K4+300	L2MB-DEP-PT-03	1007041,249	1001659,024	2563	2528	2560,55	2,45
	L2MB-TUN-PT-06	1007149,062	1001481,187	2562	2532	2569,93	1,07
	L2MB-TUN-PT-08	1007245,205	1001358,52	2559	2524	2558,97	0,03
	L2MB-TUN-PT-10	1007411,38	1001113,495	2559	2524	2556,93	2,07
	L2MB-TUN-PT-11	1000932,444	1007596,835	2558	2523	2557,54	0,46

ZONA HOMOGÉNEA	PERFORACIÓN	COORDENADAS DE EJECUCIÓN			PIEZÓMETRO El. msnm	COTA PIEZOMÉTRICA PROMEDIO El. msnm	NIVEL FREÁTICO PROMEDIO Prof. (m)
		NORTE	ESTE	El. msnm			
	L2MB-TUN-PT-02	1007970,509	1000310,782	2546.73	2536.73-2521.73-2496.73	ND	ND
	L2MB-TUN-PT-16	1008163,942	1000182,101	2550	2515	2548,97	1,03
	L2MB-TUN-PT-20	1008433,331	999770,653	2554	2519	2553,12	0,88
	L2MB-TUN-PT-22	1008621,321	999525,943	2554	2519	2552,66	1,34
	L2MB-EST3-PT-01	1008949,384	999060,566	2552	2517	2550,52	1,48
ZH3 K4+300 - K14+500	L2MB-TUN-PT-29	1009416,904	998703,065	2554	2524	2552,61	1,39
	L2MB-TUN-PT-31	1009602,59	998520,42	2555	2525	2553,87	1,14
	L2MB-TUN-PT-33	1009828,96	998232,09	2555	2525	2553,61	1,39
	L2MB-TUN-PT-35	1009898,251	998214,585	2556	2521	2553,48	2,52
	L2MB-EST4-PT-01	1010073,038	997963,411	2556	2521	2553,17	2,83
	L2MB-TUN-PT-39	1010221,2	997840,08	2557	2527	2556,05	0,95
	L2MB-TUN-PT-40	997762,51	1010280,45	2556	2526	2554,9	1,1
	L2MB-TUN-PT-42	1010364,245	997652,761	2555	2520	2552,63	1,37
	L2MB-TUN-PT-43	1010554,699	997420,698	2555	2520	2553,32	1,68
	L2MB-TUN-PT-45	1010763,431	997251,473	2555	2525	2554,42	0,58
	L2MB-EST5-PT-01	1010767,885	997160,592	2555	2520	2552,72	2,28
	L2MB-TUN-PT-47	1011027,876	997062,565	2555	2520	2554,05	0,95
	L2MB-TUN-PT-49	1011221,18	997034,23	2555	2520	2553,48	1,52
	L2MB-TUN-PT-51	1011410,458	997140,429	2555	2525	2552,26	1,74
	L2MB-TUN-PT-52	1011588,438	997279,737	2555	2520	2553,76	1,24
	L2MB-EST6-PT-03	1011814,72	997470,666	2556	2526	2553,32	2,68
	L2MB-TUN-PT-55	1012010,91	997616,26	2555	2525	2553,72	1,28
	L2MB-TUN-PT-58	1012209,67	997773,02	2555	2525	2554	1
	L2MB-TUN-PT-59	1012305,932	997836,436	2556	2526	2555,14	0,86

ZONA HOMOGÉNEA	PERFORACIÓN	COORDENADAS DE EJECUCIÓN			PIEZÓMETRO El. msnm	COTA PIEZOMÉTRICA PROMEDIO El. msnm	NIVEL FREÁTICO PROMEDIO Prof. (m)
		NORTE	ESTE	El. msnm			
	L2MB-TUN-PT-57	998698,64	1013083,66	2556	2535,1	2553,35	2,66
	L2MB-TUN-PT-62	1013071,638	998304,647	2549	2519	2545,86	3,14
	L2MB-TUN-PT-64	1013293,722	998336,086	2549	2494	2547,74	1,26
	L2MB-TUN-PT-66	998240,69	1013471,01	2545	2510	2544,07	0,93
	L2MB-EST8-PT-01	1013559,43	998208,197	2544	2494	2542,14	1,86
	L2MB-EST8-PT-02	1013652,81	998129,922	2552	2537-2522-2512	2549,19	2,81
	L2MB-TUN-PT-68	1013795,342	997977,993	2550	2510	2549,8	0,2
	L2MB-TUN-PT-70	1014016,819	997769,979	2548	2508	2546,4	1,6
	L2MB-TUN-PT-72	1014176,551	997661,197	2549	2508,9	2548,95	0,05
	L2MB-TUN-PT-74	1014378,365	997590,631	2552	2492	2549,98	2,02
	L2MB-TUN-PT-76	1014613,791	997316,393	2553	2523	2551,97	1,03
	L2MB-TUN-PT-78	1014854,835	997140,649	2554	2524	2553,03	0,97
	L2MB-TUN-PT-79	1015070,904	997058,025	2555	2520	2553,24	1,76
	L2MB-EST9-PT-01	1015224,028	997041,185	2554	2539-2524-2514	2550,56	3,44
	L2MB-TUN-PT-81	1015567,603	996974,725	2556	2526	2552,49	3,51
	L2MB-TUN-PT-83	1015990,608	996899,365	2555	2525	2552,51	2.45
	L2MB-TUN-PT-85	1016340,913	996851,088	2555	2525	2552,92	2,08
	L2MB-TUN-PT-87	1017299,914	996598,432	2554	2519	2553,17	0,83
	L2MB-TUN-PT-88	1017378,558	996431,41	2552	2522	2550,86	1,14
ZH4 K14+500-K15+550	L2MB-PT-PT-00	1017507,589	996049,601	2546	2511	2544,51	1,49
	L2MB-PT-PT-02	995528,209	1017869,773	2545	2530-2510-2490	2540,36	4,64
	L2MB-ELE-PT-01	996141,741	1017479,632	2546	2546	ND	ND

Fuente: UT MOVIUS 2022

Las variaciones de los niveles en profundidad en cada zona homogénea se presentan gráficamente en la Figura 373 y se consigna en el Anexo 5.2 - 8.6.



Figura 373. L2MB- Zonas Homogéneas. Variación de nivel freático en profundidad
Fuente: UT MOVIUS 2022

Los valores de niveles freáticos mostrados en la Tabla 237 y en la Figura 373 indican la variación en profundidad para cada una de las zonas homogéneas. Los niveles más profundos se presentan en la zona homogénea 1, esta variación corresponde con la presencia de materiales granulares los cuales fueron registrados en la perforación L2MB-TUN-PT-01 cercana a los cerros orientales. Para las zonas homogéneas 2, 3 y 4 los niveles freáticos alcanzan profundidad máxima de 4,64 m manteniendo una continuidad que se relaciona con la presencia de niveles arcillosos identificados a lo largo de las perforaciones realizadas con mayor presencia en los niveles arcillosos de la Formación Sabana (Qta).

5.2.2.5.11. Modelo hidrogeológico conceptual

Los modelos hidrogeológicos conceptuales son representaciones en tres dimensiones de las condiciones estáticas y dinámicas de sistemas hidrogeológicos. El MHC sintetiza las condiciones básicas del estado y dinámica de las aguas subterráneas en el subsuelo y sus relaciones con los cuerpos de agua superficial y los aportes atmosféricos. Se fundamenta en el análisis e interpretación de la información geológica, hidrológica, hidráulica, hidroquímica e isotópica, para tener una visión del comportamiento de las aguas subterráneas y su relación con los cuerpos de agua en superficie.

Esta representación incluye la geometría de los acuíferos, delimitación de unidades hidrogeológicas de acuerdo con sus posibilidades de almacenar y transmitir agua, características hidráulicas de los acuíferos, posición de los niveles piezométricos, condiciones del flujo de las aguas subterráneas y su relación con los componentes del ciclo hidrológico, características hidroquímicas e isotópicas, delimitación de zonas de recarga, tránsito y descarga.

El capítulo de Hidrogeología consta de 4 componentes que alimentan el modelo hidrogeológico conceptual y presenta los aspectos teóricos fundamentales asociados al estudio de las aguas subterráneas, Figura 374. Anexo 5.2 - 8.1 al Anexo 5.2 - 8.7.

El primer componente es el modelo geológico, para caracterizar la geología de superficie y subsuperficie y definir el contacto roca – suelo - depósitos y la influencia tectónica reflejada en fracturamiento, plegamiento y fallas.. El segundo componente es el Modelo Hidrológico, el cual se centra en los procesos hidrológicos superficiales, como las precipitaciones, escurrimientos y la evaporación, con la finalidad de estimar la recarga del sistema acuífero (infiltración) por precipitación producto de estos fenómenos. El tercer componente se centra en el modelo hidráulico, el cual está

orientado a determinar los rangos y distribución espacial de los parámetros hidráulicos reflejo de las unidades hidrogeológicas, hidráulica de pozos, así como la red de flujo. El cuarto componente es el Modelo Hidrogeoquímico el cual utiliza los análisis de fisicoquímicos e isotópicos de las aguas para comprender con mayor certeza la dinámica de los fluidos y su interacción.

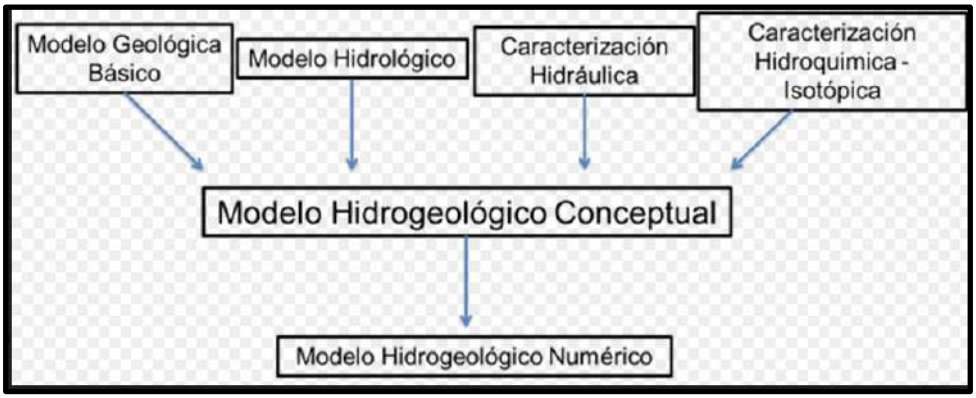


Figura 374. Flujograma utilizado para la Elaboración del Modelo Hidrogeológico Conceptual.
Fuente: UT MOVIUS 2022

En el área de influencia de la L2MB de 15.80 km de longitud están involucradas las formaciones Cacho (Tpc), Guaduas (Ktg), Bogotá (Tpb) y depósitos cuaternarios denominados Complejo de conos (Qcc), Terraza Alta o Formación Sabana (Qta), LLanura de inundación (Qlla), Coluviales (Qdp) de categorizadas como unidades de muy baja productividad teniendo en cuenta sus características texturales y composicionales. Las formaciones Cacho (Tpc), Guaduas (Ktg), Bogotá (Tpb) presentan abundantes niveles arcillosos que como afloran en el sector, permiten clasificarlas en forma general como unidad de baja productividad aclarando que su relación con la posición del túnel es nula.

El alineamiento de la L2MB, con base en sus condiciones litológicas se divide en cuatro zonas homogéneas denominadas ZH1, ZH2 ZH3 y ZH4. Con la interpretación de las secciones geológicas longitudinales y transversales se establece que al menos el 95% del túnel será excavado en materiales arcillosos de la Formación Sabana (Qta) descrito como un acuitardo de origen lacustre.

Los análisis han demostrado que los parámetros de permeabilidad son muy bajos y coherentes con los parámetros hidráulicos es decir las relacione litológicas mostradas en aspectos texturales y composicionales son correlacionables con los datos de permeabilidad obtenidos de las diferentes perforaciones son coherentes con la clasificación de la unidad hidrogeológica principal.

Se presentan aspectos particulares como el de la ZH1, en inmediaciones del portal salida, muy cerca de los cerros orientales, donde afloran la unidad de Complejo de Conos (Qcc) y Depósitos de Coluvión (Qdp), donde por su condición textural y composicional tendrán la posibilidad de acumular agua subterránea, sin embargo los datos de permeabilidad obtenidos en la perforación L2MB-TUN-PT-04 registró un valor máximo de $K=2{,}16x10^{-7}$ m/s, lo que permite clasificarlo como Acuíferos Pobres o de Baja Productividad.

Otro sector particular es la ZH3 muy cerca del K9+000, donde el alineamiento del túnel cambia en dirección hacia el Norte, y se acerca al relieve colinado donde existe un predominio de rocas pre-cuaternarias de la Formación Guaduas (Ktg) y la Formación Cacho (Tpc), evidenciadas en profundidad con la perforación L2MB-TUN PT-57 y en inspecciones de campo en inmediaciones del sector del Club los Lagartos. Se establece que el alineamiento del túnel está a una distancia aproximada de 190 m hacia el este del talud generado por estas unidades rocosas.

En la ZH3, tambièn se establece una relación con los cuerpos de agua superficiales como son el río Salitre (Canal Salitre).m rio Juan Amarillo. Humedal Juan Amarillo, aquí los valores de permeabilidad y capacidad hidráulica combinados con los aspectos texturales y composicionales de la Formación Sabana (Qta) indican que es poco probable que durante la excavación del túnel se presenten afectaciones de los cuerpos de agua superficales.

En el sector del Patio Taller - Estación 11, la sección J-J' muestra que la relación entre la litología subterránea y el área donde se cimentarán las obras es de baja permeabilidad con base en los datos obtenidos en las perforaciones L2MB-PT-PT-01, L2MB-PT-PT-02 y L2MB-ELE-PT-01 donde el valor de K máximo obtenido es de $1{,}33x10^{-7}$ (m/s) , $3{,}39x10^{-8}$ (m/s) y $1{,}40x10^{-9}$ (m/s) respectivamente. Aunque se presentan niveles de arena fina que corresponden a
a la llanura aluvial del río Bogotá, y su cauce discurre muy cerca, en el sector norte.

El modelo hidrológico muestra cuerpos de agua cercanos al alineamiento del túnel como son los humedales donde la recarga superficial proviene principalmente de la precipitación y aportes que tienen los drenajes superficiales desde la cuenca alta de la Sabana de Bogotá.

Las direcciones de flujo subterráneo respecto al trazado de la L2MB, en el sector norte tiene dirección predominante NE-SW, mientras que el sector sur la orientación es SE-NW, en ambos casos proviene desde el sector de los cerros con tendencia hacia el centro de la cuenca en dirección al Río Bogotá al Oeste. De acuerdo con las estimaciones de los niveles freáticos medidos a nivel de la red de pozos de monitoreo de la SDA y el registro de mediciones estáticas de la instrumentación instalada en el marco de los estudios de Factibilidad y Estructuración de la L2MB. Los flujos intermedios se desarrollan esencialmente en la Formación Sabana y los flujos regionales abarcan la Formación Sabana, Subachoque y Tilatá.

El sistema hídrico analizado está compuesto principalmente por la cuenca del río Bogotá y afluentes tales como: San Francisco, Juan Amarillo, Jaboque y los Rosales, pertenecientes a la unidad hidrográfica Nivel II.

En el balance hídrico superficial - BHS, para la subcuenca rural de los cerros orientales, se obtuvo una precipitación total anual de 1115,8 mm, una escorrentía de total anual de 424 mm, una evapotranspiración real total anual de 581,8 mm y una percolación de 83 mm que representa el 7,4% de la precipitación total. En este caso, se definió un déficit promedio de 2,3 mm. En el balance hídrico para la subcuenca urbana de los cerros orientales, se obtuvo una precipitación total anual de 1115,8 mm, una escorrentía de total anual de 948,5 mm, una evapotranspiración real total anual de 581,8 mm y una percolación de 0 mm. En este caso, se definió un déficit promedio de -34,5 mm.

El análisis de dinámica de intercambio, los resultados de la modelación, en el escenario posterior a la entrada de operación de la línea subterránea, en conjunto con estaciones y pozos, no reflejan un cambio en la dinámica de intercambio del sistema; con un flujo que sigue la conformación topográfica del terreno descargando en las fuentes de agua superficial (desde los cerros Orientales hasta el canal Salitre). Las tasas de aporte desde las unidades hidrogeológicas hacia el canal Salitre corresponden a 11,78 l/s, caudal proveniente de la recarga en los cerros Orientales, dinámica que se mantiene una vez entra en operación la línea subterránea del Metro con sus estaciones y pozos.

En el caso de los niveles freáticos, los resultados obtenidos en la modelación (al igual que en la dinámica de intercambio) igualmente para el escenario de operación del sistema, no presentan afectación sobre la superficie freática, producto de las condiciones de muy baja permeabilidad del revestimiento en el túnel, estaciones y pozos.

La tendencia de las direcciones del flujo subterráneo, en la etapa de operación del proyecto, no se identifica cambios en las direcciones de flujo; el patrón generalizado sigue la conformación topográfica del sistema, con un gradiente que va desde las zonas altas hasta las zonas bajas.

De acuerdo con lo anterior, para el área de influencia de la zona de calle 72, la subcuenca urbana aferente tiene menor capacidad de infiltración debido a que su cobertura en su mayoría es impermeable, lo cual se refleja en el balance hídrico

realizado, donde se encontró una percolación de 0 mm, mientras que, para sa subcuenca rural de los cerros orientales se obtuvo una percolación de 83 mm que representa el 7,4% de la precipitación total.

Para determinar la posición del nivel freático, se instalaron piezómetros bajo las características de la normativa ASTM D 5092, en la cual expone el diseño e instalación de pozos para el monitoreo del agua en acuíferos, de los cuales se determinó el siguiente diseño para los piezómetros de tubo abierto. Se instalaron un total de 51 piezómetros de tubo abierto. Adicionalmente, se instalaron piezómetros bajo las características de la normativa ASTM D 5092, en la cual expone el diseño e instalación de pozos para el monitoreo del agua en acuíferos, de los cuales se determinó el siguiente diseño tipo para los piezómetros de hilo vibrátil. Se instalaron un total de 6 piezómetros de hilo vibrátil.

Los niveles más profundos se registran en la zona homogénea 1, esta variación corresponde con la presencia de materiales granulares los cuales fueron registrados en la perforación L2MB-TUN-PT-01 cercana a los cerros orientales. Para las zonas homogéneas 2, 3 y 4 los niveles freáticos alcanzan profundidad máxima de 4,64 m manteniendo una continuidad que se relaciona con la presencia de niveles arcillosos identificados a lo largo de las perforaciones realizadas con mayor presencia en los niveles arcillosos de la Formación Sabana (Qta).

Dentro del MHC, se realizó la caracterización hidráulica de las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de influencia. Para las formaciones cuaternarias (Formación Sabana y Complejo de Conos), las mediciones de permeabilidad son menores a 10-6 m/seg .Este valor es el referente de la condición de permeabilidad de la unidad hidrogeológica de mayor relevancia respecto al alineamiento del túnel, considerando que el 95% será excavado en el acuitardo de la formación sabana.

Se presentan aspectos particulares como el de la ZH1, en inmediaciones del portal salida, muy cerca de los cerros orientales, donde afloran la unidad de Complejo de Conos (Qcc) y Depósitos de Coluvión (Qdp), donde por su condición textural y composicional tendrán la posibilidad de acumular agua subterránea, sin embargo los datos de permeabilidad obtenidos en la perforación L2MB-TUN-PT-04 registró un valor máximo de K=2,16x10-7 m/s, lo que permite clasificarlo como Acuíferos Pobres o de Baja Productividad.

Las condiciones de flujo en el área del proyecto, se encuentran relacionadas con las litologías presentes y establecidas a nivel del modelo geológico de superficie y del subsuelo, que de manera específica para el área de influencia del proyecto de la L2MB, las unidades geológicas asociadas son: Depósitos de Llanura de Inundación (Qlla), Complejo de Conos (Qcc) y los Depósitos Fluviolacustres de Terraza Alta, asociados con la Formación Sabana (Qta) como la unidad predominante a lo largo del trazado. En este sentido, se evidencia que existen unas coberturas cuaternarias principalmente asociadas con sedimentos finos, con zonas locales permeables arenosas hacia el final del trazado que se concentran en la zona del patio taller. En este sentido, se evidencia que las coberturas cuaternarias predominantes corresponden a sedimentos finogranulares, con zonas locales permeables arenosas con geometrías lenticulares cuya ocurrencia a nivel del subsuelo es puntual y discontinua.

De acuerdo al Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) la unidad hidrogeológica principal es la Formación Sabana (Qta) con características hidráulicas y de permeabilidad que lo caracterizan como un acuitardo en depósitos cuaternarios de origen fluvio lacustre, con un predominio litológico que corresponde a arcillas, limos y menor ocurrencia de arenas.

Se ha estimado un flujo regional en dirección E-W, con tendencia hacia el centro de la cuenca en dirección al Río Bogotá que es consistente con la tendencia de la dirección regional del acuífero de los depósitos Neógenos-Cuaternarios, de acuerdo con las estimaciones de los niveles freáticos medidos a nivel de la red de pozos de monitoreo de la SDA y el registro de mediciones estáticas de la instrumentación instalada en el marco de los estudios de Factibilidad y Estructuración de la L2MB. Los flujos intermedios se desarrollan esencialmente en la Formación Sabana y los flujos regionales abarcan la Formación Sabana, Subachoque y Tilatá.

Con base en el análisis del modelo geológico y el MHC, el efecto de la excavación del túnel en los cuerpos de agua superficiales como el canal salitre, el lago del club los Lagartos, el humedal Juan Amarillo, el humedal La Conejera y los

demás drenajes superficiales es bajo, considerando que no existe una conexión directa con el flujo subterráneo debido a las características texturales principalmente arcillosas, reflejadas en las condiciones hidráulicas y de permeabilidad.

Producto del análisis de la información piezométrica (que corresponde a 54 puntos de observación distribuidos a lo largo de la línea subterránea) se puede establecer que los flujos subterráneos están típicamente orientados en dirección paralela a la superficie del terreno, con un gradiente de flujo que va desde los cerros Orientales (zona principal de recarga por infiltración) y cerros de Suba hacia los puntos de drenaje natural, que corresponden a las fuentes de agua superficial (canal Salitre, humedal Juan Amarillo, Lago del club los Lagartos y rio Bogota). La posición del nivel freático a lo largo del área de estudio se caracteriza por ser somera a una profundidad promedio de 1,7 m, esto para el caso de la formación Sabana (unidad sobre sobre la cual se desarrolla la mayoría de la L2MB, 15,0 km aproximadamente); en la zona de cerros Orientales (sobre la formación complejo de conos - Qcc) el nivel freático toma mayor profundidad, alcanzado los 12,7 m en la perforación L2MB-TUN-PT-04 (ubicada al inicio de la L2MB).

Los análisis de variación en el nivel freático en cuanto a movilidad del mismo entre época de estiaje y de lluvias permitieron caracterizar un nivel freático con poca fluctuación, con una variación máxima promedio de 1,0 m entre épocas hidrológicas, lo cual es indicativo de la baja sensibilidad del sistema a procesos de recarga, particularmente por infiltración.

5.2.2.5.12. Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

La evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, tiene por objeto establecer el grado de defensa natural del acuífero, ante la alteración potencial de la calidad del agua subterránea, basándose en la determinación de las propiedades físicas del medio no saturado, que lo convierten en una herramienta de protección del recurso.

La vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación, establece la facilidad con la cual ingresan las sustancias que puedan degradar la calidad del agua subterránea, mediante infiltración a través del suelo y de la zona no saturada. Foster (1987), sugiere que la definición más confiable de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos es “la medida del grado de inaccesibilidad de los contaminantes a través de la zona no saturada de un acuífero y el grado de atenuación a la contaminación que posean los estratos de esta zona, como resultado de retención y/o reacción físico – química”. La base metodológica adoptada para efectos de evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos identificados en el área de influencia del proyecto, se ilustra en la Figura 375.

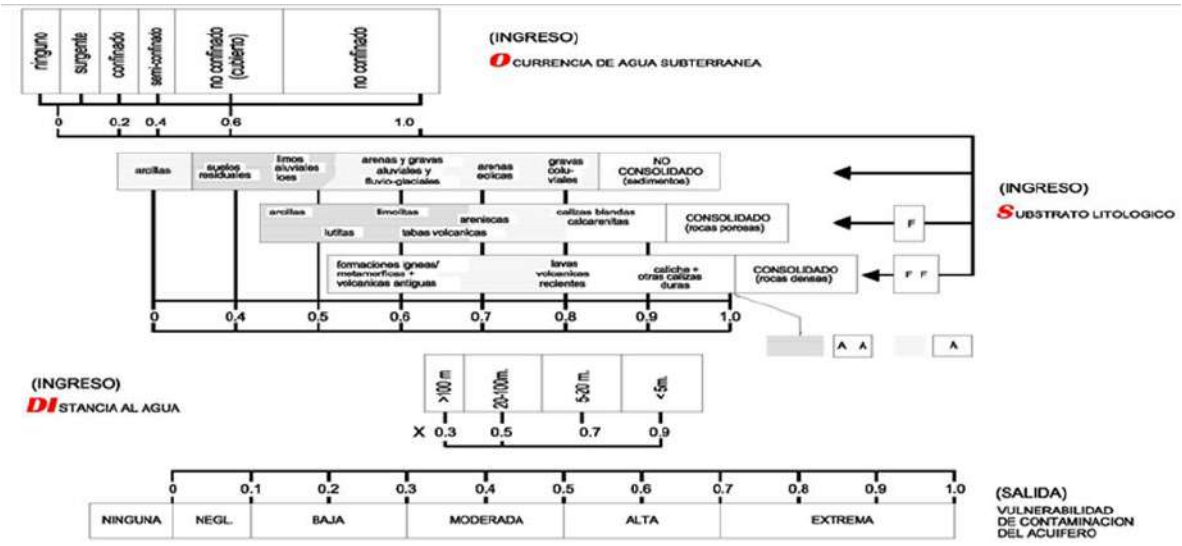


Figura 375. Metodología GOD Para Evaluar el Índice de Vulnerabilidad de Contaminación de los Acuíferos
Fuente: Adaptado y modificado en ANLA, 2010

Esta metodología comprende tres parámetros: G, O y D, ; cuyos valores son asignados de acuerdo con la contribución en la defensa a la contaminación, los cuales son:

G: Corresponde al grado de confinamiento hidráulico con la identificación del tipo de acuífero, su índice puede variar entre 0 y 1. El modo de ocurrencia varía entre la ausencia de acuíferos (evaluado con índice 0) y la presencia de un acuífero libre o freático (evaluado como índice 1), pasando por acuíferos artesianos, confinados y semiconfinados. Para el caso de este proyecto aplica la clasificación de acuíferos libres y semiconfinados.

O: Corresponde a la caracterización de la zona no saturada del acuífero o de las capas confinantes. Los índices más bajos (0,4) corresponden a los materiales no consolidados, mientras que los más altos (0,9 – 1,0) corresponden a sedimentos granulares bien seleccionados y/o rocas compactas fracturadas o karstificadas.

D: Se refiere a la profundidad del nivel freático en acuíferos libres o a la profundidad del techo del acuífero, en los confinados. Los índices más bajos (0,6) corresponden a acuíferos libres con profundidad mayor a 50 m; mientras que los índices altos (1,0) corresponden a acuíferos que independientemente de la profundidad se encuentran a menos de 10m. Para el caso de los acuíferos libres la profundidad del nivel estático está sujeta a la oscilación natural.

$$iV_{GOD} = G \times O \times D$$ Ecuación 51. Evaluación GOD

Las variables temáticas involucradas en la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos a una escala local se ilustran en la Figura 376, adoptadas en la evaluación del presente estudio, corresponden a:

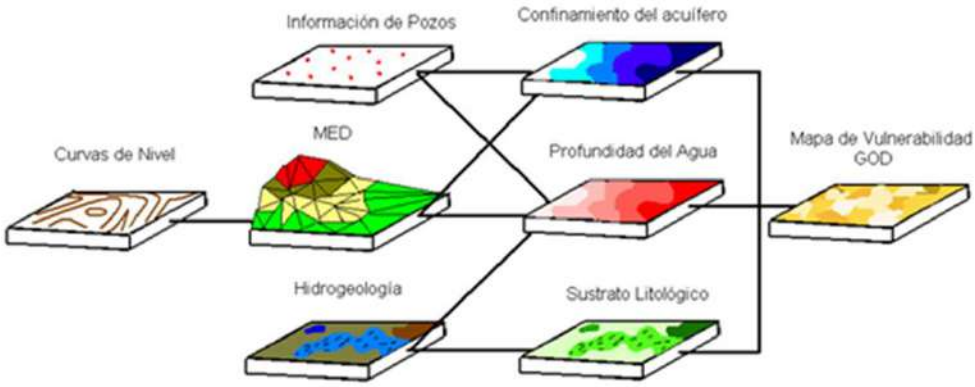


Figura 376. Variables temáticas involucradas en el geoprocesamiento metodológico GOD para el área de la modelación
Fuente: Adaptado y modificado en ANLA, 2010

Los soportes a nivel de la cartografía de la temática, se incluyen en Anexo 5.2 - 8.1 a Anexo 5.2 - 8.7. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0071_V01 y L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0077_V01. Los resultados de la zonificación se ilustran en la Figura 377 a la Figura 381

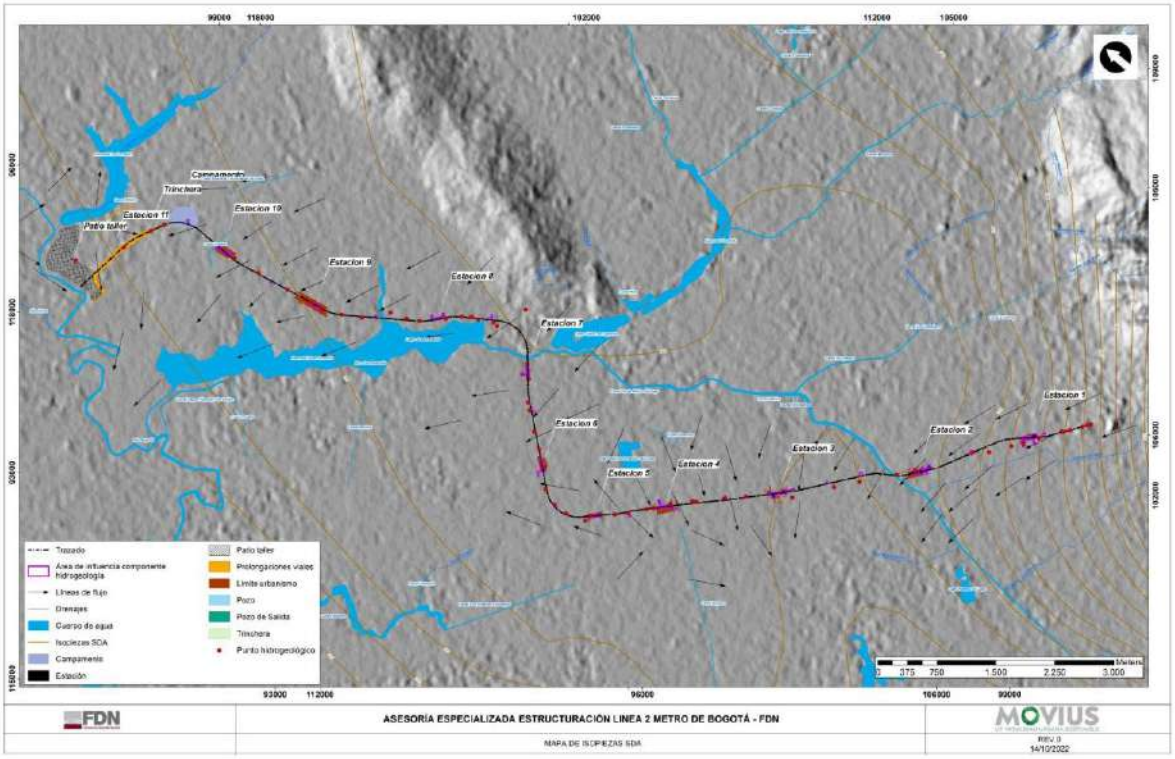


Figura 377. Mapa de isopiezas de niveles freáticos
Fuente: UT MOVIUS 2022

Resultados de la zonificación

- Parámetros y resultados asociados a la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos

Capacidad de atenuación de la carga contaminante

La capacidad de atenuación de la carga contaminante se relaciona con los procesos que ocurren en el suelo y en la zona no saturada.

Suelo o formaciones geológicas superficiales

El suelo es la porción más superficial de la zona no saturada, caracterizada por una significativa actividad biológica, que a efectos prácticos pueden considerarse con espesores hasta 2 metros. La principal función del suelo desde el punto de vista de la vulnerabilidad, es la capacidad de atenuación de la carga contaminante, siendo mayor cuando el suelo tiene mayor contenido de materiales finos (limos y arcillas) y de materia orgánica. Estas características de los suelos los hacen más efectivos a la mayoría de los procesos que protegen las aguas subterráneas. En general, los suelos arcillosos brindan mayor protección al acuífero como los sedimentos que predominan a lo largo del trazado del proyecto y que hacen parte de los depósitos de la Formación Sabana.

Para el caso de análisis del área de influencia del proyecto, se han diferenciado tres tipos de depósitos de acuerdo con sus características granulométricas, texturales, de consistencia y temporalidad, cómo se relacionan a continuación:

Depósitos del Complejo de conos (Qcc): depósitos de gravas matriz-soportadas masivas, con fragmentos tamaño grava hasta bloque.

Depósitos de terraza alta (Qta) de la Formación Sabana: Está constituida por una secuencia de arcillas plásticas de color gris oscuro, en niveles de 0,4 m a 1,0 m de espesor, con intercalaciones de lentes de arena, grava y ceniza volcánica.

Depósitos de llanura de inundación (Qlla): depósitos aluviales recientes principalmente del río Bogotá, constituidos por arcillas, limos y arenas.

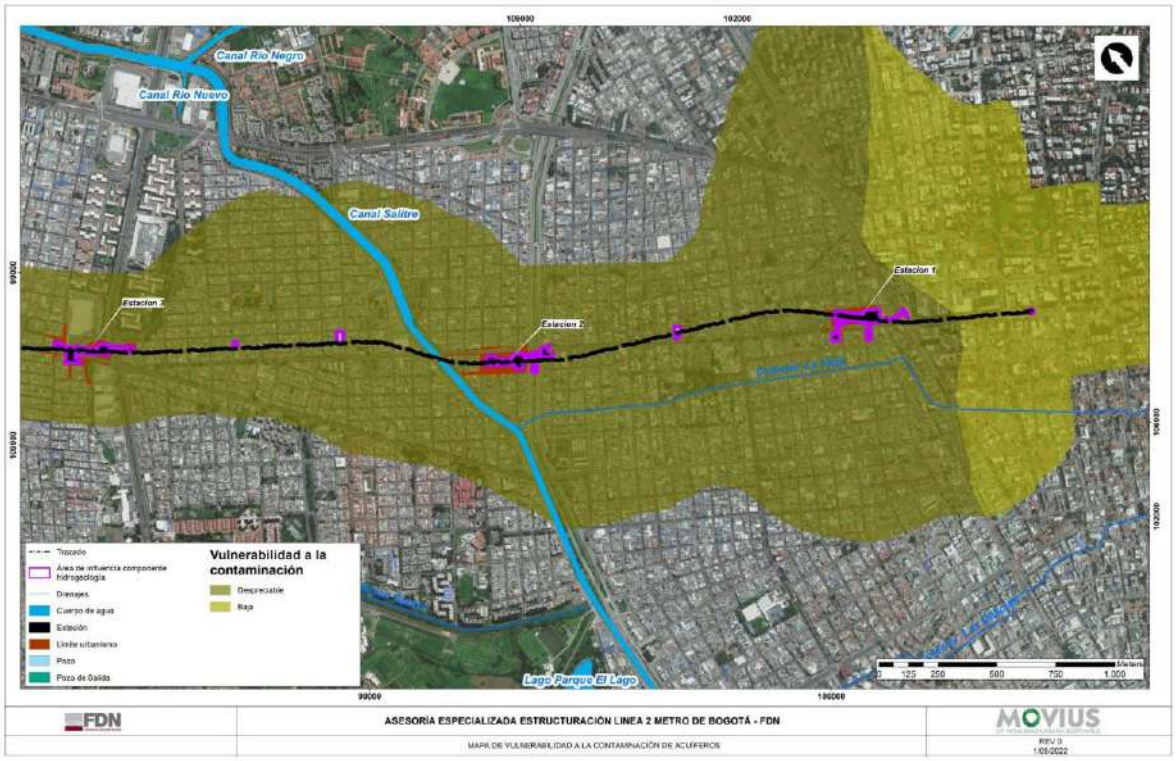


Figura 378. Mapa de zonificación de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, Estación 1 - Estación 3 del proyecto L2MB
Fuente: UT MOVIUS 2022

Los depósitos de Conos (Qcc), forman unidades de conos coluviales, conos de taludes, depósitos de coluviales. Los conos coluviales y lóbulos son de longitudes cortas y largas, tienen formas convexas e inclinaciones, suaves o abruptas; constituyen acumulaciones sobre las laderas por procesos de escorrentía superficial, por flujo lento y viscoso de suelos saturado y no saturado, y la litología es de bloques angulares a subangulares de diferentes tamaños embebidos en un material arcilloso.

Depósitos Fluvio-lacustres o Formación Sabana (Qta), es la unidad litológica donde se emplaza la mayor parte del trazado del proyecto. Está constituida por una secuencia de arcillas plásticas de color gris oscuro, en niveles de 0,4 m a 1,0 m de espesor, con intercalaciones de lentes de arena, grava y ceniza volcánica de color gris blancuzco, éstas últimas siendo más abundantes hacia la parte media del depósito. Hacia las márgenes, se presentan arcillas orgánicas, arcillas arenosas y turba-lignito (Helmes & Van der Hammen, 1995 EN Montoya & Reyes, 2005). Localmente los dos metros superiores presentan un complejo de suelos constituidos por cenizas volcánicas. Los niveles arenosos y de grava son importantes para el almacenamiento de agua. El espesor total de la unidad alcanza los 320 m, según pudo verificarse en el pozo Funza II (Helmes & Van der Hammen, 1995 EN Montoya & Reyes, 2005).

Depósitos de llanura de inundación (Qlla), corresponde a depósitos aluviales recientes de los ríos Bogotá, Juan Amarillo, y Salitre; constituidos por arcillas, limos y arenas, depositados sobre la secuencia de la Formación Sabana; se encuentran inter-digitados con los sedimentos distales de los conos y abanicos. Esta unidad litológica aflora principalmente en el tramo elevado entre la estación 11 y el Patio taller.



Figura 379. Mapa de zonificación de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, Estación 3 - Estación 6 del proyecto L2MB
Fuente: UT MOVIUS 2022

Resistencia o Inaccesibilidad en sentido hidráulico.

La resistencia o inaccesibilidad de la zona no saturada en sentido hidráulico a la penetración de los contaminantes es función de tres factores: (1) el régimen hidráulico del acuífero, grado de confinamiento, (2) la profundidad del nivel de agua en acuíferos libres o techo del acuífero confinado, (3) las características litológicas y el grado de consolidación de la zona no saturada o capas confinantes.

El régimen hidráulico del acuífero se refiere al grado de confinamiento de las aguas que contienen. Se distinguen así tres tipos de acuíferos: libres, confinados y semiconfinados. Así, por ejemplo, un acuífero confinado con un gran espesor confinante será menos vulnerable a la contaminación que un acuífero libre.

La clasificación de las unidades hidrogeológicas identificadas de acuerdo con su régimen hidráulico y para efectos de la evaluación de la vulnerabilidad se relacionan:

Tabla 238. Unidades hidrogeológicas en la zona de influencia de la linea L2 del Metro de Bogotá

Nomenclatura	Unidad hidrogeológica	Capacidad específica de referencia	Unidad geológica asociada
Ant	Unidad sin interés hidrogeológico	-	Depósito Antrópico (Qant)
A-Qdp	Acuíferos de baja productividad asociados a sedimentos grueso - granulares	Capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m	Depósitos de Coluvión (Qdp)
A-Qlla	Acuíferos de baja productividad asociados a sedimentos granulares finos	Capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m	Depósitos de Llanura de Inundación (Qlla)
A-Qcc	Acuíferos de baja productividad asociados a sedimentos grueso - granulares	Capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m	Complejo de Conos (Qcc)
Ac-Qta	Acuitardo en Depósito Cuaternario	Muy baja productividad Capacidad específica promedio menor a 0.05 l/s/m	Depósitos Lacustres o Formación Sabana (Qta)
Ac-Tpb	Acuitardo y niveles de acuíferos semiconfinados a confinados locales.	Muy baja productividad Capacidad específica promedio menor a 0.05 l/s/m	Formación Bogotá (Tpb)
A-Tpc	Acuífero libre y semiconfinado	Capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m	Formación Cacho (Tpc)
Ac-Ktg	Acuitardo y niveles de acuíferos semiconfinados a confinados locales.	Muy baja productividad Capacidad específica promedio menor a 0.05 l/s/m	Formación Guaduas (Ktg)
Ac-Ksglt	Acuífero libre y semiconfinado. Regional.	Mediana productividad Capacidad específica entre 1.0 y 2.0 l/s/m	Grupo Guadalupe: Formación Arenisca Labor y Tierna (Ksglt)
Ac-Ksgp	Acuitardo y niveles de acuíferos semiconfinados a confinados locales.	Muy baja productividad Capacidad específica promedio menor a 0.05 l/s/m	Grupo Guadalupe: Formación Plaeners (Ksgp)
A-Ksgd	Acuífero libre y semiconfinado. Regional.	Mediana productividad Capacidad específica entre 1.0 y 2.0 l/s/m	Grupo Guadalupe: Formación Arenisca Dura (Ksgd)

Fuente: UT MOVIUS 2022

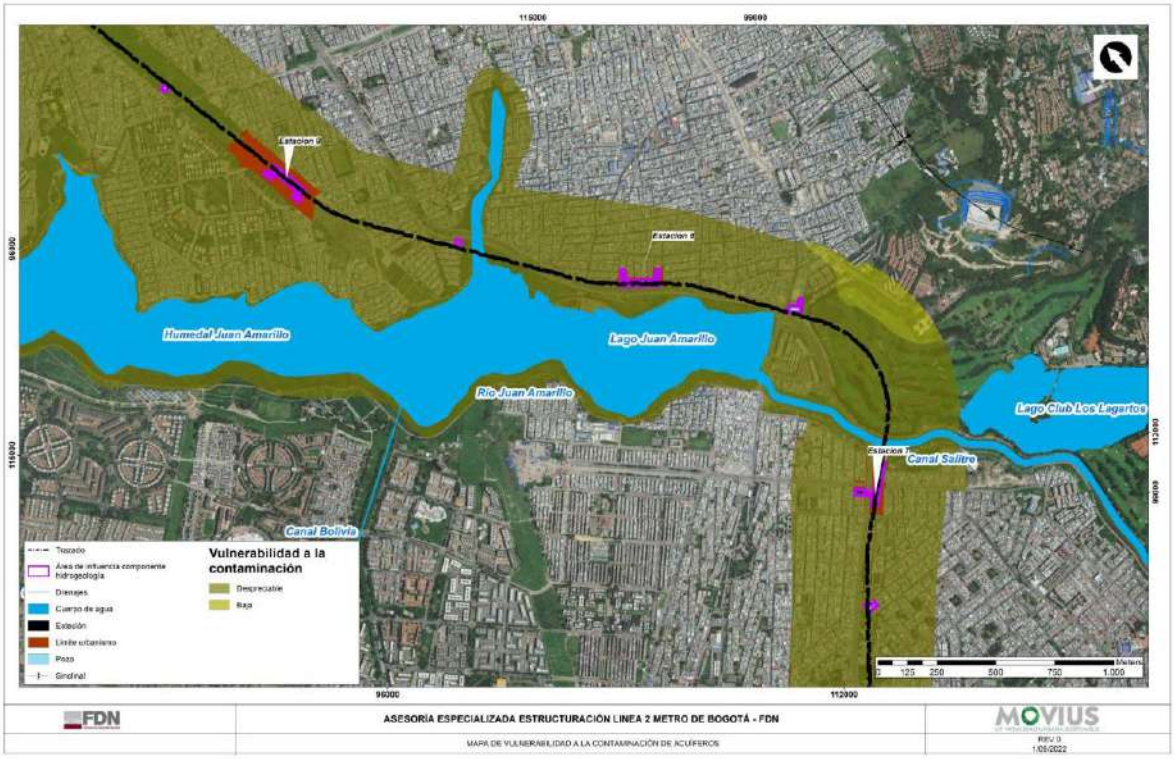


Figura 380. Mapa de zonificación de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, Estación 7 - Estación 9 del proyecto L2MB
Fuente: UT MOVIUS 2022

De acuerdo con lo anterior, se establece que la unidad de Complejo de Conos, constituye un acuíferos de extensión local, discontinuos, libres a confinados. Conformados por limos a arenas con bloques, depósitos de abanicos aluviales y sedimentos lacustrinos, todos de origen local. La unidad de los depósitos fluvio lacustres, corresponde a un Acuitardo, multicapa con carácter libre a semiconfinado, de extensión regional, conformado por arcillas orgánicas, turbas, arcillas arenosas y arenas (arcillosas) intercaladas; esta unidad presenta una función de la resistencia vertical a recarga por infiltración, debido a la frecuente presencia de capas arcillosas y los valores de permeabilidad entre 1x10-6 hasta 1x10-9m/seg., de baja importancia hidrogeológica.

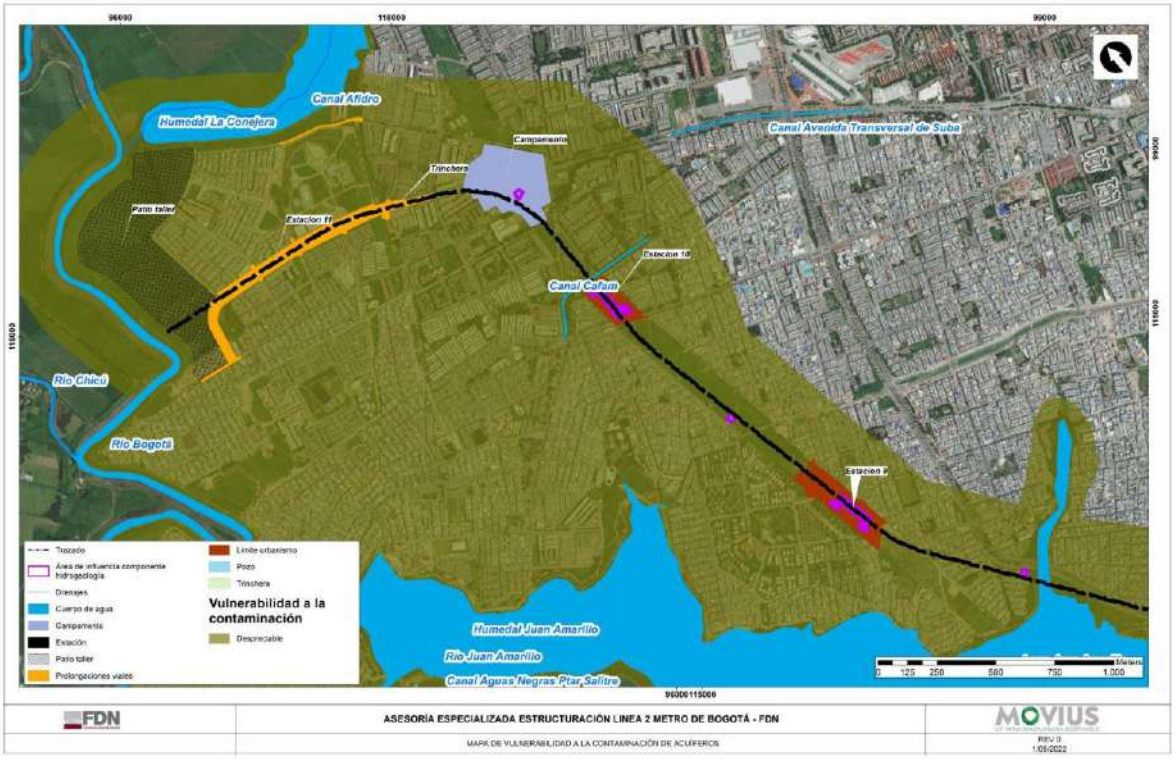


Figura 381. Mapa de zonificación de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, Estación 9 - Patio Taller del proyecto L2MB
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.2.5.13. Modelo hidrogeológico numérico (MHN)

Las modelaciones numéricas se han desarrollado para dos zonas de interés especial: el sector del humedal Juan Amarillo, localizado entre el K8+000 y K12+500, y el sector de inicio del trazado de la línea, localizado en la Av. Calle 72 entre el K0+000 y K2+500.

En toda el área de estudio, salvo en la zona de la Av. Calle 72 entre el K0+000 y el K2+500, el trazado de la línea se desarrolla por la formación Sabana, que se caracteriza por materiales con permeabilidades muy bajas, mientras que en la zona de la Av. Calle 72 entre el K0+000 y el K2+500 la línea discurre por la formación Complejo de Conos, la cual se caracteriza por permeabilidades más altas, que favorecen el flujo del agua subterránea. En lo que respecta las características particulares del sistema constructivo y de la infraestructura a conformar, estas son básicamente las mismas a todo lo largo del trazado.

Dado este contexto, se ha procedido a modelar de manera detallada por una parte la zona del humedal Juan Amarillo entre el K8+000 y el K12+500, en donde la presencia del humedal hace pertinente desarrollar un análisis detallado del comportamiento hidrogeológico, y en la cual los resultados del ejercicio son además representativos del resto del área de estudio salvo de la zona de la Av. Calle 72 entre el K0+000 y el K2+500. Y, por otra parte, se ha modelado la zona de la Av. Calle 72 entre el K0+000 y el K2+500, en la que pueden presentarse flujos de agua subterránea más significativos.

5.2.2.5.13.1. Zona Humedal Juan Amarillo

El modelo hidrogeológico numérico tiene por objetivo evaluar el comportamiento del sistema de aguas subterráneas definido en el modelo hidrogeológico conceptual, bajo la condición de conformación del proyecto de L2MB que incluye estaciones, pozos y la línea subterránea del metro.

La modelación numérica permitirá estimar los potenciales impactos a las unidades hidrogeológicas en términos de abatimientos de la superficie piezométrica y dinámica de intercambio del sistema. La construcción del modelo tuvo en cuenta el modelo geológico de la zona objeto de estudio según lo definido en el modelo conceptual, la topografía del terreno actualizada, los puntos de monitoreo de agua subterránea, los resultados de interpretación de pruebas de permeabilidad, la información hidrológica, y la topología definida para la conformación del proyecto.

Software

Para la simulación hidrogeológica, se utilizó el programa VISUAL MODFLOW Classic y Flex en su versión 6.1, distribuido por Schlumberger Water Services. Este programa simula el flujo de agua subterránea en medios porosos en tres dimensiones.

Modflow es un modelo de flujo saturado que utiliza una aproximación en diferencias finitas centradas en el bloque con estructura modular, es decir, que cuenta con subrutinas, módulos o paquetes que realizan funciones concretas como los paquetes de acciones externas relacionados con la simulación de ríos (RIV), recargas (RCH), pozos (WEL), drenes (DRN), contornos de potencial constante (GHB) entre otros.

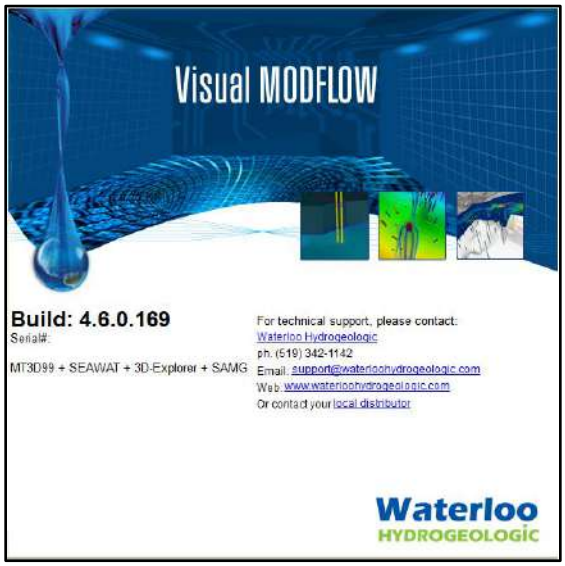


Figura 382. Software utilizado
Fuente: Waterloo Hydrogeologic.

Código numérico

El movimiento del agua subterránea con densidad constante y en medio poroso se puede describir a partir de la siguiente ecuación diferencial parcial.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)-W=S_s\frac{\partial h}{\partial t}$$

Ecuación 52. Ecuación general de flujo

Donde,

Kxx, Kyy y Kzz son las conductividades hidráulicas [L/T]
W son las excitaciones adicionales del sistema, como la recarga o los bombeos [L^3/T]
Ss es el almacenamiento específico [L^{-1}]
h es la carga hidráulica o nivel de agua [L]

La Ecuación 52 describe el flujo de agua subterránea en condiciones de no equilibrio en un medio heterogéneo y anisotrópico.

Para resolver esta ecuación, MODFLOW utiliza el método de diferencias finitas, donde el sistema continuo descrito por la ecuación es reemplazado por un set finito de puntos discretos en el espacio y en el tiempo. Las derivadas parciales son reemplazadas por términos calculados de la diferencia en valores de carga hidráulica en esos puntos.

- **Discretización temporal y espacial**

Un sistema acuífero real es representado por medio de un arreglo de bloques llamados celdas, cuyas ubicaciones se describen en términos de filas, columnas y capas como se puede observar en la Figura 383.

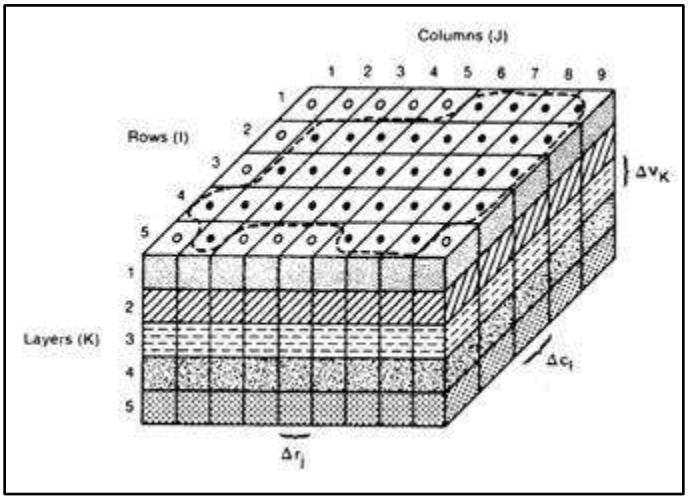


Figura 383. Esquema de discretización espacial de un sistema acuífero
Fuente: (Abia, 2006).

Dentro de cada celda hay un punto llamado nodo, en el cual se calcula la carga (h). MODFLOW define la configuración de celdas respecto a la ubicación de los nodos (bloque centrado).

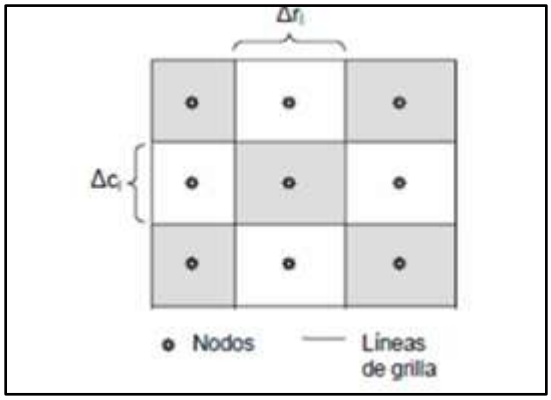


Figura 384. Sistema de celda de bloque centrado
Fuente: (PEREIRA, 2011).

El tiempo es discretizado en períodos de tiempos definidos por el usuario, los que a la vez se subdividen en pasos de tiempo de longitud creciente, definidos según una progresión geométrica en la que el usuario también define el factor multiplicador.

- **Ecuaciones de diferencias finitas**

La ecuación de flujo del agua subterránea en la forma de diferencias finitas se obtiene al aplicar la ecuación de continuidad en una celda. Considerando que la densidad del agua se mantiene constante.

$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta h_t}{\Delta t} \Delta V_c$$

Ecuación 53. Ecuación de flujo considerando densidad constante.

Donde,

Qi = son las tasas de flujo entrando y/o saliendo de la celda [L^2T^{-1}]
S_S = es el almacenamiento específico en la formulación de diferencias finitas [L-1]
ΔVc = es el volumen de la celda [L^3]
Δh_t = es la variación de la carga en un intervalo de tiempo Δt [L]

En el caso del flujo entrando en la celda i, j, k en la dirección de la fila, desde la celda i, j-1, k (Figura 385), éste se expresa según se muestra en las siguientes ecuaciones.

Variables,

hi,j,k = carga hidráulica o nivel de agua en el nodo i, j, k [L]
qi,j-1/2, k = descarga volumétrica entre las caras i, j, k e i, j-1,k [L^3T-1]
KRi,j −1/ 2, k = permeabilidad en la dirección de la fila entre los nodos i, j, k e i, j-1, k [LT-1]

Δci Δvk = área de la cara de la celda normal a la dirección de flujo [L²]
Δ rj-½ = distancia entre los nodos i, j, k e i, j-1, k [L]
CR i, j −1/ 2,k = conductancia en la fila i y estrato k entre los nodos i, j-1, k e i, j, k [L]

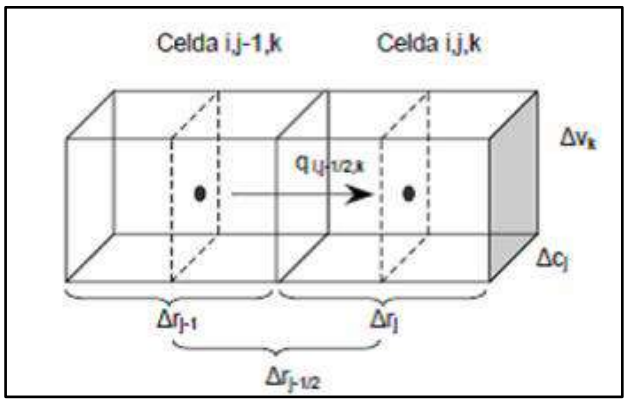


Figura 385. Flujo Entrando a la Celda i, j, k desde la Celda i, j-1, k
Fuente: (PEREIRA, 2011)

En la Figura 386 se muestra un esquema de una celda de diferencias finitas y los índices utilizados para identificar a sus seis celdas vecinas.

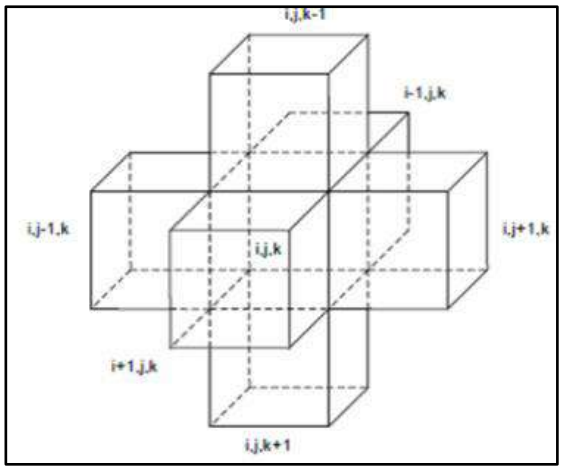


Figura 386. Celda i, j, k e Índices Utilizados para sus seis celdas vecinas
Fuente: (PEREIRA, 2011)

Las explicaciones más detalladas del análisis numérico, solución de ecuaciones diferenciales y en general del funcionamiento matemático del modelo se pueden encontrar en el "Manual de Modelamiento Numérico con MODFLOW" de GIDAHATARI – Gestión de los recursos hídricos.

Dominio del modelo

Tal como se mencionó al inicio del numeral de modelación numérica, el dominio de modelación está segmentado en dos sectores de especial interés, sector del humedal Juan Amarillo (entre el K8+000 y el K12+500) y Calle 72 (entre el K0+00

y el K2+500). Tramos que han sido definidos en el primer caso por la cercanía de la infraestructura propuesta (Línea subterránea del metro, pozos y estaciones) al humedal Juan Amarillo, mientras que el segundo caso corresponde al sector de transicicon entre las unidades del complejo de conos y la formacion Sabana.

El área de modelación a desarrollar comprende entre el K8+000 y el K12+500, en un ancho de franja de 1,2 km (600m a lado y lado del eje del metro), abarcando las estaciones 7, 8 y 9. Esto permite representar los principales procesos de flujo de agua subterránea entre las unidades hidrogeológicas del área de estudio, además de los procesos de recarga y descarga asociados al sistema en condición actual y condición proyectada que incluye la línea del túnel, estaciones y pozos; permitiendo establecer la influencia de estos elementos dentro de la dinámica hidrogeológica en la zona objeto de análisis. Teniendo en cuenta lo anterior se han definido los siguientes límites para el dominio de modelación:

- Límite superior, la frontera superior o techo corresponde a la superficie del terreno en su condición actual. Para esto se ha utilizado la información topográfica de referencia con que se cuenta para la zona del Proyecto.

- Límite inferior, se ha considerado la configuración topológica de los elementos que intervienen en el esquema de modelación, definiendo un nivel base (cota: 2475 msnm) que permite la adecuada representación de las unidades hidrogeológicas que interactúan en el sistema.

- Límites laterales, se han considerado las siguientes condiciones.

    - Norte: K12+500 del eje del metro.

    - Sur: K8+000 del eje del metro.

    - Oriental y Occidental: Buffer de 600 m a lado y lado del eje del metro, en el sector oriental bordea la zona de los cerros de Suba, en el sector occidental incluye el humedal Juan Amarillo.

Partiendo de esta definición se presenta en la Tabla 239 las coordenadas de los límites cardinales considerados para la zona de modelación.

Tabla 239. Coordenadas de los límites cardinales considerados para el área de modelación.

Punto	Coordenada X	Coordenada Y
Límite norte		115 874,8
Límite sur		111 679,6
Límite este	99 341,5	
Límite oeste	95 572,3	

Fuente: UT MOVIUS 2022

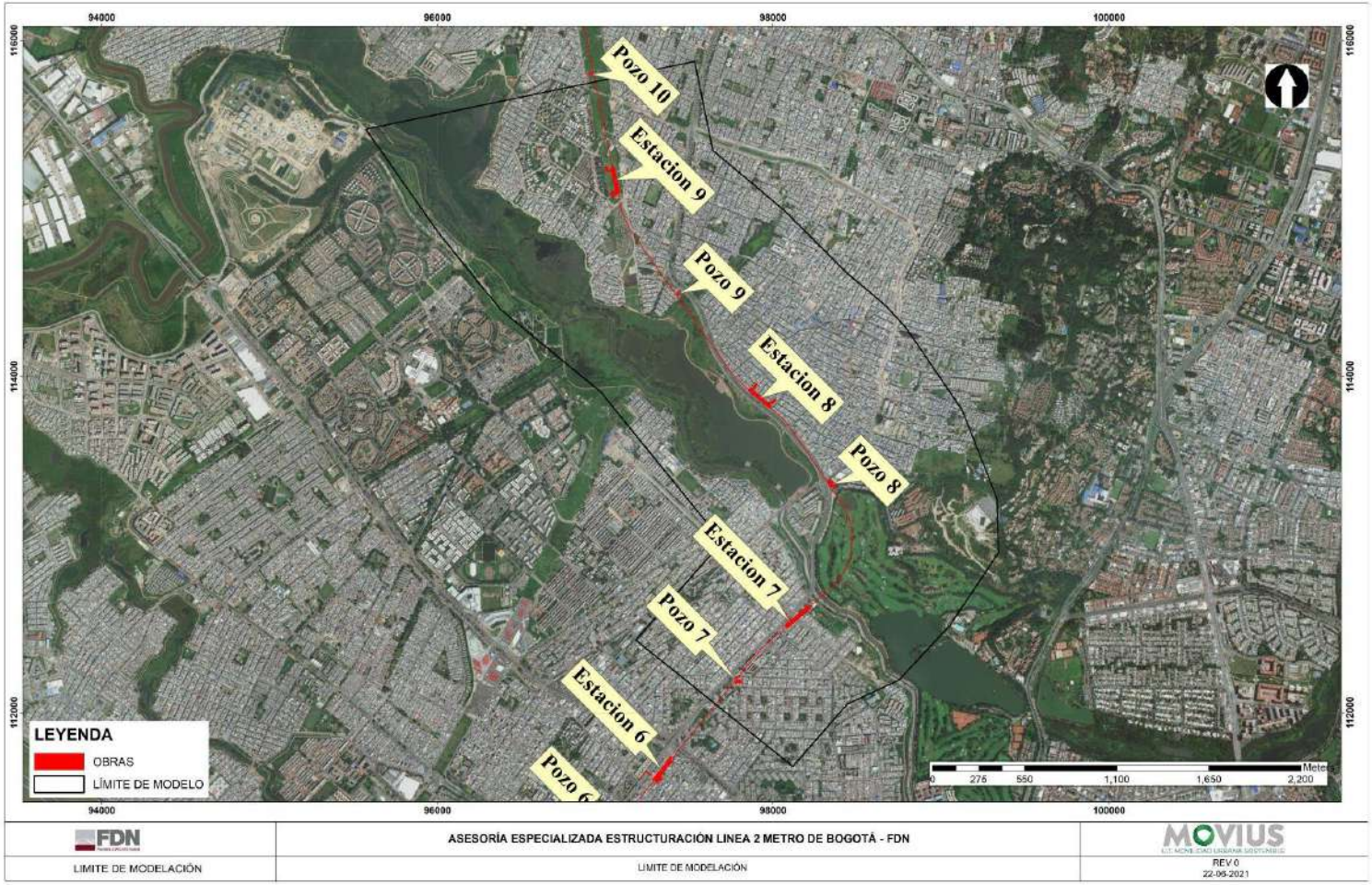


Figura 387. Dominio computacional del modelo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Dentro de la zona de modelación se presentan siete unidades geológicas, cuya topología y contactos fueron definidos a partir de la interpretación de la información de referencia en la zona, la cual incluye las perforaciones geotécnicas, información que se ve consolidada en las 5 secciones geológicas desarrolladas para el estudio, 4 en sentido transversal, y una longitudinal al túnel. En la Figura 388 se presenta el dominio de modelación considerado y las unidades geológicas caracterizadas en la zona de interés, dentro de las cuales se destaca la formación Sabana (Qta), unidad sobre la cual se da el desarrollo de la línea subterránea del metro en la zona asociada al modelo en descripción.

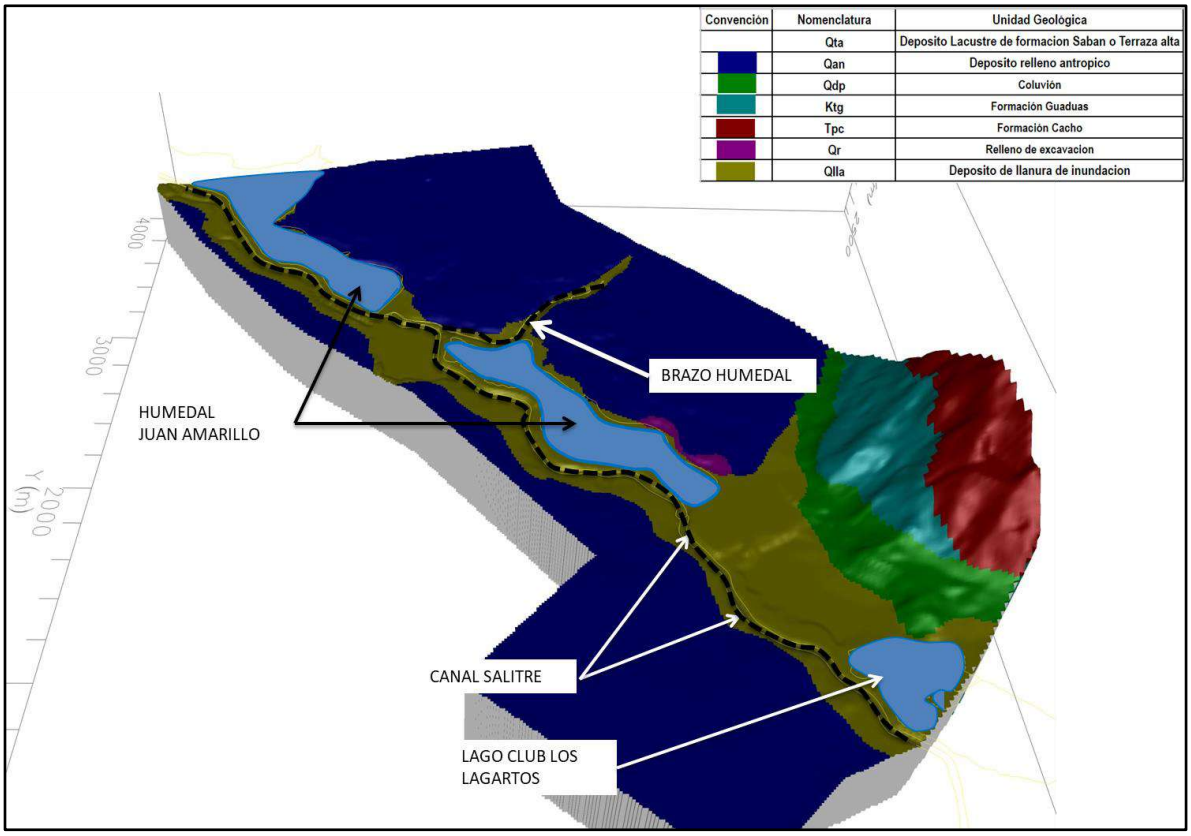


Figura 388. Unidades hidrogeológicas - Zona de modelación.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Geometría y mallado del modelo

La discretización está vinculada de manera directa con la necesidad de representación de los procesos dentro del sistema, que para el caso de la zona de estudio corresponde a la dinámica de intercambio entre los diferentes elementos que componen la zona de modelación (cuerpos hídricos presentes, unidades geológicas y obras asociadas al desarrollo de la línea subterránea del metro).

La definición geométrica del mallado a implementar debe considerar la representación topológica de los elementos asociados al esquema de modelación, los tiempos de cómputo requeridos en los procesos de simulación y la convergencia numérica del arreglo, cuya métrica es el balance de masas. Teniendo en cuenta los aspectos antes señalados se analizó

la discretización vertical (número de capas) y el tamaño de la celda; el ejercicio partió de un esquema base con 4 capas (cantidad mínima de capas requerida para representar el desarrollo de las unidades hidrogeológicas en profundidad) y resolución de celda de 10 X 10 m (tamaño máximo de celda que permite la representación adecuada del túnel), sobre este esquema base se llevó a cabo el análisis de cantidad de capas, manteniendo la geometría de 10X10 m, el cual es idóneo para la representación del túnel teniendo en cuenta su sección transversal. Véase (Tabla 240).

El objetivo del análisis antes señalado es establecer si con el aumento de la resolución vertical se logra una mejora en el balance de masas que no comprometa significativamente el desempeño del modelo en términos de tiempo de simulación. Los resultados de los análisis desarrollados en condición estacionaria indican que con las distintas resoluciones valoradas se logra el cierre del modelo (con errores inferiores al 1%).

Bajo los aspectos antes señalados, y considerando que no se evidencia un incremento sensible en términos de tiempo con el refinamiento y que el modelo de mayor cantidad de capas permite en vertical una mejor representación de la posición del túnel dentro del esquema de modelación, se adopta esta última como mallado del sistema (tamaño de celda de 10 X 10 m y 7 capas), este permite la correcta representación de las unidades hidrogeológicas del sistema y de la línea subterránea (con un espesor de capa asignado al túnel de 10 m que corresponde con su diámetro), con adecuada convergencia del modelo numérico (errores en el balance de masas menores al 1%) y tiempos de cómputo viables en términos de las necesidades particulares de modelación.

El arreglo propuesto para el esquema de modelación ha demostrado ser eficiente en tiempos de cómputo, error en el balance de masa, y capaz de representar las condiciones particulares del sistema en cuanto a caracterización de las unidades hidrogeológicas identificadas en la zona del proyecto. El arreglo seleccionado corresponde a un mallado de 10 X 10 m y 7 capas, en total el modelo dispone de 864 360 celdas que representan el esquema topológico del sistema.

El mallado seleccionado es la configuración base para los ejercicios de modelación, pudiendo requerir ajustes en función de las necesidades particulares de los escenarios de simulación a considerar.

Tabla 240. Selección de la discretización de simulación

Capas	Tamaño de Celdas (m)	Convergencia	Tiempo de Simulación en condición estacionaria (Seg)	Configuración	Error en Balance (%)
4	10x10	SI	108,2	1	< 1%
5	10x10	SI	152,4	2	< 1%
6	10x10	SI	200,7	3	< 1%
7	10x10	SI	332,7	4	< 1%

Fuente: UT MOVIUS 2022

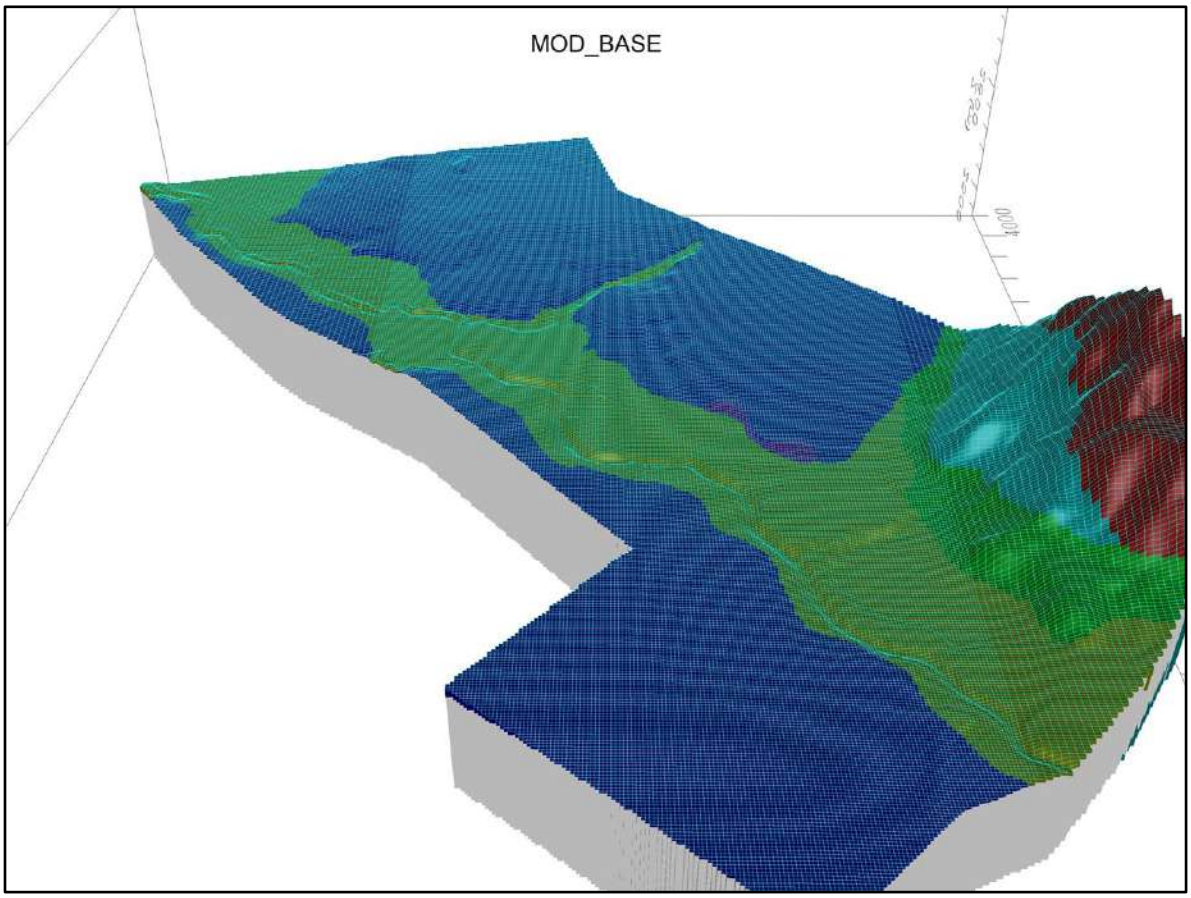


Figura 389. Discretización seleccionada para la modelación - Mallado de 10X10 m.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- **Discretización horizontal**

El mallado seleccionado para la simulación corresponde a un tamaño de celda variable de 10 x 10 m (esquema asimétrico, dando menor resolución (20X10m) en los bordes oriental y occidental del modelo, por fuera de la línea subterránea del túnel, estaciones o pozos), el cual tiene una resolución suficiente para representar los elementos particulares asociados a las necesidades de los análisis, lográndose errores marginales en el balance de masas (1,73 m^3/día que corresponde con una diferencia porcentual entre las entradas y las salidas de 0,23%) y tiempos adecuados de corrida (alrededor de 332,7 seg en condición estacionaria), con lo cual se concluye que el nivel de discretización es eficiente y adecuado para modelar las principales variables definidas en el Modelo Hidrogeológico Conceptual.

- **Discretización vertical**

La discretización vertical corresponde a 7 capas, representativas de cada una de las unidades hidrogeológicas, con espesores variables en el dominio de modelación (Figura 390).

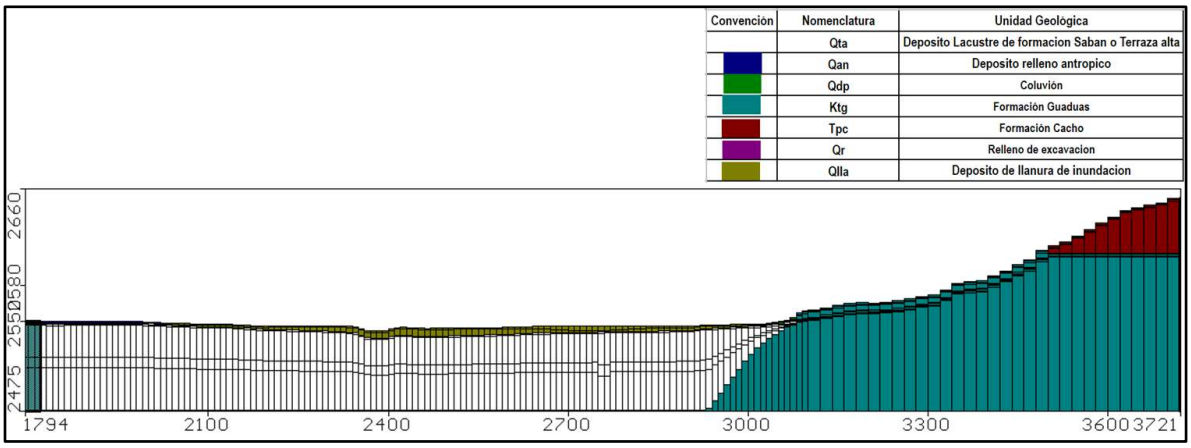


Figura 390. Perfil longitudinal (sentido O-E) - discretización vertical (7 capas) - Fila 250 del modelo numérico.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera corresponden a los elementos topológicos del sistema que definen elementos de control dentro del dominio de modelación, e influyen en los procesos de intercambio, gobernados por la dinámica hidrogeológica identificada en el desarrollo del Modelo Hidrogeológico Conceptual.

Como condiciones de frontera para el estado actual del proyecto se establecen las fuentes de agua superficial; estas corresponden al canal salitre, humedal Juan Amarillo y lago del club Los Lagartos, cuyas características básicas se presentan más adelante.

En el caso de la condición proyectada, se involucra la línea subterránea del túnel, estaciones y pozos que conforman el sistema proyectado.

Teniendo en cuenta las condiciones de borde antes señaladas en la zona de modelación y la flexibilidad que ofrece el paquete de modelación numérica (ModFlow) en cuanto a representación de estos elementos (lo que definen la fidelidad con la que la dinámica del sistema es representada en el entorno computacional) se utilizan los siguientes condiciones de frontera dentro del modelo numérico:

- Elemento River (Río): que representa una recarga-descarga, esta condición de borde permite cuantificar la dinámica de intercambio entre las unidades hidrogeológicas y las fuentes de agua superficial. En el caso particular del canal salitre y brazo del humedal Juan Amarillo la conductancia de lecho se definió a partir del valor de conductividad hidráulica que resultó de la calibración del modelo para la unidad hidrogeológica sobre la cual se desarrolla el sistema (depósito de llanura de inundación - Qlla); vale mencionar que dicha calibración partió de los valores de permeabilidad medidos en las pruebas de permeabilidad realizadas a lo largo del trazado del proyecto.

Los niveles en el canal Salitre se definieron a partir de la información disponible en las simulaciones desarrolladas por INGETEC para el Plan Maestro de acueducto y alcantarillado vigente de Bogotá (de donde se tomó el nivel de flujo en el río Bogotá, condición de borde del canal salitre) y el caudal medio de 2,86 m3/s se definió a partir del presente EIA (numeral 5.2.2.1.14 Caracterización hidrológica), obteniéndose un nivel medio de agua en la cota 2542,60 msnm para estos sistemas. En el caso del brazo del humedal este sistema se asoció de manera directa al nivel de agua en el humedal.

- Elemento carga constante (Constant head): que representa una recarga-descarga, esta corresponde al humedal Juan Amarillo y lago del club Los Lagartos. En el caso particular del humedal Juan Amarillo el nivel se definió en la cota 2542,60 msnm siendo este el nivel a partir del cual se da la dinámica con el canal Salitre, informacion obtenida de los análisis desarrollados por INGETEC para el Plan Maestro de acueducto y alcantarillado vigente de Bogotá, en el caso del lago del club Los Lagartos, el nivel se posicionó en la cota 2544,00 msnm conforme lo identificado en la informacion topografica constituida para el proyecto L2MB; es pertinente resaltar que el modelo incluye la zona norte del lago del club los Largartos, sector proximo al trazado de la linea subterranea.

- Elemento Drenaje (Drain): Representa la línea subterránea del metro, pozos y estaciones. La topología de estos elementos se ha definido conforme al desarrollo de la obra para el proyecto.

- Elemento Recarga (Recharge): Representa la recarga por infiltración del sistema. Se desarrolló un análisis de recarga superficial por precipitación al interior de la cuenca de El Salitre, en la zona específica de modelación (ver numeral 5.2.2.5.3 Balance Hídrico Superficial), el cual permitió concluir que para este tipo de recarga se tendría un valor de cero (0 mm).

  Teniendo en cuenta que en la zona de análisis (perteneciente a la cuenca El Salitre) existe a nivel subsuperficial una interacción con el entorno que se da de manera prioritaria en el límite con las unidades vecinas como los cerros de Suba, los cerros Orientales y otras, así como considerando la existencia de aportes de de las redes de alcantarillado, se ha considerado en todo caso una recarga por infiltración en el conjunto del área de la cuenca cuyo valor se ha incluido dentro de la calibración, obteniéndose una tasa de 45 mm/año, que representa el 5% de la precipitación total en la zona. La inclusión de esta recarga ha permitido representar exitosamente (ver indicadores en el numeral de Calibración) el gradiente de flujo al interior del dominio del sistema (definido por la información piezométrica disponible en los pozos de observación).

En la figura Figura 391 se presentan las condiciones de borde para el dominio de modelación.

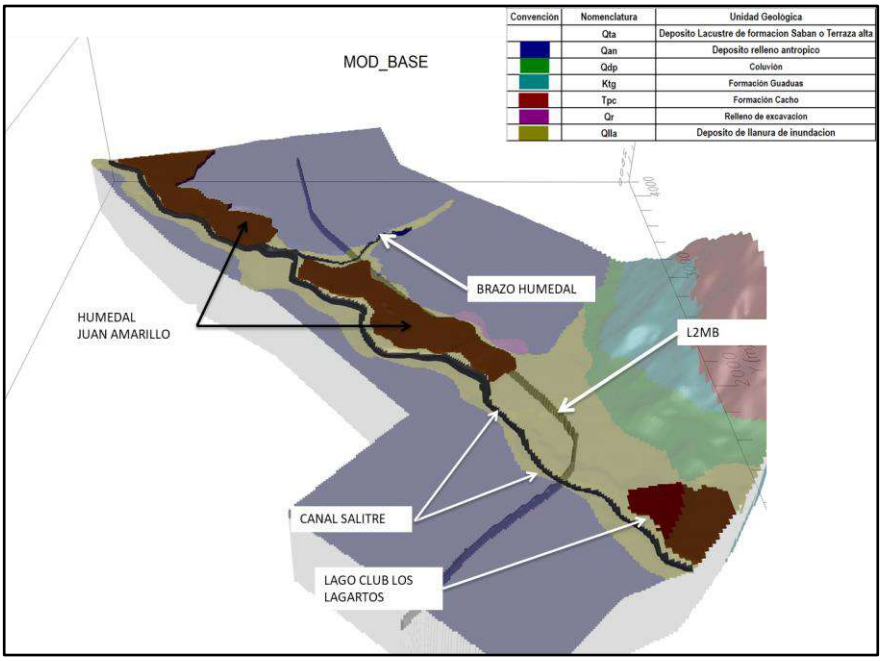


Figura 391. Condiciones de borde del esquema de modelación.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- **Clasificación de las corrientes superficiales en función de su conexión hidráulica con los acuíferos**

Dentro de la zona de interés la corriente principal corresponde al canal Salitre, cuyo nivel de agua se ubica por debajo de la superficie piezométrica caracterizada a partir de la información de campo, constituyéndose de esta manera en un sistema ganador, esto quiere decir que la dinámica de intercambio se orienta de manera preferencial desde las unidades hidrogeológicas hacia el canal.

En el caso del humedal Juan Amarillo se espera una condicion similar al canal salitre, siendo este el punto de drenaje natural de las cuencas vecinas.

En el numeral de Análisis de la dinámica hidrogeológica se presentan los resultados en cuanto a dinámica promedio de intercambio entre las corrientes superficiales y los acuíferos.

Parametrización

A partir de los análisis de ensayos de permeabilidad desarrollados en la zona de interés así como de la información bibliográfica de referencia para las formaciones identificadas en la zona del proyecto, se definieron los rangos de partida de los parámetros hidráulicos para la unidades hidrogeológicas presentes en la zona de estudio (Figura 392 a Figura 393), información utilizada en el proceso de calibración.

En la Tabla 241 se presentan los parámetros básicos caracterizados de cada una de las unidades presentes en la zona de estudio, así como sus correspondientes rangos de variación de las conductividades, entradas que serán utilizadas en la fase de calibración, permitiendo tener una semilla y control en la búsqueda, considerando el espacio paramétrico identificado mediante el análisis de la información de campo e información de referencia constituida para el proyecto, trabajo desarrollado dentro del marco del modelo hidrogeológico conceptual

Tabla 241. Parámetros hidráulicos caracterizados en las diferentes unidades hidrogeológicas.

Nomenclatura	Unidad Geológica	Conductividad hidráulica (m/s) (Límite inferior)	Conductividad hidráulica (m/s) (Límite Superior)
Qta	Depósito Lacustre de formación Saban o Terraza alta	5,00E-11	1,00E-07
Qan	Depósito relleno antrópico	1,16E-14	1,00E-04
Qdp	Coluvión	1,00E-07	1,00E-04
Ktg	Formación Guaduas	1,00E-11	1,27E-06
Tpc	Formación Cacho	1,00E-08	1,00E-06
Qr	Relleno de excavación	1,00E-10	1,00E-07
Qlla	Depósito de llanura de inundación	1,00E-09	1,00E-04

Fuente: UT MOVIUS 2022

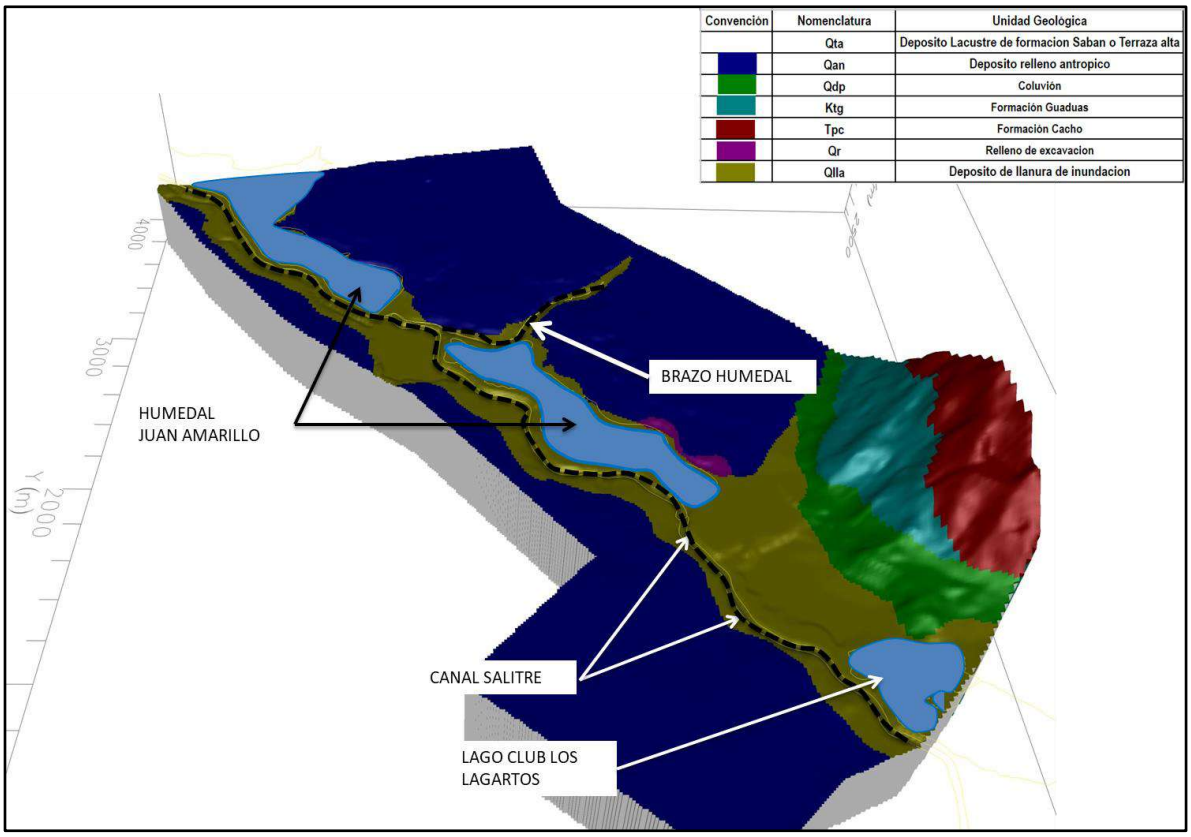


Figura 392. Unidades hidrogeológicas de la zona de interés
Fuente: UT MOVIUS 2022

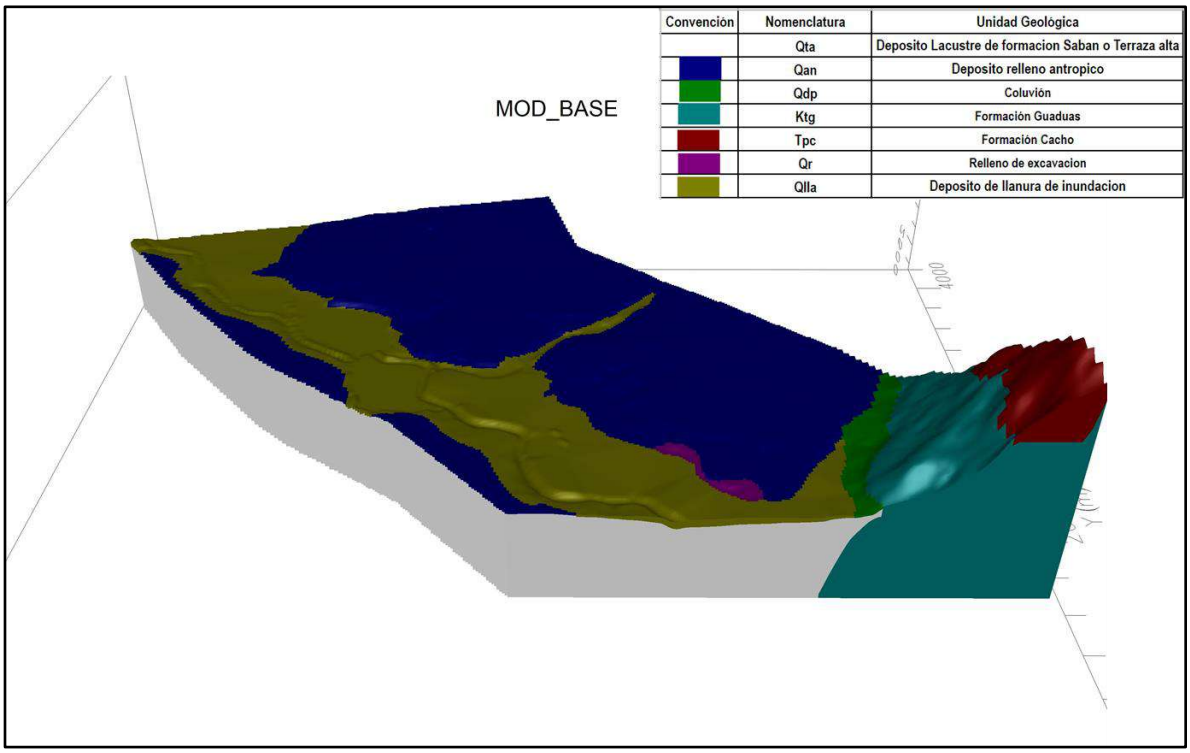


Figura 393. Corte longitudinal (Sentido O-E) - Unidades hidrogeológicas de la zona de interés - Fila 250 del modelo numérico.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Datos observados

En total se cuenta con 17 puntos de observación distribuidos en la zona de interés (Figura 394), cuyos rangos de instrumentación son variables en el periodo comprendido entre octubre de 2021 y junio de 2022. La totalidad de los registros presentan lecturas que permiten caracterizar periodo de lluvia y estiaje; para 17 los puntos de observación disponibles las diferencias promedio en el nivel piezométrico entre épocas hidrológicas no superan 1,0 m.

El análisis de la información piezométrica en la zona objeto de estudio refleja un bajo nivel de fluctuación en la tabla de agua entre épocas hidrológicas (lluvias y estiaje), así mismo permite caracterizar un nivel de agua superficial que en promedio se posiciona 1,80 de la superficie del terreno. Teniendo en cuenta las bajas fluctuaciones del nivel piezométrico entre épocas hidrológicas, las simulaciones se desarrollan en condición estacionaria, representando la condición media del sistema en el entorno de modelación.

En la Tabla 242 y en la Figura 395 se presenta el nivel medio de agua observado y la serie piezométrica disponible para cada uno de los puntos de observación disponibles en la zona del proyecto.



Figura 394. Ubicación de puntos de observación.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 242. Niveles piezométricos promedio en los puntos de observación.

Sondeo	Coordenadas Magna Ciudad Bogotá		Cota terreno (msnm)	Nivel piezométrico promedio - totalidad del registro (msnm)	Nivel piezométrico promedio - lluvias (msnm)	Nivel piezométrico promedio - estiaje (msnm)	DIF |LLUVIA - ESTIAJE|	VENTANA DE INFORMACIÓN
	Norte	Este						
L2MB-EST8-PT-01	1013559.4	998208.2	2548.0	2546.2	2546.3	2545.9	0.4	10-2021/05-2022
L2MB-EST8-PT-02	1013652.8	998129.9	2548.0	2546.9	2546.7	2547.2	0.5	01-2022/05-2022
L2MB-EST9-PT-01	1015224.0	997041.2	2551.1	2545.2	2544.9	2545.5	0.6	12-2021/05-2022
L2MB-TUN-PT-57	1013083.7	998698.6	2551.2	2548.4	2548.5	2548.4	0.1	04-2022/06-2022
L2MB-TUN-PT-58	1012209.7	997773.0	2552.0	2551.0	2550.9	2551.0	0.1	02-2022/06-2022
L2MB-TUN-PT-59	1012305.9	997836.4	2552.0	2551.0	2550.9	2551.2	0.3	02-2022/06-2022
L2MB-TUN-PT-62	1013071.6	998304.6	2546.0	2543.0	2543.2	2542.9	0.3	12-2021/06-2022
L2MB-TUN-PT-64	1013293.7	998336.1	2546.0	2544.7	2544.6	2544.8	0.1	10-2021/05-2022
L2MB-TUN-PT-66	1013471.0	998240.7	2546.2	2545.2	2545.2	2545.2	0.0	03-2022/06-2022
L2MB-TUN-PT-68	1013795.3	997978.0	2547.9	2547.7	2547.7	2547.8	0.1	11-2021/05-2022
L2MB-TUN-PT-70	1014016.8	997770.0	2546.0	2544.3	2544.4	2544.2	0.2	11-2021/05-2022
L2MB-TUN-PT-72	1014176.6	997661.2	2546.0	2546.0	2546.0	2546.0	0.0	10-2021/05-2022
L2MB-TUN-PT-74	1014378.4	997590.6	2548.0	2546.0	2546.0	2546.0	0.0	10-2021/05-2022
L2MB-TUN-PT-76	1014613.8	997316.4	2550.0	2549.0	2548.9	2549.3	0.3	02-2022/06-2022
L2MB-TUN-PT-78	1014854.8	997140.6	2550.5	2549.5	2549.4	2549.5	0.1	02-2022/06-2022
L2MB-TUN-PT-79	1015070.9	997058.0	2552.0	2550.3	2550.5	2549.9	0.6	02-2022/06-2022
L2MB-TUN-PT-81	1015567.6	996974.7	2554.0	2550.5	2550.1	2551.0	1.0	02-2022/06-2022

Fuente: UT MOVIUS 2022

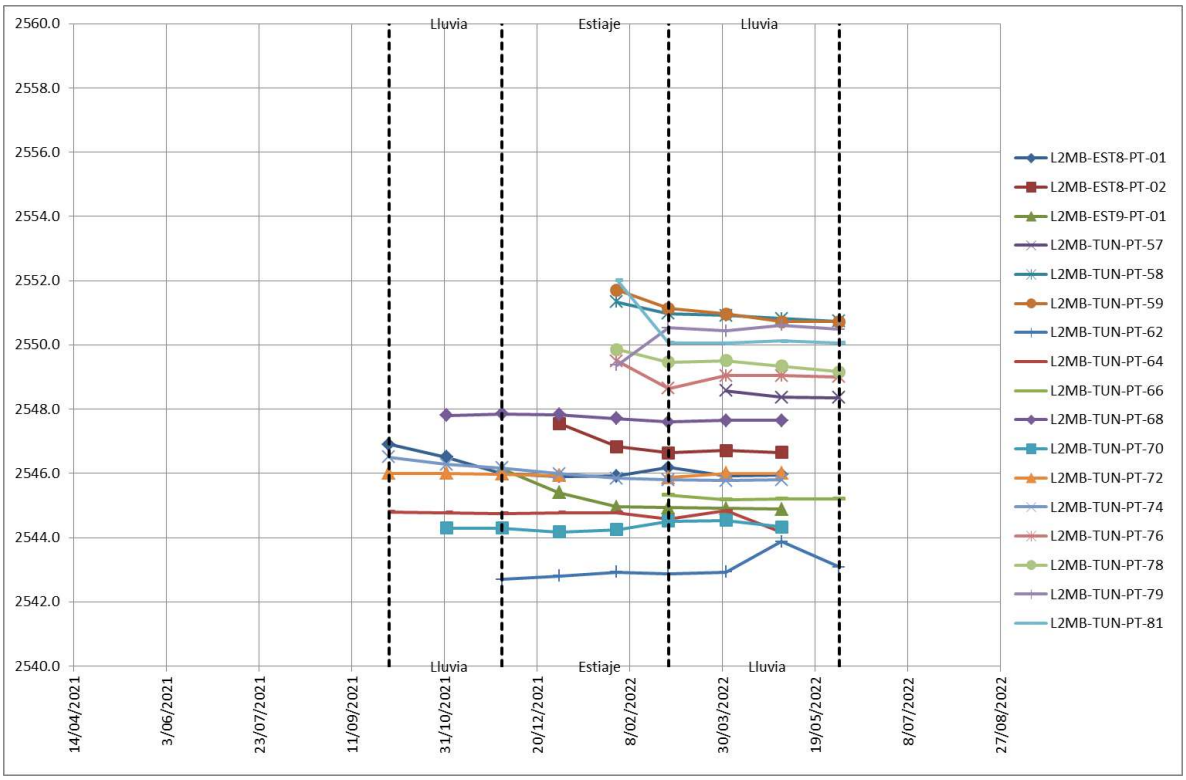


Figura 395. Serie piezométrica en los puntos de observación.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Calibración

La fase de calibración se ha desarrollado buscando mantener el control sobre el entorno paramétrico en el dominio de modelación (conforme a la información de referencia para las unidades producto de la parametrización), evitando llegar a soluciones que puedan funcionar desde el punto de vista de indicadores de ajuste, pero que no resultan representativas de las condiciones de flujo en el sistema.

En la zona de interés se han identificado siete unidades geológicas (de las cuales la formación Sabana - Qta, resulta de interés particular siendo este el sistema sobre el cual se desarrolla la línea subterránea del metro además de las estaciones y pozos), cada una de estas unidades es sujeta a calibración en términos de la conductividad hidráulica (dada la condición de modelación estacionaria definida para el sistema producto de la baja fluctuación en los niveles piezométricos).

La calibración, que corresponde a un entorno estacionario, permite simular la dinámica del sistema en condición promedio; el proceso se ejecutó de forma automática utilizando la rutina de estimación paramétrica presente en el ModFlow (PEST), considerando además de la estimación de conductividades, la calibración de una recarga (que tal como se mencionó en el numeral de Condiciones de frontera, representa de manera simplificada la interacción entre el dominio de modelación y el entorno del sistema, además de los potenciales intercambios en el sistema entre las redes de alcantarillado y unidades hidrogeológicas).

Los niveles de agua promedio en las fuentes de agua superficial (humedal Juan Amarillo, lago club Los Lagartos, canal Salitre y brazo del humedal) se definiron a partir de la informacion de referencia disponible para el proyecto y las valoraciones desarrollado por INGETEC para el Plan Maestro de acueducto y alcantarillado vigente de Bogotá, tal como se precisó en numerales previos.

El ejercicio de calibración se centró en la representación de los niveles observados, definidos a partir del análisis de la información piezométrica para la condición promedio (Véase Tabla 242), en conjunto con las condiciones de borde del sistema. En la Tabla 244 y Figura 396 se presenta la correlación entre los niveles calibrados y los niveles observados, para los 17 puntos de observación en la zona de estudio.

En la Tabla 243 se presentan las conductividades hidráulicas producto de la calibración; los resultados de los indicadores valorados (MAE de 1,16 m, RMSE de 1,54 m) en conjunto con la adecuada representación de los niveles observados son indicativos de un proceso de calibración exitoso.

En la Figura 397 se muestra la superficie freática obtenida al finalizar el proceso de calibración, el gradiente generalizado de flujo dentro de la zona de interés sigue la conformación topográfica del sistema, orientando el movimiento del agua subterránea desde las zonas altas hasta las zonas bajas.

Tabla 243. Conductividades hidráulicas calibradas (m/s).

Nomenclatura	Unidad Geológica	Conductividad hidráulica (m/s) (Límite inferior)	Conductividad hidráulica (m/s) (Límite Superior)	Conductividad hidráulica calibrada (m/s)
Qta	Depósito Lacustre de formación Saban o Terraza alta	5,00E-11	1,00E-07	1.00E-07
Qan	Depósito relleno antrópico	1,16E-14	1,00E-04	7.07E-04
Qdp	Coluvión	1,00E-07	1,00E-04	9.25E-04
Ktg	Formación Guaduas	1,00E-11	1,27E-06	3.25E-07
Tpc	Formación Cacho	1,00E-08	1,00E-06	9.06E-08
Qr	Relleno de excavación	1,00E-10	1,00E-07	3.22E-06
Qlla	Depósito de llanura de inundación	1,00E-09	1,00E-04	5.74E-06

Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 244. Resultado de la calibración niveles observados vs. calculados - Condición estacionaria.

Sondeo	Coordenadas Magna Ciudad Bogotá		Cota terreno (msnm)	Nivel piezométrico promedio - observado (msnm)	Nivel piezométrico promedio - calculado (msnm)	DIF |OBS-CAL| (m
	Norte	Este				
B-EST8-PT-01	1013559.4	998208.2	2548.0	2546.2	2546.5	0.3
B-EST8-PT-02	1013652.8	998129.9	2548.0	2546.9	2546.5	0.4
B-EST9-PT-01	1015224.0	997041.2	2551.1	2545.2	2549.1	3.9
MB-TUN-PT-57	1013083.7	998698.6	2551.2	2548.4	2549.9	1.5
MB-TUN-PT-58	1012209.7	997773.0	2552.0	2551.0	2550.5	0.5
MB-TUN-PT-59	1012305.9	997836.4	2552.0	2551.0	2550.5	0.5
MB-TUN-PT-62	1013071.6	998304.6	2546.0	2543.0	2546.0	3.0
MB-TUN-PT-64	1013293.7	998336.1	2546.0	2544.7	2546.7	2.0
MB-TUN-PT-66	1013471.0	998240.7	2546.2	2545.2	2545.2	0.0
MB-TUN-PT-68	1013795.3	997978.0	2547.9	2547.7	2546.1	1.6
MB-TUN-PT-70	1014016.8	997770.0	2546.0	2544.3	2545.7	1.4
MB-TUN-PT-72	1014176.6	997661.2	2546.0	2546.0	2545.7	0.3
MB-TUN-PT-74	1014378.4	997590.6	2548.0	2546.0	2545.7	0.3
MB-TUN-PT-76	1014613.8	997316.4	2550.0	2549.0	2548.4	0.6
MB-TUN-PT-78	1014854.8	997140.6	2550.5	2549.5	2548.9	0.5

Sondeo	Coordenadas Magna Ciudad Bogotá		Cota terreno (msnm)	Nivel piezométrico promedio - observado (msnm)	Nivel piezométrico promedio - calculado (msnm)	DIF |OBS-CAL| (m
	Norte	Este				
MB-TUN-PT-79	1015070.9	997058.0	2552.0	2550.3	2549.2	1.1
MB-TUN-PT-81	1015567.6	996974.7	2554.0	2550.5	2548.9	1.6

Fuente: UT MOVIUS 2022

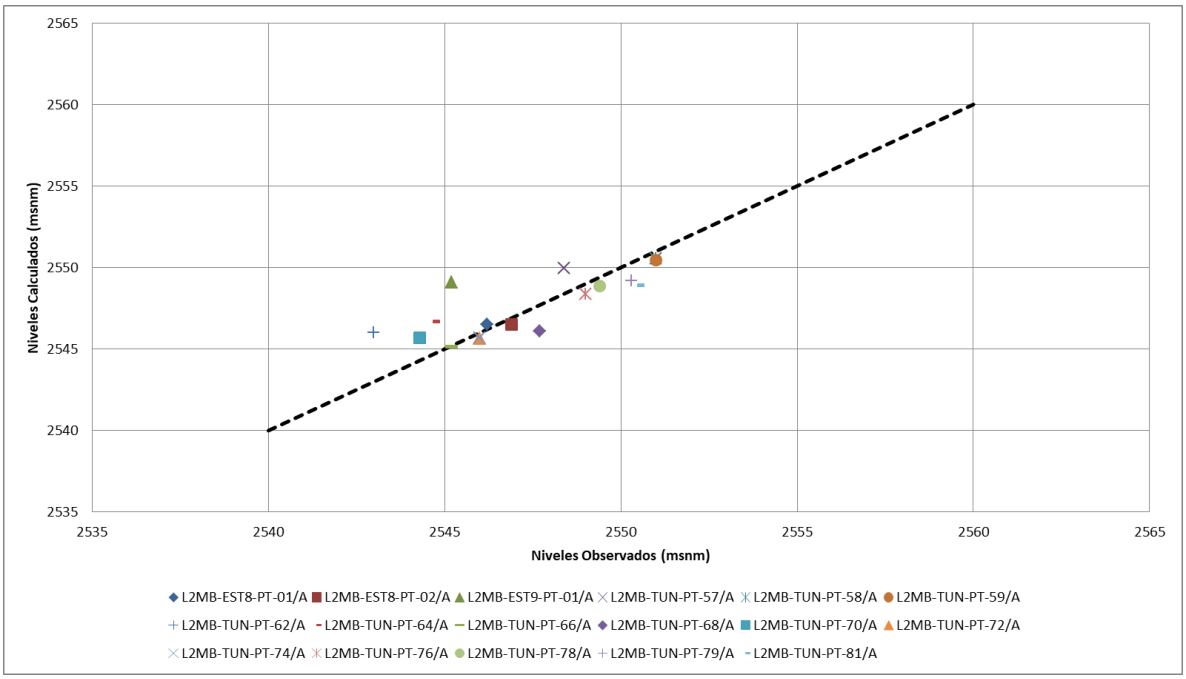


Figura 396. Resultado de la calibración niveles observados vs. calculados - Condición estacionaria.
Fuente: UT MOVIUS 2022

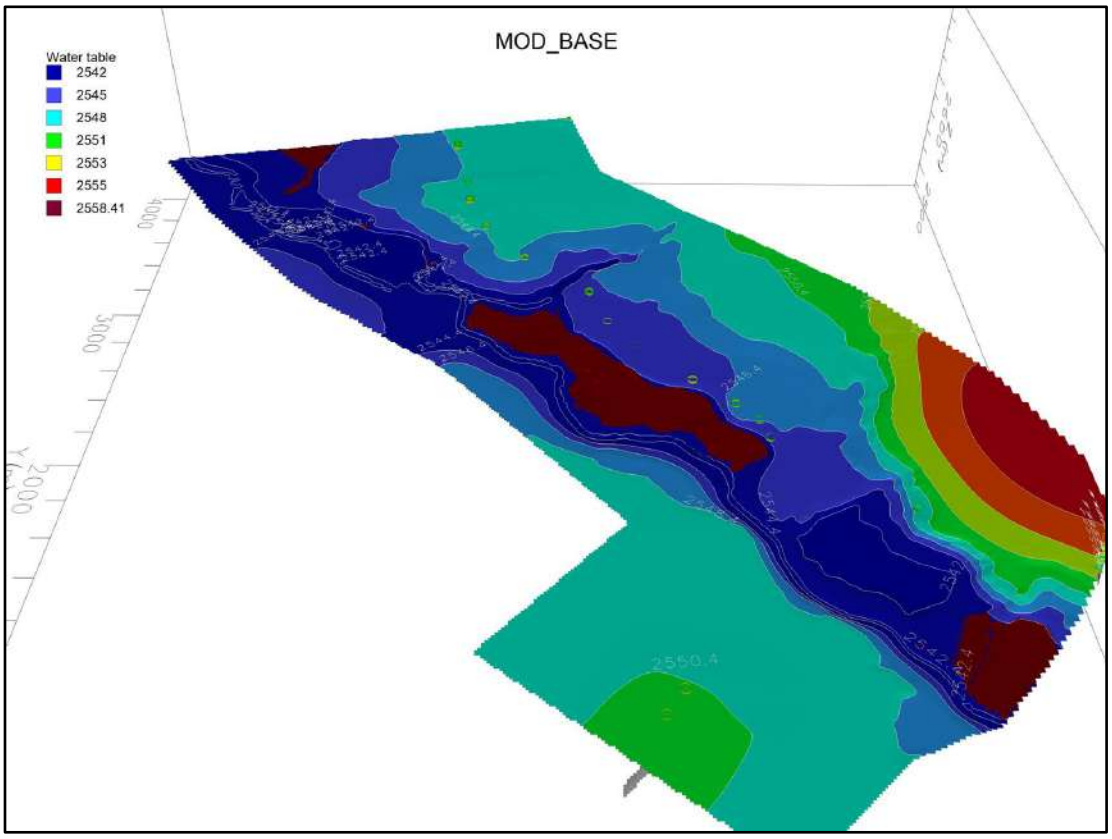


Figura 397. Superficie freática lograda tras la calibración en condición estacionaria.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Análisis de sensibilidad paramétrica

Partiendo de la caracterización de los parámetros de flujo lograda en la etapa de calibración, se ha implementado de manera sistémica un conjunto de simulaciones orientadas a establecer el cambio en la respuesta del sistema ante variaciones en la conductividad, tomando el MAE como elemento de métrica.

Como escenario de referencia para el análisis de sensibilidad en cuanto a conductividad hidráulica se tomaron los parámetros asociados a la simulación de calibración, y a partir de esta se varía la conductividad hidráulica para cada unidad hidrogeológica (un orden de magnitud por debajo y por encima), valorando con el MAE la sensibilidad del modelo ante su cambio. En la Figura 398 se presenta de manera gráfica los resultados del análisis de sensibilidad, en donde se correlaciona el MAE producto del cambio en la conductividad hidráulica para cada unidad geológica, siendo este un indicador de la movilidad de los niveles de agua en los puntos de observación. En el caso de las conductividades la formación Llanura de inundación (Qlla) y formación Sabana (Qta) resultan ser las unidades más sensibles al presentar la mayor movilidad en los niveles de agua simulados para los puntos de observación disponibles dentro de la zona de estudio.

Como unidades menos sensibles del área de modelación se encuentran la formación Cacho (Tpc) y la formación Guaduas (Ktg).

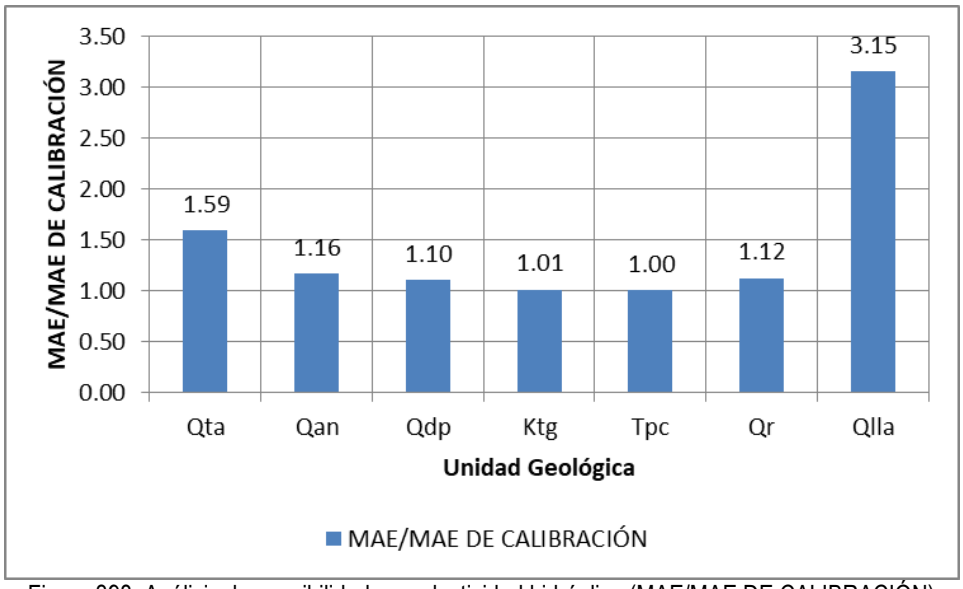


Figura 398. Análisis de sensibilidad - conductividad hidráulica (MAE/MAE DE CALIBRACIÓN)
Fuente: UT MOVIUS 2022

Sobre la variación a la precipitación como un análisis de sensibilidad es pertinente aclarar que:

- El balance hídrico realizado en el Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) indica que las unidades hidrogeológicas en las cuales se construirán las obras del Metro no presentan recarga por precipitación, lo cual está asociado a que las superficies del área de estudio son duras e impermeables (no permite infiltración) y, adicionalmente, a que en la mayor parte del recorrido de la línea del metro, a que los materiales de las unidades existentes tienen una permeabilidad muy baja. Esta situación es independiente del nivel de precipitación que pueda tenerse en el sistema.
- Los resultados del modelo (ver numeral de simulación y escenarios) indican que no existirán flujos de infiltración hacia las obras del sistema, por lo cual no existirá ninguna afectación al componente hidrogeológico, manteniéndose las condiciones actuales del sistema en términos de nivel freático y dinámica de intercambio. Esto está asociado en primera instancia a que en la mayor parte del recorrido las obras están localizadas en la formación Sabana, la cual presenta una conductividad hidráulica muy baja (caracterizada a partir de una abundante campaña de exploración geotécnica) que no permite flujo de agua subterránea significativos y, en segunda instancia a que las obras (túnel, estaciones, pozos) fueron diseñadas de manera que cualquier flujo de infiltración hacia el interior de las mismas sea inviable.
- Teniendo en cuenta que los dos aspectos recién mencionados son independientes del nivel de precipitación que pueda tenerse sobre el sistema, la simulación de incrementos de la misma en el modelo no tendría ningún efecto en sus resultados correspondientes, por lo cual no se considera pertinente en el sistema específico en cuestión.

Simulaciones y escenarios

Los ejercicios de modelación se han orientado hacia un enfoque que involucra simulaciones en condición estacionaria representando las siguientes condiciones:

- Condición actual
- Condición de operación.

Tabla 245. Escenarios de simulación propuestos.

Esc. de Simul.	Condición hidrológica	Niveles en el canal salitre, humedal Juan Amarillo, brazo del humedal y lago del club los Lagartos	Configuración del proyecto
1	Recarga de 45 mm/año	Niveles medios para los sistemas, definidos conforme la información de referencia disponible en los simulaciones desarrolladas por INGETEC para el plan maestro de acueducto y alcantarillado vigente de Bogotá y el caudal medio de 2,86 m^3/s para el canal Salitre se definió en el desarrollo del EIA (numeral 5.2.2.1.14 Caracterización hidrológica).	Condición actual (línea base)
2			Condición con proyecto - operación Línea subterránea estaciones y pozos

Fuente: UT MOVIUS 2022

El escenario en condición actual permite establecer el punto de referencia para la valoración de cambios en la dinámica del sistema. El escenario en condición proyectada (línea subterránea del metro, pozos y túneles) está orientado a la valoración de la influencia de las obras en términos de abatimientos en los niveles freáticos, y variación en la dinámica del sistema.

Los archivos de modelación (MODFLOW) asociados a los escenarios antes considerados se presentan en el Anexo 5.2 - 9.1.

Análisis de la dinámica hidrogeológica

A continuación se presentan los flujos de intercambio asociados al dominio de modelación, estos consideran los escenarios de valoración 1 y 2 presentados en el numeral anterior (condición actual y condición de operación), identificando los procesos de intercambio de aguas subterráneas del sistema entre las unidades hidrogeológicas y los sistemas hídricos presentes e infraestructura del proyecto.

En el área de estudio la unidades que tienen presencia son la formación Sabana (Qta) unidad sobre la cual se desarrolla la infraestructura del proyecto (línea subterráneas, estaciones y pozos), la formación depósito de llanura de inundación (Qlla) sobre la cual se posiciona el humedal Juan Amarillo y las formaciones Guaduas, Cacho y Coluvion con prencia en los cerros de suba, tambien se identifica un deposito de exacavacion (Qr). De manera directa las unidades que presentan conexión hidráulica con los sistemas de agua superficial son la formación Sabana y el depósito de llanura de inundación, sistemas sobre los cuales de desarrolla el canal Salitre y el humedal Juan Amarillo (que hace parte del Complejo Ramsar de Humedales Urbanos de Bogotá), presentado una conexion hidráulica con esto sistemas.

Dinámica de intercambio

En la Tabla 246 se muestran los caudales de intercambio para la condición actual y condición de operación.

Los resultados de los intercambios posicionan a las fuentes de agua superficial como puntos de salida con un gradiente de flujo que sigue la conformación topográfica del sistema, cuyo drenaje natural está orientado hacia el humedal Juan Amarillo y hacia el Canal Salitre. Los resultados de los intercambios indican una entrada total a las unidades hidrogeológicas de 8,58 l/s, distribuidos en 8,45 l/s proveniente de la recarga por infiltración y 0,14 l/s provenientes del lago del Club los Lagartos.

Por su parte las unidades hidrogeológicas aportan a los diferentes sistemas los siguientes caudales: 3,82 l/s al humedal Juan Amarillo, 3,08 l/s al canal Salitre, 1,02 l/s al brazo del humedal y 0,62 l/s al lago del Club los Lagartos, esto para la condicion actual. En el caso particular del lago del Club los Lagartos, la dinámica del elemento con las unidades geológicas se da en ambos sentidos tal como se presenta en la Tabla 246, en donde el Lago recibe de las unidades geológicas aportes a un tasa de 0,62 l/s y este a su vez alimenta los sistemas geológicos a una tasa de 0,14 l/s.

En el caso de la condición de operación, la dinámica de intercambio del sistema no presenta modificación alguna en las tasas de caudal, con una caudal de infiltración a la línea subterránea de 0,0 l/s adoptando una conductividad hidráulica para el concreto de $1X10^{-12}$ m/s en los diferentes elementos que componen el sistema.

Tabla 246. Intercambios para condición actual y de operación.

	Aporte hacia las unidades hidrogeológicas (entradas) l/s						Aporte desde las unidades hidrogeológicas (salidas) l/s					
Escenario	Humedal Juan amarillo	Recarga	Canal salitre	Brazo del humedal	Lago club los lagartos	Total	Humedal Juan amarillo	Canal salitre	Brazo del humedal	Lago club los lagartos	Túnel*	Total
1.Actual	0,00	8,45	0,00	0,00	0,14	8,58	3,82	3,08	1,08	0,62	0,00	8,60
2.Operación	0,00	8,45	0,00	0,00	0,14	8,58	3,82	3,08	1,08	0,62	0,00	8,60
DELTA (1-2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Representa el caudal promedio de infiltración al Túnel tramos de 10 m
Fuente: UT MOVIUS 2022

Análisis de niveles de flujo

Con el objetivo de establecer el nivel de influencia de las obras en cuanto a variación del nivel freático, se ha estimado en referencia a la condición actual el abatimiento que se tendría con la implementación del proyecto incluyendo pozos y estaciones.

En concordancia con los resultados de las dinámicas de intercambio del sistema los análisis de los niveles flujo producto de la conformación del proyecto (escenario de operación) no muestran afectación alguna sobre la superficie freática, manteniéndose la condición actual del sistema, situación que resulta acorde con el proceso constructivo y sistema de impermeabilización propuesto para las obras.

En la Figura 399 y Figura 400 se presenta (a manera de ejemplo) una sección transversal por el eje del túnel para la condición actual y en operación (con proyecto) - en la zona de los cerros de Suba (ver localización en la Figura 401), en conjunto con las direcciones de flujo del sistema. Los resultados de la modelación no muestran ningún tipo de afectación sobre la superficie freática ni distorsión en las direcciones de flujo, con un gradiente que sigue la conformación topográfica del sistema, posicionando a las fuentes de aguas superficiales como puntos de drenaje.

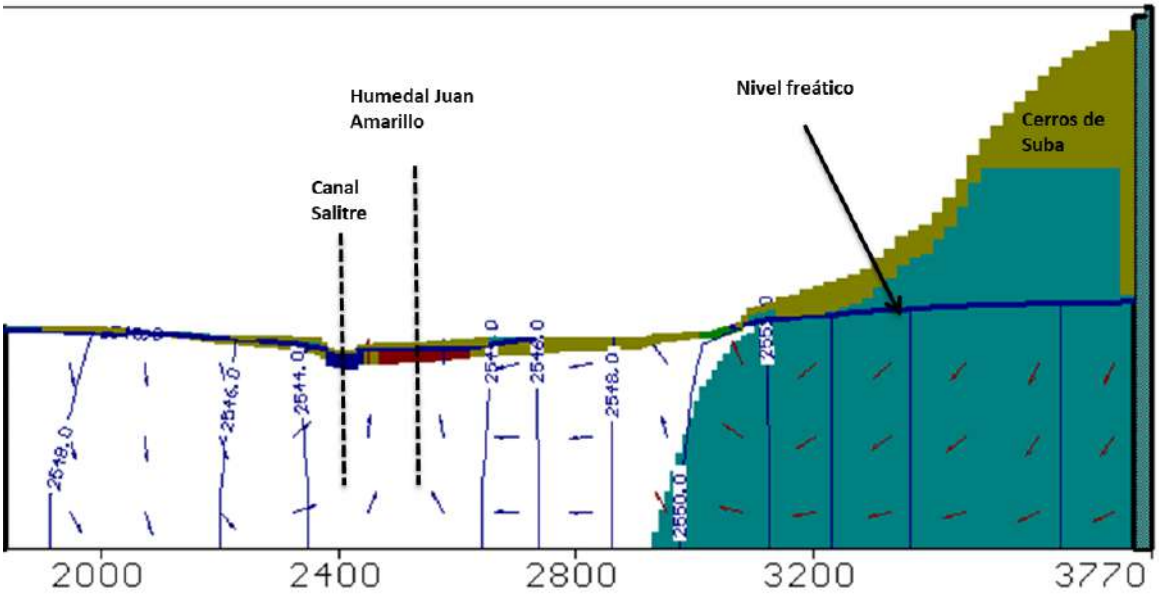


Figura 399. Sección transversal - Sector Cerros de Suba - escenario actual, Fila 252 del modelo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

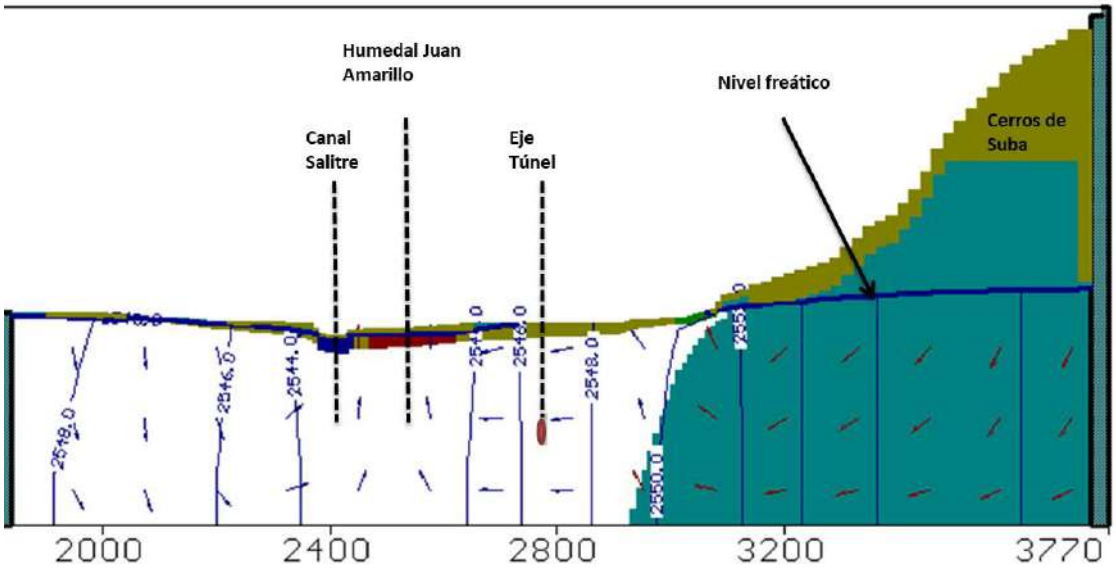


Figura 400. Sección transversal - Sector Cerros de Suba - escenario de operación (con proyecto), fila 252 del modelo.
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 401. Ubicación en planta sección transversal - Sector Cerros de Suba , fila 252 del modelo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Direcciones de flujo

En la Figura 172 se presentan las direcciones de flujo asociadas a la zona de interés (codicion actual), con un gradiente que sigue de manera generalizada la conformación topográfica del sistema, posicionan al humedal Juan Amarillo (que hace parte del Complejo Ramsar de Humedales Urbanos de Bogotá) como punto de drenaje de las unidades geológicas presente en el área de estudio. De manera directa el humedal Juan Amarillo intercatuca con unidad del depósito de llanura de inundación - Qlla, sistema sobre el cual se posiciona el humedal, y en menor media con la formacion Sabana (Qta) unidad que subyace al depósito de llanura de inundación.

El gradiente de flujo identificado producto de la modelación representa de manera directa la tendencia en el gradiente de flujo caracterizada a partir de la información piezométrica, esto si se tiene en cuenta que el modelo fué calibrado a partir de esta información y que los indicadores de bondad de ajuste muestran una adecuada correlación entre los nivel observados y calculados.

Cuando entra en operación el proyecto no se identifica distorsión en las direcciones de flujo, manteniéndose la misma configuración que en el escenario en condición actual, situación que resulta acorde con el resultado de las dinámicas de intercambio y análisis de niveles freáticos.

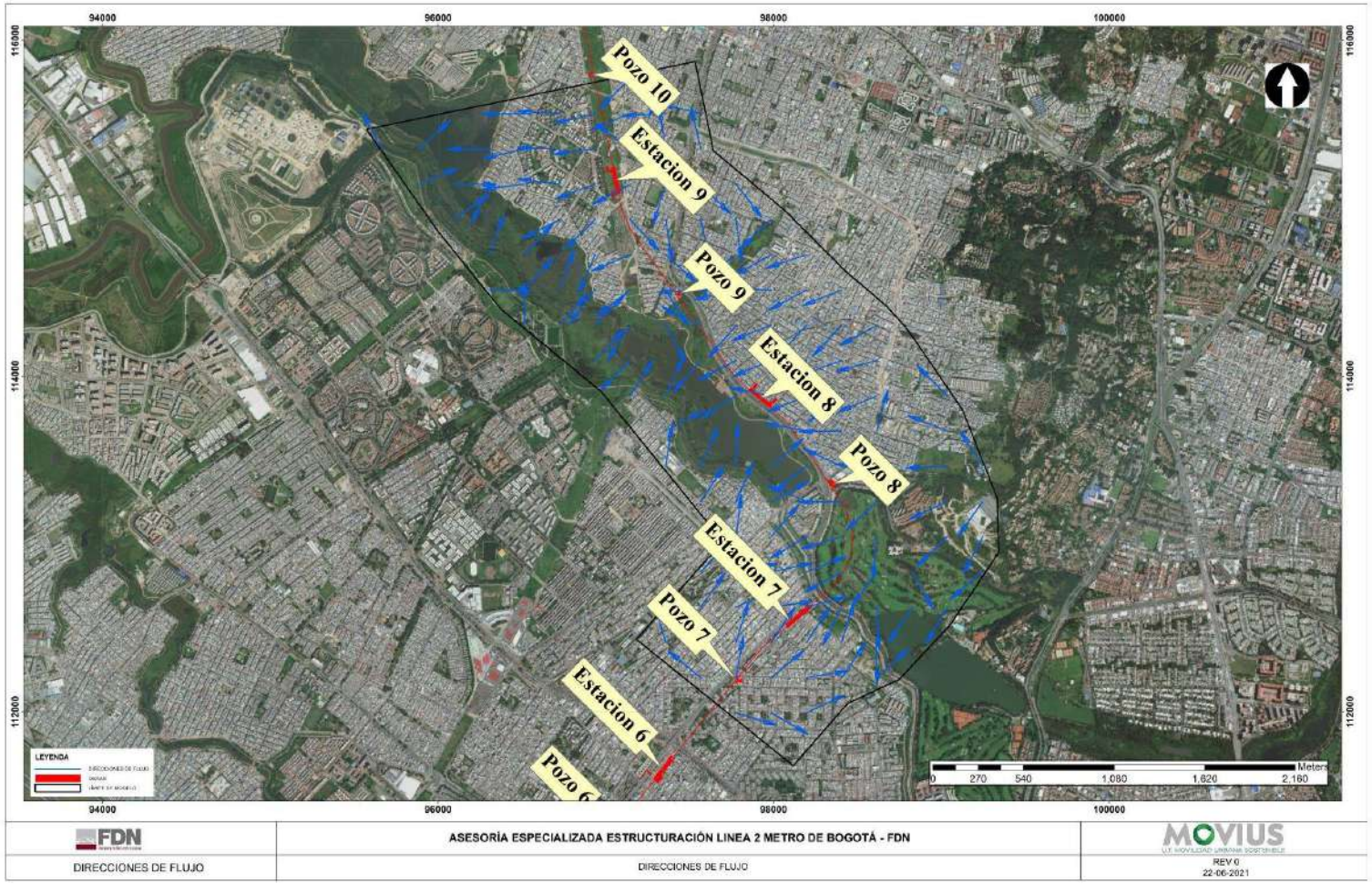


Figura 402. Direcciones de flujo en planta (condicion actual y de operación) - Zona humedal Juan Amarillo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Conclusiones de la modelación numérica

- A partir del Modelo Hidrogeológico Conceptual realizado se desarrolló un modelo hidrogeológico numérico calibrado que permite simular el comportamiento del sistema de aguas subterráneas de la zona de estudio para una condición estacionaria; haciendo uso de este modelo puede simularse la dinámica hidrogeológica asociada a las intervenciones previstas en la zona (construcción L2MB, con estaciones y pozos)

- En total se cuenta con 17 puntos de observación distribuidos en la zona de interés, cuyos rangos de instrumentación son variables en el periodo comprendido entre octubre de 2021 y junio de 2022. Los 17 puntos presentan un registro que permite caracterizar un periodo de lluvia y estiaje; con diferencias promedio en el nivel piezométrico entre épocas hidrológicas que no superan los 1,0 m, lo cual es indicativo de la condición de estacionalidad del nivel freático a lo largo del área de interés. Por su parte la distribución de los registros permite caracterizar el nivel freático del sistema a lo largo del dominio de modelación, con un nivel somero a una profundidad promedio de 1,80 m en referencia a la superficie del terreno.

- El proceso de calibración se ejecutó de forma automática, utilizando la rutina de estimación paramétrica disponible en el ModFlow (PEST), esto bajo una condición estacionaria (dada la poca fluctuación en los niveles freáticos). El ejercicio de calibración de manera particular dada la ausencia de recarga por infiltración para el sistema (producto de los análisis hidrológicos desarrollados) considera además de la estimación de parámetros hidráulicos del sistema (conductividad hidráulica) un proceso de recarga que permite simular el gradiente de flujo que se evidencia en los registros piezométricos. Los indicadores de ajuste logrados tras la calibración del sistema corresponden a un MAE de 1,16 m y un RMSE de 1,54 m, indicadores que sumados en conjunto con la adecuada representación de los niveles observados son indicativos de un proceso de calibración exitoso.

- Los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad desarrollado utilizando el MAE como indicador, muestran a las conductividades de la formación Llanura de inundación (Qlla) y de la formación Sabana (Qta) como los parámetros a los que los resultados del modelo son más sensibles al presentar los niveles de agua simulados la mayor movilidad al variar dichos parámetros; por su parte las conductividades de la Formación Cacho (Tpc) y de la Formación Guaduas (Ktg) resultan ser los parámetros a los que los resultados del modelo son menos sensibles.

- Se desarrollaron dos escenarios de simulación en régimen estacionario (para condición actual y de operación), permitiendo la valoración en condición media anual de las dinámicas de intercambio del sistema, así como de potenciales cambios en la superficie freática.

Análisis de dinámica de intercambio.

- Los resultados de la modelación, tras la entrada de operación de la línea subterránea, en conjunto con estaciones y pozos, no reflejan un cambio significativo en la dinámica de intercambio del sistema; con un flujo que sigue la conformación topográfica del terreno descargando en las fuentes de agua superficial (Humedal Juan Amarillo, canal Salitre, brazo del Humedal y Lago del Club los Lagartos). Las tasas de aporte desde las unidades hidrogeológicas a los diferentes sistemas corresponden a caudales de 3,82 l/s al humedal Juan Amarillo, 3,08 l/s al canal Salitre, 1,02 l/s al brazo del humedal y 0,62 l/s al lago del Club los Lagartos, condidion que se mentienen una vez entra en operacion el proyecto.

Análisis de niveles de flujo

- En el caso de los niveles de freáticos, los resultados de la modelación (al igual que en la dinámica de intercambio) tras la entrada en operación del sistema no presenta afectación sobre la superficie freática, producto de las condiciones muy baja permeabilidad del revestimiento en el túnel, estaciones y pozos.

Análisis de direcciones de flujo

- Tras la entrada en operación del proyecto no se identifica (al igual que el caso de la dinámica de intercambio del sistema y análisis de niveles freáticos) cambios en las direcciones de flujo, el patrón generalizado sigue la conformación topográfica del sistema, con un gradiente que va desde las zonas altas hasta las zonas bajas.

5.2.2.5.13.2. Zona Calle 72

El modelo hidrogeológico numérico tiene por objetivo evaluar el comportamiento del sistema de aguas subterráneas definido en el modelo hidrogeológico conceptual, bajo la condición de conformación del proyecto de L2MB que incluye estaciones, pozos y la línea subterránea del metro.

La modelación numérica permitirá estimar los potenciales impactos a las unidades hidrogeológicas en términos de abatimientos de la superficie piezométrica y dinámica de intercambio del sistema. La construcción del modelo tuvo en cuenta el modelo geológico de la zona objeto de estudio según lo definido en el modelo conceptual, la topografía del terreno actualizada, los puntos de monitoreo de agua subterránea, los resultados de interpretación de pruebas de permeabilidad, la información hidrológica, y la topología definida para la conformación del proyecto.

Software

Para la simulación hidrogeológica, se utilizó el programa VISUAL MODFLOW Classic y Flex en su versión 6.1, distribuido por Schlumberger Water Services. Este programa simula el flujo de agua subterránea en medios porosos en tres dimensiones.

Modflow es un modelo de flujo saturado que utiliza una aproximación en diferencias finitas centradas en el bloque con estructura modular, es decir, que cuenta con subrutinas, módulos o paquetes que realizan funciones concretas como los paquetes de acciones externas relacionados con la simulación de ríos (RIV), recargas (RCH), pozos (WEL), drenes (DRN), contornos de potencial constante (GHB) entre otros.

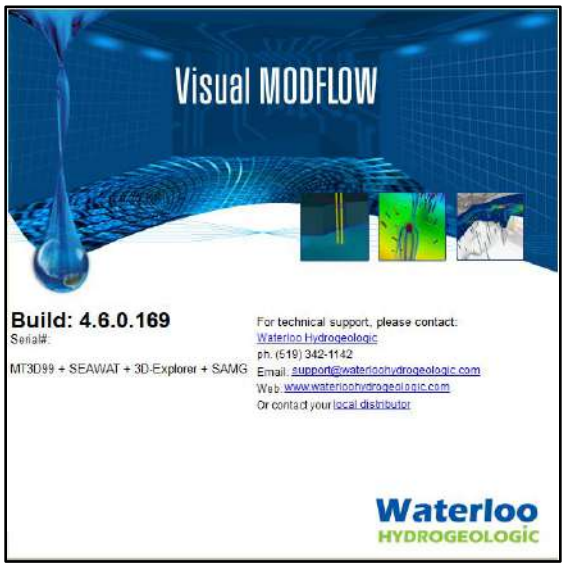


Figura 403. Software utilizado.
Fuente: Waterloo Hydrogeologic.

Código numérico

El movimiento del agua subterránea con densidad constante y en medio poroso se puede describir a partir de la siguiente ecuación diferencial parcial.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)-W=S_s\frac{\partial h}{\partial t}$$

Ecuación 54. Ecuación general de flujo

Donde,

Kxx, Kyy y Kzz son las conductividades hidráulicas [L/T]
W son las excitaciones adicionales del sistema, como la recarga o los bombeos [L^3/T]
Ss es el almacenamiento específico [L^{-1}]
h es la carga hidráulica o nivel de agua [L]

La Ecuación 54 describe el flujo de agua subterránea en condiciones de no equilibrio en un medio heterogéneo y anisotrópico.

Para resolver esta ecuación, MODFLOW utiliza el método de diferencias finitas, donde el sistema continuo descrito por la ecuación es reemplazado por un set finito de puntos discretos en el espacio y en el tiempo. Las derivadas parciales son reemplazadas por términos calculados de la diferencia en valores de carga hidráulica en esos puntos.

- **Discretización temporal y espacial**

Un sistema acuífero real es representado por medio de un arreglo de bloques llamados celdas, cuyas ubicaciones se describen en términos de filas, columnas y capas como se puede observar en la Figura 404.

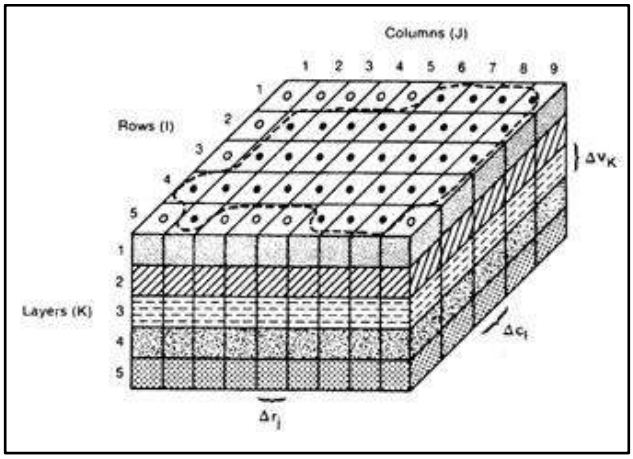


Figura 404. Esquema de discretización espacial de un sistema acuífero
Fuente: (Abia, 2006).

Dentro de cada celda hay un punto llamado nodo, en el cual se calcula la carga (h). MODFLOW define la configuración de celdas respecto a la ubicación de los nodos (bloque centrado).

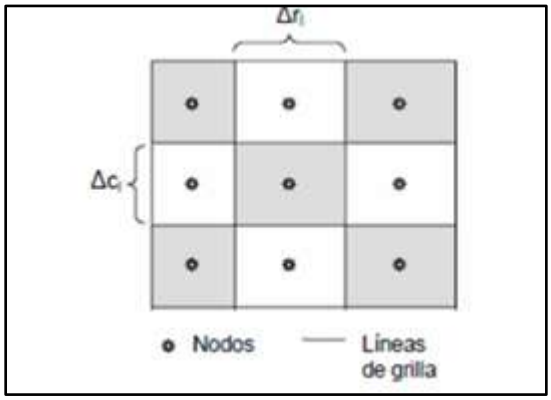


Figura 405. Sistema de celda de bloque centrado
Fuente: (PEREIRA, 2011).

El tiempo es discretizado en períodos de tiempos definidos por el usuario, los que a la vez se subdividen en pasos de tiempo de longitud creciente, definidos según una progresión geométrica en la que el usuario también define el factor multiplicador.

- **Ecuaciones de diferencias finitas**

La ecuación de flujo del agua subterránea en la forma de diferencias finitas se obtiene al aplicar la ecuación de continuidad en una celda. Considerando que la densidad del agua se mantiene constante.

$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta h_t}{\Delta t} \Delta V_c$$

Ecuación 55. Ecuación de flujo considerando densidad constante.

Donde,

Qi = son las tasas de flujo entrando y/o saliendo de la celda [L^2T^{-1}]
S_S = es el almacenamiento específico en la formulación de diferencias finitas [L-1]
ΔVc = es el volumen de la celda [L^3]
Δh_t = es la variación de la carga en un intervalo de tiempo Δt [L]

En el caso del flujo entrando en la celda i, j, k en la dirección de la fila, desde la celda i, j-1, k (Figura 406), éste se expresa según se muestra en las siguientes ecuaciones.

Variables,

hi,j,k = carga hidráulica o nivel de agua en el nodo i, j, k [L]
qi,j-1/2, k = descarga volumétrica entre las caras i, j, k e i, j-1,k [L^3T-1]
KRi,j −1/ 2, k = permeabilidad en la dirección de la fila entre los nodos i, j, k e i, j-1, k [LT-1]
Δci Δvk = área de la cara de la celda normal a la dirección de flujo [L^2]
Δ rj-½ = distancia entre los nodos i, j, k e i, j-1, k [L]
CR i, j −1/ 2,k = conductancia en la fila i y estrato k entre los nodos i, j-1, k e i, j, k [L]

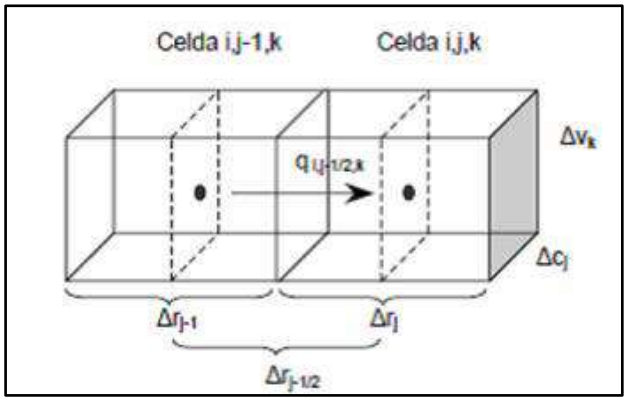


Figura 406. Flujo Entrando a la Celda i, j, k desde la Celda i, j-1, k
Fuente: (PEREIRA, 2011)

En la Figura 407 se muestra un esquema de una celda de diferencias finitas y los índices utilizados para identificar a sus seis celdas vecinas.

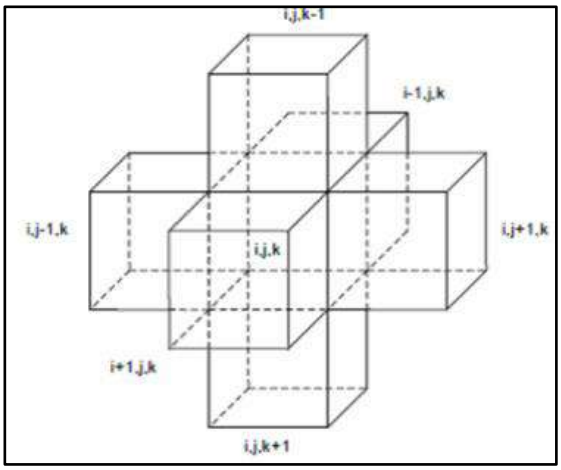


Figura 407. Celda i, j, k e Índices Utilizados para sus seis celdas vecinas
Fuente: (PEREIRA, 2011)

Las explicaciones más detalladas del análisis numérico, solución de ecuaciones diferenciales y en general del funcionamiento matemático del modelo se pueden encontrar en el "Manual de Modelamiento Numérico con MODFLOW" de GIDAHATARI – Gestión de los recursos hídricos.

Dominio del modelo

Tal como se mencionó al inicio del numeral de modelación numérica, el dominio de modelación está segmentado en dos sectores de especial interés, sector del humedal Juan Amarillo (entre el K8+000 y el K12+500) y Calle 72 (entre el K0+00 y el K2+500). Tramos que han sido definidos en el primer caso por la cercanía de la infraestructura propuesta (Línea subterránea del metro, pozos y estaciones) al humedal Juan Amarillo, mientras que el segundo caso corresponde al sector de transicicon entre las unidades del complejo de conos y la formacion Sabana.

El área de modelación comprende entre el K0+000 y el K2+500, en un ancho de franja de 1,2 km (600m a lado y lado del eje del metro) en referencia al eje del metro, abarcando las estaciones 1 y 2, además del pozo de salida. Esto permite representar los principales procesos de flujo de agua subterránea entre las unidades hidrogeológicas del área de estudio, además de los procesos de recarga y descarga asociados al sistema en condición actual y condición proyectada que incluye la línea del túnel, estaciones y pozos; permitiendo establecer la influencia de estos elementos dentro de la dinámica hidrogeológica en la zona objeto de análisis. Teniendo en cuenta lo anterior se han definido los siguientes límites para el dominio de modelación:

- Límite superior, la frontera superior o techo corresponde a la superficie del terreno en su condición actual. Para esto se ha utilizado la información topográfica de referencia con que se cuenta para la zona del Proyecto.

- Límite inferior, se ha considerado la configuración topológica de los elementos que intervienen en el esquema de modelación, definiendo un nivel base (cota: 2490 msnm) que permite la adecuada representación de las unidades hidrogeológicas que interactúan en el sistema.

- Límites laterales, se han considerado las siguientes condiciones.

    - Norte y Sur: Buffer de 600 m a lado y lado del eje del metro, en el sector norte bordea la calle 77 mientras en el sector sur la calle 67.

- Este: Carrera 5 - cerros Orientales
- Oeste: Canal Salitre

Partiendo de esta definición se presenta en la Tabla 247 las coordenadas de los límites cardinales considerados para la zona de modelación.

Tabla 247. Coordenadas de los límites cardinales considerados para el área de modelación.

Punto	Coordenada X	Coordenada Y
Límite norte		108 968,9
Límite sur		105 926,1
Límite este	102 923,2	
Límite oeste	100 097,5	

Fuente: UT MOVIUS 2022

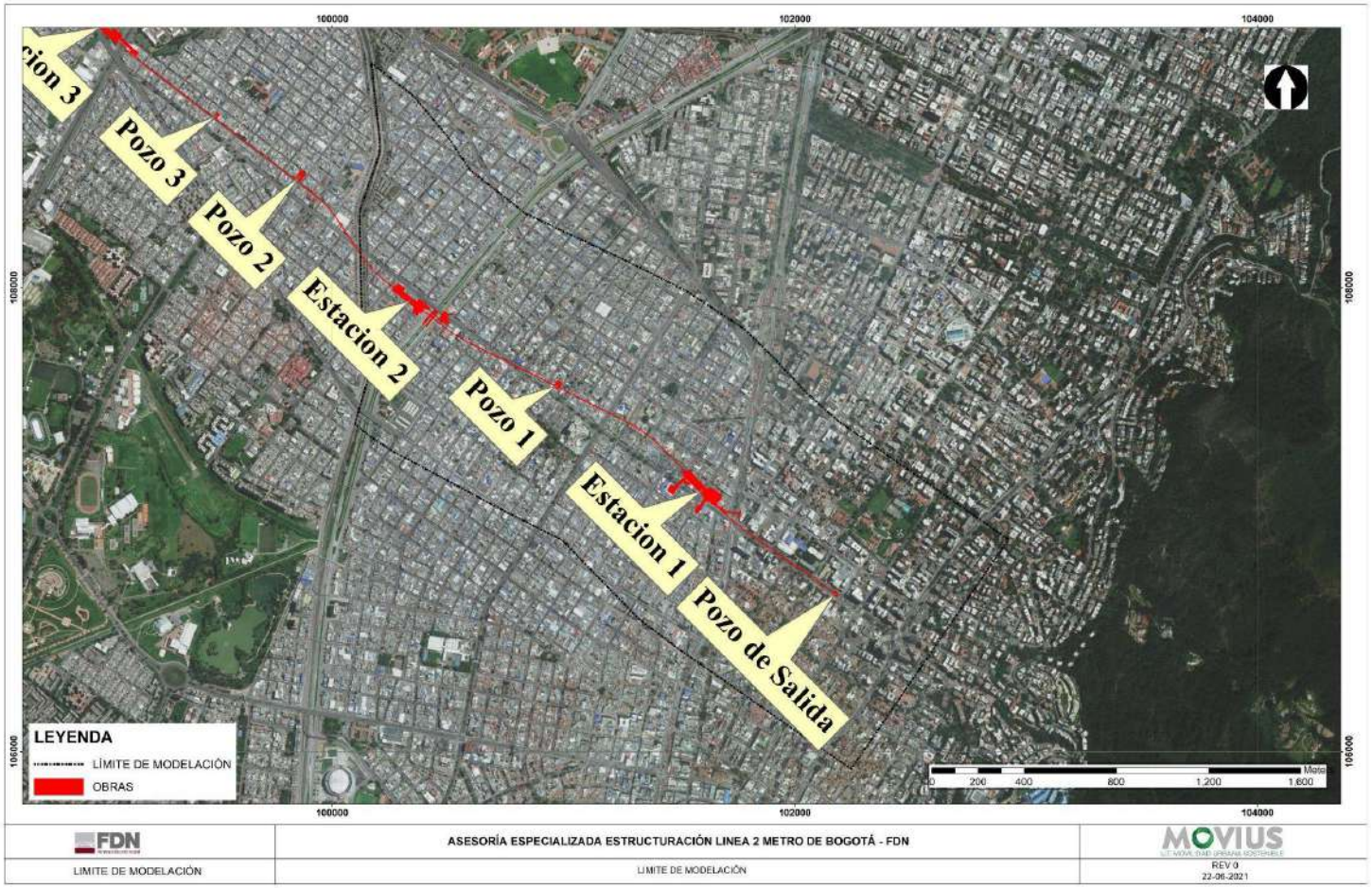
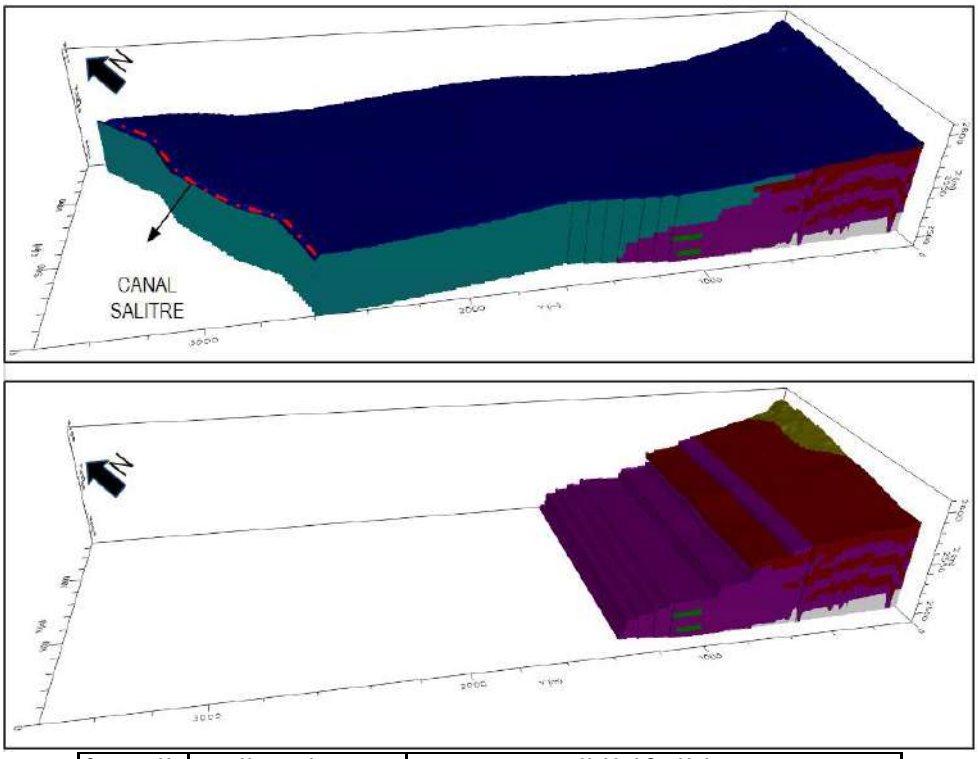


Figura 408. Dominio computacional del modelo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Dentro de la zona de modelación se presentan siete unidades geológicas, cuya topología y contactos fueron definidos a partir de la interpretación de la información de referencia en la zona la cual incluye las perforaciones geotécnicas, información que se ve consolidada en las 4 secciones geológicas desarrolladas para el estudio, 3 en sentido transversal, y una longitudinal al túnel. En la Figura 409 se presenta el dominio de modelación considerado y las unidades geológicas caracterizadas en la zona de interés, dentro de las cuales se destaca la formación Sabana (Qta) y Complejo de Conos (Qcc), unidad sobre la cual se da el desarrollo de la línea subterránea del metro.



Convención	Nomenclatura	Unidad Geológica
	Tpb	Formación Bogotá
	Qan	Depósito relleno antrópico
	Qcc (are+mat, arc+are)	Complejo conos
	Qta (mat, arc 1)	Depósito lacustre formación saba o terraza alta
	Qcc-col	Complejo conos
	Qcc (are, are+gra, alu)	Complejo conos
	Qdp	Coluvión

Figura 409. Unidades hidrogeológicas - Zona de modelación.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Geometría y mallado del modelo

La discretización está vinculada de manera directa con la necesidad de representación de los procesos dentro del sistema, que para el caso de la zona de estudio corresponde a la dinámica de intercambio entre los diferentes elementos que

componen la zona de modelación (cuerpos hídricos presentes, unidades geológicas y obras asociadas al desarrollo de la línea subterránea del metro).

La definición geométrica del mallado a implementar debe considerar la representación topológica de los elementos asociados al esquema de modelación, los tiempos de cómputo requeridos en los procesos de simulación y la convergencia numérica del arreglo, cuya métrica es el balance de masas. Teniendo en cuenta los aspectos antes señalados se analizó la discretización vertical (número de capas) y el tamaño de la celda; el ejercicio partió de un esquema base de 15 capas (cantidad mínima de capas requerida para representar el desarrollo de las unidades hidrogeológicas en profundidad) y resolución de celda de 10 X 10 m (tamaño máximo de celda que permite la representación adecuada del túnel), sobre este esquema base se llevó a cabo el análisis de cantidad de capas, manteniendo la geometría de 10X10 m (siendo esta el tamaño representativo para la sección del túnel. Véase (Tabla 248).

El objetivo del análisis antes señalado es establecer si con el aumento de la resolución vertical se logra una mejora en el balance de masas que no comprometa significativamente el desempeño del modelo en términos de tiempo de simulación. Los resultados de los análisis desarrollados en condición estacionaria indican que con las distintas resoluciones valoradas se logra el cierre del modelo (con errores inferiores al 1%).

Bajo los aspectos antes señalados, y considerando que se evidencia un incremento sensible en términos de tiempo con el refinamiento y que por el contrario el modelo de mayor cantidad de capas no aporta en vertical una mejor representación de la posición topológica de los elemento, se adopta la configuración inicial como mallado del sistema (tamaño de celda de 10 X 10 m y 15 capas), este permite la correcta representación de las unidades hidrogeológicas del sistema y de la línea subterránea (con un espesor de capa asignado al túnel de 10 m que corresponde con su diámetro), con adecuada convergencia del modelo numérico (errores en el balance de masas menores al 1%) y tiempos de cómputo viables en términos de las necesidades particulares de modelación.

El arreglo propuesto para el esquema de modelación ha demostrado ser eficiente en tiempos de cómputo, error en el balance de masa, y capaz de representar las condiciones particulares del sistema en cuanto a caracterización de las unidades hidrogeológicas identificadas en la zona del proyecto. El arreglo seleccionado corresponde a un mallado de 10 X 10 m y 15 capas, en total el modelo dispone de 726 975 celdas que representan el esquema topológico del sistema.

El mallado seleccionado es la configuración base para los ejercicios de modelación, pudiendo requerir ajustes en función de las necesidades particulares de los escenarios de simulación a considerar.

Tabla 248. Selección de la discretización de simulación

Capas	Tamaño de Celdas (m)	Convergencia	Tiempo de Simulación en condición estacionaria (Seg)	Configuración	Error en Balance (%)
15	10x10	SI	350,2	1	< 1%
20	10x10	SI	638,4	2	< 1%
30	10x10	SI	1687,7	3	< 1%

Fuente: UT MOVIUS 2022

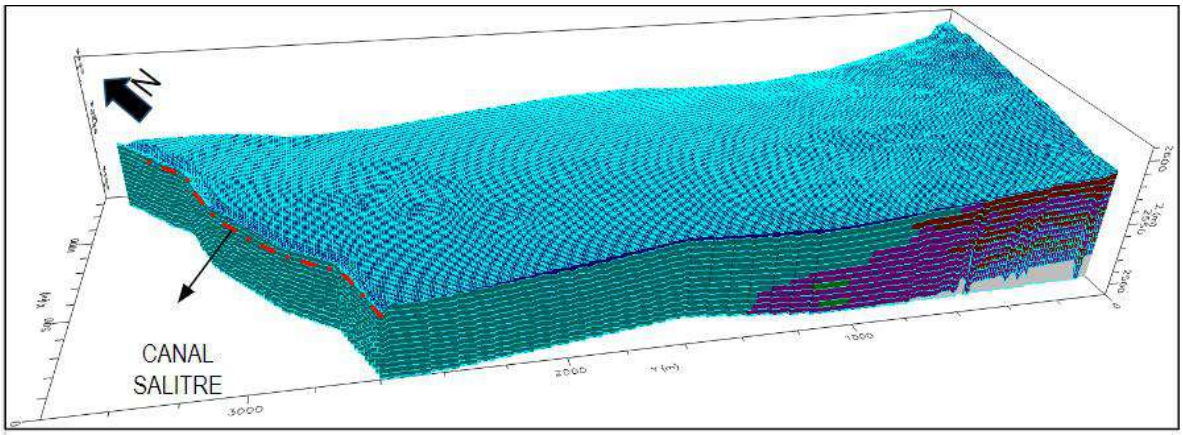


Figura 410. Discretización seleccionada para la modelación - Mallado de 10X10 m.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- **Discretización horizontal**

El mallado seleccionado para la simulación corresponde a un tamaño de celda de 10 x 10 m (esquema simétrico), el cual tiene una resolución suficiente para representar los elementos particulares asociados a las necesidades de los análisis, lográndose errores marginales en el balance de masas (0,19 m^3/día que corresponde con una diferencia porcentual entre las entradas y las salidas de 0,02%) y tiempos adecuados de corrida (alrededor de 350,2 seg en condición estacionaria), con lo cual se concluye que el nivel de discretización es eficiente y adecuado para modelar las principales variables definidas en el Modelo Hidrogeológico Conceptual.

- **Discretización vertical**

La discretización vertical corresponde a 15 capas, representativas de cada una de las unidades hidrogeológicas, con espesores variables en el dominio de modelación (Figura 411).

Convención	Nomenclatura	Unidad Geológica
	Tpb	Formación Bogotá
	Qan	Depósito relleno antrópico
	Qcc (are+mat, arc+are)	Complejo conos
	Qta (mat, arc 1)	Depósito lacustre formación saba o terraza alta
	Qcc-col	Complejo conos
	Qcc (are, are+gra, alu)	Complejo conos
	Qdp	Coluvión

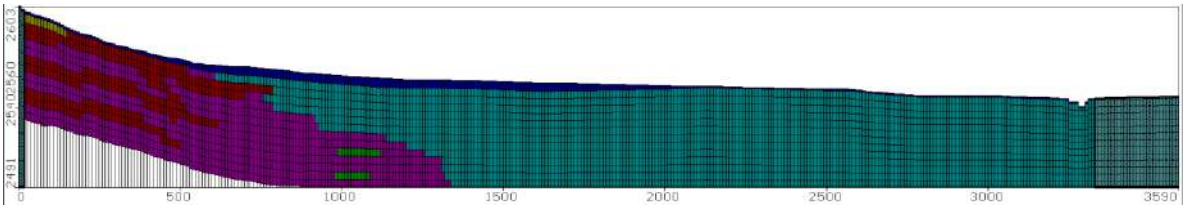


Figura 411. Perfil longitudinal (sentido SE-NW) - discretización vertical (15 capas) - Columna 110 del modelo numérico (Exageración vertical: 5).
Fuente: UT MOVIUS 2022

Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera corresponden a los elementos topológicos del sistema que definen elementos de control dentro del dominio de modelación, e influyen en los procesos de intercambio, gobernados por la dinámica hidrogeológica identificada en el desarrollo del Modelo Hidrogeológico Conceptual.

Como condición de frontera para el estado actual del proyecto se establece la fuente de agua superficial asociada al canal salitre cuyas características básicas se presentan más adelante.

En el caso de la condición proyectada, se involucra la línea subterránea del túnel, estaciones y pozos que conforman el sistema proyectado.

Teniendo en cuenta las condiciones de borde antes señaladas en la zona de modelación y la flexibilidad que ofrece el paquete de modelación numérica (ModFlow) en cuanto a representación de estos elementos (lo que definen la fidelidad con la que la dinámica del sistema es representada en el entorno computacional) se utilizan los siguientes condiciones de frontera dentro del modelo numérico:

- Elemento River (Río): que representa una recarga-descarga, esta condición de borde permite cuantificar la dinámica de intercambio entre las unidades hidrogeológicas y las fuentes de agua superficial. En el caso particular del canal salitre la conductancia de lecho se definió a partir del valor de conductividad hidráulica que resultó de la calibración del modelo para la unidad hidrogeológica sobre la cual se desarrolla el sistema (formación sabana - Qta); vale mencionar que dicha calibración partió de los valores de permeabilidad medidos en las pruebas de permeabilidad realizadas a lo largo del trazado del proyecto.

Los niveles en el canal Salitre se definieron a partir de la información disponible en las simulaciones desarrolladas por INGETEC para el Plan Maestro de acueducto y alcantarillado vigente de Bogotá y el caudal medio de 2,86 m3/s se definió a partir del presente EIA (numeral 5.2.2.1.14 Caracterización hidrológica), lográndose un nivel de agua entre las cotas 2543,2 msnm y 2541,9 msnm a lo largo del tramo modelado.

- Elemento Drenaje (Drain): Representa la línea subterránea del metro, pozos y estaciones. La topología de estos elementos se ha definido conforme el desarrollo de la obra para el proyecto.

- Elemento Pumping Well (Pozo de Bombeo): En el caso de análisis corresponde a una entrada del sistema, simulando una inyección de caudal que representa el aporte por aguas subterráneas desde los cerros Orientales (estimado en 83 mm y asociados principalmente a recarga por infiltración en las superficies de los cerros), conforme a los resultados de las estimaciones hechas en los análisis hidrológicos (ver numeral 5.2.2.5.3 Balance Hídrico Superficial). Esta recarga se ha representado mediante un arreglo de 12 pozos separados 100 metros, cada uno de ellos inyectando un caudal de 84.8 m^3/día.

En la figura Figura 412 se presentan las condiciones de borde para el dominio de modelación.

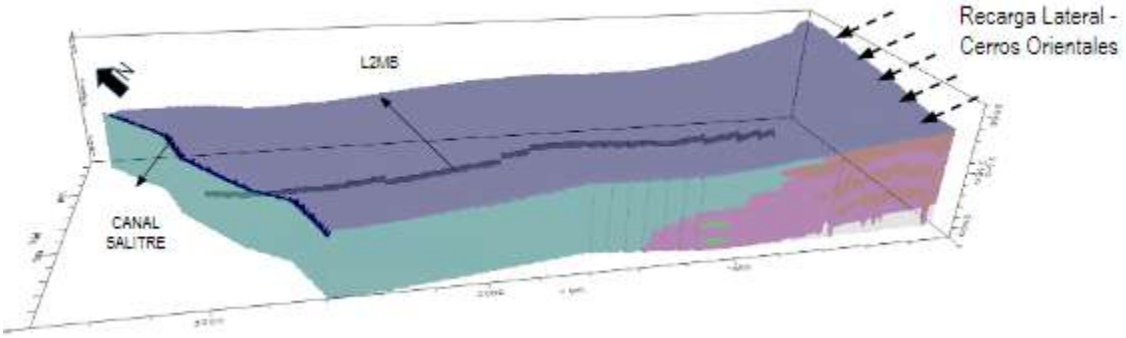


Figura 412. Condiciones de borde del esquema de modelación.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- **Clasificación de las corrientes superficiales en función de su conexión hidráulica con los acuíferos**

Dentro de la zona de interés la corriente principal corresponde al canal Salitre, cuyo nivel de agua se ubica por debajo de la superficie piezométrica caracterizada a partir de la información de campo, constituyéndose de esta manera en un sistema ganador, esto quiere decir que la dinámica de intercambio se orienta de manera preferencial desde las unidades hidrogeológicas hacia el canal.

En el numeral de Análisis de la dinámica hidrogeológica se presentan los resultados en cuanto a dinámica promedio de intercambio entre las corrientes superficiales y los acuíferos.

Parametrización

A partir de los análisis de ensayos de permeabilidad desarrollados en la zona de interés así como de la información bibliográfica de referencia para las formaciones identificadas en la zona del proyecto, se definieron los rangos de partida de los parámetros hidráulicos para las unidades hidrogeológicas presentes en la zona de estudio (Figura 413 a Figura 414), información utilizada en el proceso de calibración.

En la Tabla 249 se presentan los parámetros básicos caracterizados de cada una de las unidades presentes en la zona de estudio, así como sus correspondientes rangos de variación de las conductividades, entradas que serán utilizadas en la fase de calibración, permitiendo tener una semilla y control en la búsqueda, considerando el espacio paramétrico identificado mediante el análisis de la información de campo e información de referencia constituida para el proyecto, trabajo desarrollado dentro del marco del modelo hidrogeológico conceptual.

Tabla 249. Parámetros hidráulicos caracterizados en las diferentes unidades hidrogeológicas.

Nomenclatura	Unidad Geológica	Conductividad hidráulica (m/s) (Límite inferior)	Conductividad hidráulica (m/s) (Límite Superior)
Tpb	Formación Bogotá	1,00E-11	1,00E-08

Qan	Depósito relleno Antrópico	1,16E-14	1,00E-04
Qcc (are+mat, arc+are)	Complejo conos	1,00E-08	1,00E-06
Qta (mat, arc 1)	Depósito lacustre formación saba o terraza alta	5,00E-11	1,00E-07
Qcc-col	Complejo conos	1,00E-08	1,00E-06
Qcc (are, are+gra, alu)	Complejo conos	1,00E-08	1,00E-06
Qdp	Coluvión	1,00E-07	1,00E-04

Fuente: UT MOVIUS 2022

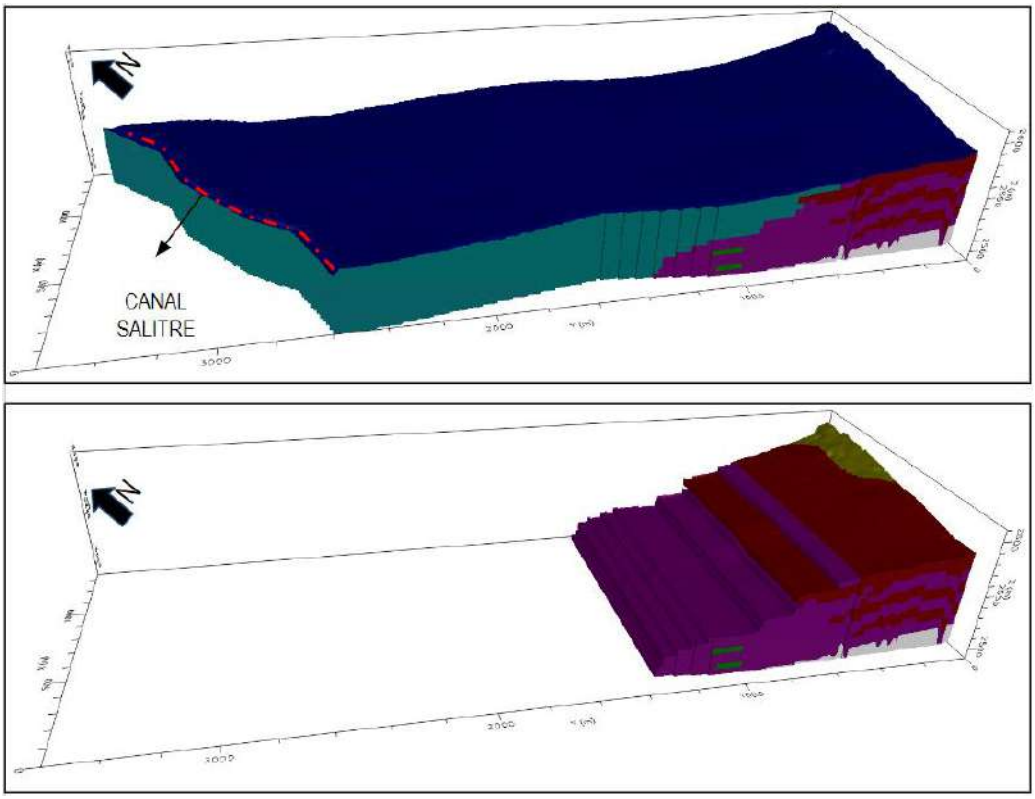


Figura 413. Unidades hidrogeológicas de la zona de interés
Fuente: UT MOVIUS 2022

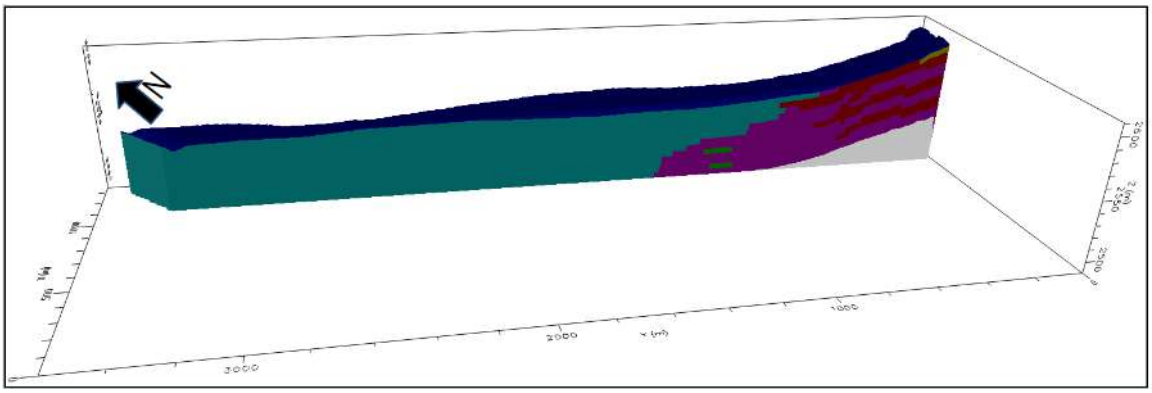


Figura 414. Corte longitudinal (Sentido SE-NW) - unidades geológicas de la zona de interés - Columna 110 del modelo numérico.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Datos observados

En total se cuenta con 12 puntos de observación distribuidos en la zona de interés (Figura 415), cuyos rangos de instrumentación son variables en el periodo comprendido entre enero de 2022 y junio de 2022. De estos 12 puntos de observación 11 puntos (L2MB-TUN-PT-04, L2MB-EST1-PT-01, L2MB-EST1-PT-02, L2MB-TUN-PT-01, L2MB-TUN-PT-05, L2MB-DEP-PT-03, L2MB-TUN-PT-06, L2MB-TUN-PT-08, L2MB-TUN-PT-10, L2MB-TUN-PT-11 y L2MB-TUN-PT-16) presentan un registro que permite caracterizar un periodo de lluvia y estiaje; para los puntos antes señalados las diferencias promedio en el nivel piezométrico entre épocas no superan los 0,8 m.

El análisis de la información piezométrica en la zona objeto de estudio refleja un bajo nivel de fluctuación en la tabla de agua entre épocas hidrológicas (lluvias y estiaje), así mismo permite caracterizar un nivel de agua superficial sobre la formación Sabana (en promedio 1,9 m por debajo de la superficie del terreno), que aumenta en profundidad hacia los cerros Orientales, una vez se da el paso a la formación complejo de conos (Qcc), con un nivel que alcanza en la perforación L2MB-TUN-PT-04 12,7 m de profundidad, perforación que se ubica al inicio del trazado de la línea del metro. Teniendo en cuenta las bajas fluctuaciones del nivel piezométrico entre épocas hidrológicas, las simulaciones se desarrollan en condición estacionaria, representando la condición media del sistema en el entorno de modelación.

En la Tabla 250 y en la Figura 416 se presenta el nivel medio de agua observado y la serie piezométrica disponible para cada uno de los puntos de observación disponibles en la zona del proyecto.

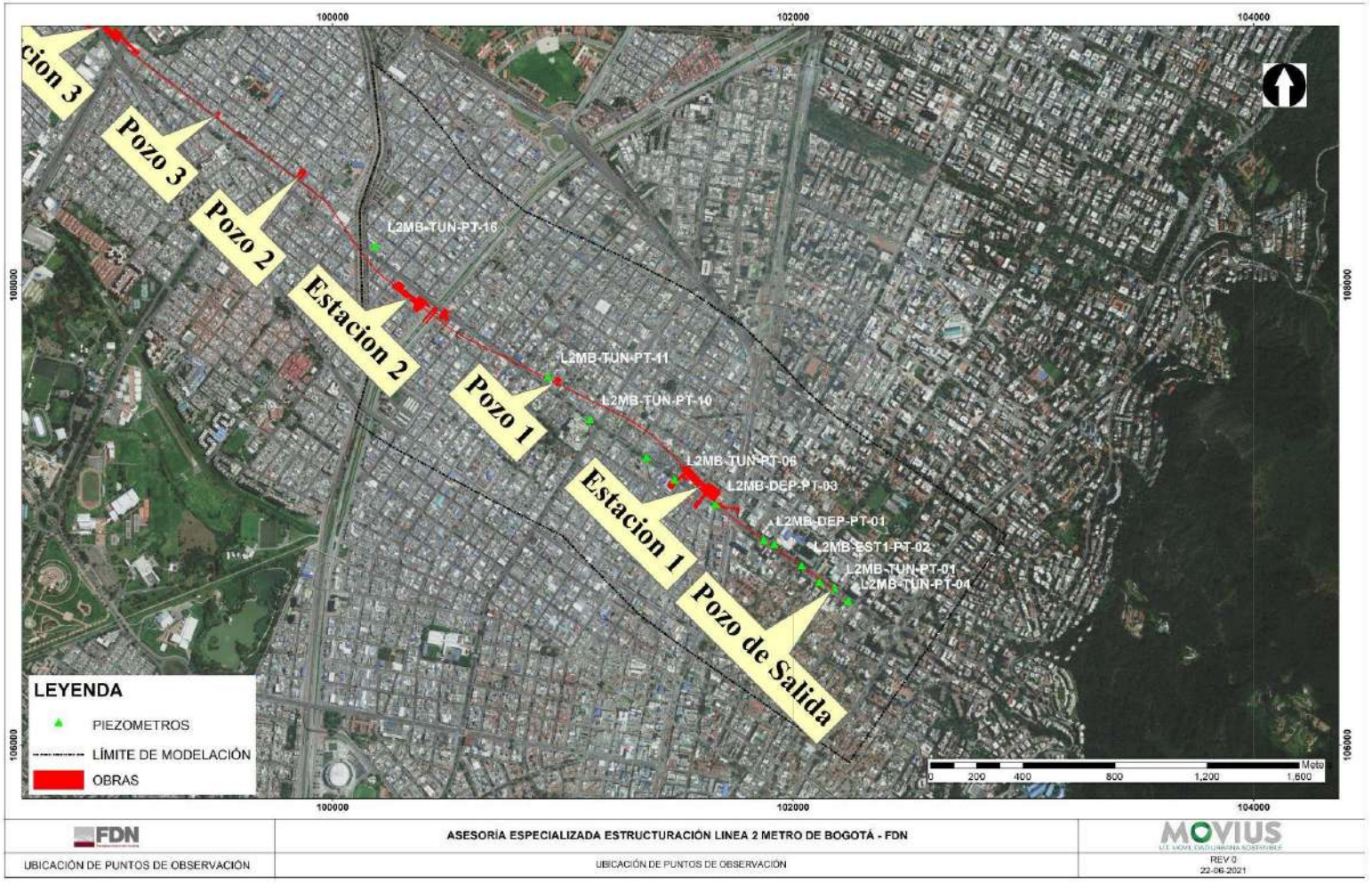


Figura 415. Ubicación de puntos de observación.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 250. Niveles piezométricos promedio en los puntos de observación

Sondeo	Coordenadas Magna Ciudad Bogotá		Cota terreno (msnm)	Nivel piezométrico promedio - totalidad del registro (msnm)	Nivel piezométrico promedio - lluvias (msnm)	Nivel piezométrico promedio - estiaje (msnm)	DIF |LLUVIA - ESTIAJE|	VENTANA DE INFORMACIÓN
	Norte	Este						
L2MB-TUN-PT-04	106622,6	102239,7	2575.0	2562,3	2562,2	2562,4	0,2	01-2022/06-2022
L2MB-EST1-PT-01	106703,5	102115,1	2570.3	2559,1	2559,3	2559	0,3	01-2022/06-2022
L2MB-EST1-PT-02	106775	102036,5	2568.0	2561,6	2561,4	2561,7	0,3	02-2022/05-2022
L2MB-TUN-PT-01	106679,7	102177,5	2572.7	2562,7	2563	2562,6	0,4	04-2022/06-2022
L2MB-TUN-PT-05	106868,2	101918,2	2564.2	2560,8	2561	2560,7	0,3	04-2022/06-2022
L2MB-DEP-PT-01	106887,2	101872,4	2562.5	2557,5		2557,5		03-2022/05-2022
L2MB-DEP-PT-03	107041,4	101662,8	2559.6	2557,1	2557,1	2557,1	0	01-2022/06-2022
L2MB-TUN-PT-06	107149,2	101484,8	2558.0	2556,9	2557,1	2556,8	0,3	02-2022/06-2022
L2MB-TUN-PT-08	107245,4	101362,1	2557.2	2557,2	2557,2	2557,2	0	01-2022/06-2022
L2MB-TUN-PT-10	107411,6	101117,0	2555.1	2553,1	2553,5	2552,7	0,8	01-2022/06-2022
L2MB-TUN-PT-11	107597,1	100935,8	2553.2	2552,6	2552,3	2552,7	0,4	03-2022/06-2022
L2MB-TUN-PT-16	108164,4	100185,1	2546.8	2545,7	2546	2545,5	0,5	01-2022/06-2022

Fuente: UT MOVIUS 2022

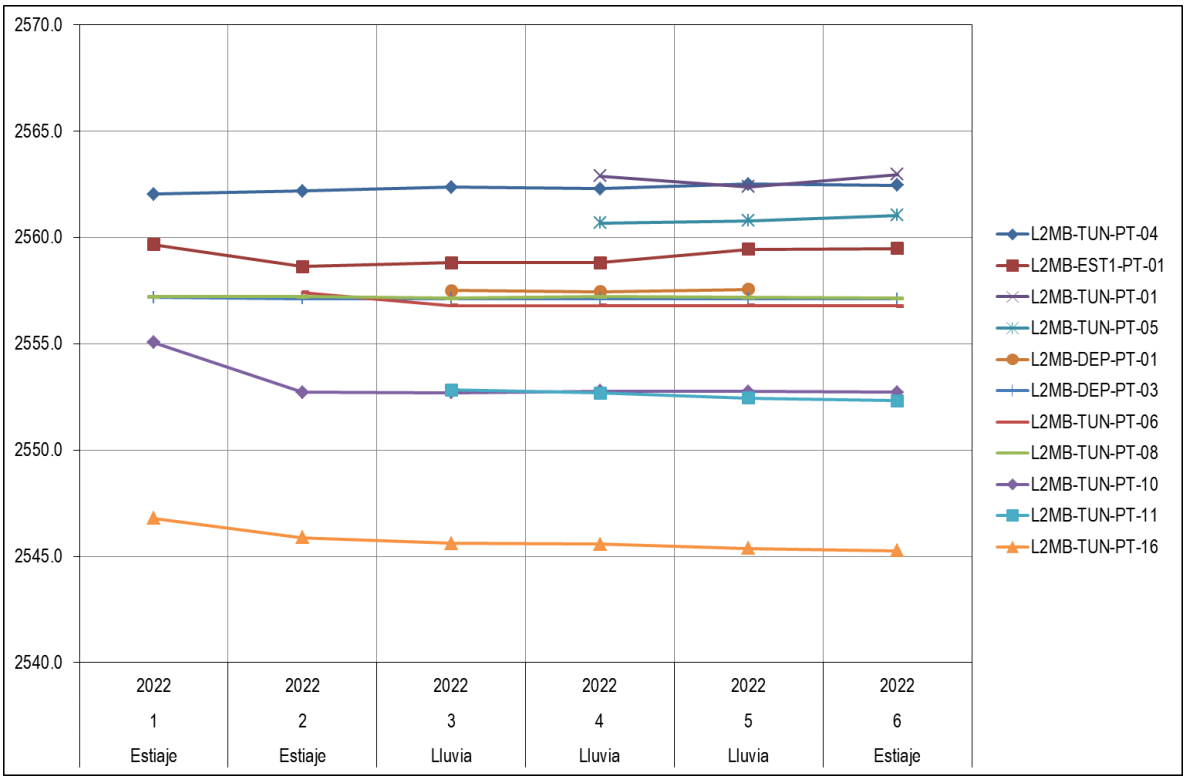


Figura 416. Serie piezométrica en los puntos de observación.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Calibración

La fase de calibración se ha desarrollado buscando mantener el control sobre el entorno paramétrico en el dominio de modelación (conforme la información de referencia para las unidades producto de la parametrización), evitando llegar a soluciones que puedan funcionar desde el punto de vista de indicadores de ajuste, pero que no resultan representativas de las condiciones de flujo en el sistema.

En la zona de interés se han identificado siete unidades geológicas (de las cuales la formación Sabana - Qta y complejo conos - Qcc, resultan de interés particular siendo éstas sobre las cuales se desarrollará la línea subterránea del metro además de las estaciones y pozos), cada una de estas unidades está sujeta a calibración en términos de la conductividad hidráulica; la calibración del almacenamiento específico en este caso no aplica dada la condición de modelación estacionaria definida para el sistema producto de la baja fluctuación en los niveles piezométricos.

La calibración que corresponde a un entorno estacionario permite simular la dinámica del sistema en condición promedio; el proceso se ejecutó de forma automática utilizando la rutina de estimación paramétrica presente en el ModFlow (PEST), considerado la estimación de conductividades bajo las condiciones de frontera que representa la dinámica del hidrogeológicas del sistema.

Los niveles de agua promedio en las fuentes de agua superficial (Canal Salitre) se definieron a partir de la información de referencia disponible para el proyecto y las valoraciones desarrollado por INGETEC para el Plan Maestro de acueducto y alcantarillado vigente de Bogotá, tal como se precisó en el numeral de Condiciones de frontera.

El ejercicio de calibración se centró en la representación de los niveles observados, definidos a partir del análisis de la información piezométrica para la condición promedio (Véase Tabla 250), en conjunto con las condición de borde del sistema. En la Tabla 252 y Figura 417 se presenta la correlación entre los niveles calibrados y los niveles observados, para los 12 puntos de observación en la zona de estudio.

En la Tabla 251 se presentan las conductividades hidráulicas producto de la calibración; los resultados de los indicadores valorados (MAE de 0,93 m, un RMSE de 1,30 m) en conjunto con la adecuada representación de los niveles observados son indicativos de un proceso de calibración exitoso.

En la Figura 418 se muestra la superficie freática obtenida al finalizar el proceso de calibración, el gradiente generalizado de flujo dentro de la zona de interés sigue la conformación topográfica del sistema, orientando el movimiento del agua subterránea desde las zonas altas hasta las zonas bajas.

.

Tabla 251. Conductividades hidráulicas calibradas (m/s).

Nomenclatura	Unidad Geológica	Conductividad hidráulica (m/s) (Límite inferior)	Conductividad hidráulica (m/s) (Límite Superior)	Conductividad hidráulica calibrada (m/s)
Tpb	Formación Bogotá	1,00E-11	1,00E-08	1,16E-08
Qan	Depósito relleno Antrópico	1,16E-14	1,00E-04	7,07E-04
Qcc (are+mat, arc+are)	Complejo conos	1,00E-08	1,00E-06	1,00E-07
Qta (mat, arc 1)	Depósito lacustre formación saba o terraza alta	5,00E-11	1,00E-07	2,54E-07
Qcc-col	Complejo conos	1,00E-08	1,00E-06	5,75E-05
Qcc (are, are+gra, alu)	Complejo conos	1,00E-08	1,00E-06	2,77E-05
Qdp	Coluvión	1,00E-07	1,00E-04	9,25E-04

Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 252. Resultado de la calibración niveles observados vs. calculados - Condición estacionaria

Sondeo	Coordenadas Magna Ciudad Bogotá		Cota terreno (msnm)	Nivel piezométrico promedio - observado (msnm)	Nivel piezométrico promedio - calculado (msnm)	DIF |OBS-CAL| (msnm)
	Norte	Este				
L2MB-DEP-PT-01	101872,4	106887,2	2567	2557,5	2559,3	1,8
L2MB-DEP-PT-03	101662,8	107041,4	2563	2557,1	2557,8	0,7
L2MB-EST1-PT-01	102115,1	106703,5	2575	2559,1	2562,1	3,0
L2MB-EST1-PT-02	102036,5	106775	2573	2561,6	2561,6	0,0
L2MB-TUN-PT-01	102177,5	106679,7	2594	2562,7	2562,4	0,3
L2MB-TUN-PT-04	102239,7	106622,6	2579	2562,3	2562,8	0,5
L2MB-TUN-PT-05	101918,2	106868,2	2568	2560,8	2560,9	0,1
L2MB-TUN-PT-06	101484,8	107149,2	2562	2556,9	2557	0,1
L2MB-TUN-PT-08	101362,1	107245,4	2559	2557,2	2556,4	0,8
L2MB-TUN-PT-10	101117	107411,6	2559	2553,1	2555,2	2,1
L2MB-TUN-PT-11	100935,8	107597,1	2558	2552,6	2553,9	1,3
L2MB-TUN-PT-16	100185,1	108164,4	2550	2545,7	2545,2	0,5

Fuente: UT MOVIUS 2022

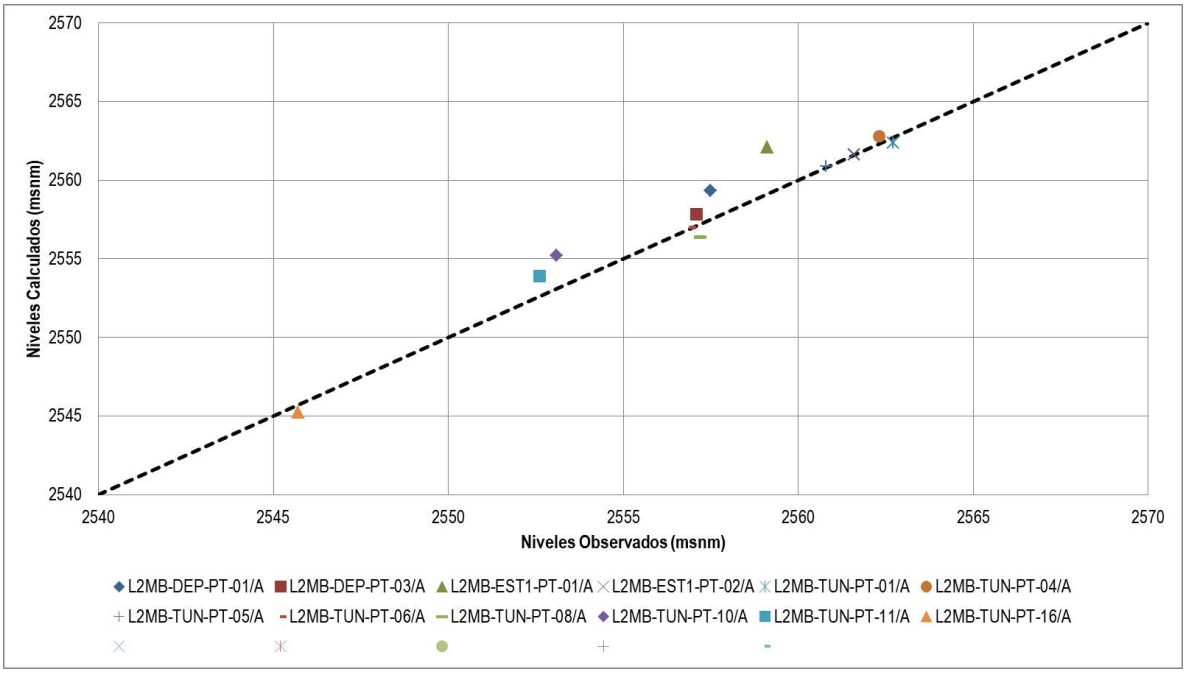


Figura 417. Resultado de la calibración niveles observados vs. calculados - Condición estacionaria.
Fuente: UT MOVIUS 2022

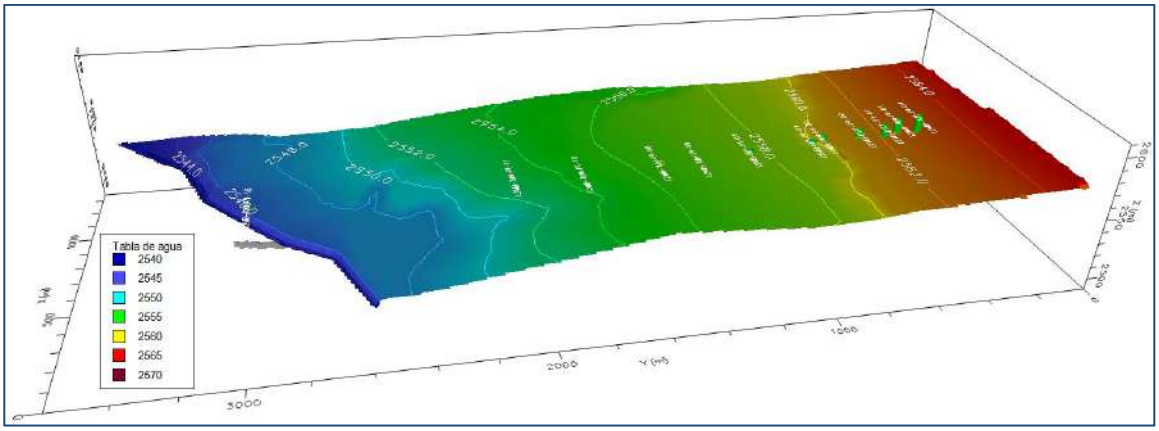


Tabla de agua

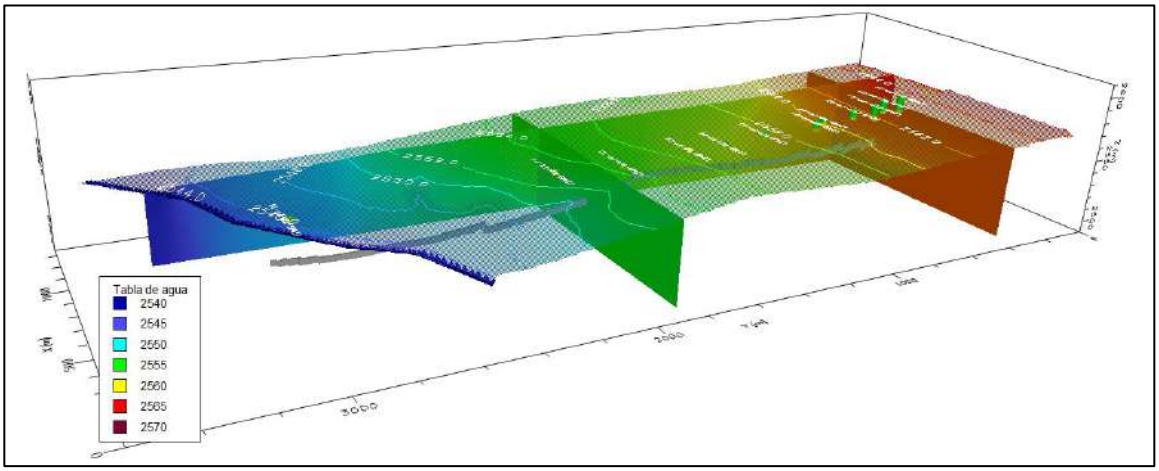


Tabla de agua con cortes en filas y columnas

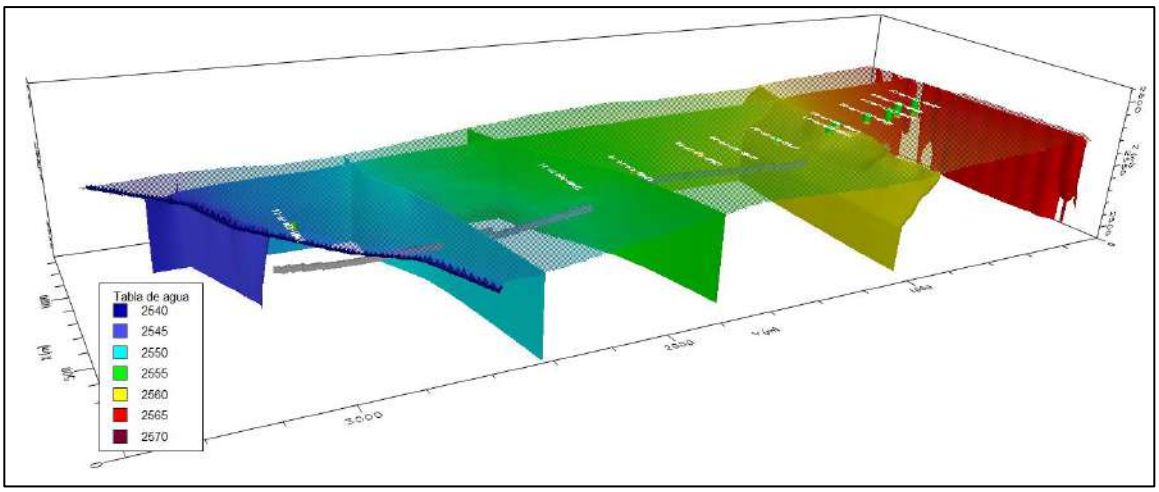


Tabla de agua con iso-superficies

Figura 418. Superficie freática lograda tras la calibración en condición estacionaria.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Análisis de sensibilidad paramétrica

Partiendo de la caracterización de los parámetros de flujo lograda en la etapa de calibración, se ha implementado de manera sistémica un conjunto de simulaciones orientadas a establecer el cambio en la respuesta del sistema ante variaciones en la conductividad , tomando el MAE como elemento de métrica.

Como escenario de referencia para el análisis de sensibilidad en cuanto a conductividad hidráulica se tomaron los parámetros asociados a la simulación de calibración, y a partir de esta se varía la conductividad hidráulica para cada unidad hidrogeológica (un orden de magnitud por debajo y por encima), valorando con el MAE la sensibilidad del modelo ante su cambio. En la Figura 419 se presenta de manera gráfica los resultados del análisis de sensibilidad, en donde se correlaciona el MAE producto del cambio en la conductividad hidráulica para cada unidad geológica, siendo este un

indicador de la movilidad de los niveles de agua en los puntos de observación. En el caso de las conductividades la formación Depósito relleno Antrópico (Qan) y formación Sabana (Qta) resultan en la unidades más sensibles al presentar la mayor movilidad en los niveles de agua simulados para los puntos de observación disponibles dentro de la zona de estudio.

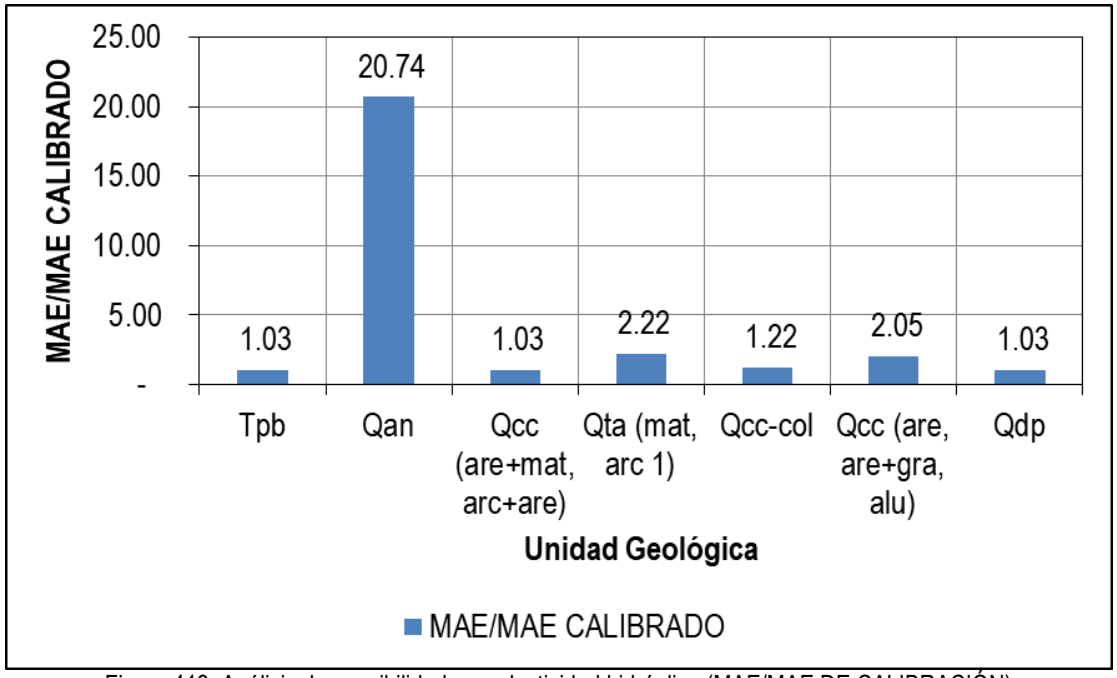


Figura 419. Análisis de sensibilidad - conductividad hidráulica (MAE/MAE DE CALIBRACIÓN)
Fuente: UT MOVIUS 2022

Como unidades menos sensibles del área de modelación se encuentran la Formación Bogotá (Tpb) y Coluvión (Qdp).

Sobre la variación a la precipitación como un análisis de sensibilidad es pertinente aclarar que:

- El balance hídrico realizado en el Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) indica que las unidades hidrogeológicas en las cuales se construirán las obras del Metro no presentan recarga por precipitación, lo cual está asociado a que las superficies del área de estudio son duras e impermeables (no permite infiltración) y, adicionalmente, a que en la mayor parte del recorrido de la línea del metro, a que los materiales de las unidades existentes tienen una permeabilidad muy baja. Esta situación es independiente del nivel de precipitación que pueda tenerse en el sistema.
- Los resultados del modelo (ver numeral de simulación y escenarios) indican que no existirán flujos de infiltración hacia las obras del sistema, por lo cual no existirá ninguna afectación al componente hidrogeológico, manteniéndose las condiciones actuales del sistema en términos de nivel freático y dinámica de intercambio. Esto está asociado en primera instancia a que en la mayor parte del recorrido las obras están localizadas en la formación Sabana, la cual presenta una conductividad hidráulica muy baja (caracterizada a partir de una abundante campaña de exploración geotécnica) que no permite flujo de agua subterránea significativos y, en segunda instancia a que las obras (túnel, estaciones, pozos) fueron diseñadas de manera que cualquier flujo de infiltración hacia el interior de las mismas sea inviable.

Simulaciones y escenarios

Los ejercicios de modelación se han orientado hacia un enfoque que involucra simulaciones en condición estacionaria representando las siguientes condiciones:

- Condición actual
- Condición de operación

Tabla 253. Escenarios de simulación propuestos.

Esc. de Simul.	Condición hidrológica	Niveles en el canal salitre	Configuración del proyecto
1	Recarga por infiltración desde cerros Orientales, estimada en 83 mm.	Niveles medios para los sistemas, definidos conforme la información de referencia disponible en los simulaciones desarrolladas por INGETEC para el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado vigente de Bogotá y el caudal medio de 2,86 m^3/s para el canal Salitre se definió en el desarrollo del EIA (Ver numeral 5.2.2.1.14 Caracterización hidrológica).	Condición actual (línea base)
2			Condición con proyecto - operación Línea subterránea estaciones y pozos

Fuente: UT MOVIUS 2022

El escenario en condición actual permite establecer el punto de referencia para la valoración de cambios en la dinámica del sistema. El escenario en condición proyectada (línea subterránea del metro, pozos y túneles) está orientado a la valoración de la influencia de las obras en términos de abatimientos en los niveles freáticos, y variación en la dinámica del sistema.

Los archivos de modelación (MODFLOW) asociados a los escenarios antes considerados se presentan en el Anexo 5.2 - 9.1.

Análisis de la dinámica hidrogeológica

A continuación se presentan los flujos de intercambio asociados al dominio de modelación, estos consideran los escenarios de valoración 1 y 2 presentados en el numeral anterior (condición actual y condición de operación), identificando los procesos de intercambio de aguas subterráneas del sistema entre las unidades hidrogeológicas y los sistemas hídricos presentes e infraestructura del proyecto.

En el área de estudio la unidades que tienen presencia son la formación Sabana (Qta) y complejo Conos (Qcc) unidades sobre la cuales se desarrolla la infraestructura del proyecto (línea subterráneas, estaciones y pozos), y en la zona de los cerros orientales la formación Bogotá (Tpb) y Coluvión (Qdp). De manera directa la unidad que presenta conexión hidráulica con los sistemas de agua superficial es la formación Sabana, sistemas sobre el cual se desarrolla el canal Salitre que recibe aportes de dicha unidad.

Dinámica de intercambio

En la Tabla 254 se muestran los caudales de intercambio para la condición actual y condición de operación.

Los resultados de los intercambios posicionan a las fuentes de agua superficial como puntos de salida con un gradiente de flujo que sigue la conformación topográfica del sistema, cuyo drenaje natural está orientado hacia el Canal Salitre. Los resultados de los intercambios indican una entrada total a las unidades hidrogeológicas de 11,8 l/s, proveniente de la recarga por infiltración desde los cerros Orientales. Por su parte las unidades hidrogeológicas aportan al canal Salitre 11,8 l/s, caudal proveniente de la recarga por infiltración en los cerros Orientales.

En el caso de la condición de operación, la dinámica de intercambio del sistema no presenta modificación alguna en las tasas de caudal, con una caudal de infiltración a la línea subterránea de 0,0 l/s adoptando una conductividad hidráulica para el concreto de $1X10^{-12}$ m/s en los diferentes elementos que componen el sistema.

Tabla 254. Intercambios para condición actual y operación.

	Aporte hacia las unidades hidrogeológicas (entradas) l/s			Aporte desde las unidades hidrogeológicas (salidas) l/s		
Escenario	Recarga desde cerros Orientales (asociada principalmente a recarga por infiltración)	Canal salitre	Total	Canal salitre	Túnel	Total
1.Actual	11,78	0,00	11,78	11,78	NA	11,78
2.Operación	11,78	0,00	11,78	11,78	0,00	11,78
DELTA (1-2)	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00

Fuente: UT MOVIUS 2022

Análisis de niveles de flujo

Con el objetivo de establecer el nivel de influencia de las obras en cuanto a variación del nivel freático, se ha estimado en referencia a la condición actual el abatimiento que se tendría con la implementación del proyecto incluyendo pozos y estaciones.

En concordancia con los resultados de las dinámicas de intercambio del sistema los análisis de los niveles flujo producto de la conformación del proyecto (escenario de operación) no muestran afectación alguna sobre la superficie freática, manteniéndose la condición actual del sistema, situación que resulta acorde con el proceso constructivo y sistema de impermeabilización propuesto para las obras.

En la Figura 420 y Figura 421 se presenta (a manera de ejemplo) una sección longitudinal E-O (que corta el trazado del túnel - en tres sectores particulares, 1. Zona de complejo de conos, 2. Transición de complejo de conos a formación sabana y 3 Formación Sabana) para la condición actual y en operación (con proyecto) - desde los cerros orientales hasta el canal Salitre (Ver Figura 422), en conjunto con las direcciones de flujo del sistema. Los resultados de la modelación no muestran ningún tipo de afectación sobre la superficie freática ni distorsión en las direcciones de flujo, con un gradiente que sigue la conformación topográfica del sistema, posicionando a las fuentes de aguas superficiales como puntos de drenaje.

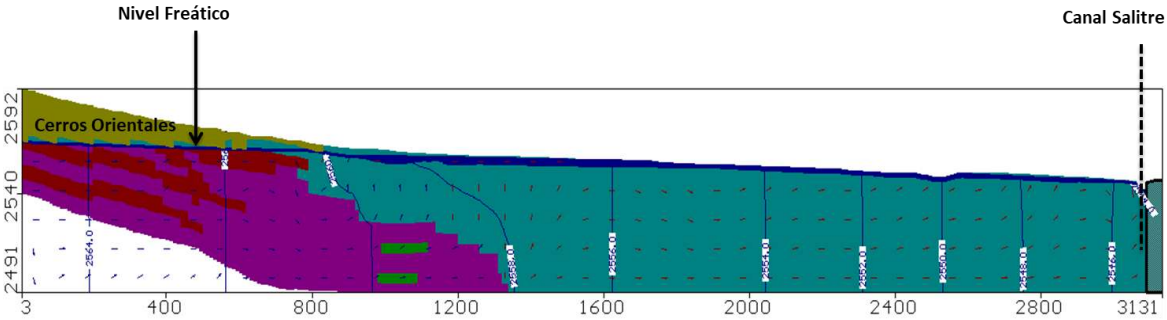


Figura 420. Sección Longitudinal - escenario actual, Columna 70 del modelo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

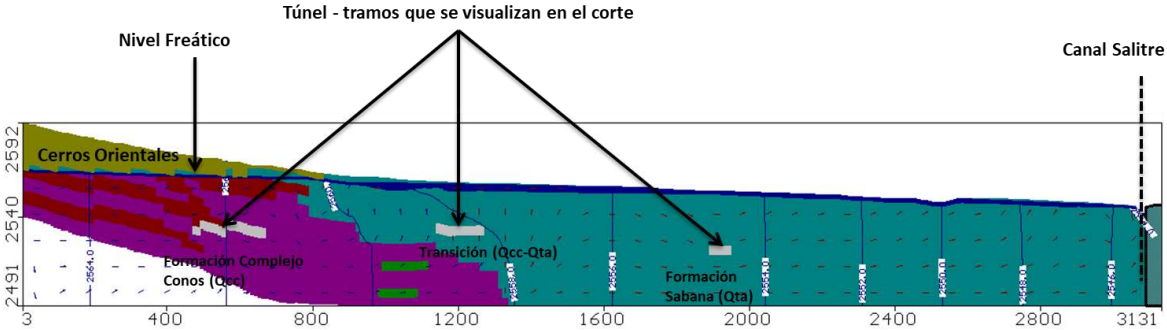


Figura 421. Sección longitudinal - escenario de operación (con proyecto), Columna 70 del modelo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

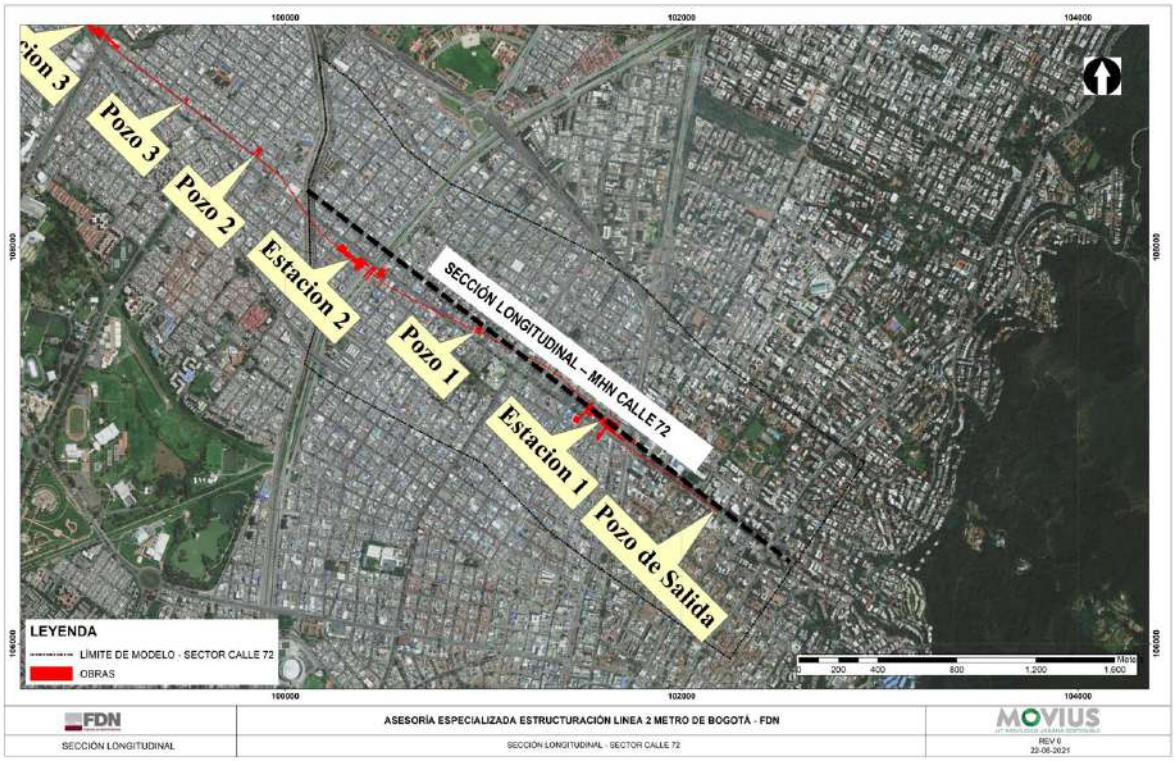


Figura 422. Ubicación en planta sección longitudinal - Sector Calle 72 , Columna 70 del modelo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Direcciones de flujo

El gradiente en la zona de flujo va de manera generalizada desde los cerros Orientales hacia el río Bogotá, siguiendo la conformación topográfica del terreno (siendo los cerros orientales el sector donde se da la mayor parte de la recarga por infiltración); dentro del área de análisis sobre la carrera 30 pasa el canal Salitre, punto de drenaje para las unidades geológicas presentes en el tramo de interés. La dinámica particular de intercambio del canal Salitre se da con la formación Sabana (Qta), unidad sobre la cual se posiciona, constituyéndose en un sistema ganador (dada la configuración del gradiente de flujo).

El gradiente de flujo identificado producto de la modelación (ver Figura 423) representa de manera directa la tendencia en el gradiente de flujo caracterizada a partir de la información piezométrica, esto si se tiene en cuenta que el modelo fué calibrado a partir de esta información y que los indicadores de bondad de ajuste muestran una adecuada correlación entre los nivel observados y calculados.

Cuando entra en operación el proyecto no se identifica distorsión en las direcciones de flujo, manteniéndose la misma configuración que en el escenario en condición actual, situación que resulta acorde con el resultado de las dinámicas de intercambio y análisis de niveles freáticos.

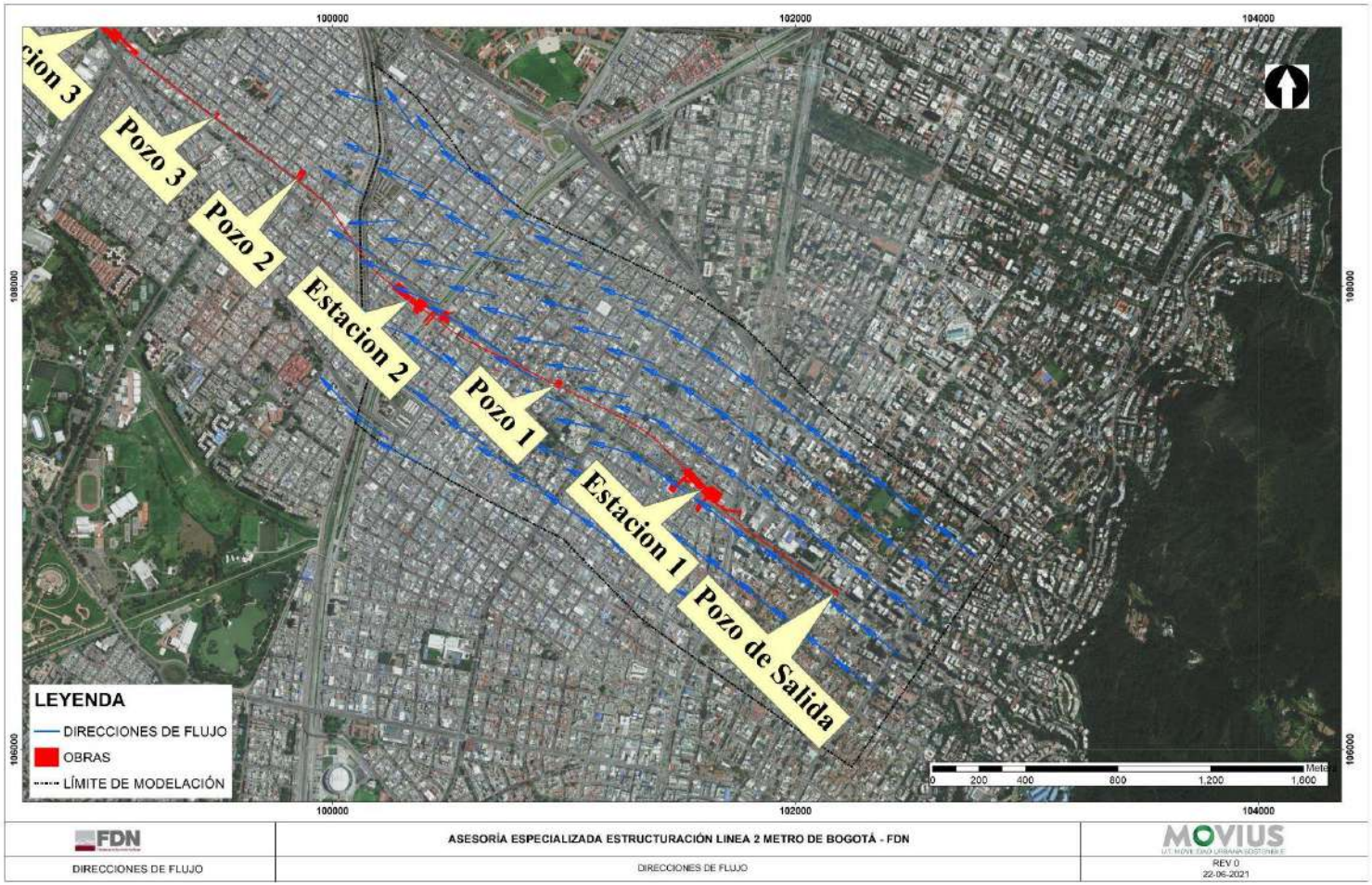


Figura 423. Direcciones de flujo en planta (condición actual y de operación) - Zona Calle 72.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Conclusiones de la modelación numérica

- A partir del Modelo Hidrogeológico Conceptual realizado se desarrolló un modelo hidrogeológico numérico calibrado que permite simular el comportamiento del sistema de aguas subterráneas de la zona de estudio para una condición estacionaria; haciendo uso de este modelo puede simularse la dinámica hidrogeológica asociada a las intervenciones previstas en la zona (construcción L2MB, con estaciones y pozos)

- En total se cuenta con 12 puntos de observación distribuidos en la zona de interés, cuyos rangos de instrumentación son variables en el periodo comprendido entre octubre de 2021 y junio de 2022. De estos 17 puntos de observación 11 puntos (L2MB-TUN-PT-04, L2MB-EST1-PT-01, L2MB-EST1-PT-02, L2MB-TUN-PT-01, L2MB-TUN-PT-05, L2MB-DEP-PT-03, L2MB-TUN-PT-06, L2MB-TUN-PT-08, L2MB-TUN-PT-10, L2MB-TUN-PT-11 y L2MB-TUN-PT-16) presentan un registro que permite caracterizar un periodo de lluvia y estiaje; para los puntos antes señalados las diferencias promedio en el nivel piezométrico entre épocas hidrológicas no superan los 0,8 m, lo cual es indicativo de la condición de estacionalidad del nivel freático a lo largo del área de interés. Por su parte la distribución de los registros permite caracterizar el nivel freático del sistema a lo largo del dominio de modelación, caracterizando un nivel de agua superficial sobre la formación Sabana (con un nivel somero a una profundidad promedio de 1,90 m en referencia a la superficie del terreno), que aumenta en profundidad hacia los cerros Orientales, una vez se da el paso a la formación complejo de conos (Qcc), con un nivel que alcanza en la perforación L2MB-TUN-PT-04 12,7 m de profundidad, perforación que se ubica al inicio del trazado de la línea del metro.

- El proceso de calibración se ejecutó de forma automática, utilizando la rutina de estimación paramétrica disponible en el ModFlow (PEST), esto bajo una condición estacionaria (dada la poca fluctuación en los niveles freáticos). Dada la ausencia de recarga por infiltración para el sistema (producto de los análisis hidrológicos desarrollados), el ejercicio de calibración considera, de manera particular,, además de la estimación de parámetros hidráulicos del sistema (conductividad hidráulica) un proceso de recarga en el límite este que permite simular el gradiente de flujo que se evidencia en los registros piezométricos. Los indicadores de ajuste logrados tras la calibración del sistema corresponden a un MAE de 0,93 m y un RMSE de 1,30 m, indicadores que sumados en conjunto con la adecuada representación de los niveles observados son indicativos de un proceso de calibración exitoso.

- Los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad desarrollado utilizando el MAE como indicador, muestran a las conductividades de la formación depósito relleno Antrópico (Qan) y formación Sabana (Qta) como los parámetros a los que los resultados del modelo son más sensibles al presentar los niveles de agua simulados la mayor movilidad al variar dichos parámetros; por su parte las conductividades de la Formación Bogotá (Tpb) y de la formación Coluvión (Qdp) resultan ser los parámetros a los que los resultados del modelo son menos sensibles.

- Se desarrollaron dos escenarios de simulación en régimen estacionario (para condición actual y de operación), permitiendo la valoración en condición media anual de las dinámicas de intercambio del sistema, así como de potenciales cambios en la superficie freática.

Análisis de dinámica de intercambio.

- Los resultados de la modelación, tras la entrada de operación de la línea subterránea, en conjunto con estaciones y pozos, no reflejan un cambio en la dinámica de intercambio del sistema; con un flujo que sigue la conformación topográfica del terreno descargando en las fuentes de agua superficial (desde los cerros Orientales hasta el canal Salitre). Las tasas de aporte desde las unidades hidrogeológicas hacia el canal Salitre corresponden a 11,78 l/s, caudal proveniente de la recarga en los cerros Orientales, dinámica que se mantiene una vez entra en operación la línea subterránea del Metro con sus estaciones y pozos.

Análisis de niveles de flujo

- En el caso de los niveles freáticos, los resultados de la modelación (al igual que en la dinámica de intercambio) tras la entrada en operación del sistema no presentan afectación sobre la superficie freática, producto de las condiciones de muy baja permeabilidad del revestimiento en el túnel, estaciones y pozos.

Análisis de direcciones de flujo

- Tras la entrada en operación del proyecto no se identifica (al igual que el caso de la dinámica de intercambio del sistema y análisis de niveles freáticos) cambios en las direcciones de flujo, el patrón generalizado sigue la conformación topográfica del sistema, con un gradiente que va desde las zonas altas hasta las zonas bajas.

5.2.2.5.13.3. Conclusiones generales de la modelación

- La implementación de los modelos en las dos zonas de interes particular (sector del humedal Juan Amarillo, localizado entre el K8+000 y K12+500, y el sector de inicio del trazado de la línea, localizado en la Av. Calle 72 entre el K0+000 y K2+500) y representativas del resto del trazado, dada la configuración geológica del sistema, caracterizan de manera adecuada el movimiento y dinámica entre las unidades hidrogeológicas y fuentes de agua superficial; aspecto evidenciado en el proceso de calibración, con una superficie freática simulada que coindice con el nivel reportado en los puntos de observación disponibles.

- Producto de la modelación numérica desarrollada sobre la base del MHC constituido para el AI, se pudo establecer de manera cuantitativa los cambios en la dinámica de intercambio del sistema entre la condición actual y condición de operación (que considera el túnel las estaciones y pozos), así como los potenciales abatimientos en la superficie freática tras el desarrollo de las obras; resultados que se resumen a continuación.

    - Modificación en la dinámica de intercambio: Las valoraciones desarrolladas a lo largo de la línea subterránea incluyendo estaciones y pozos, permitieron establecer que tras la conformación de la obras no se produce afectación alguna en referencia a la condición actual del sistema; las tasas de intercambio entre las unidades geológicas y las fuentes de agua superficial no presentan fluctuación una vez entra en operación la infraestructura.

    - Modificación en la superficie freática: En conjunto con los resultados de la dinámica de intercambio del sistema los resultados de la modelación no reflejan fluctuación en la superficie freática una vez entra en operación el proyecto.

  - Para el caso particular del humedal Juan Amarillo y demás sistemas de agua superficial los resultados de la modelación permiten establecer la no afectación a dichos sistemas, manteniéndose las condiciones actuales en términos de dinámica de intercambio y posición de los niveles freáticos, esto está asociado a las características de baja permeabilidad de la formación sabana, por la que discurre la mayor parte de la línea del metro, así como a que las obras proyectadas (túneles, estaciones y pozos) fueron diseñadas de manera que se evite cualquier posible flujo de infiltración hacia su interior.

- Durante la etapa de construcción, a medida que se avanza en el proceso de excavación se va conformando el sistema de revestimiento del túnel y en el frente de excavación dada la tecnología utilizada (EPB) se mantiene la presión sobre el frente; estos dos elementos particulares del sistema constructivo están encaminados a evitar la ocurrencia de infiltraciones. En el caso de las estaciones y pozos, en el proceso constructivo se desarrolla previamente a la excavación los muros pantalla que conforman la estructura con sus respectivos sellos entre juntas; evitando infiltraciones al sistema. En referencia a la condición de operación la etapa de construcción no presenta cambios en el desarrollo del esquema de modelación, en la medida que aplican las mismas condiciones de revestimientos (dovelas de concreto en el túnel y muros pantalla en la estaciones y pozos, con su respectivos sellos en las juntas) con características básicamente impermeables, además que el trazado en su mayoría se desarrolla sobre la formación Sabana (unidad de baja permeabilidad), por lo cual en dicha etapa se tiene el mismo comportamiento de no infiltración y no abatimiento de niveles freáticos.

- El método constructivo utilizado en el túnel, estaciones y pozos y las condiciones de baja permeabilidad de la formación Sabana, unidad sobre la cual se desarrolla la mayoría del trazado, limitan el potencial de infiltración -haciéndolo prácticamente nulo- desde las unidades geológicas hacia la infraestructura del proyecto durante las fases de construcción y operación del mismo, condición que es validada con los resultados de la modelación numérica en donde no se identifican caudales de infiltración hacia el sistema. Los resultados de modelación muestran que dentro del área de influencia del proyecto no se presentan descensos de niveles estáticos de agua subterránea que pudieran dar lugar a posibles procesos de subsidencia (no hay zonas de especial interés por descenso de niveles estáticos de agua subterránea).

- Los resultados de la modelación para la etapa de operación (que resultan equivalentes a la etapa de construcción dado el sistema constructivo utilizado en el túnel, estaciones y pozos), en donde el modelo permite simular el comportamiento del recurso hídrico subterráneo y con ello determinar la posición actual del nivel piezométrico y cómo este varía con el desarrollo del proyecto, no muestra impacto en la dinámica de intercambio del sistema o en la superficie freática (manteniéndose la condición actual), por tanto no se tendrán impactos en la disponibilidad del recurso para las concesiones y demás usos. A pesar que los resultados de la modelación indican que no se presentan caudales de infiltración al sistema ni afectación en la superficie freática, se proyecta un plan seguimiento y monitoreo a los niveles freáticos (Ver numeral 11.2.5) durante las distintas fases del proyecto, dando continuidad a los puntos de monitoreo y seguimiento existentes (54 puntos) y proponiendo puntos nuevos en los sitios de interés particular, además puntos que durante la fase de construcción/operación sean requeridos por el contratista a su discreción/necesidad particular.

- Producto de las valoraciones y ejercicios de simulación adelantados se puede establecer que el desarrollo de la L2MB (túnel, estaciones y pozos) no genera afectación alguna sobre el componente hidrogeológico, se mantienen las condiciones actuales del sistema de agua subterránea sin cambios en la superficie y ni en la disponibilidad del recurso; esto considerando que no se prevén flujos de infiltración hacia la infraestructura del proyecto durante las distintas fases de ejecución y posterior operación.
  Esta no afectación está asociada en primera instancia a que en la mayor parte del recorrido de la línea el trazado se desarrolla por la unidad Sábana, la cual presenta características de muy baja permeabilidad (las cuales llevan a que los flujos en su interior sean muy poco significativos); en segunda instancia, la no afectación al componente de aguas subterráneas está asociada a que las obras proyectadas (y en particular sus revestimientos) fueron diseñadas de manera que se eviten los flujos de infiltración hacia su interior.

De la misma forma en que las características de los materiales por los que discurre la línea y las de las obras eviten afectaciones a las aguas subterráneas, dichas características evitan implicancias del medio hacia el proyecto en la medida que no se esperan flujos dirigidos hacia las obras (de infiltración).

- Es importante precisar que en el caso de los cuerpos de agua superficial (que incluye los humedales) la alimentación a estos sistemas se da manera superficial (por escorrentía producto de eventos de precipitación) recibiendo aportes marginales provenientes de las aguas subterráneas, respecto a este tema se debe ratificar la naturaleza de la unidad geológica sobre la cual se desarrolla la mayoría del proyecto (K0+600 - hasta el final del trazado), formación Sabana, constituida por material arcilloso de muy baja permeabilidad que restringe el movimiento del agua en el subsuelo.

- A partir del MHC y del MHN se concluye que no existirá afectación al componente de aguas subterráneas por parte del proyecto. El plan de monitoreo y seguimiento al componente de aguas subterráneas permitirá corroborar, durante construcción y operación, esta no afectación(tal como se señala en el capítulo 11.2.5. Seguimiento y monitoreo a niveles freáticos). Vale la pena subrayar también que como parte del PMA está previsto que el modelo hidrogeológico numérico desarrollado se vaya actualizando conforme al avance del proyecto y los resultados de los monitoreos (ver capítulo 10.1.3.5. Programa de manejo de obras subterráneas).

5.2.2.5.14. Modelo Hidroquímico - Calidad del agua subterránea

La planeación y ejecución del muestreo, la cadena de custodia y los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras tomadas en campo, fueron desarrolladas y ejecutadas por Ambienciq Ingenieros S.A.S., laboratorio debidamente acreditado mediante la Resolución 1410 de 2021, "*por la cual se modifican las Resoluciones 1329 del 27 de noviembre de 2020 y 0294 del 12 de abril de 2021, en el sentido de adicionar variables al alcance acreditado de la sociedad Ambienciq Ingenieros S.A.S., y se toman otras determinaciones*".

La toma de muestras puntuales fue realizada durante los días 02, 03, 04, 06, 07, 08, 09, 10, 13, 14 y 15 de junio del 2022 por el personal de Ambienciq Ingenieros S.A.S. En los cincuenta y seis (56) puntos de monitoreo se realizaron las mediciones de los parámetros in situ correspondientes a: nivel freático, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, potencial REDOX, pH y temperatura; mientras que los parámetros analizados en el laboratorio hacen referencia a acidez, alcalinidad, bicarbonatos, carbonatos, cloruros, DBO5, DQO, dureza cálcica, dureza total, fósforo total, grasas y aceites, hidrocarburos, nitrato, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sulfatos, los metales: calcio total, hierro total, magnesio total, potasio total y sodio total. Además, se determinó el análisis de los parámetros microbiológicos de coliformes totales, coliformes termotolerantes (fecales) y Escherichia coli.

Para el análisis del parámetro nitrógeno total Ambienciq Ingenieros S.A.S., subcontrató al laboratorio AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S. identificado con NIT 800.070.853-7 el cual cuenta con acreditación del IDEAM para el análisis de dicho parámetro, mediante la Resolución 0955 del 18 de mayo de 2022.

Los resultados obtenidos se compararon frente a los límites establecidos en el Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Libro 2 "Régimen Reglamentario del Sector Ambiente", Parte 2 "Reglamentaciones", Título 3 "Aguas No Marítimas", Capítulo 3 "Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos", Sección 9 "Disposiciones Transitorias", Artículo 2.2.3.3.9.3 (criterios de calidad para consumo humano y doméstico), Artículo 2.2.3.3.9.4 (criterios de calidad para consumo humano y doméstico solo desinfección), Artículo 2.2.3.3.9.5 (criterios de calidad para uso agrícola), Artículo 2.2.3.3.9.6 (criterios de calidad para uso pecuario), Artículo 2.2.3.3.9.7 (criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto primario), Artículo 2.2.3.3.9.8 (criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto secundario) y Artículo 2.2.3.3.9.10 (criterios de calidad para preservación de flora y fauna), que establecen los criterios de calidad basados respectivamente en los Artículos 38, 39, 40, 41, 42, 43 y 45 del Decreto 1594 del 26 de junio de 1984 por el cual se reglamentan los usos del agua y residuos líquidos, modificado por el Decreto 703 de 2018 por el que se efectúan unos ajustes al Decreto 1076 de 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2015).

5.2.2.5.14.1. Descripción y Ubicación de puntos de muestreo

A continuación en la Tabla 255 y Figura 424 se especifican las coordenadas de los nueve puntos de muestreo de calidad de agua subterránea en los cuales se desarrollo la toma de muestras:

Tabla 255. Coordenadas de puntos de monitoreo

ID	Punto de Monitoreo	Fecha de monitoreo	No. Muestra	Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
				Norte	Este
SUB-01	L2MB-TUN-PT-04	15/06/2022	42566	102225,85	106643,51
SUB-02	L2MB-TUN-PT-01	15/06/2022	42567	102188,73	106671,87
SUB-03	L2MB-EST1-PT-01	15/06/2022	42568	102131,38	106712,29
SUB-04	L2MB-EST1-PT-02	*	*	102001,94	106799,72
SUB-05	L2MB-DEP-PT-01	15/06/2022	42569	101925,51	106852,56
SUB-06	L2MB-TUN-PT-05	15/06/2022	42570	101923,74	106874,91
SUB-07	L2MB-DEP-PT-03	02/06/2022	42031	101662,81	107041,40
SUB-08	L2MB-TUN-PT-06	02/06/2022	42030	101490,42	107159,42
SUB-09	L2MB-TUN-PT-08	02/06/2022	42029	101362,19	107411,30
SUB-10	L2MB-TUN-PT-10	02/06/2022	42028	101117,32	107411,27
SUB-11	L2MB-TUN-PT-11	14/06/2022	42578	100988,56	107565,74
SUB-12	L2MB-TUN-PT-02	14/06/2022	42577	100337,58	107982,04

ID	Punto de Monitoreo	Fecha de monitoreo	No. Muestra	Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
				Norte	Este
SUB-13	L2MB-TUN-PT-16	14/06/2022	42576	100144,04	108129,60
SUB-14	L2MB-TUN-PT-20	02/06/2022	42027	99762,39	108433,53
SUB-15	L2MB-TUN-PT-22	14/06/2022	42575	99511,78	108636,28
SUB-16	L2MB-EST3-PT-01	13/06/2022	42397	99065,19	108956,73
SUB-17	L2MB-TUN-PT-29	13/06/2022	42396	98705,37	109417,41
SUB-18	L2MB-TUN-PT-31	13/06/2022	42395	98518,17	109604,32
SUB-19	L2MB-TUN-PT-33	13/06/2022	42394	98243,41	109854,19
SUB-20	L2MB-TUN-PT-35	02/06/2022	42026	98216,98	109898,86
SUB-21	L2MB-EST4-PT-01	13/06/2022	42393	98016,85	110090,94
SUB-22	L2MB-TUN-PT-39	10/06/2022	42392	97834,44	110220,18
SUB-23	L2MB-TUN-PT-42	10/06/2022	42391	97764,35	110281,51
SUB-24	L2MB-TUN-PT-40	10/06/2022	42390	97577,47	110433,55
SUB-25	L2MB-TUN-PT-43	10/06/2022	42389	97454,32	110547,62
SUB-26	L2MB-TUN-PT-45	10/06/2022	42388	97253,07	110764,64
SUB-27	L2MB-EST5-PT-01	*	*	97151,67	110784,45
SUB-28	L2MB-TUN-PT-47	09/06/2022	42387	97064,06	111029,17
SUB-29	L2MB-TUN-PT-49	09/06/2022	42386	97058,18	111216,81
SUB-30	L2MB-TUN-PT-51	09/06/2022	42385	97135,16	111427,98
SUB-31	L2MB-TUN-PT-52	09/06/2022	42384	97337,18	111616,29
SUB-32	L2MB-EST6-PT-03	02/06/2022	42025	97602,95	111814,20
SUB-33	L2MB-TUN-PT-55	09/06/2022	42383	97602,83	112009,71
SUB-34	L2MB-TUN-PT-58	08/06/2022	42368	97772,84	112230,56
SUB-35	L2MB-TUN-PT-59	08/06/2022	42367	97839,10	112307,81
SUB-36	L2MB-TUN-PT-57	08/06/2022	42366	98722,63	113089,09

ID	Punto de Monitoreo	Fecha de monitoreo	No. Muestra	Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
				Norte	Este
SUB-37	L2MB-TUN-PT-62	08/06/2022	42365	98332,27	113231,46
SUB-38	L2MB-TUN-PT-64	08/06/2022	42364	98338,48	113296,05
SUB-39	L2MB-TUN-PT-66	03/06/2022	42042	98242,41	113473,40
SUB-40	L2MB-EST8-PT01	03/06/2022	42041	98212,71	113561,25
SUB-41	L2MB-EST8-PT-02	08/06/2022	42363	98135,12	113652,88
SUB-42	L2MB-TUN-PT-68	08/06/2022	42362	97979,62	113742,52
SUB-43	L2MB-TUN-PT-70	04/06/2022	42167	97749,38	114027,43
SUB-44	L2MB-TUN-PT-72	06/06/2022	42374	97662,62	114179,16
SUB-45	L2MB-TUN-PT-74	*	*	97592,00	114381,05
SUB-46	L2MB-TUN-PT-76	06/06/2022	42378	97311,17	114615,49
SUB-47	L2MB-TUN-PT-78	06/06/2022	42377	97172,19	114839,37
SUB-48	L2MB-TUN-PT-81	07/06/2022	42369	96975,77	114906,73
SUB-49	L2MB-TUN-PT-79	06/06/2022	42375	97059,12	115073,82
SUB-50	L2MB-EST9-PT-01	06/06/2022	42376	97044,10	115223,62
SUB-51	L2MB-TUN-PT-83	07/06/2022	42370	96900,97	115993,87
SUB-52	L2MB-TUN-PT-85	07/06/2022	42371	96860,48	116347,14
SUB-53	L2MB-TUN-PT-87	07/06/2022	42372	96599,67	117303,69
SUB-54	L2MB-TUN-PT-88	*	*	96433,69	117385,48
SUB-55	L2MB-ELE-PT-02	*	*	96048,94	117511,40
SUB-56	L2MB-PT-PT-02	07/06/2022	42373	95528,48	117873,65

* En estos puntos no se pudieron tomar la muestra de agua dado que corresponden a puntos secos.

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

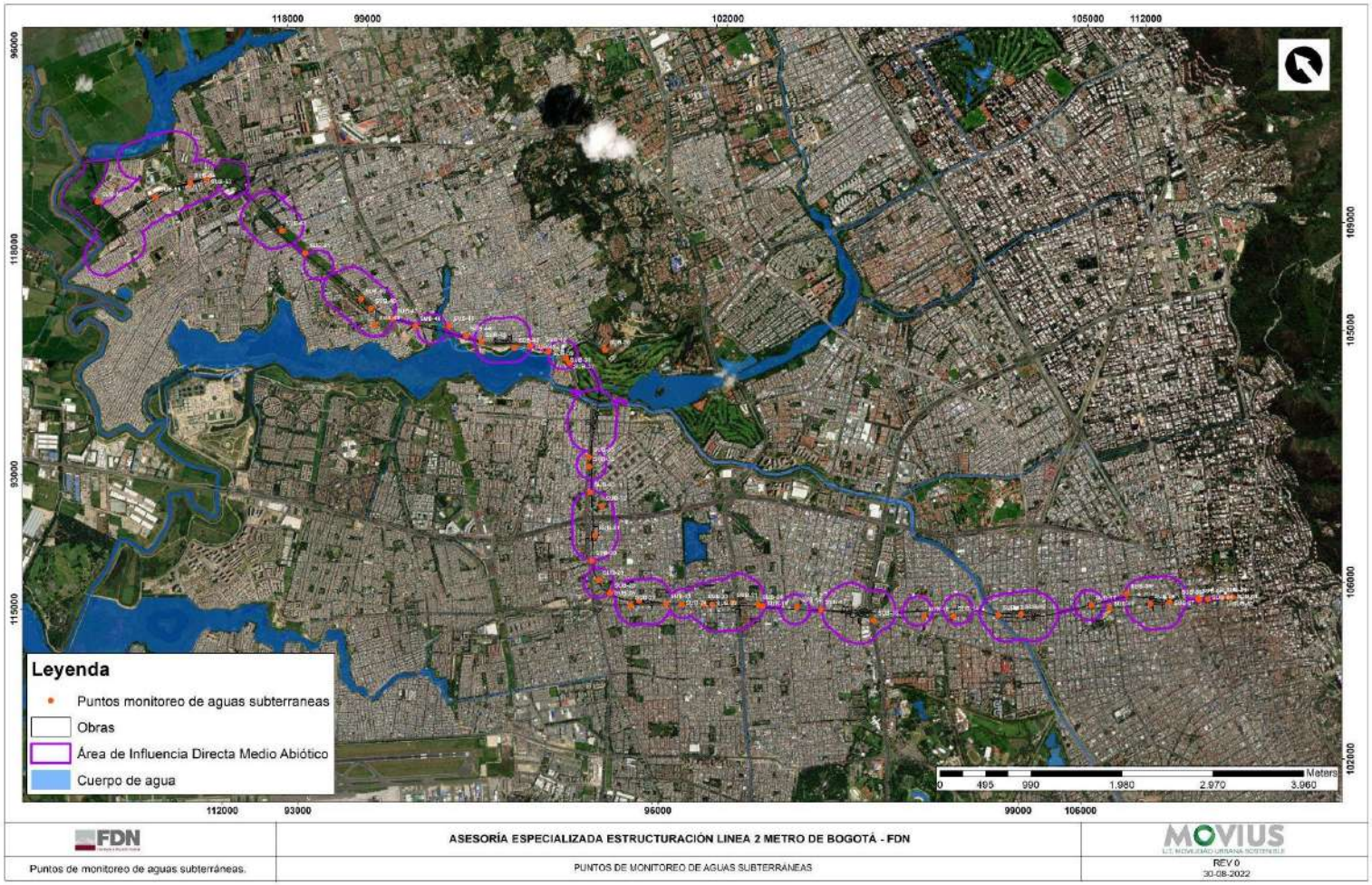


Figura 424. Ubicación de puntos de monitoreo de aguas subterráneas.
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Tabla 256. Descripción de los puntos de monitoreo.

<table>
<tr><th colspan="7">Puntos de muestreo</th></tr>
<tr><th rowspan="2">ID</th><th rowspan="2">Nombre</th><th rowspan="2">Fecha de muestreo</th><th rowspan="2">Tipo de Agua</th><th rowspan="2">Muestra</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">SUB-01</td><td rowspan="4">L2MB-TUN-PT-04</td><td rowspan="4">2022-06-15 09:00</td><td rowspan="4">Subterránea</td><td rowspan="4">42566</td><td>4°39'22,60"</td><td>74°03'26,94"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>102.225,852</td><td>106.643,51</td></tr>
<tr><td colspan="5" rowspan="2">  </td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
<tr><td colspan="2">Punto de monitoreo correspondiente a un piezómetro ubicado en la Calle 72 con Carrera 9, sobre el separador vehicular rodeado de vegetación y diagonal al Centro Comercial Avenida Chile.

La muestra de agua es inolora, de color amarillento y no se evidencian sólidos ni iridiscencias en su contenido.

Nivel freático: 12,47 m Altitud: 2650 m.s.n.m</td></tr>
<tr><th rowspan="2">ID</th><th rowspan="2">Nombre</th><th rowspan="2">Fecha de muestreo</th><th rowspan="2">Tipo de Agua</th><th rowspan="2">Muestra</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">SUB-02</td><td rowspan="4">L2MB-TUN-PT-01</td><td rowspan="4">2022-06-15 09:00</td><td rowspan="4">Subterránea</td><td rowspan="4">42567</td><td>4°39'23,52"</td><td>74°03'28,14"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>102.188,73</td><td>106.671,87</td></tr>
<tr><td colspan="5" rowspan="2"> 
</td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
<tr><td colspan="2">Punto de muestreo de agua subterránea localizado sobre el separador vehicular de la Calle 72 con Carrera 10 comprendido entre el edificio de Liberty Seguros y el Centro Comercial Avenida Chile.

La muestra de agua es turbia e inolora, presenta color amarillo y no se evidencian sólidos ni iridiscencias.

Nivel freático: 9,80 m Altitud: 2650 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><th rowspan="2">ID</th><th rowspan="2">Nombre</th><th rowspan="2">Fecha de muestreo</th><th rowspan="2">Tipo de Agua</th><th rowspan="2">Muestra</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="8">Puntos de muestreo</th></tr>
<tr><td rowspan="4">SUB-03</td><td rowspan="4">L2MB-EST1-PT- 01</td><td rowspan="4">2022-06-15 10:45</td><td rowspan="4">Subterránea</td><td rowspan="4">42568</td><td colspan="2">4°39'24,84"</td><td>74°03'30,00"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá</td></tr>
<tr><td colspan="2">Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td colspan="2">102.131,38</td><td>106.712,29</td></tr>
<tr><td colspan="5" rowspan="2">  </td><td colspan="3">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
<tr><td colspan="3">Este punto de monitoreo se encuentra localizado sobre el separador de la Avenida Chile con Carrera 10 frente a la Iglesia de la Porciúncula aledaña al Centro Comercial Avenida Chile.

La muestra de agua presenta turbiedad e iridiscencias, su color es entre grisáceo y marrón y no se percibe olor característico.

Nivel freático: 10,84 m Altitud: 2650 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><th rowspan="2">ID</th><th rowspan="2">Nombre</th><th rowspan="2">Fecha de muestreo</th><th rowspan="2">Tipo de Agua</th><th rowspan="2">Muestra</th><th colspan="3">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">SUB-05</td><td rowspan="4">L2MB-DEP-PT-01</td><td rowspan="4">2022-06-15 11:45</td><td rowspan="4">Subterránea</td><td rowspan="4">42569</td><td>4°39'29,40"</td><td>74°03'36,68"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>101.925,51</td><td>106.852,56</td></tr>
<tr><td colspan="5" rowspan="2">  </td><td colspan="3">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
<tr><td colspan="3">Punto de monitoreo correspondiente a piezómetro localizado sobre la zona verde del separador vehicular de la Avenida Chile entre la Carrera 11 y la Carrera 12 .

La muestra de agua es inolora, de color gris claro y sin presencia de sólidos ni iridiscencias.

Nivel freático: 9,0 m Altitud: 2650 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><th rowspan="2">ID</th><th rowspan="2">Nombre</th><th rowspan="2">Fecha de muestreo</th><th rowspan="2">Tipo de Agua</th><th rowspan="2">Muestra</th><th colspan="3">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="3">SUB-06</td><td rowspan="3">L2MB-TUN-PT-05</td><td rowspan="3">2022-06-13 15:40</td><td rowspan="3">Subterránea</td><td rowspan="3">42570</td><td>4°39'30,13"</td><td>74°03'36,74"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="7">Puntos de muestreo</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td colspan="5" rowspan="2"></td><td>101.923,74</td><td>106.874,91</td></tr>
<tr><td colspan="5" rowspan="2"> 
</td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
<tr><td colspan="2">Este piezómetro se encuentra ubicado sobre el andén peatonal de la Avenida Chile entre la Carrera 11 y la Carrera 12 a un costado de las instalaciones de la Universidad Pedagógica Nacional.

La muestra de agua es de color claro, se percibe olor a combustible (hidrocarburos) y se observan iridiscencias y trazas de grasas.

Nivel freático: 3,0 m Altitud: 2650 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ID</td><td rowspan="2">Nombre</td><td rowspan="2">Fecha de muestreo</td><td rowspan="2">Tipo de Agua</td><td rowspan="2">Muestra</td><td colspan="2">Coordenadas Geográficas</td></tr>
<tr><td>Latitud</td><td>Longitud</td></tr>
<tr><td rowspan="4">SUB-07</td><td rowspan="4">L2MB-DEP-PT-03</td><td rowspan="4">2022-06-02 16:00</td><td rowspan="4">Subterránea</td><td rowspan="4">42031</td><td>4°39'35,55"</td><td>74°03'45,20"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>101.662,81</td><td>107.041,40</td></tr>
<tr><td colspan="5" rowspan="2">  </td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
<tr><td colspan="2">Este punto de monitoreo de agua subterránea se encuentra localizado sobre la zona verde del separador de la Calle 72 con Carrera 20.

La muestra de agua se caracteriza por ser inodora y presenta color café.

Nivel freático: 2,44 m Altitud: 2555 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ID</td><td rowspan="2">Nombre</td><td rowspan="2">Fecha de muestreo</td><td rowspan="2">Tipo de Agua</td><td rowspan="2">Muestra</td><td colspan="2">Coordenadas Geográficas</td></tr>
<tr><td>Latitud</td><td>Longitud</td></tr>
<tr><td rowspan="3">SUB-08</td><td rowspan="3">L2MB-TUN-PT-06</td><td rowspan="3">2022-06-02 15:00</td><td rowspan="3">Subterránea</td><td rowspan="3">42030</td><td>4°39'39,39"</td><td>74°03'50,79"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="7">Puntos de muestreo</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>101.490,42</td><td>107.159,42</td></tr>
<tr><td colspan="5" rowspan="2">  </td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
<tr><td colspan="2">Punto de monitoreo localizado en una zona verde de la Calle 72 con Carrera 20B cercano a dos árboles y aproximadamente a 8m del semáforo del área.

El agua presenta coloración café, turbiedad y olor fétido.

Nivel freático: 1,20 m Altitud: 2555 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><th rowspan="2">ID</th><th rowspan="2">Nombre</th><th rowspan="2">Fecha de muestreo</th><th rowspan="2">Tipo de Agua</th><th rowspan="2">Muestra</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">SUB-09</td><td rowspan="4">L2MB-TUN-PT-08</td><td rowspan="4">2022-06-02 14:00</td><td rowspan="4">Subterránea</td><td rowspan="4">42029</td><td>4°39’47,59’’</td><td>74°03’54,95’’</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>101.362,19</td><td>107.411,30</td></tr>
<tr><td colspan="5" rowspan="2">  </td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
<tr><td colspan="2">El punto de monitoreo de agua subterránea corresponde a un piezómetro ubicado antes del semáforo de la Calle 72 con Carrera 21 sobre el separador de la doble vía, cerca de dos árboles.

La muestra de agua presenta color blancuzco y es inodora.

Nivel freático: 0,10 m Altitud: 2555 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><th rowspan="2">ID</th><th rowspan="2">Nombre</th><th rowspan="2">Fecha de muestreo</th><th rowspan="2">Tipo de Agua</th><th rowspan="2">Muestra</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">SUB-10</td><td rowspan="4">L2MB-TUN-PT-10</td><td rowspan="4">2022-06-02 13:00</td><td rowspan="4">Subterránea</td><td rowspan="4">42028</td><td>4°39’47,59’’</td><td>74°04’02,89’’</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>101.117,32</td><td>107.411,27</td></tr>
</table>

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se ubica sobre una zona verde del separador anterior al semáforo de la Calle 72 con Carrera 24. Cuenta con candado de seguridad y está cerca de tres árboles y un edificio nuevo.

El agua muestreada es de color amarillo y presenta un leve olor a materia orgánica.

Nivel freático: 2,29 m Altitud: 2555 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-11	L2MB-TUN-PT-11	2022-06-14 15:20	Subterránea	42578	4°39'52,62"	74°04'07,06"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					100.988,56	107.565,74



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo localizado en la Carrera 27A con Calle 72 sobre un andén peatonal en sentido oriente-occidente, aledaño a una iglesia.

La muestra de agua es inolora, de color amarillo translúcido y no se evidencian sólidos, turbiedad, ni iridiscencias.

Nivel freático: 0,74 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-12	L2MB-TUN-PT-02	2022-06-14 12:15	Subterránea	42577	4°40'06,17"	74°04'28,18"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					100.337,58	107.982,04

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se encuentra ubicado sobre el andén peatonal de la Calle 72 con Carrera 30 en sentido occidente-oriente colindante con el puente de la zona.

La muestra de agua es inolora, de color claro, presenta iridiscencias y no se evidencian sólidos.

Nivel freático: 2,64 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-13	L2MB-TUN-PT-16	2022-06-14 11:15	Subterránea	42576	4°40'10,97"	74°04'34,45"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					100.144,04	108.129,60



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo localizado a un costado del río Arzobispo a la altura de la Calle 72 en sentido occidente-oriente sobre una zona peatonal.

La muestra de agua es inolora, de color negro oscuro, con presencia de sólidos e iridiscencias.

Nivel freático: 1,44 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-14	L2MB-TUN-PT-20	2022-06-02 12:30	Subterránea	42027	4°40’20,86’’	74°04’46,83’’
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					99.762,39	108.433,53

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo de agua subterránea localizado en la zona verde que se encuentra sobre el andén de la Calle 72 antes de la Avenida 30, frente a una institución educativa.

El agua muestreada es inolora y presenta coloración café, alta turbidez y sólidos suspendidos.

Nivel freático: 1,07 m Altitud: 2555 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-15	L2MB-TUN-PT-22	2022-06-14 09:40	Subterránea	42575	4°40'27,46"	74°04'54,96"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					99.511,78	108.636,28



Descripción del punto de monitoreo

Este punto de monitoreo se encuentra sobre una zona verde del separador vehicular de la Calle 72 comprendido entre la Carrera 63 y la Carrera 64, en diagonal a una estación de policía.

La muestra de agua es inolora, de color grisáceo y se evidencian algunos sólidos, turbiedad e iridiscencias.

Nivel freático: 1,54 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-16	L2MB-EST3-PT-01	2022-06-13 15:30	Subterránea	42397	4°40'37,89"	74°05'09,44"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					99.065,19	108.956,73

Puntos de muestreo



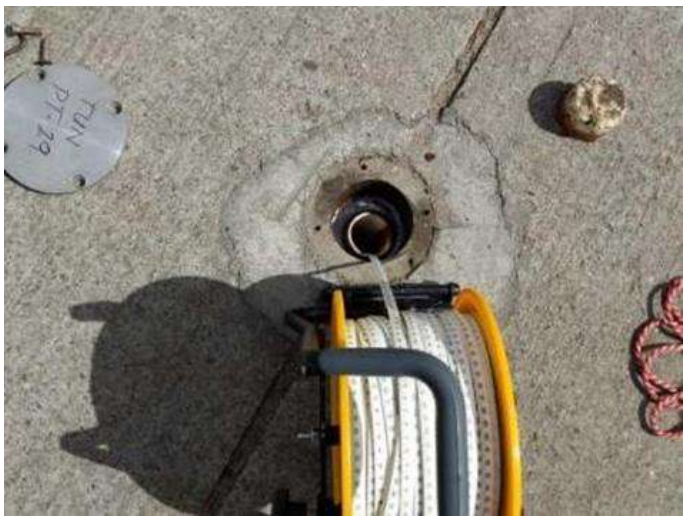
Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo está ubicado en la Avenida Carrera 68 con Calle 72, sobre la zona verde del separador vehicular aproximadamente a 10m del puente y aledaño a una estación de servicio Texaco.

La muestra de agua es clara, inolora, y no se evidencia contenido de sólidos ni iridiscencias.

Nivel freático: 1,47 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-17	L2MB-TUN-PT-29	2022-06-13 13:00	Subterránea	42396	4°40'52,88"	74°05'21,11"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					98.705,37	109.417,41



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo de agua subterránea ubicado sobre el separador de la Calle 72 con Carrera 69A en las inmediaciones de la zona comercial.

La muestra de agua es inolora, de color grisáceo y no se evidencian sólidos, turbiedad, ni iridiscencias.

Nivel freático: 1,40 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-18	L2MB-TUN-PT-31	2022-06-13 11:10	Subterránea	42395	4°40'58,96"	74°05'27,18"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					98.518,17	109.604,32

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

Este punto de monitoreo se encuentra ubicado sobre el andén de la Calle 72 entre la Carrera 69K y la Carrera 69M en una zona comercial donde se observa alto flujo de peatones.

El agua muestreada es inolora, presenta coloración grisácea, contenido leve de sólidos, sin iridiscencias y no se percibe olor característico.

Nivel freático: 1,17 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-19	L2MB-TUN-PT-33	2022-06-13 09:35	Subterránea	42394	4°41'07,09"	74°05'36,09"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					98.243,41	109.854,19



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo de agua subterránea localizado sobre el andén peatonal embaldosinado aledaño al local comercial ONLY sobre la vía Carrera 70G.

La muestra de agua es inolora, de color amarillo translúcido y no se evidencian sólidos, turbiedad, ni iridiscencias.

Nivel freático: 1,53 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-20	L2MB-TUN-PT-35	2022-06-02 11:30	Subterránea	42026	4°41'08,55"	74°05'36,95''
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					98.216,98	109.898,86

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se encuentra ubicado en la Calle 72 con Carrera 70C sobre un andén, el piezómetro tiene candado de seguridad y a su alrededor se evidencia agua lluvia.

La muestra de agua se caracteriza por ser inolora, presentar color amarillo y turbidez.

Nivel freático: 2,84 m Altitud: 2555 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-21	L2MB-EST4-PT-01	2022-06-13 08:30	Subterránea	42393	4°41'14,80"	74°05'43,44"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					98016,85	110090,94



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se encuentra ubicado debajo del puente de la Avenida Boyacá con Calle 72 sobre un andén peatonal.

El agua muestreada presenta color amarillo, ligera turbiedad, iridiscencias y no cuenta con olor característico.

Nivel freático: 2,59 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-22	L2MB-TUN-PT-39	2022-06-10 15:40	Subterránea	42392	4°41'19,01"	74°05'49,36"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.834,44	110.220,18

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo de agua subterránea localizado sobre el andén que colinda con la Calle 72 con Carrera 73A, cerca de una estación de servicio PRIMAX y por donde se observa alto flujo peatonal. El piezómetro no contaba con tapa de seguridad.

La muestra de agua es inolora, de color gris y presenta turbiedad e iridiscencias.

Nivel freático: 1,12 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-23	L2MB-TUN-PT-42	2022-06-10 13:55	Subterránea	42391	4°41'21,00"	74°05'51,63"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.764,35	110.281,51



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se encuentra ubicado sobre el andén peatonal de la Calle 72 con Carrera 76 donde se evidencia alto flujo de transeúntes.

El agua muestreada presenta color gris oscuro, con gran cantidad de sólidos que constituyen una apariencia de lodo e iridiscencias, sin olor característico.

Nivel freático: 1,74 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-24	L2MB-TUN-PT-40	2022-06-10 12:25	Subterránea	42390	4°41'25,95"	74°05'57,69"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.577,47	110.433,55

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo de agua subterránea se encuentra ubicado sobre el andén de la Calle 72 con Carrera 74A frente a algunos locales comerciales.

La muestra de agua presenta tonalidad amarilla, sin turbidez ni sólidos, pero se observan iridiscencias. No se percibe olor característico.

Nivel freático: 1,18 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-25	L2MB-TUN-PT-43	2022-06-10 11:25	Subterránea	42389	4°41'29,66"	5.2.2.5.13.40. 74°06'01,68"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.454,32	110.547,62



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se encuentra ubicado sobre la zona verde del separador de la Calle 72 con Carrera 77A en las inmediaciones de la zona comercial.

La muestra de agua es de color gris, presenta iridiscencias y turbiedad y no se percibe olor característico.

Nivel freático: 2,88 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-26	L2MB-TUN-PT-45	2022-06-10 10:15	Subterránea	42388	4°41'36,73"	74°06'08,21"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.253,07	110.764,64

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo de agua subterránea localizado sobre un sendero peatonal al finalizar la Carrera 80C inmerso en un área residencial.

La muestra de agua es inolora, presenta coloración amarilla levemente traslúcida y no se observan sólidos ni iridiscencias.

Nivel freático: 2,00 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-28	L2MB-TUN-PT-47	2022-06-09 15:55	Subterránea	42387	4°41'45,33"	74°06'14,34"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.064,06	111.029,17



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo de agua subterránea se localiza sobre una zona verde aledaña a la Diagonal 73 y próxima a la Carrera 83, la cual está rodeada por diferentes viviendas.

La muestra de agua es turbia, de color amarillo, con iridiscencias y sin olor característico.

Nivel freático: 1,53 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-29	L2MB-TUN-PT-49	2022-06-09 12:45	Subterránea	42386	4°41'51,44"	74°06'14,53"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.058,18	111.216,81

Descripción del punto de monitoreo

Puntos de muestreo



El punto de monitoreo se encuentra ubicado en el barrio La Almeria sobre un andén peatonal comprendido entre la Calle 74 y la Calle 74BIS, por la Carrera 86.

El agua objeto de estudio presenta color amarillo translúcido e iridiscencias y no se percibe olor característico.

Nivel freático: 0,93 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-30	L2MB-TUN-PT-51	2022-06-09 11:50	Subterránea	42385	4°41'58,31'"	74°06'12,03"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.135,16	111.427,98



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo de agua subterránea localizado en la Calle 75 BIS sobre el andén peatonal y hallado sin cubierta de seguridad.

La muestra de agua es turbia, de color gris, presenta iridiscencias, con algunos sólidos y no se percibe olor característico.

Nivel freático: 1,55 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-31	L2MB-TUN-PT-52	2022-06-09 10:55	Subterránea	42384	4°42'04,44"	74°06'05,48"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.337,18	111.616,29

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se encuentra ubicado sobre el andén peatonal que colinda con la Calle 77A entre la Carrera 85 y la Avenida Ciudad de Cali.

El agua muestreada presenta color gris, con turbiedad, sin evidencia de sólidos e iridiscencias y sin olor característico.

Nivel freático: 1,70 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-32	L2MB-EST6-PT-03	2022-06-02 10:00	Subterránea	42025	4°42'10,88''	74°05'56,86''
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.602,95	111.814,20



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo de agua subterránea localizado entre la Calle 80 y la Av. Ciudad de Cali.

La muestra de agua presenta apariencia transparente, olor a materia orgánica por falta de oxígeno y no se evidencia contenido de sedimentos ni sólidos suspendidos.

Nivel freático: 2,67 m Altitud: 2555 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-33	L2MB-TUN-PT-55	2022-06-09 09:15	Subterránea	42383	4°42'17,24"	74°05'56,86"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.602,83	112.009,71

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo de agua subterránea localizado en zona verde del barrio La Española, cercano al salón comunal y a una unidad de salud zonal a aproximadamente 50m de la Avenida Ciudad de Cali.

La muestra de agua es turbia, inolora, de color gris sin evidencia de sólidos ni iridiscencias.

Nivel freático: 1,60 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-34	L2MB-TUN-PT-58	2022-06-08 15:30	Subterránea	42368	4°42'24,43"	74°05'51,35"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.772,84	112.230,56



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se encuentra ubicado sobre la zona verde de un andén peatonal cerca de la Diagonal 85 y a aproximadamente 6m de la Avenida Ciudad de Cali en sentido sur-norte.

El agua muestreada presenta color gris y turbiedad, sin iridiscencias y no se percibe olor característico.

Nivel freático: 1,18 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-35	L2MB-TUN-PT-59	2022-06-08 14:40	Subterránea	42367	4°42'26,94"	74°05'49,20"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.839,10	112.307,81

Descripción del punto de monitoreo

Puntos de muestreo



El punto de monitoreo de agua subterránea se encuentra sobre un andén peatonal a aproximadamente 3m de la Avenida Ciudad de Cali y aledaño a zona residencial, donde se observa alto flujo de peatones y ciclistas.

La muestra de agua es de color amarilla, no presenta olor característico, ni se observan iridiscencias.

Nivel freático: 1,26 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-36	L2MB-TUN-PT-57	2022-06-08 12:35	Subterránea	42366	4°42'52,36"	74°05'20,54"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					98.722,63	113.089,09



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo se encuentra ubicado sobre un andén peatonal que colinda con la Calle 127A próximo al Club Los Lagartos.

El agua muestreada presenta color marrón, sin iridiscencias y no se percibe olor característico.

Nivel freático: 2,64 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-37	L2MB-TUN-PT-62	2022-06-08 11:35	Subterránea	42365	4°42'57,00"	74°05'33,20"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					98.332,27	113.231,46

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo de agua subterránea localizado sobre un andén peatonal colindante con la vía Transversal 86 y aledaño a un conjunto residencial.

La muestra de agua es de color gris y presenta turbiedad.

Nivel freático: 3,00 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-38	L2MB-TUN-PT-64	2022-06-08 10:50	Subterránea	42364	4°42'59,10"	74°05'33,00"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					98338,48	113296,05



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo corresponde a un piezómetro ubicado sobre un andén peatonal aledaño a la vía Transversal 86 y próximo a la Carrera 91, cerca de un conjunto residencial.

El agua presenta turbiedad e iridiscencias, es de color grisáceo y no se percibe olor característico.

Nivel freático: 1,12 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-39	L2MB-TUN-PT-66	2022-06-03 15:00	Subterránea	42042	4°43'04,87"	74°05'36,11"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					98.242,41	113.473,40

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo de agua subterránea localizado a aproximadamente 3m de la Avenida Ciudad de Cali cerca del Humedal Juan Amarillo, al otro costado del punto L2MB-EST08-PT01 y la estación de servicio BIOMAX. Alto flujo de ciclistas en el área cicundante.

Muestra de agua turbia de color amarillo y sin olor característico.

Nivel freático: 1,00 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-40	L2MB-EST8-PT01	2022-06-03 11:00	Subterránea	42041	4°43'07,73"	74°05'37,08"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					98.212,71	113.561,25



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo ubicado a 20m en sentido norte de la estación de servicio La Siberia y aledaño a la Avenida Ciudad de Cali, con alto flujo de ciclistas y peatones.

El agua es inolora, presenta color amarillo, turbiedad, sólidos e iridiscencias en su superficie.

Nivel freático: 2,05 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-41	L2MB-EST8-PT-02	2022-06-08 10:10	Subterránea	42363	4°43'10,71"	74°05'39,60"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					98.135,12	113.652,88

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

Este punto de monitoreo de agua subterránea se encuentra ubicado sobre el andén peatonal cercano a la cicloruta y aledaño a la Avenida Ciudad de Cali cerca del Humedal Juan Amarillo.

La muestra de agua se caracteriza por la presencia de sólidos como plumas y residuos sólidos, no se observan iridiscencias, es de apariencia transparente y presenta olor a orina.

Nivel freático: 0,20 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-42	L2MB-TUN-PT-68	2022-06-08 09:15	Subterránea	42362	4°43'13,63"	74°05'44,64"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.979,62	113.742,52



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo corresponde a un piezómetro ubicado sobre un andén peatonal cercano a la Avenida Ciudad de Cali con Carrera 93C y aproximadamente a 30m del Humedal Juan Amarillo.

El agua es inolora, de color café y tiene presencia de sólidos.

Nivel freático: 0,25 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-43	L2MB-TUN-PT-70	2022-06-04 09:15	Subterránea	42167	4°43'22,90"	74°05'52,11"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.749,38	114.027,43

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo corresponde a un piezómetro ubicado sobre andén peatonal a aproximadamente 5m de la Avenida Ciudad de Cali y cerca del Humedal Juan Amarillo.

El agua presenta turbiedad, suciedad por la presencia de sólidos y barro y no se percibe olor característico.

Nivel freático: 1,00 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-44	L2MB-TUN-PT-72	2022-06-06 09:00	Subterránea	42374	4°43'27,84"	74°05'54,92"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.662,62	114.179,16



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo corresponde a un piezómetro ubicado sobre un andén peatonal a aproximadamente 3,5m en sentido sur-norte de la Avenida Ciudad de Cali, con alto flujo de ciclistas y peatones.

El agua es gris, presenta suciedad e iridiscencias y se percibe algo de olor.

Nivel freático: 0,00 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-46	L2MB-TUN-PT-76	2022-06-06 15:45	Subterránea	42378	4°43'42,04"	74°06'06,32"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.311,17	114.615,49

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo corresponde a un piezómetro ubicado en una zona verde aledaña a la Avenida Ciudad de Cali en sentido norte-sur y rodeada de viviendas.

El agua presenta color amarillo claro, es inolora y no se evidencian sólidos ni iridiscencias.

Nivel freático: 0,99 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-47	L2MB-TUN-PT-78	2022-06-06 14:45	Subterránea	42377	4°43'49,33"	74°06'10,83"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.172,19	114.839,37



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo de agua subterránea localizado en la zona verde de un parque del barrio Suba Tibabuyes rodeado de viviendas, aledaño a una vía vehicular sin pavimentar y aproximadamente a 17m de un parqueadero.

Muestra de agua inolora, grisácea y con iridiscencias.

Nivel freático: 1,26 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-48	L2MB-TUN-PT-81	2022-06-07 09:05	Subterránea	42369	4°43'51,52"	74°06'17,20"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					96.975,77	114.906,73

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo de agua subterránea se encuentra localizado en un área de potrero comprendida entre la Calle 131 y la Carrera 110, aledaña a una zona residencial.

La muestra de agua presenta color amarillo e iridiscencias y no se percibe olor característico.

Nivel freático: 3,92m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-49	L2MB-TUN-PT-79	2022-06-06 11:00	Subterránea	42375	4°43'56,96"	74°05'14,49"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.059,12	115.073,82



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo de agua subterránea localizado en Suba Tibabuyes en un área de potrero aledaño a vía vehicular.

La muestra de agua es inolora, presenta color amarillo e iridiscencias.

Nivel freático: 1,41 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-50	L2MB-EST9-PT-01	2022-06-06 12:05	Subterránea	42376	4°44'01,83"	74°06'14,98"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					97.044,10	115.223,62

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo corresponde a un piezómetro ubicado en la zona central de un potrero en el barrio Suba Tibabuyes.

Durante el monitoreo se realiza el procedimiento correspondiente para la toma de muestra, sin embargo, en este punto únicamente se logra colectar 1L de agua.

Nivel freático: 2,50 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-51	L2MB-TUN-PT-83	2022-06-07 10:15	Subterránea	42370	4°44'26,90"	74°06'19,62"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					96.900,97	115.993,87



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo está ubicado en las inmediaciones de un terreno baldío entre la Carrera 118 y la Calle 132.

El agua es de color gris, presenta turbiedad e iridiscencias y su olor es de materia orgánica en descomposición.

Nivel freático: 2,37 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-52	L2MB-TUN-PT-85	2022-06-07 11:00	Subterránea	42371	4°44'38,39"	74°06'20,93"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					96.860,48	116.347,14

Puntos de muestreo



Descripción del punto de monitoreo

Punto de monitoreo de agua subterránea localizado hacia el extremo norte de un terreno baldío entre la Calle 134 y la Carrera 118.

Muestra de agua turbia de color negro, presencia de sólidos y sin olor característico.

Nivel freático: 2,23 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-53	L2MB-TUN-PT-87	2022-06-07 12:30	Subterránea	42372	4°45'09,52"	74°06'29,39"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					96.599,67	117.303,69



Descripción del punto de monitoreo

El punto de monitoreo corresponde a un piezómetro ubicado sobre el separador de intersección de la Calle 145, rodeado de una zona residencial.

La muestra de agua presenta turbiedad y color gris.

Nivel freático: 0,88 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

ID	Nombre	Fecha de muestreo	Tipo de Agua	Muestra	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
SUB-56	L2MB-PT-PT-02	2022-06-07 15:15	Subterránea	42373	4°45'28,07"	74°07'04,14"
					Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Norte (Y)	Este (X)
					95.528,48	117.873,65

Puntos de muestreo	
	**Descripción del punto de monitoreo** Punto de monitoreo de agua subterránea localizado sobre andén peatonal comprendido entre una zona verde y la Carrera 147, aledaño a zona residencial. El pozo contaba con poca agua, no obstante, se logra extraer muestra de 4L, caracterizada por ser incolora y presentar leve olor. Nivel freático: 0,47 m Altitud: 2650 m.s.n.m.

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.5.14.2. Resultados

Los resultados del monitoreo fisicoquímico de aguas subterráneas se presentan de la Tabla 257 a la Tabla 262. El reporte del laboratorio, certificados de calibración de equipos, formatos de campo y resolución de acreditación se presentan en el Anexo 5.2 - 8.7.

Tabla 257. Resultados monitoreo físico químico en aguas subterráneas (Parte 1)

able	Unidad	SUB-01 42566	SUB-02 42567	SUB-03 42568	SUB-05 42569	SUB-06 42570	SUB-07 42031	SUB-08 42030	SUB-09 42029	SUB-10 42028	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	2.2
	m	12,47	9,8	10,84	9	3	2,44	1,2	0,1	2,29	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	Unidades	7,6	7,2	6,4	10,7	7,9	6	5,9	6,4	6,3	5-9	6,5 - 8,5	4,5 - 9	N.E.	5 - 9	5 - 9	
d Eléctrica	µS/cm	164	136	221	566	87	2,36	162	160	128	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
uelto	mg/L	0,63	0,6	0,8	0,7	0,4	1,8	1,2	1,4	1,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	70%*	70%*	
	°C	17,3	19,1	19,3	18,6	18,3	19,5	19,9	19,4	20,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
DOX	mV	227	120,0	70,0	80,0	-86,0	310,0	-220,0	-300,0	178,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	22,7	27,6	59,9	<9,99	61,1	62,1	78,2	59,3	44,5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	55,7	35,2	9,6	137,0	< 3,77	60,4	78,4	77,9	65,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	55,7	35,2	9,6	3,8	< 3,77	60,4	78,4	77,9	65,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	< 3,77	< 3,77	< 3,77	50,5	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	10,2	11,3	31,7	13,7	9,2	36,1	<5	<5	<5	250	250	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	<3	13,9	13,2	43,5	11,5	<3	15,6	<3	<3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	18,5	42,2	39,6	136,0	35,3	<15	54,3	<15	23,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
ca	mg/L	<12	<12	<12	27,1	<12	17,2	<12	<12	<12	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	<5	<5	<5	38,6	<5	25,2	<5	<5	<5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	<0,05	<0,05	0,1	0,1	<0,05	0,3	1,3	1,3	0,8	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	
ites	mg/L	2,88	1,9	5,4	4,8	6,4	1,3	<0,9	9,5	5,4	***	***	N.E.	N.E.	****	****	
s	mg/L	1,59	1,4	2,0	<0,9	1,9	<0,9	<0,9	5,7	1,8	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	0,1150	0,5	1,6	0,2	<0,1	0,5	1,1	<0,1	0,2	10	10	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
ltos totales	mg/L	73	65,0	114,0	336,0	35,0	116,0	71,0	74,0	64,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
endidos	mg/L	262	676,0	755,0	110,0	47,0	40,0	300,0	<6	25,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	<5	9,3	46,5	39,9	14,5	7,1	<5	<5	<5	400	400	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	

able	Unidad	SUB-01 42566	SUB-02 42567	SUB-03 42568	SUB-05 42569	SUB-06 42570	SUB-07 42031	SUB-08 42030	SUB-09 42029	SUB-10 42028	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	2.2
tales	NMP/100 mL	75560	5.040	7.500	1.350	4.870	109	1.930	5.050	1.410	20.000	1.000	5.000+	N.E.	1.000	5.000	
es	NMP/100 mL	1350	410	1.000	<1	4.390	86	980	200	410	2.000	N.E.	1.000+	N.E.	200	N.E.	
a coli	NMP/100 mL	860	100	<1	<1	3.360	52	<1	<1	<1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	8,6	7,30	12,40	10,90	2,30	12,90	9,51	9,26	7,31	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	24,6	25,8	16,2	4,4	4,6	53,3	55,1	32,6	15,5	N.E.	N.E.	5,0	N.E.	N.E.	N.E.	
al	mg/L	0,983	0,9	0,4	2,8	0,3	1,9	3,1	2,5	2,49	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	0,7	1,2	1,1	0,8	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
	mg/L	13,9	11,5	28,9	12,8	9,5	28,3	14,7	14,7	14,6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
al	mg/L	0,745	1,11	2,15	0,782	<0,5	3,46	63,7	6,24	5,64	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	

*Este valor es expresado en porcentaje de saturación (%) no presenta unidades de concentración (mg/L).
**El nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporción que no causen eutrofización.
***No se aceptará películas visibles de grasas y aceites flotantes, materiales flotantes, radioisótopos y otros no removibles por tratamiento convencional (Art. 3) o por desinfección (Art. 4) que puedan afectar la salud humana.
****No se aceptará en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana.
+El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto. El NMP de coliformes fecales no deberá exceder de 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin.
N.E. No Específica

Fuente: UT MOVIUS, 2022

Tabla 258. Resultados monitoreo fisicoquímico en aguas subterráneas (Parte 2)

Variable	Unidad	SUB-11 42578	SUB-12 42577	SUB-13 42576	SUB-14 42027	SUB-15 42575	SUB-16 42397	SUB-17 42396	SUB-18 42395	SUB-19 42394	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Ar 2.2.3.3.9
éático	m	0,74	2,64	1,44	1,07	1,54	1,47	1,4	1,17	1,53	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
	Unidades	8,5	13,1	6,8	6,3	6,7	7,1	6,5	6,3	6,5	5-9	6,5 - 8,5	4,5 - 9	N.E.	5 - 9	5 - 9	5,5

Variable	Unidad	SUB-11 42578	SUB-12 42577	SUB-13 42576	SUB-14 42027	SUB-15 42575	SUB-16 42397	SUB-17 42396	SUB-18 42395	SUB-19 42394	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Ar 2.2.3.3.9
tividad Eléctrica	µS/cm	199	5960	393	416	586	125	131	325	243	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
o Disuelto	mg/L	0,64	0,95	0,71	1,6	0,89	1,11	0,9	0,81	0,96	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	70%*	70%*	5
atura	°C	18,4	18,8	17,5	19,3	18,8	19,4	19,1	18,4	18	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
al REDOX	mV	102	-74	124	220	80	127	173	136	-80	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
	mg/L	25,9	<9,99	48,5	153	198	12,8	20,7	96,1	65,8	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
dad	mg/L	110	424	237	284	398	40,7	62,1	187	110	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
natos	mg/L	110	3,77	237	284	398	40,7	62,1	187	110	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
atos	mg/L	< 3,77	23,8	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
s	mg/L	<5	64,4	<5	<5	<5	10,7	<5	<5	7,33	250	250	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
	mg/L	13,8	111	22,6	18,6	43,9	145	12,8	22,6	8,69	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
	mg/L	44,4	342	71,1	60,8	146	452	39,6	72	27,1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
cálcica	mg/L	<12	732	<12	20,4	29,3	<12	<12	<12	<12	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
total	mg/L	15,6	957	<5	45,5	50,5	<5	<5	<5	<5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
total	mg/L	0,687	0,129	2,44	1,93	1,02	<0,05	0,284	2,25	0,588	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.
y aceites	mg/L	28	26,7	16,5	8,06	26,7	3,45	8,13	14,2	3,93	***	***	N.E.	N.E.	****	****	N.
rburos	mg/L	1,48	<0,900	1,02	1,88	3,54	<0,9	1,2	8,08	1,83	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
	mg/L	0,134	3,04	0,268	0,793	0,963	<0,1	0,824	0,56	0,369	10	10	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
disueltos totales	mg/L	110	8280	216	237	354	68	69	165	113	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
suspendidos	mg/L	166	370	312	1990	505	46	274	3850	206	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
	mg/L	<5	896	<5	<5	<5	7,66	6,77	<5	<5	400	400	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
nes totales	NMP/100 mL	15.150	350	9.590	55.800	2.620	1.350	520	2.650	1.100	20.000	1.000	5.000+	N.E.	1.000	5.000	N.
nes derantes)	NMP/100 mL	970	<1	520	29.400	<1	860	410	1.750	860	2.000	N.E.	1.000+	N.E.	200	N.E.	N.

Variable	Unidad	SUB-11 42578	SUB-12 42577	SUB-13 42576	SUB-14 42027	SUB-15 42575	SUB-16 42397	SUB-17 42396	SUB-18 42395	SUB-19 42394	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Ar 2.2.3.3.9
richia coli	NMP/100 mL	860	<1	200	22.600	<1	100	310	520	200	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
otal	mg/L	8,80	293,00	31,30	32,20	41,70	7,40	8,30	24,30	18,20	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
otal	mg/L	11,1	12,3	7,9	18,6	9,35	9,72	10,3	105	62,8	N.E.	N.E.	5,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.
io total	mg/L	3,45	54,7	2,23	8,1	7,14	0,43	0,716	0,83	0,24	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
total	mg/L	1,92	0,69	8,08	2,44	8,25	0,6	0,41	2,49	0,42	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
otal	mg/L	25,4	1,1	45,5	44,5	64,5	15,6	18,6	35,5	24,2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.
no total	mg/L	4,37	3,68	25,3	17,8	41,5	3,76	0,936	11,4	7,18	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.

*Este valor es expresado en porcentaje de saturación (%) no presenta unidades de concentración (mg/L).
**El nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporción que no causen eutrofización.
***No se aceptará películas visibles de grasas y aceites flotantes, materiales flotantes, radioisótopos y otros no removibles por tratamiento convencional (Art. 3) o por desinfección (Art. 4) que puedan afectar la salud humana.
****No se aceptará en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana.
+El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto. El NMP de coliformes fecales no deberá exceder de 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin.
N.E. No Específica

Fuente:UT MOVIUS, 2022

Tabla 259. Resultados monitoreo fisicoquímico en aguas subterráneas (Parte 3)

Variable	Unidad	SUB-20 42026	SUB-21 42393	SUB-22 42392	SUB-23 42391	SUB-24 42390	SUB-25 42389	SUB-26 42388	SUB-28 42387	SUB-29 42386	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
el freático	m	2,84	2,59	1,12	1,74	1,18	2,88	2	1,53	0,93	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	Unidades	6,8	6,2	6,1	6,5	6,3	6,2	6,5	6,3	6,5	5-9	6,5 - 8,5	4,5 - 9	N.E.	5 - 9	5 - 9	5,5 - 9
nductividad Eléctrica	µS/cm	120	148	400	353	384	340	252	330	330	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
geno Disuelto	mg/L	1,82	0,69	0,72	0,6	0,8	0,8	0,75	0,79	0,79	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	70%*	70%*	5
mperatura	°C	20,3	17,2	18,6	19	19,3	18,8	17,9	17,7	17,9	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

Variable	Unidad	SUB-20 42026	SUB-21 42393	SUB-22 42392	SUB-23 42391	SUB-24 42390	SUB-25 42389	SUB-26 42388	SUB-28 42387	SUB-29 42386	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
encial REDOX	mV	-100	-400	420	-70	127	80	400	-200	197	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
dez	mg/L	25,4	51,7	108	88,3	93	113	37,9	115	63	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
alinidad	mg/L	59,1	24,9	243	210	216	196	159	211	187	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
arbonatos	mg/L	59,1	24,9	243	210	216	196	159	211	187	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
bonatos	mg/L	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ruros	mg/L	<5	21,2	<5	6,46	<5	<5	<5	<5	<5	250	250	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
O_5	mg/L	<3	<3	15,9	17,3	18,3	99,8	14,9	23,6	18,9	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
O	mg/L	<15	16,3	53,4	52,2	56	305	46,1	72	61,2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
eza cálcica	mg/L	<12	<12	<12	<12	17,4	<12	<12	<12	<12	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
eza total	mg/L	<5	<5	11,1	6,14	25,9	<5	<5	14,5	12,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
foro total	mg/L	0,297	0,08	0,994	0,319	0,916	0,714	1,07	0,771	1,45	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.E.
sas y aceites	mg/L	8,77	9,96	6,54	1,46	1,59	13,4	1,76	11,9	8,34	***	***	N.E.	N.E.	****	****	N.E.
rocarburos	mg/L	1,23	1,57	<0,9	<0,9	<0,9	4,35	<0,9	0,93	1,93	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ato	mg/L	1,02	1,3	0,432	<0,1	0,324	0,619	0,197	0,324	0,302	10	10	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
dos disueltos totales	mg/L	63	79	207	185	208	177	133	199	166	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
dos suspendidos les	mg/L	208	81	1340	24600	102	2250	160	386	135	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
fatos	mg/L	8,66	13	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	400	400	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
iformes totales	NMP/100 mL	9.600	8.090	26.540	1.011.200	7.300	25.600	51.200	30.900	28.100	20.000	1.000	5.000+	N.E.	1.000	5.000	N.E.
iformes motolerantes ales)	NMP/100 mL	5.380	3.050	16.100	116.600	6.300	14.400	14.500	24.300	18.700	2.000	N.E.	1.000+	N.E.	200	N.E.	N.E.
cherichia coli	NMP/100 mL	510	2.350	6.300	60.500	5.200	8.400	5.200	17.500	6.300	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
cio total	mg/L	8,22	6,20	32,50	27,60	27,00	26,50	21,60	27,60	21,60	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
rro total	mg/L	9,2	14,9	124	30,8	125	46,7	32,6	120	90,8	N.E.	N.E.	5,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

Variable	Unidad	SUB-20 42026	SUB-21 42393	SUB-22 42392	SUB-23 42391	SUB-24 42390	SUB-25 42389	SUB-26 42388	SUB-28 42387	SUB-29 42386	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
gnesio total	mg/L	2,25	1,06	0,891	0,532	2,07	0,352	0,313	3,16	2,65	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
asio total	mg/L	0,485	0,36	3,56	2,8	4,58	2,27	2,96	2,55	2,51	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
lio total	mg/L	14,1	21,2	42,3	38,9	35,7	35,3	31,5	35,4	35	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ógeno total	mg/L	0,749	17,1	24,6	17,9	25,6	16,5	18,9	24,6	19,6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.E.

*Este valor es expresado en porcentaje de saturación (%) no presenta unidades de concentración (mg/L).
**El nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporción que no causen eutrofización.
***No se aceptará películas visibles de grasas y aceites flotantes, materiales flotantes, radioisótopos y otros no removibles por tratamiento convencional (Art. 3) o por desinfección (Art. 4) que puedan afectar la salud humana.
****No se aceptará en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana.
+El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto. El NMP de coliformes fecales no deberá exceder de 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin.
N.E. No Específica

Fuente:UT MOVIUS, 2022

Tabla 260. Resultados monitoreo fisicoquímico en aguas subterráneas (Parte 4)

Variable	Unidad	SUB-30 42385	SUB-31 42384	SUB-32 42025	SUB-33 42383	SUB-34 42368	SUB-35 42367	SUB-36 42366	SUB-37 42365	SUB-38 42364	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
el freático	m	1,55	1,7	2,67	1,6	1,18	1,26	2,64	3	1,12	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	Unidades	6,6	6,3	6,8	6,5	6,5	6,7	6,1	6,7	7,2	5-9	6,5 - 8,5	4,5 - 9	N.E.	5 - 9	5 - 9	5,5 - 9
nductividad Eléctrica	µS/cm	490	283	615	339	363	413	167	630	685	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
geno Disuelto	mg/L	0,76	0,83	1,72	0,79	0,91	1,06	0,99	0,73	0,78	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	70%*	70%*	5
mperatura	°C	17	17,9	19,3	17,1	17,9	18,3	15,8	19,2	18,4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
encial REDOX	mV	-103	-30	-96	200	-323	-70	-120	-207	-70	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
dez	mg/L	69,8	93,8	141	34,6	107	61,6	60,6	99,2	107	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
alinidad	mg/L	311	112	249	180	190	263	48,1	499	526	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

Variable	Unidad	SUB-30 42385	SUB-31 42384	SUB-32 42025	SUB-33 42383	SUB-34 42368	SUB-35 42367	SUB-36 42366	SUB-37 42365	SUB-38 42364	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
arbonatos	mg/L	311	112	249	180	190	263	48,1	499	526	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
bonatos	mg/L	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ruros	mg/L	<5	5,88	<5	<5	<5	<5	13,3	11,2	11,7	250	250	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
O_5	mg/L	17,5	16,5	17,6	15,9	22,8	23,4	15,9	185	179	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
O	mg/L	56	54,7	60,8	56,5	69,8	72,9	49,6	578	511	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
eza cálcica	mg/L	29,9	<12	24,4	<12	32,9	32,5	17,4	75,2	72,5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
eza total	mg/L	49,9	<5	47,3	<5	49,7	50,3	21,6	83,6	100	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
foro total	mg/L	1,53	0,26	1,32	0,866	1,19	1,68	0,795	1,94	1,67	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.E.
sas y aceites	mg/L	10,6	6,95	21,5	8,68	19,6	18,9	16,9	14,3	22,5	***	***	N.E.	N.E.	****	****	N.E.
rocarburos	mg/L	1,13	1,78	<0,9	2,11	7,4	<0,9	4,35	2,32	5,13	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ato	mg/L	0,81	0,47	0,778	0,877	0,628	0,59	1,69	1,2	1,45	10	10	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
dos disueltos totales	mg/L	284	129	384	165	186	227	95	387	449	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
dos suspendidos les	mg/L	950	2760	346	1410	725	540	675	5600	5110	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
fatos	mg/L	<5	22,3	<5	<5	<5	<5	26,5	<5	<5	400	400	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
iformes totales	NMP/100 mL	110.000	35.900	8.860	95.800	1.480	4.650	18.420	20.980	7.120	20.000	1.000	5.000+	N.E.	1.000	5.000	N.E.
iformes motolerantes ales)	NMP/100 mL	50.400	15.800	630	31.100	200	1.350	1.930	4.520	630	2.000	N.E.	1.000+	N.E.	200	N.E.	N.E.
cherichia coli	NMP/100 mL	16.600	7.500	<1	18.700	<1	<1	970	<1	<1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
cio total	mg/L	38,00	17,3	21,8	21,3	23,2	33	9,97	59,1	59,1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
rro total	mg/L	91,7	105	42,5	89	81,9	56,7	8,81	19,5	107	N.E.	N.E.	5,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
gnesio total	mg/L	4,86	0,636	7,56	2,5	4,07	4,31	1,01	9,02	9,66	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
asio total	mg/L	3,68	2,47	2,63	3,44	4,46	4,55	0,466	5,65	11,7	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
lio total	mg/L	53,5	27,9	44,7	32,3	31,8	42,5	21,2	79,6	81,7	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

Variable	Unidad	SUB-30 42385	SUB-31 42384	SUB-32 42025	SUB-33 42383	SUB-34 42368	SUB-35 42367	SUB-36 42366	SUB-37 42365	SUB-38 42364	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
ógeno total	mg/L	24,7	18,9	26,2	27,3	21,6	17,9	24,6	23,8	23,8	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.E.

*Este valor es expresado en porcentaje de saturación (%) no presenta unidades de concentración (mg/L).
**El nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporción que no causen eutrofización.
***No se aceptará películas visibles de grasas y aceites flotantes, materiales flotantes, radioisótopos y otros no removibles por tratamiento convencional (Art. 3) o por desinfección (Art. 4) que puedan afectar la salud humana.
****No se aceptará en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana.
+El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto. El NMP de coliformes fecales no deberá exceder de 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin.
N.E. No Específica

Fuente: UT MOVIUS, 2022

Tabla 261. Resultados monitoreo fisicoquímico en aguas subterráneas (Parte 5)

Variable	Unidad	SUB-39 42042	SUB-40 42041	SUB-41 42363	SUB-42 42362	SUB-43 42167	SUB-44 42374	SUB-46 42378	SUB-47 42377	SUB-48 42369	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
el freático	m	1	2,05	0,2	0,25	1	0	0,99	1,26	3,92	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	Unidades	6,7	6,4	10	6,7	7,3	6,6	6,4	6,5	6,5	5-9	6,5 - 8,5	4,5 - 9	N.E.	5 - 9	5 - 9	5,5 - 9
nductividad Eléctrica	µS/cm	714	681	332	650	715	672	623	623	601	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
geno Disuelto	mg/L	0,95	0,84	0,77	0,9	0,76	0,51	0,63	0,61	0,89	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	70%*	70%*	5
mperatura	°C	19,5	19,5	18,2	19,3	19,4	19,3	16,3	18,5	19,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
encial REDOX	mV	323	183	120	127	173	308	271	13	180	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
dez	mg/L	132	114	<9,99	123	133	96,8	128	136	157	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
alinidad	mg/L	460	427	183	486	515	492	407	436	417	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
arbonatos	mg/L	460	427	3,77	486	515	492	407	436	417	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
bonatos	mg/L	< 3,77	< 3,77	137	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ruros	mg/L	10,5	13,6	39,2	8,69	13	7,92	<5	<5	<5	250	250	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

Variable	Unidad	SUB-39 42042	SUB-40 42041	SUB-41 42363	SUB-42 42362	SUB-43 42167	SUB-44 42374	SUB-46 42378	SUB-47 42377	SUB-48 42369	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
O_5	mg/L	24,3	22,6	20,6	16,8	24,1	17,6	17,4	16,9	24,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
O	mg/L	72,9	72,9	63,8	56,9	73,7	60,8	56	53,4	73,7	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
eza cálcica	mg/L	56	54,6	38,6	63,8	28,3	86,7	49,9	52,3	64,4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
eza total	mg/L	83,8	96,2	58	83	46,9	138	66,1	78,2	79,2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
foro total	mg/L	1,8	1,24	0,763	3,09	0,465	1,57	4,62	0,729	0,908	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.E.
sas y aceites	mg/L	2,58	1,83	42,7	13,2	1,89	<0,9	11,4	16,3	20,5	***	***	N.E.	N.E.	****	****	N.E.
rocarburos	mg/L	1,54	<0,9	17	7,35	1,53	<0,9	1,59	0,99	1,27	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ato	mg/L	0,471	0,251	0,277	1,19	0,823	0,961	1,09	1,17	1,88	10	10	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
dos disueltos totales	mg/L	453	411	198	400	460	399	375	375	360	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
dos suspendidos les	mg/L	196	47	49	1680	888	655	1155	940	256	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
fatos	mg/L	13,6	10,2	15,6	<5	14,5	<5	<5	<5	<5	400	400	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
iformes totales	NMP/100 mL	2.460	199	<1	91.390	26.670	436.000	3.450	410	29.870	20.000	1.000	5.000+	N.E.	1.000	5.000	N.E.
iformes motolerantes ales)	NMP/100 mL	200	<1	<1	1.930	4.190	33.600	1.340	<1	4.430	2.000	N.E.	1.000+	N.E.	200	N.E.	N.E.
cherichia coli	NMP/100 mL	<1	<1	<1	100	2.110	13.200	310	<1	630	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
cio total	mg/L	53,50	39,90	15,50	55,60	61,30	56,70	50,00	51,00	48,80	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
rro total	mg/L	18,6	23,6	2,38	73,3	3	12,1	62,6	81,1	22,4	N.E.	N.E.	5,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
gnesio total	mg/L	8,73	18,1	4,71	9,64	9,52	12,4	5,93	6,28	5,58	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
asio total	mg/L	5,396	5,45	0,75	8,93	6,95	6,75	4,73	5,72	4,67	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
lio total	mg/L	75,4	63,2	1,69	74,4	83	68,7	73,6	73,3	68,9	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ógeno total	mg/L	80,2	32,0	18,6	22,3	0,556	17,6	24,7	23,9	18,9	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.E.

*Este valor es expresado en porcentaje de saturación (%) no presenta unidades de concentración (mg/L).
**El nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporción que no causen eutrofización.
***No se aceptará películas visibles de grasas y aceites flotantes, materiales flotantes, radioisótopos y otros no removibles por tratamiento convencional (Art. 3) o por desinfección (Art. 4) que puedan afectar la salud humana.

****No se aceptará en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana.
+El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto. El NMP de coliformes fecales no deberá exceder de 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin.
N.E. No Específica

Fuente:UT MOVIUS, 2022

Tabla 262. Resultados monitoreo fisicoquímico en aguas subterráneas (Parte 6)

Variable	Unidad	SUB-11 42578	SUB-12 42577	SUB-13 42576	SUB-14 42027	SUB-15 42575	SUB-16 42397	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
Nivel freático	m	1,41	2,5	2,37	2,23	0,88	0,47	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
pH	Unidades	6,4	6,4	6,4	6,6	6,6	7,4	5-9	6,5 - 8,5	4,5 - 9	N.E.	5 - 9	5 - 9	5,5 - 9
Conductividad Eléctrica	µS/cm	516	670	575	735	712	198	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Oxígeno Disuelto	mg/L	0,6	0,6	0,5	0,61	0,51	1,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	70%*	70%*	5
Temperatura	°C	18,4	18,3	18,2	18,3	18	19,1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Potencial REDOX	mV	-30	172	215	70	173	420	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Acidez	mg/L	169	<9,99	132	160	271	16	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Alcalinidad	mg/L	307	315	317	520	503	73,4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Bicarbonatos	mg/L	307	230	317	520	503	73,4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Carbonatos	mg/L	< 3,77	84,2	< 3,77	< 3,77	< 3,77	< 3,77	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Cloruros	mg/L	<5	6,61	<5	8,64	<5	12,7	250	250	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DBO_5	mg/L	22,2	125	15,7	24,3	233	84,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg/L	72,9	385	51,7	75,9	704	252	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Dureza cálcica	mg/L	52,3	68,9	62,2	152	61	18,8	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Dureza total	mg/L	74,3	82,8	90,1	192	88,5	24,4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Fósforo total	mg/L	1,13	1,68	1,12	0,968	0,425	0,09	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.E.

Variable	Unidad	SUB-11 42578	SUB-12 42577	SUB-13 42576	SUB-14 42027	SUB-15 42575	SUB-16 42397	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5	Art. 2.2.3.3.9.6	Art. 2.2.3.3.9.7	Art. 2.2.3.3.9.8	Art. 2.2.3.3.9.10
Grasas y aceites	mg/L	1,33	2,18	31	28,5	17,8	16,4	***	***	N.E.	N.E.	****	****	N.E.
Hidrocarburos	mg/L	<0,9	1,53	1,69	1,85	6,16	4,41	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrato	mg/L	1,21	0,97	1,29	1,17	1,38	0,284	10	10	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos disueltos totales	mg/L	282	248	297	452	438	118	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos suspendidos totales	mg/L	362	5940	2450	170	4120	37	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sulfatos	mg/L	<5	<5	19,5	19	<5	26,2	400	400	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Coliformes totales	NMP/100 mL	1.450	5.710	34.410	3.050	3.970	546	20.000	1.000	5.000+	N.E.	1.000	5.000	N.E.
Coliformes termotolerantes (fecales)	NMP/100 mL	<1	1.870	1.660	1.350	860	121	2.000	N.E.	1.000+	N.E.	200	N.E.	N.E.
Escherichia coli	NMP/100 mL	<1	<1	200	100	<1	<1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Calcio total	mg/L	38,00	27,60	44,90	65,80	64,40	11,50	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Hierro total	mg/L	86,4	9,31	13,2	89,3	18,5	3,16	N.E.	N.E.	5,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Magnesio total	mg/L	5,32	3,35	6,76	9,87	9,67	1,34	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Potasio total	mg/L	4,53	2,92	2,67	7,12	7,88	0,36	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sodio total	mg/L	47,9	45,2	52,4	83	73,9	27,4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrógeno total	mg/L	22,6	23,0	22,6	25,6	42,9	0,782	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	**	**	N.E.

*Este valor es expresado en porcentaje de saturación (%) no presenta unidades de concentración (mg/L).
**El nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporción que no causen eutrofización.
***No se aceptará películas visibles de grasas y aceites flotantes, materiales flotantes, radioisótopos y otros no removibles por tratamiento convencional (Art. 3) o por desinfección (Art. 4) que puedan afectar la salud humana.
****No se aceptará en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana.
+El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto. El NMP de coliformes fecales no deberá exceder de 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin.
N.E. No Específica

Fuente:UT MOVIUS, 2022

5.2.2.5.14.3. Balance iónico

Uno de los criterios más utilizados para la validación de la calidad de los datos químicos de una muestra de agua es el cálculo del balance iónico (IDEAM, 2010; Appelo & Postma, 2005; Custodio & Llamas, 1983), el cual es exigido por la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA, 2016) en un rango de ± 10 %.

El balance iónico es un balance eléctrico donde la precisión del análisis puede estimarse para los iones principales a partir del balance de sus cargas, ya que la suma de las cargas positivas y negativas en el agua debe ser igual, tal como lo expresa la siguiente ecuación, donde los cationes y los aniones son expresados en unidades de meq/L e insertados con su signo de carga (Appelo & Postma, 2005).

Las sumas deberán ser tomadas sobre los cationes y aniones mayores, que habitualmente son Na^+, K^+, Mg^{2+} y Ca^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, CO_3^{2-} y HCO_3^-; eventualmente otros elementos que estén en concentraciones superiores a 1 mg/l contribuyen significativamente a la carga iónica y deben ser incluidos en el balance como NO_3^-, Fe^{2+}, NH_4^+, H^+, Al_3^+, CO_2 libre y oxígeno disuelto (Castany, 1975; Appelo & Postma, 2005).

$$Balance\ iónico\ (\%) = \frac{(\Sigma\ Cationes + \Sigma\ Aniones)}{(\Sigma\ Cationes - \Sigma\ Aniones)} 100$$

Ecuación 56. Balance iónico

En la Tabla 263 se presentan los resultados de balance iónico calculados para cada punto de muestreo. En donde se evidencia que todos los puntos presentan errores calculados menores al 10%.

Tabla 263. Resultados de balance iónico

ID	Punto de monitoreo	N° Muestra	Error Analítico (%)
SUB-01	L2MB-TUN-PT-04	42566	7,13
SUB-02	L2MB-TUN-PT-01	42567	5,96
SUB-03	L2MB-EST1-PT-01	42568	2,63
SUB-05	L2MB-DEP-PT-01	42569	2,62
SUB-06	L2MB-TUN-PT-05	42570	4,73
SUB-07	L2MB-DEP-PT-03	42031	2,84
SUB-08	L2MB-TUN-PT-06	42030	5,91
SUB-09	L2MB-TUN-PT-08	42029	7,23
SUB-10	L2MB-TUN-PT-10	42028	4,09
SUB-11	L2MB-TUN-PT-11	42578	2,09
SUB-12	L2MB-TUN-PT-02	42577	3,43
SUB-13	L2MB-TUN-PT-16	42576	2,53
SUB-14	L2MB-TUN-PT-20	42027	7,00
SUB-15	L2MB-TUN-PT-22	42575	8,83
SUB-16	L2MB-EST3-PT-01	42397	1,40

ID	Punto de monitoreo	N° Muestra	Error Analítico (%)
SUB-17	L2MB-TUN-PT-29	42396	0,79
SUB-18	L2MB-TUN-PT-31	42395	6,95
SUB-19	L2MB-TUN-PT-33	42394	3,13
SUB-20	L2MB-TUN-PT-35	42026	3,38
SUB-21	L2MB-EST4-PT-01	42393	1,18
SUB-22	L2MB-TUN-PT-39	42392	7,76
SUB-23	L2MB-TUN-PT-42	42391	7,90
SUB-24	L2MB-TUN-PT-40	42390	8,66
SUB-25	L2MB-TUN-PT-43	42389	8,17
SUB-26	L2MB-TUN-PT-45	42388	5,66
SUB-28	L2MB-TUN-PT-47	42387	6,72
SUB-29	L2MB-TUN-PT-49	42386	6,99
SUB-30	L2MB-TUN-PT-51	42385	6,35
SUB-31	L2MB-TUN-PT-52	42384	6,03
SUB-32	L2MB-EST6-PT-03	42025	7,67
SUB-33	L2MB-TUN-PT-55	42383	7,52
SUB-34	L2MB-TUN-PT-58	42368	5,98
SUB-35	L2MB-TUN-PT-59	42367	7,03
SUB-36	L2MB-TUN-PT-57	42366	6,97
SUB-37	L2MB-TUN-PT-62	42365	8,31
SUB-38	L2MB-TUN-PT-64	42364	8,90
SUB-39	L2MB-TUN-PT-66	42042	8,86
SUB-40	L2MB-EST8-PT01	42041	8,82
SUB-41	L2MB-EST8-PT-02	42363	8,77
SUB-42	L2MB-TUN-PT-68	42362	8,49
SUB-43	L2MB-TUN-PT-70	42167	8,92
SUB-44	L2MB-TUN-PT-72	42374	9,07
SUB-46	L2MB-TUN-PT-76	42378	4,76
SUB-47	L2MB-TUN-PT-78	42377	7,36
SUB-48	L2MB-TUN-PT-81	42369	8,40
SUB-49	L2MB-TUN-PT-79	42375	7,56
SUB-50	L2MB-EST9-PT-01	42376	4,94
SUB-51	L2MB-TUN-PT-83	42370	5,69
SUB-52	L2MB-TUN-PT-85	42371	7,59
SUB-53	L2MB-TUN-PT-87	42372	6,83

ID	Punto de monitoreo	N° Muestra	Error Analítico (%)
SUB-56	L2MB-PT-PT-02	42373	5,65

Fuente: UT MOVIUS, 2022

5.2.2.5.14.4. Análisis de resultados físico químicos

- pH

Tanto para aguas naturales como aguas residuales el pH es un parámetro de suma importancia, puesto que este determina las interacciones ecosistémicas de diferentes comunidades. Algunas especies son altamente sensibles a pequeñas variaciones del pH en el agua, pues podría alterar procesos biológicos básicos, que en caso de ser modificados desencadenaría resultados negativos dentro de un cuerpo de agua (Rocha Castro, 2010). Por otro lado, el pH es un parámetro importante en los procesos metabólicos de la célula, éste puede afectar el intercambio iónico en el interior de la célula y también en sus mecanismos de intercambio de nutrientes con el medio exterior (Esteves, 2011).

En la Figura 425 y la Figura 426 se presenta el comportamiento del pH con valores que oscilaron entre 5,9 unidades (SUB-08) y 13,1 unidades (SUB-12), evidenciando cumplimiento normativo en la mayoría de los puntos frente a los límites mínimos permisibles establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015. No obstante, en diecinueve de los cincuenta y un (51) puntos de monitoreo se reportaron valores inferiores al límite mínimo permisible establecido por el Artículo 2.2.3.3.9.4 (6,5 unidades), presentando incumplimiento normativo. Adicionalmente, respecto a los límites máximos permisibles estipulados en los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto objeto de estudio (8,5 y 9 unidades), se evidencia cumplimiento normativo en la mayoría de los puntos de monitoreo, excepto en los denominados SUB-05, SUB-12 y SUB-41, los cuales reportaron valores superiores y, por tanto, presentan incumplimiento normativo. Cabe resaltar que no se realiza juicio normativo frente al Artículo 6 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto en mención, dado que no establece valores máximos permisibles.

Adicionalmente, según la clasificación establecida en la Tabla 264 que presenta los rangos de pH, se evidencia que los valores reportados de las muestras analizadas se asocian con condiciones entre varían entre medianamente ácidas y fuertemente alcalinas..

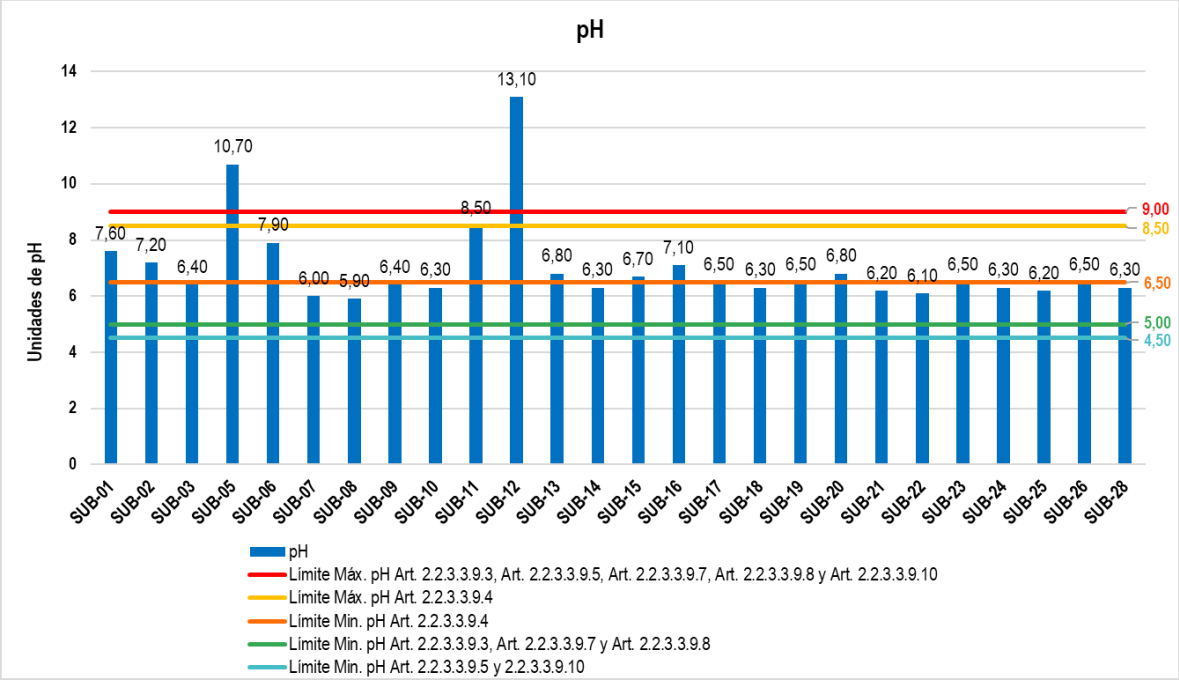


Figura 425. Comportamiento del pH (Parte 1).
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

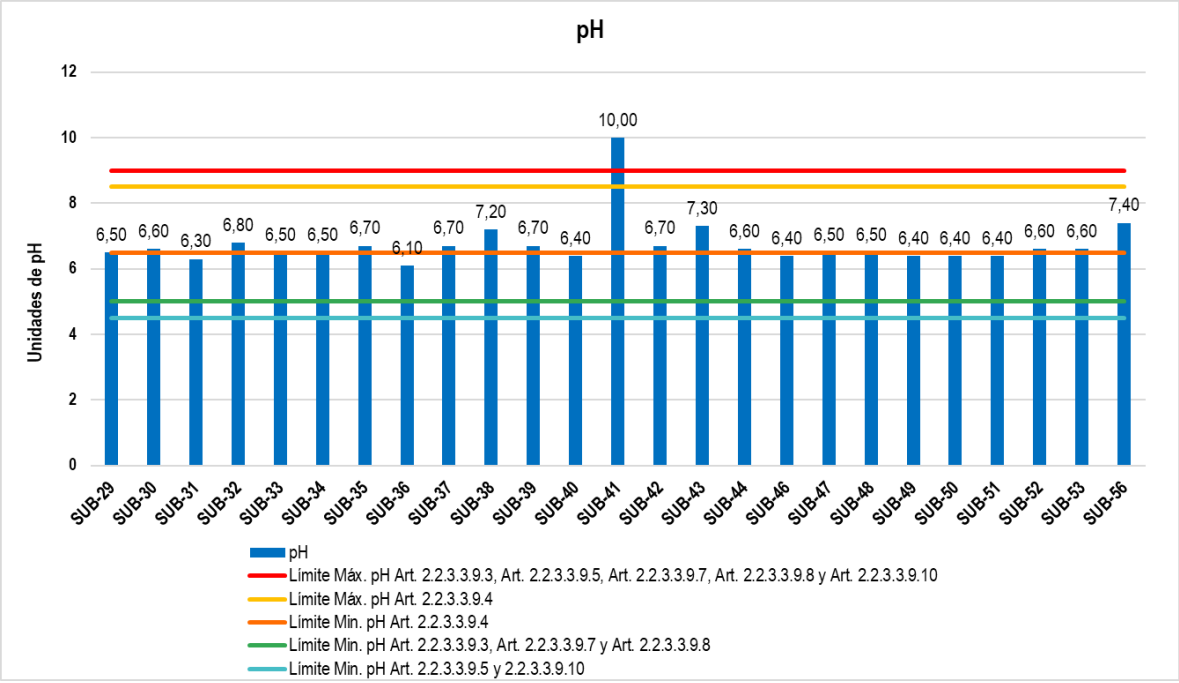


Figura 426. Comportamiento del pH (Parte 2).
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.
Tabla 264. Rangos de pH

pH	Rangos
<4,5	Extremadamente ácido
4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Medianamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Ligeramente básico
7,9 – 8,4	Medianamente básico
8,5 – 9,0	Básico
9,1 – 10,0	Alcalino
>10,0	Fuertemente alcalino

Fuente: Sawyer, McCarty, & Parkin, 2001.

- Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de una muestra para movilizar electrones, ésta medida depende ampliamente de la composición iónica del cuerpo de agua y está íntimamente relacionada con la concentración de sólidos disueltos totales, o sustancias minerales, aguas con mayor concentración de sólidos disueltos totales tendrán una mayor conductividad, ésta relación también depende de la naturaleza de las sales presentes en el cuerpo de agua (Roldán & Ramírez, 2008).

La Figura 427 y la Figura 428 ilustran el comportamiento de la conductividad eléctrica en los puntos de monitoreo, reportando concentraciones que varían entre 2,36 µS/cm (SUB-07) y 5960 µS/cm (SUB-12). Es importante resaltar que, no se emite juicio normativo debido a que los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015 no establecen un límite máximo permisible para este parámetro.

De acuerdo con la información anterior y teniendo en cuenta los grados de mineralización de la Tabla 228, los puntos de monitoreo presentan un grado de mineralización que varía entre muy débil a excesivo.

Tabla 265. Grados de mineralización de acuerdo con la conductividad

Grado de mineralización	Conductividad eléctrica (µS/cm)
Muy débil	< 100
Débil	100 - 200
Media	200 - 700
Importante	700 - 1000
Excesiva	>1000

Fuente: Rodier, 2009.

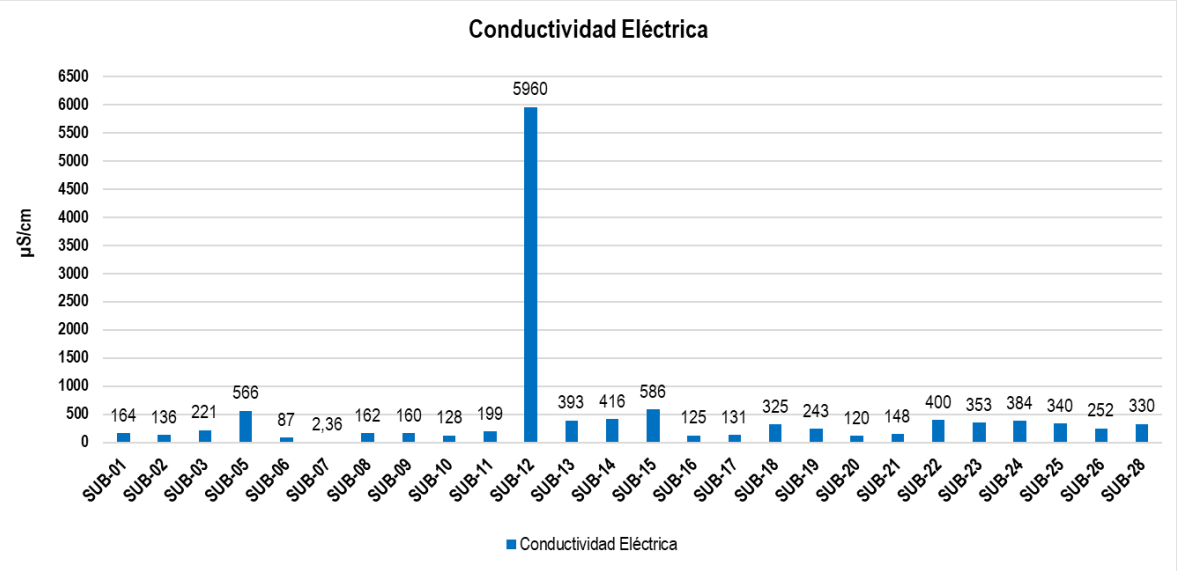


Figura 427. Comportamiento de la conductividad eléctrica (Parte 1)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

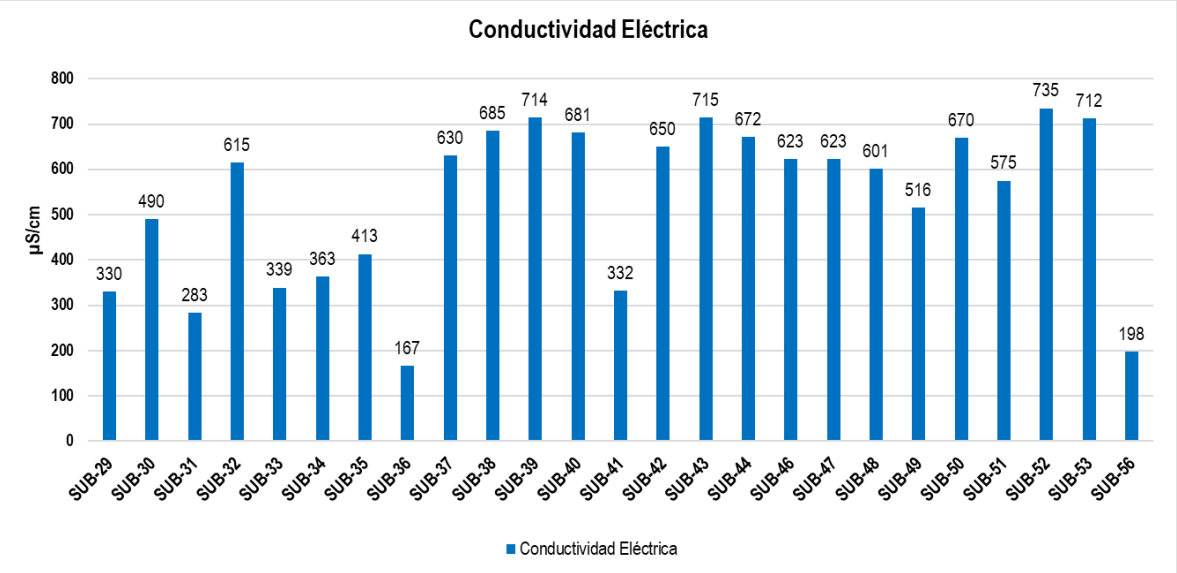


Figura 428. Comportamiento de la conductividad eléctrica (Parte 2)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Temperatura

Los valores de temperatura en un cuerpo de agua superficial se encuentran estrechamente relacionados con las temperaturas de la zona; sin embargo, la evaluación de este parámetro puede ser indicativo de un vertimiento sobre el cuerpo de agua con una temperatura demasiado alta que ocasiona un choque y posterior detrimento de la calidad de las

aguas, así como la afectación del ecosistema. Las variaciones climáticas influyen considerablemente en el espesor de la capa de mezcla, en regiones templadas se puede observar una capa generalmente constante que en ocasiones es alterada por cambios de temperatura bruscos en los que se modifica la densidad del agua en las capas superficiales del cuerpo de agua produciendo como resultado la erosión de la termoclina y el consiguiente aumento de la zona de mezcla (Beadle, 1981).

Para el presente estudio no se reportó una variación significativa de temperatura en los 51 puntos de monitoreo. En la Figura 429 y la Figura 430 se observa que la temperatura reportó valores que oscilaron entre 15,8 °C (SUB-36) y 20,3 °C (SUB-20). De acuerdo con lo anterior, los datos son acordes a la temperatura ambiente del área de estudio, por lo tanto, se puede inferir que no existe un impacto significativo de dicha temperatura sobre la velocidad de difusión del oxígeno en el agua y su velocidad de reacción.

Es importante mencionar que los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015 no establecen valores máximos permisibles para este parámetro, por lo tanto, no es posible emitir un juicio de cumplimiento normativo.

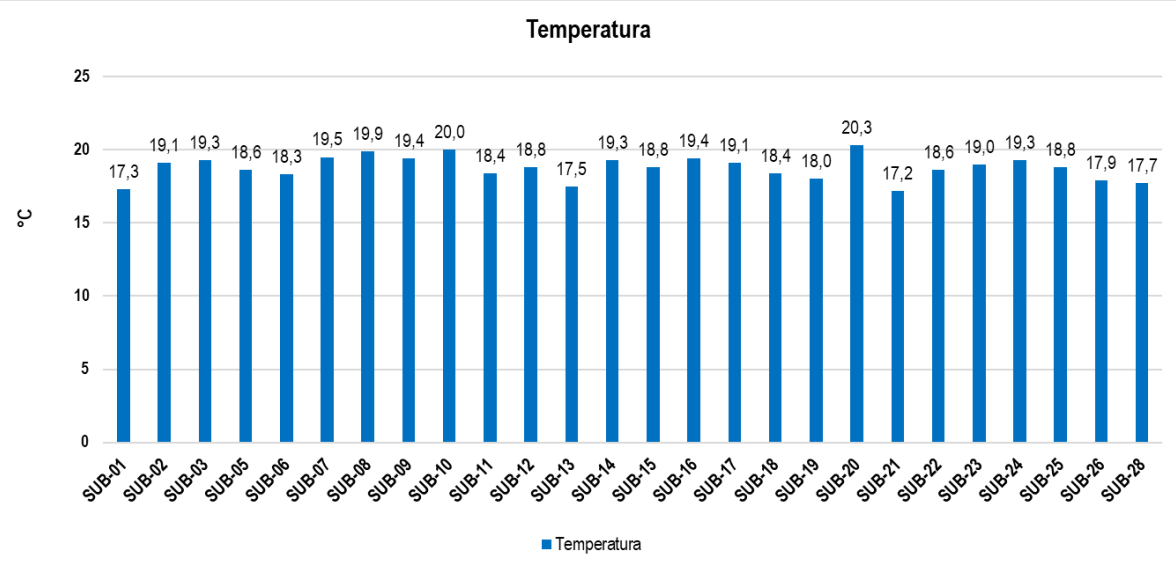


Figura 429. Comportamiento de la temperatura (Parte 1)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

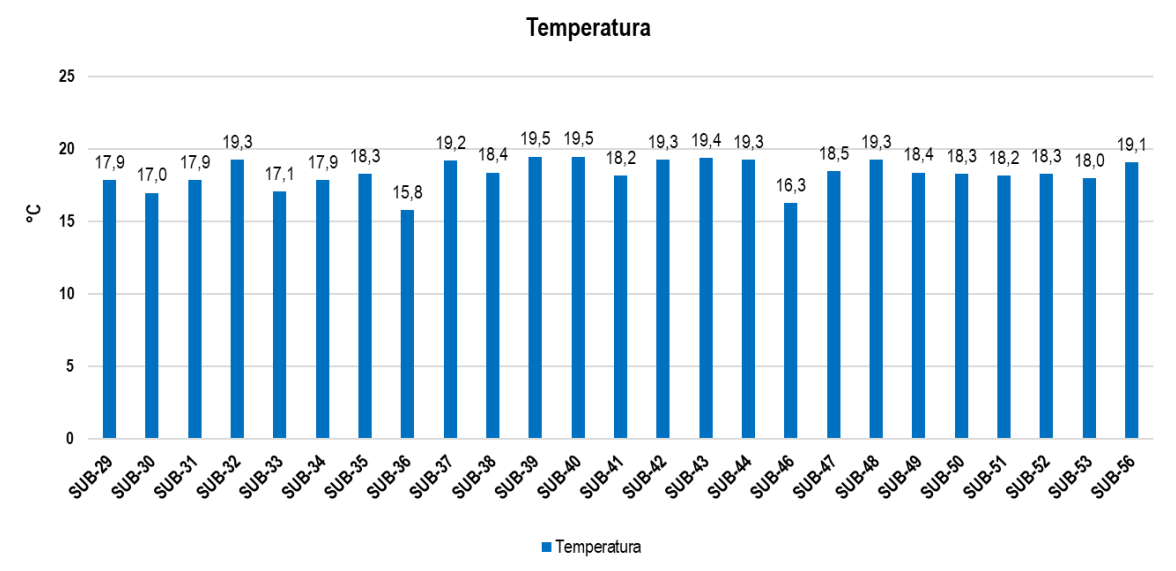


Figura 430. Comportamiento de la temperatura (Parte 2)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Potencial REDOX

El potencial REDOX es una forma de medir la actividad de un electrón en forma de energía química de oxidación-reducción mediante un electrodo de referencia, convirtiéndola en energía eléctrica. Para el presente monitoreo, el potencial REDOX medido en campo, reportó valores que oscilaron entre -400 mV (SUB-21) y 420 mV (SUB-22 y SUB-56) como se evidencia en la Figura 431 y la Figura 432. Cabe destacar que, frente a la normatividad objeto de estudio no se emite juicio normativo dado que los artículos evaluados no establecen un límite mínimo y/o máximo para este parámetro.

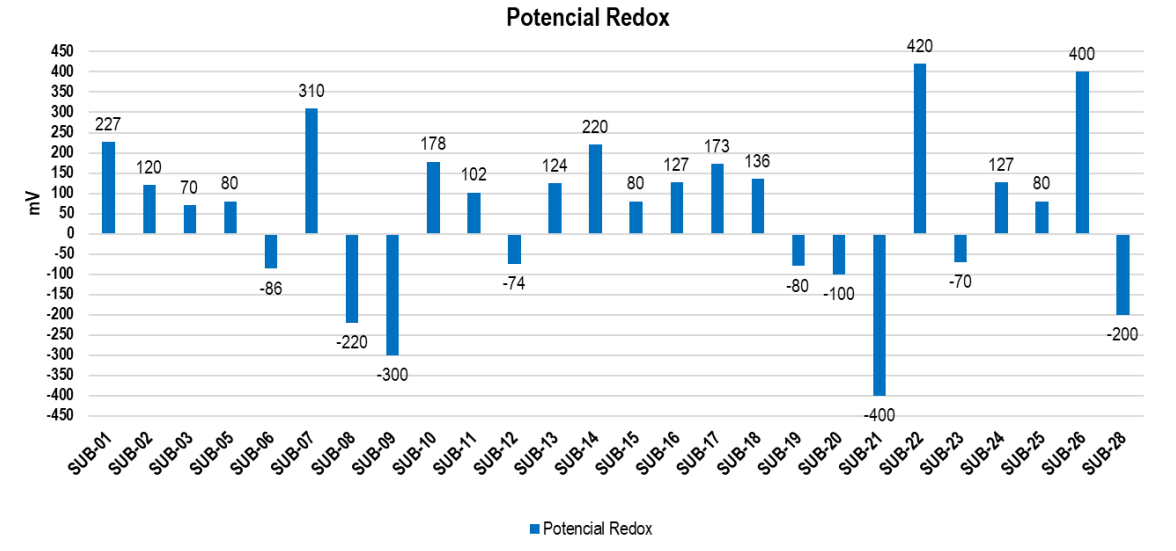


Figura 431. Comportamiento del potencial REDOX (Parte 1)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

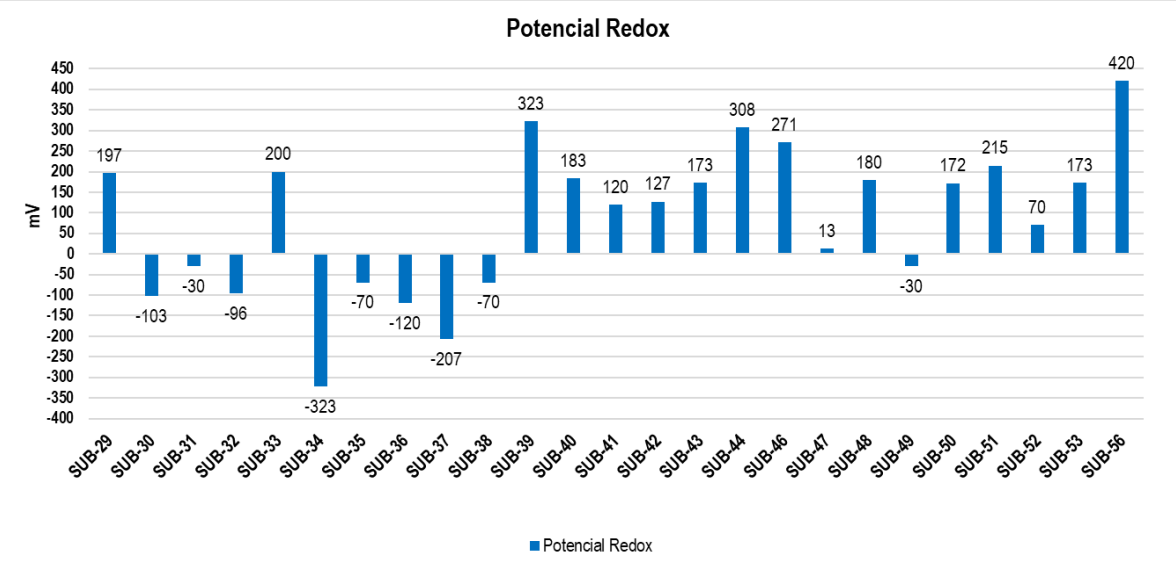


Figura 432. Comportamiento del potencial REDOX (Parte 2)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Acidez

La acidez en una muestra de agua representa su capacidad para neutralizar bases, la causa más común de la acidez es la presencia de CO2, el cual se presenta de manera disuelta en el agua por el resultado de reacciones de coagulantes químicos luego de tratamientos químicos en el caso de aguas tratadas o como proceso de oxidación de materiales orgánicos en aguas superficiales (Romero, 2009).

En el presente monitoreo, cuatro de los 51 puntos de monitoreo (SUB-05, SUB-12, SUB-41 y SUB-50) registraron concentraciones inferiores al límite de cuantificación establecido por el método de laboratorio para su determinación (<9,99 mg CaCO3/L). Para los puntos restantes se obtuvieron concentraciones detectables comprendidas entre 12,8 mg CaCO3/L (SUB-16) y 271 mg CaCO3/L (SUB-53) (ver la Figura 433 y la Figura 434). Cabe resaltar que no se emite juicio normativo, dado que los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015, no establecen valores máximos permisibles para este parámetro que permitan realizar la comparación respectiva.

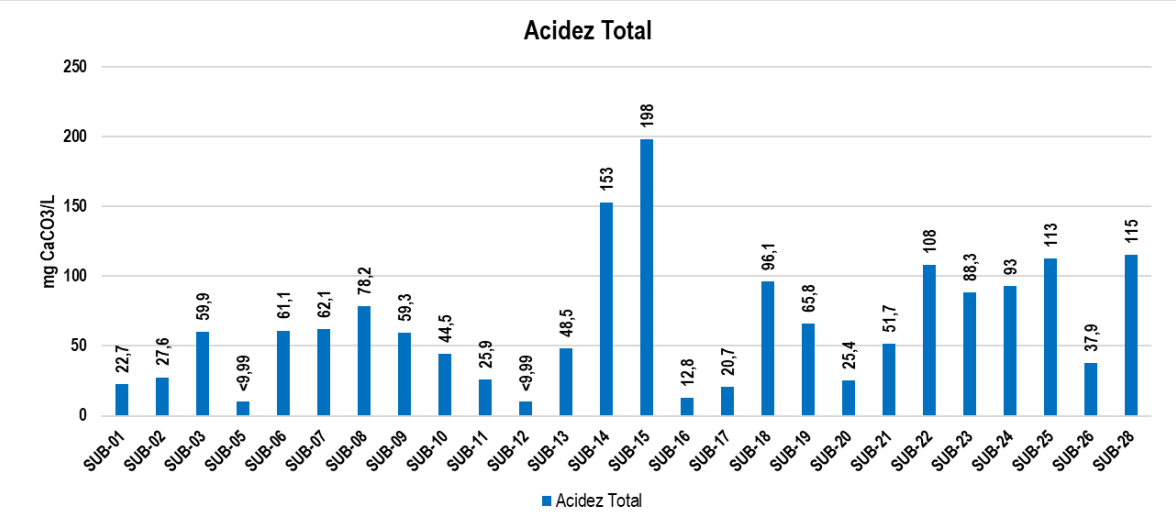


Figura 433. Comportamiento de la acidez (Parte 1)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

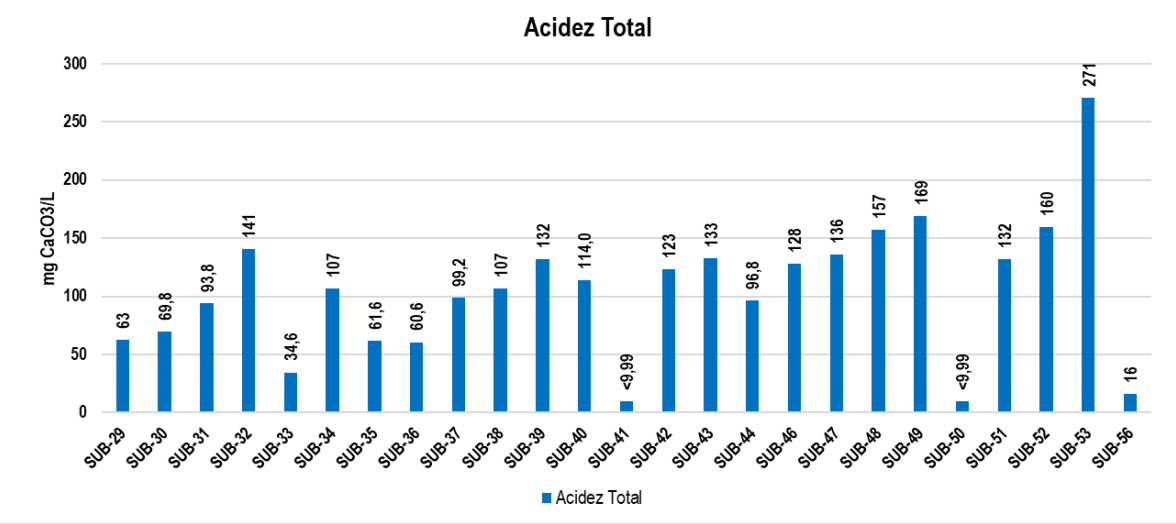


Figura 434. Comportamiento de la acidez (Parte 2)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Alcalinidad

El valor de alcalinidad es utilizado en la interpretación y control del tratamiento de aguas potables y aguas usadas. Expresa la capacidad que tiene el agua de reaccionar con ácidos fuertes, ésta corresponde principalmente al contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos.

Para el presente estudio, el punto de monitoreo denominado SUB-06 reportó un valor inferior al límite de cuantificación establecido por el método de laboratorio para su determinación (<3,77 mg CaCO3/L). Por su parte, los demás puntos de monitoreo registraron valores de alcalinidad detectables que oscilan entre 9,60 mg CaCO3/L (SUB-09) y 526 mg CaCO3/L (SUB-38), tal y como lo ilustra la Figura 435 y la Figura 436. Estas concentraciones están relacionadas con el comportamiento del pH del agua subterránea en estudio, como también con la productividad del ecosistema, puesto que da idea de la cantidad de dióxido de carbono y bicarbonatos que sirven como reserva de carbono. Cabe aclarar que, con respecto al Decreto 1076 de 2015, no se emite juicio normativo, dado que los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9, no definen un límite máximo permisible para este parámetro, sin embargo, se realiza el respectivo análisis y reporte.

De acuerdo con la información anterior y según los rangos de alcalinidad presentados en la Tabla 266, se evidencia que el agua analizada presenta una alcalinidad que oscila entre baja y alta en los puntos de monitoreo..

Tabla 266. Rangos de alcalinidad

Rango	mg $CaCO_3$/L
Baja	<75
Media	75-150
Alta	> 150

Fuente: (Rodier, 2009).

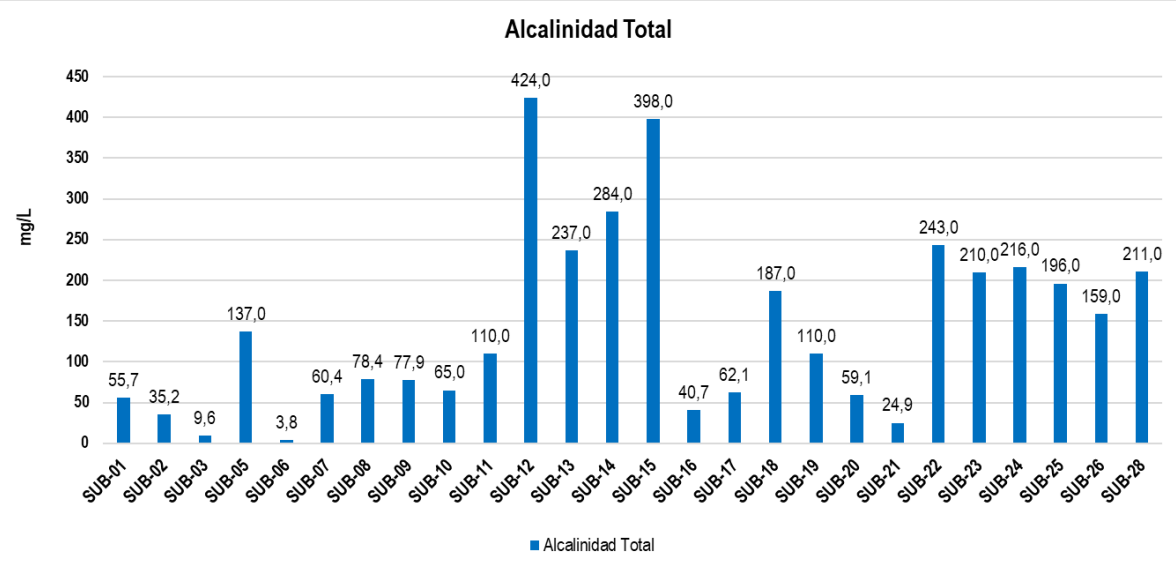


Figura 435. Comportamiento de la alcalinidad (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

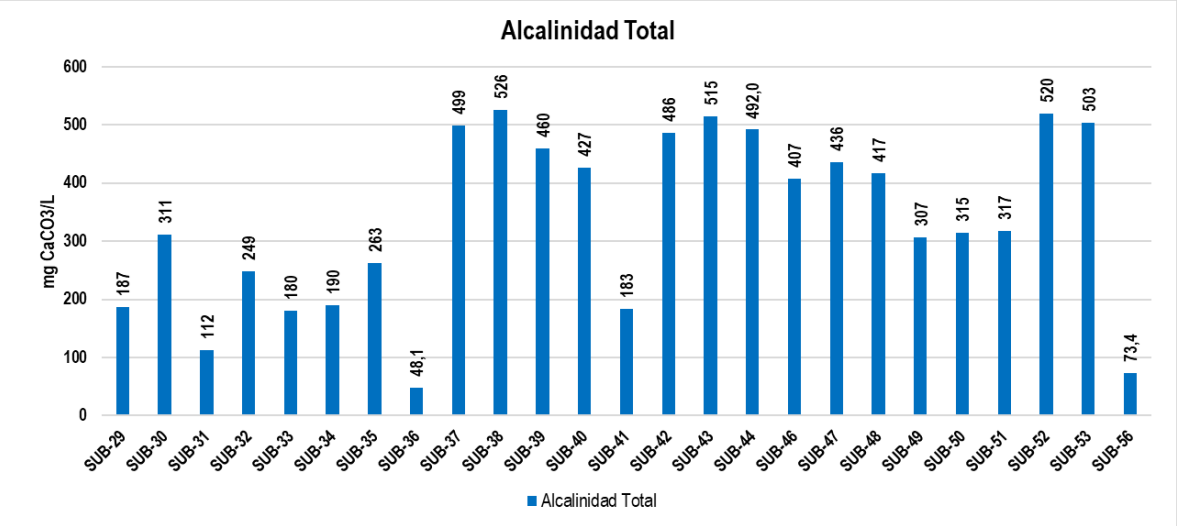


Figura 436. Comportamiento de la alcalinidad (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022

- Bicarbonatos

Los carbonatos y bicarbonatos en el agua están vinculados a la presencia de calcio, magnesio, sodio y otros iones disueltos y su determinación es útil para estimar el nivel de alcalinidad en la misma (Whitman College, S.F).

Para el presente estudio, las concentraciones de bicarbonatos reportaron valores que se encuentran entre inferiores al límite de cuantificación establecido por el método de laboratorio empleado para su determinación (<3,77 mg CaCO3/L) (SUB-06) y 526 mg CaCO3/L (SUB-37), los cuales están relacionados directamente con lo reportado para el parámetro de alcalinidad representando su mayor contribución (ver Figura 437 y Figura 438).

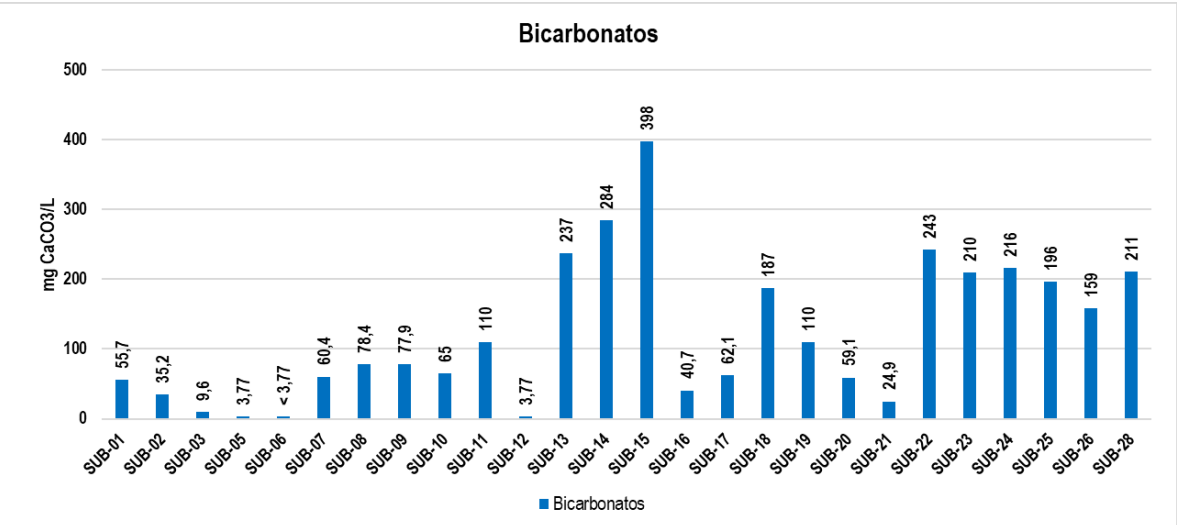


Figura 437. Comportamiento de los bicarbonatos (Parte 1)

Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

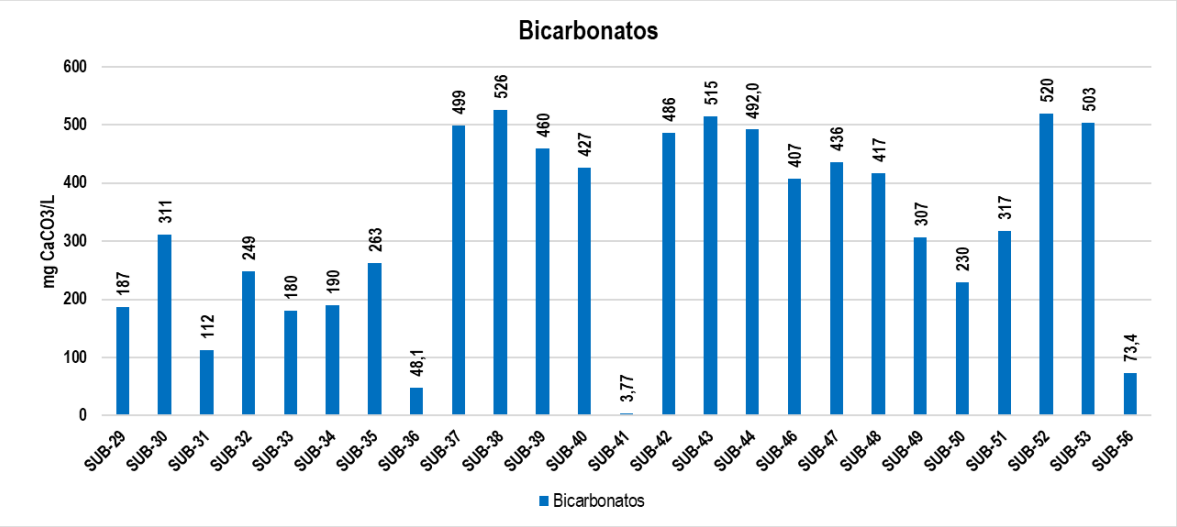


Figura 438. Comportamiento de los bicarbonatos (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Carbonatos

Por su parte, en cuanto a los carbonatos se registraron valores inferiores al límite de cuantificación establecido por el método de laboratorio utilizado para su determinación (<3,77 mg CaCO3/L) en la mayoría de los puntos de monitoreo, y, concentraciones detectables únicamente para los puntos denominados SUB-05, SUB-12, SUB-41 y SUB-50 con valores equivalentes a 50,5 mg CaCO3/L, 23,8 mg CaCO3/L, 137 mg CaCO3/L y 84,2 mg CaCO3/L, respectivamente (ver la Figura 439 y la Figura 440).

Es importante considerar que, no se emite juicio normativo para los parámetros analizados previamente, puesto que los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015 no establecen límites máximos permisibles

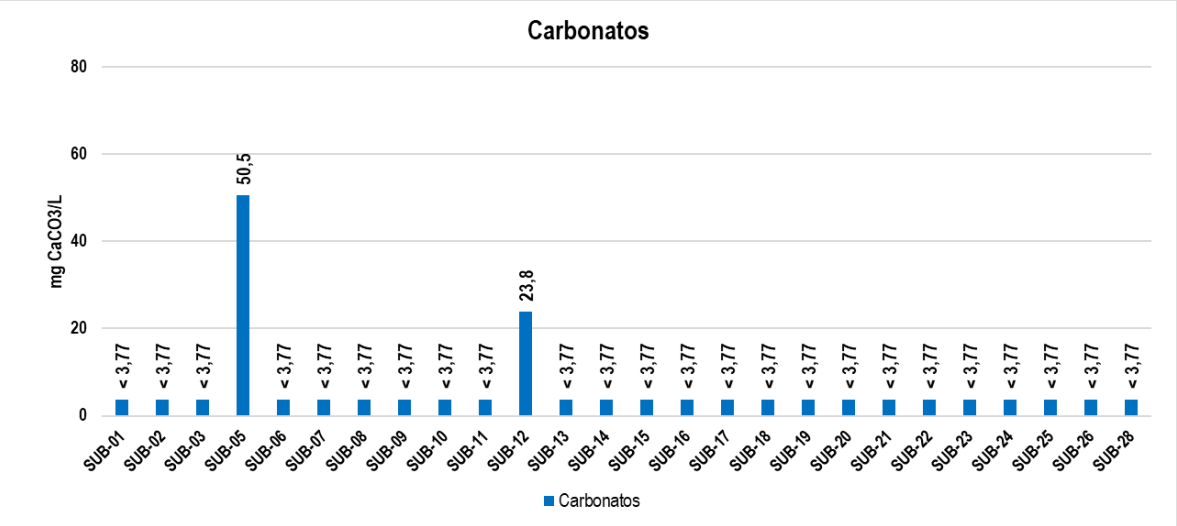


Figura 439. Comportamiento de los carbonatos (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

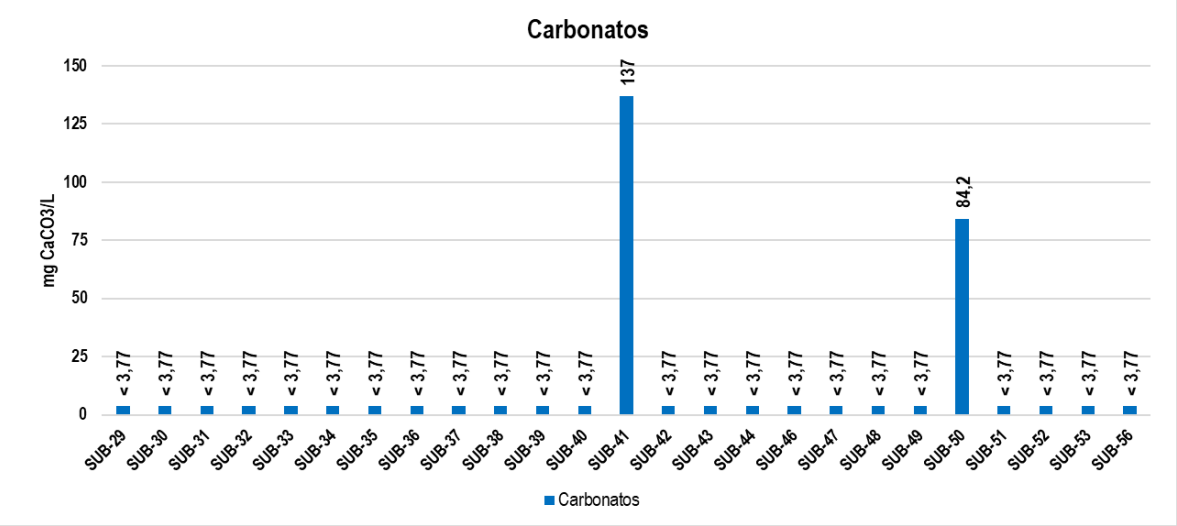


Figura 440. Comportamiento de los carbonatos (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- DBO_5

La DBO evalúa la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en mg O_2/L que será consumida por los organismos aeróbicos al degradar la materia orgánica. A través de la DBO se estima la carga orgánica de cuerpos de agua, de efluentes, y las necesidades de aireación para degradarla. Un incremento de la DBO conlleva mayor carga bacteriana (patógenos), que produce efectos adversos en la salud de la población por consumo directo del agua o indirecto a través del consumo de alimentos cuyo riego agrícola se ha realizado con agua contaminada.

En cuanto al comportamiento del contenido de materia orgánica (DBO_5) presente en los 51 puntos de muestreo fueron reportados valores que variaron entre inferiores al límite de cuantificación definido por el método de laboratorio empleado para su determinación (SUB-01, SUB-07, SUB-09, SUB-10, SUB-20 y SUB-21) y 233 mg O_2/L (SUB-53) como se ilustra en la Figura 441 y la Figura 442. Con respecto al Decreto 1076 de 2015, no se realiza juicio normativo puesto que los artículos objeto de estudio no especifican valores máximos permisibles para este parámetro.

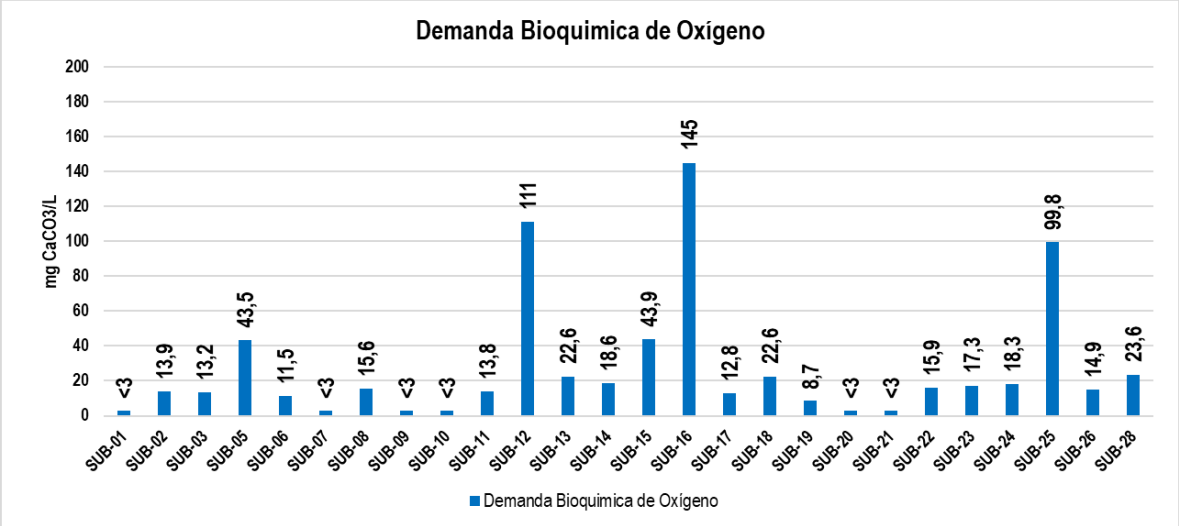


Figura 441. Comportamiento de la DBO_5 (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

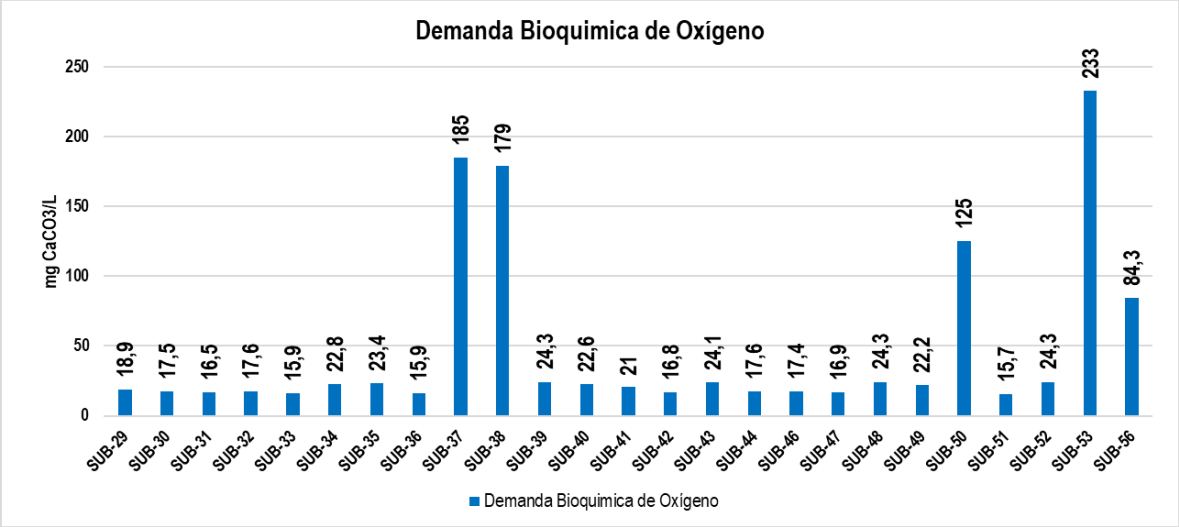


Figura 442. Comportamiento de la DBO_5 (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- DQO

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro analítico de polución que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante la oxidación química (Romero J. A., 2009). La determinación de la DQO es una medida con la cual se puede determinar cuantitativamente la porción de materia consumida en términos del oxígeno consumido y necesario para realizar los procesos de degradación de materiales orgánicos.

En el presente estudio, la DQO reportó concentraciones que se encuentran por debajo del límite de cuantificación establecido por el método de laboratorio empleado para su determinación en los puntos SUB-07, SUB-0 y SUB-20. Las concentraciones de los demás puntos oscilaron entre 16,30 mg O_2/L (SUB-21) y 704 mg O_2/L (SUB-53) (ver la Figura 443 y la Figura 444). Cabe resaltar, que la normatividad de referencia no estipula un límite máximo permisible para este parámetro, razón por la cual, no se emite juicio normativo.

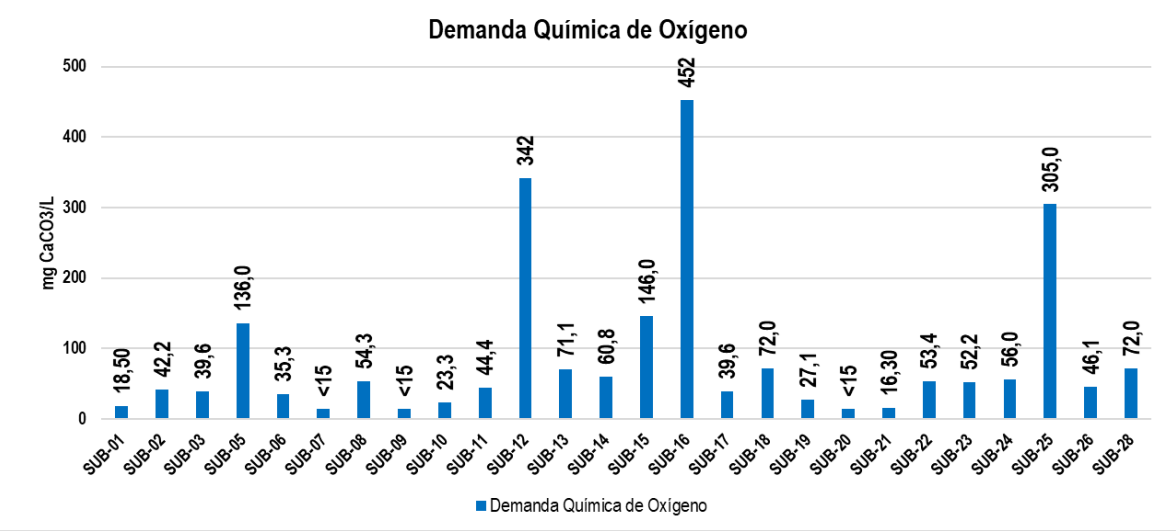


Figura 443. Comportamiento de la DQO (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

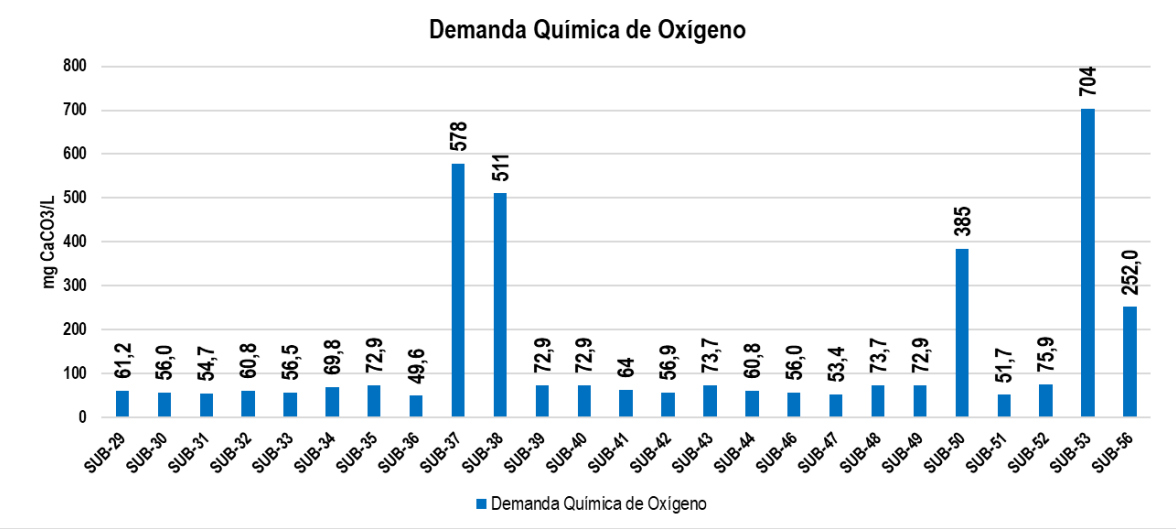


Figura 444. Comportamiento de la DQO (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más importantes en la identificación de contaminación de aguas, debido a que éste es esencial para el ecosistema acuático dado su dependencia del proceso de respiración aeróbica para la generación de energía, además es vital en los procesos de fotosíntesis, oxidación-reducción, solubilidad de minerales y la descomposición de materia orgánica (Navarro, Padilla, & Prías, 2013). Un cuerpo de agua que tenga un nivel de oxígeno disuelto por debajo de 3 mg O2/L es considerado hipóxico que, por lo general, resulta de la combinación de una alta productividad biológica y un intercambio de agua reducido (Beita & Barahona, 2010).

Para el presente monitoreo de agua subterránea, se registraron concentraciones entre 0,44 mg O2/L (SUB-06) y 1,82 mg O2/L (SUB-20) como se ilustra en la Figura 445 y la Figura 446, lo cual indica incumplimiento normativo en la totalidad de los puntos de monitoreo respecto al límite mínimo permisible que establece el Artículo 2.2.3.3.9.10 para este parámetro en agua fría dulce (5 mg O_2/L). En cuanto a la concentración frente a la concentración mínima de saturación de oxígeno del 70% definida por los Artículos 2.2.3.3.9.7 y 2.2.3.3.9.8 del Decreto 1076 de 2015, dado que los resultados obtenidos son inferiores al valor establecido (ver Tabla 267).

Tabla 267.Porcentaje de saturación de oxígeno vs normatividad

ID	Nombre	Saturación de oxígeno (%)	Artículo 2.2.3.3.9.7 (%)	Artículo 2.2.3.3.9.8 (%)
SUB-01	L2MB-TUN-PT-04	9,03	70	70
SUB-02	L2MB-TUN-PT-01	9,07		
SUB-03	L2MB-EST1-PT-01	11,8		
SUB-05	L2MB-DEP-PT-01	9,57		
SUB-06	L2MB-TUN-PT-05	6,44		
SUB-07	L2MB-DEP-PT-03	26,67		
SUB-08	L2MB-TUN-PT-06	18,22		
SUB-09	L2MB-TUN-PT-08	21,15		
SUB-10	L2MB-TUN-PT-10	18,86		
SUB-11	L2MB-TUN-PT-11	9,38		
SUB-12	L2MB-TUN-PT-02	14,04		
SUB-13	L2MB-TUN-PT-16	10,22		
SUB-14	L2MB-TUN-PT-20	23,62		
SUB-15	L2MB-TUN-PT-22	13,16		
SUB-16	L2MB-EST3-PT-01	16,61		
SUB-17	L2MB-TUN-PT-29	13,38		
SUB-18	L2MB-TUN-PT-31	11,88		
SUB-19	L2MB-TUN-PT-33	13,96		
SUB-20	L2MB-TUN-PT-35	27,4		
SUB-21	L2MB-EST4-PT-01	9,87		
SUB-22	L2MB-TUN-PT-39	10,6		

ID	Nombre	Saturación de oxígeno (%)	Artículo 2.2.3.3.9.7 (%)	Artículo 2.2.3.3.9.8 (%)
SUB-23	L2MB-TUN-PT-42	8,9		
SUB-24	L2MB-TUN-PT-40	11,94		
SUB-25	L2MB-TUN-PT-43	11,82		
SUB-26	L2MB-TUN-PT-45	10,88		
SUB-28	L2MB-TUN-PT-47	11,42		
SUB-29	L2MB-TUN-PT-49	11,46		
SUB-30	L2MB-TUN-PT-51	10,83		
SUB-31	L2MB-TUN-PT-52	12,05		
SUB-32	L2MB-EST6-PT-03	25,39		
SUB-33	L2MB-TUN-PT-55	11,28		
SUB-34	L2MB-TUN-PT-58	13,21		
SUB-35	L2MB-TUN-PT-59	15,51		
SUB-36	L2MB-TUN-PT-57	13,75		
SUB-37	L2MB-TUN-PT-62	10,88		
SUB-38	L2MB-TUN-PT-64	11,44		
SUB-39	L2MB-TUN-PT-66	14,24		
SUB-40	L2MB-EST8-PT01	12,59		
SUB-41	L2MB-EST8-PT-02	11,24		
SUB-42	L2MB-TUN-PT-68	13,44		
SUB-43	L2MB-TUN-PT-70	11,37		
SUB-44	L2MB-TUN-PT-72	7,61		
SUB-46	L2MB-TUN-PT-76	8,84		
SUB-47	L2MB-TUN-PT-78	8,96		
SUB-48	L2MB-TUN-PT-81	13,29		
SUB-49	L2MB-TUN-PT-79	8,8		
SUB-50	L2MB-EST9-PT-01	8,78		
SUB-51	L2MB-TUN-PT-83	7,3		
SUB-52	L2MB-TUN-PT-85	8,93		
SUB-53	L2MB-TUN-PT-87	7,42		
SUB-56	L2MB-PT-PT-02	19,33		

Nota: Las celdas sombreadas en color verde hacen referencia a valores que presentan incumplimiento frente a los límites permisibles establecidos en el Decreto 1076 de 2015.

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

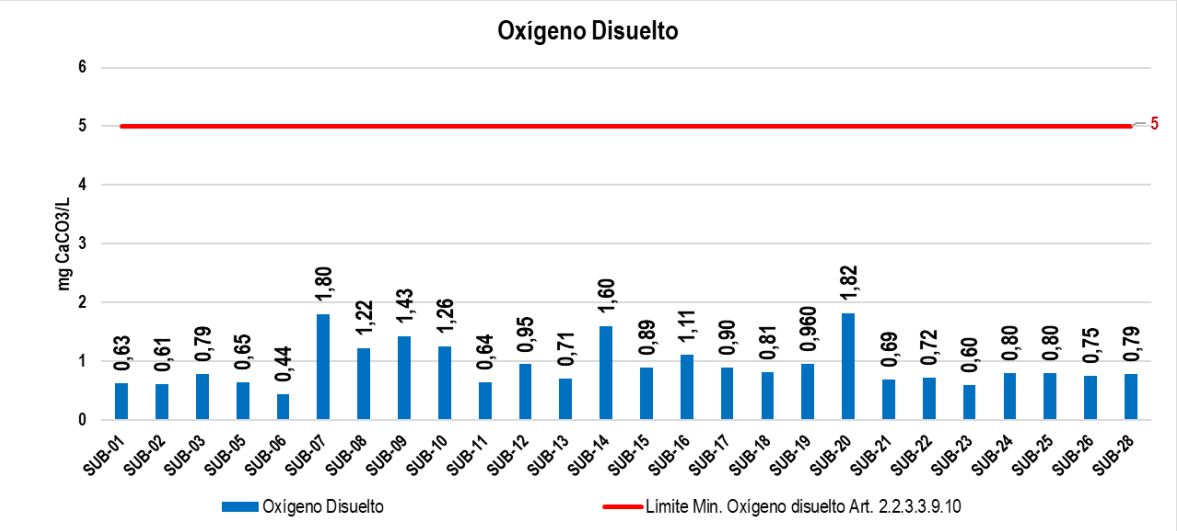


Figura 445. Comportamiento del oxígeno disuelto (Parte 1)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

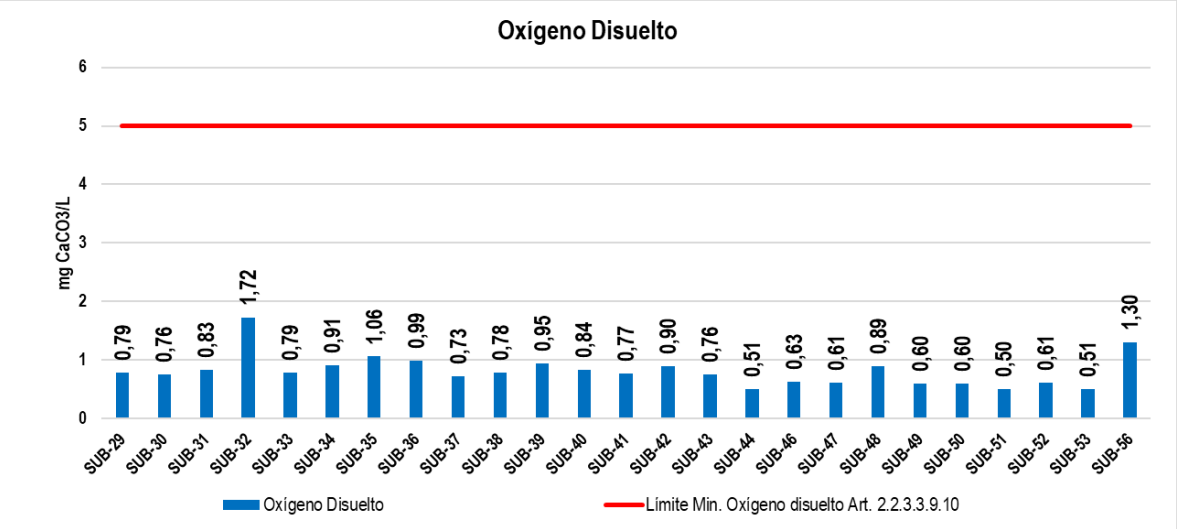


Figura 446. Comportamiento del oxígeno disuelto (Parte 2)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Dureza cálcica

La dureza del agua es la suma de los cationes metálicos con excepción de los cationes alcalinos. Fundamentalmente, la posible presencia de sales cálcicas, magnésicas de hierro y de aluminio, son los causantes de la dureza del agua; además, aguas con una baja dureza son consideradas blandas y biológicamente son poco productivas, por el contrario, las aguas duras presentan mayor producción de biomasa, aunque no se destaca una alta biodiversidad, mientras que aguas medianamente duras presentan fauna y flora más variada (Roldán & Ramírez, 2008).

Para el presente monitoreo, el parámetro de dureza cálcica registró concentraciones inferiores al límite de cuantificación establecido por el método de laboratorio para su determinación (<12,0 mg CaCO3/L) en veintitrés (23) de los cincuenta y un (51) puntos monitoreados. Para los puntos restantes, se obtuvieron valores comprendidos entre 17,2 mg CaCO3/L (SUB-07) y 732 mg CaCO3/L (SUB-12), como se observa en la Figura 447 y la Figura 448.

Cabe mencionar, que respecto a la normatividad vigente los Artículos .2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015, no establecen valores máximos permisibles para estos parámetros.

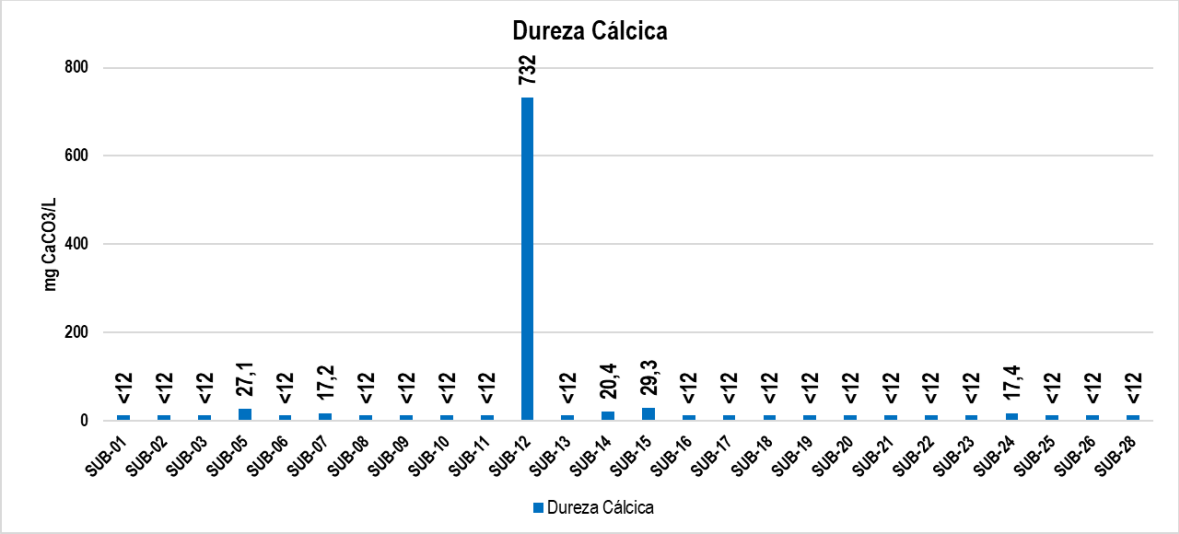


Figura 447. Comportamiento de la dureza cálcica (Parte 1)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

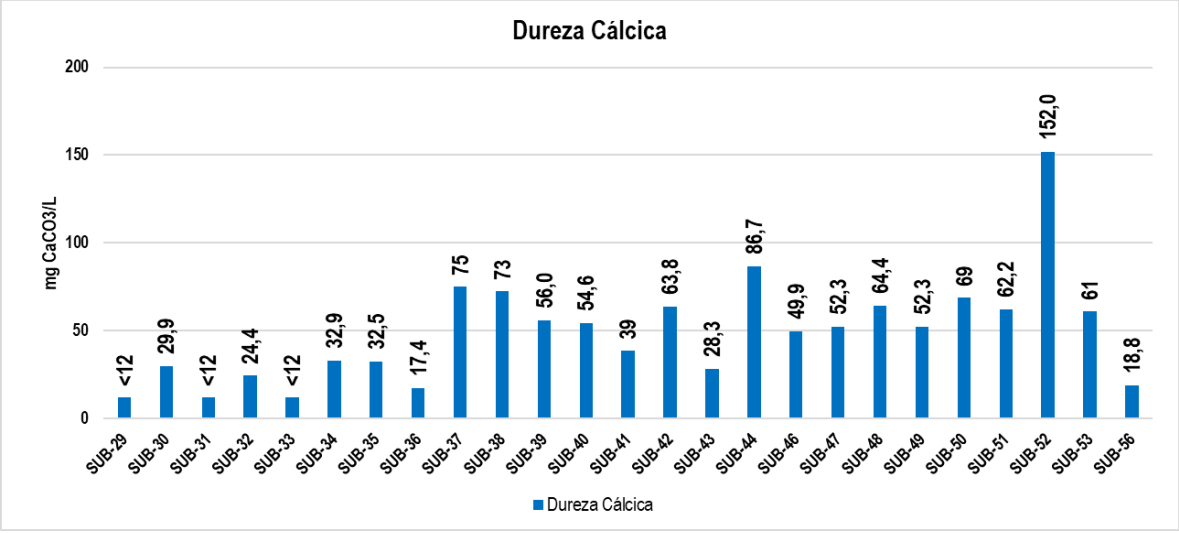


Figura 448. Comportamiento de la dureza cálcica (Parte 2)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Dureza total

La dureza del agua es la suma de los cationes metálicos con excepción de los cationes alcalinos. Fundamentalmente, la posible presencia de sales cálcicas, magnésicas de hierro y de aluminio, son los causantes de la dureza del agua; además, aguas con una baja dureza son consideradas blandas y biológicamente son poco productivas, por el contrario, las aguas duras presentan mayor producción de biomasa, aunque no se destaca una alta biodiversidad, mientras que aguas medianamente duras presentan fauna y flora más variada (Roldán & Ramírez, 2008).

Para el presente monitoreo, el parámetro de dureza total reportó concentraciones inferiores al límite de cuantificación establecido por el método de laboratorio usado para su determinación (<5,00 mg CaCO3/L) en dieciocho (18) de los puntos de monitoreo, mientras que para los puntos restantes, los valores detectables oscilaron entre 6,14 mg CaCO3/L (SUB-23) y 957 mg CaCO3/L (SUB-12), tal y como se observa en la Figura 449 y la Figura 450. En términos generales, se evidencia que las muestras de agua subterránea analizadas a través del presente monitoreo se clasifican con condiciones que varían desde “blandas” principalmente, hasta “muy duras”, lo cual puede estar relacionado directamente con las concentraciones de cationes metálicos en cada uno de los puntos de interés, de acuerdo con lo indicado en la Tabla 268.

Cabe mencionar, que respecto a la normatividad vigente los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015, no establecen valores máximos permisibles para estos parámetros.

Tabla 268. Clasificación de los valores de dureza

Clasificación	Valores de Dureza (mg $CaCO_3$/L)
Blandas	0-75
Moderadamente duras	76-150
Duras	151-300
Muy duras	>300

Fuente: Romero Rojas, 2009

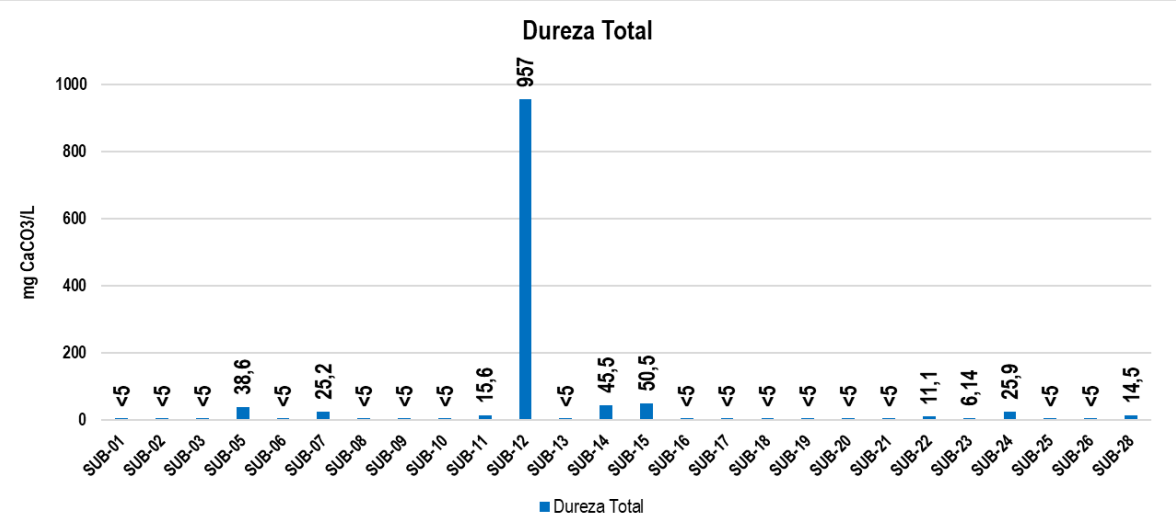


Figura 449. Comportamiento de la dureza total (Parte 1)

Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

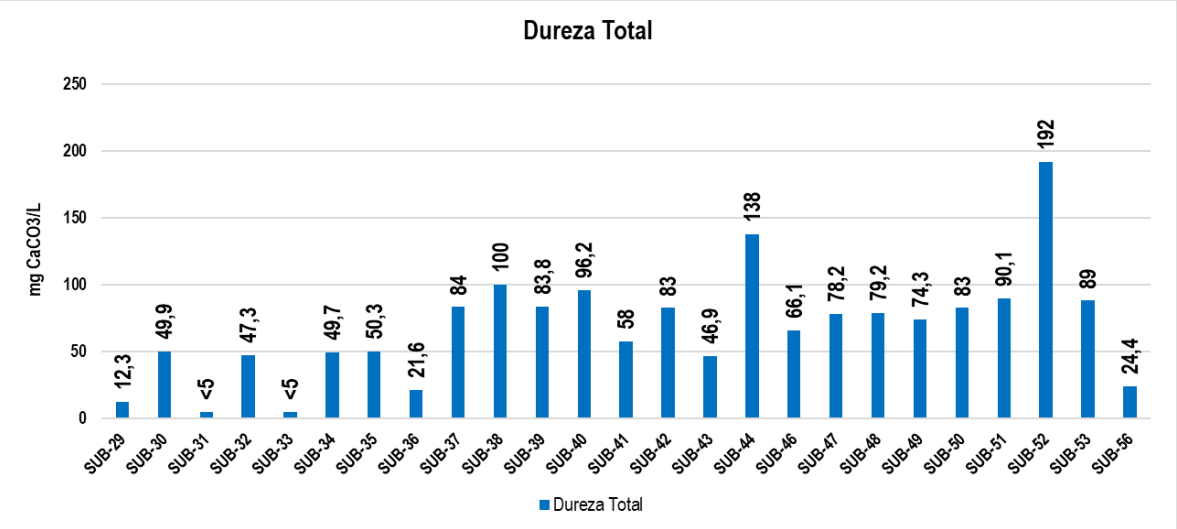


Figura 450. Comportamiento de la dureza total (Parte 2)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Sólidos disueltos totales

Los sólidos en el agua se pueden encontrar de forma suspendida o disuelta. Prácticamente, estas partículas se definen por su imposibilidad de ser separadas de la muestra de agua usando un filtro. Las partículas más pequeñas, incluyendo residuos que contienen cargas iónicas, se refieren como sólidos disueltos y poseen una relación directa con los valores de conductividad en aguas naturales debido a que es un indicador de transporte de sustancias iónicas en el agua (Ramos Olmos, 2003), mientras que los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua (Sawyer, McCarty, & Parkin, 2001).

Para el presente monitoreo, los sólidos disueltos totales presentaron valores que oscilan entre 35 mg/L (SUB-06) y 8.280 mg/L (SUB-12) (ver la Figura 451 y la Figura 452).

Cabe mencionar que, la normatividad de referencia en los artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 215, no establecen valores máximos permisibles para el parámetro

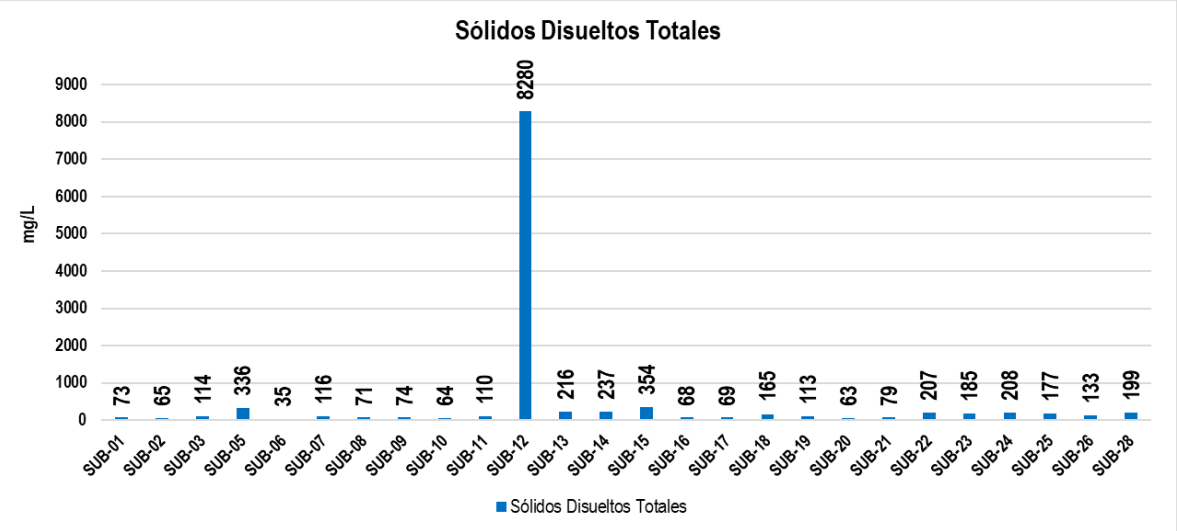


Figura 451. Comportamiento de los sólidos disueltos totales (Parte 1)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

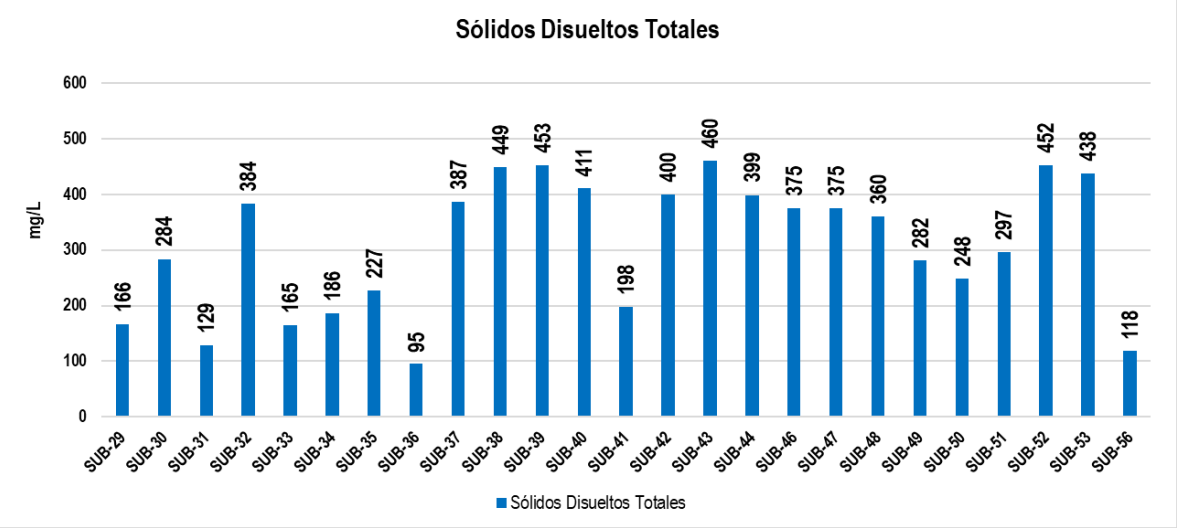


Figura 452. Comportamiento de los sólidos disueltos totales (Parte 2)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Sólidos suspendidos totales

Para el presente estudio, en el punto de monitoreo denominado SUB-09 se reportó una concentración de sólidos suspendidos totales inferior al límite de cuantificación establecido por el método de laboratorio para su determinación (<6 mg/L); mientras que para los demás puntos las concentraciones detectables oscilaron entre 25 mg/L (SUB-10) y 24.600 mg/L (SUB-23). Este comportamiento se encuentra relacionado con la turbiedad de los cuerpos hídricos evaluados. La

presencia de sólidos puede estar asociada a temas de movimiento de sedimentos en el subsuelo, los cuales están asociados directamente con los niveles de conductividad.

Cabe mencionar que, la normatividad de referencia en los artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 215, no establecen valores máximos permisibles para el parámetro.

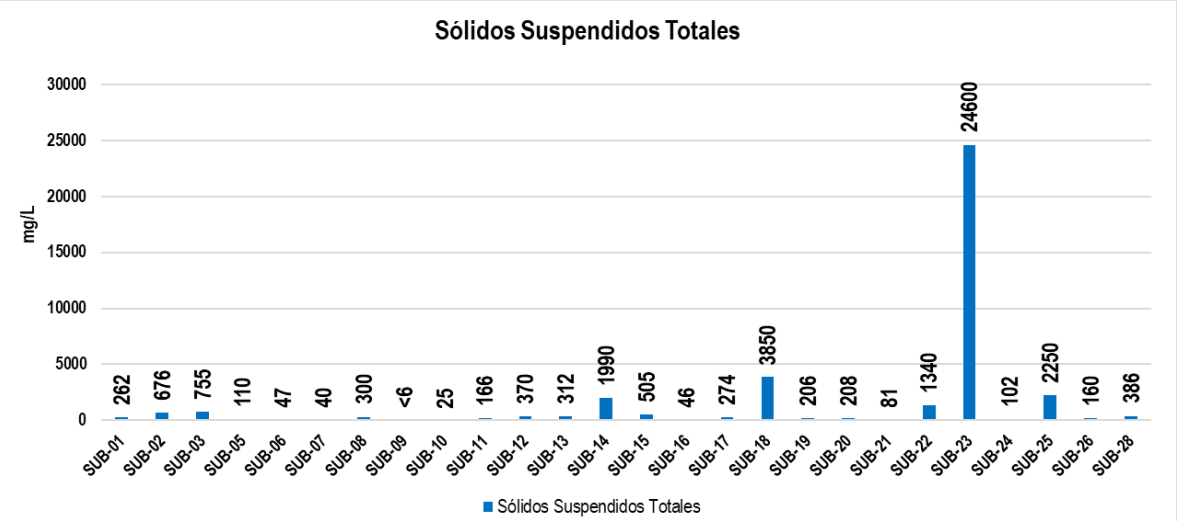


Figura 453. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales (Parte 1)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

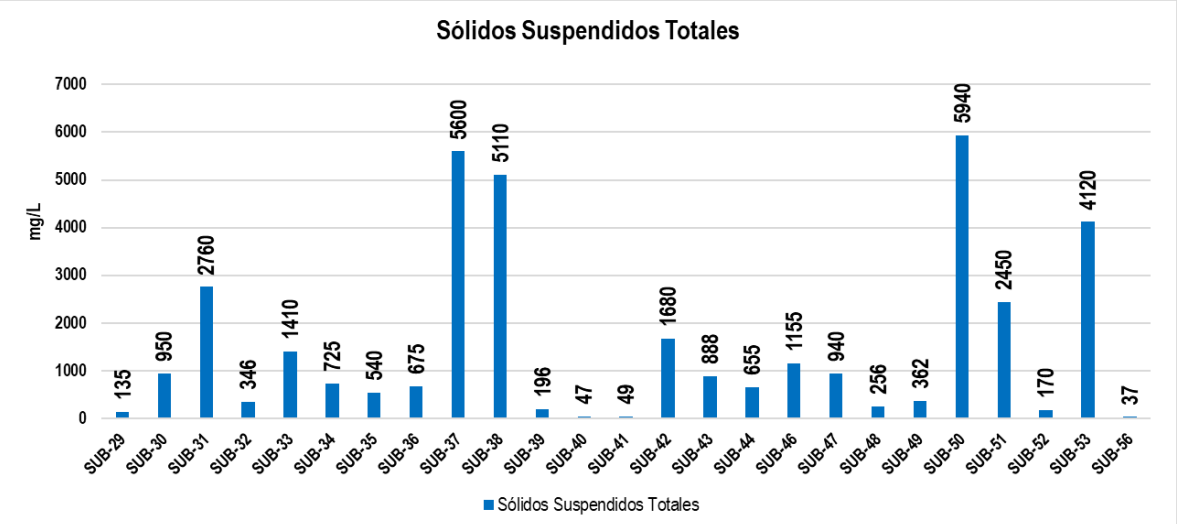


Figura 454. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales (Parte 2)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Cloruros

La medición de sales disueltas en el agua contempla los cloruros, los cuales son sustancias formadas a partir del ion cloruro presente en aguas naturales. Para el presente estudio, en veintisiete (27) de los cincuenta y un (51) puntos de monitoreo, se reportaron concentraciones inferiores al límite de cuantificación establecido por el método empleado por el laboratorio para su determinación (<5,00 mg Cl-/L), indicando de esta manera, la baja o nula presencia de sales formadas a partir del ion cloruro en los cuerpos de agua subterráneas evaluados. Por su parte, los puntos restantes registraron concentraciones detectables comprendidas entre 5,88 mg Cl-/L (SUB-31) y 64,4 mg Cl-/L (SUB-12) (ver Figura 455 y la Figura 456), evidenciando cumplimiento normativo en la totalidad de los puntos monitoreados de acuerdo con lo establecido en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015.

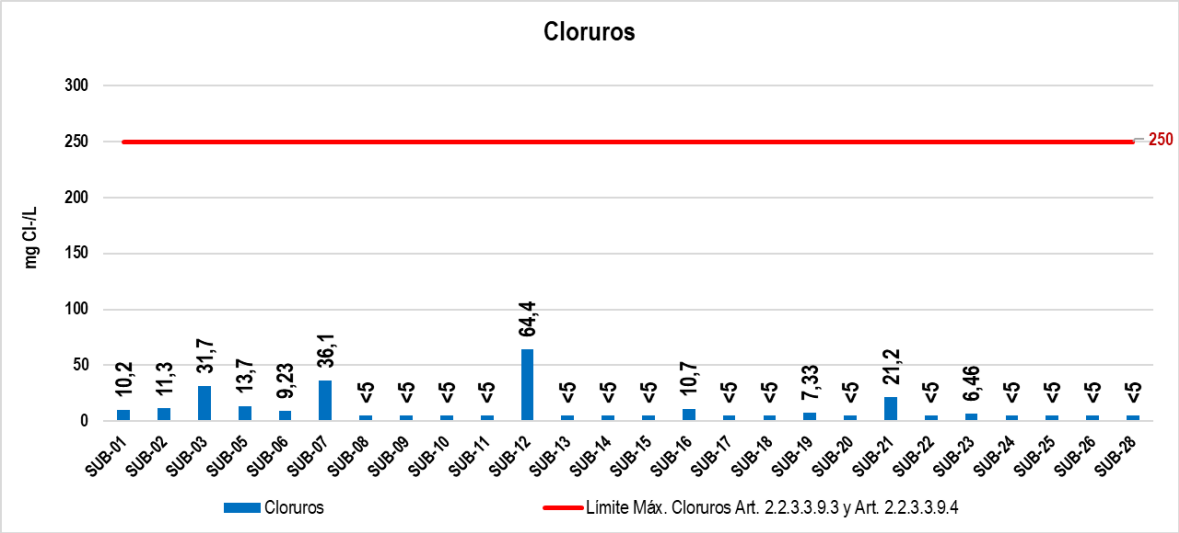


Figura 455. Comportamiento de los cloruros (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

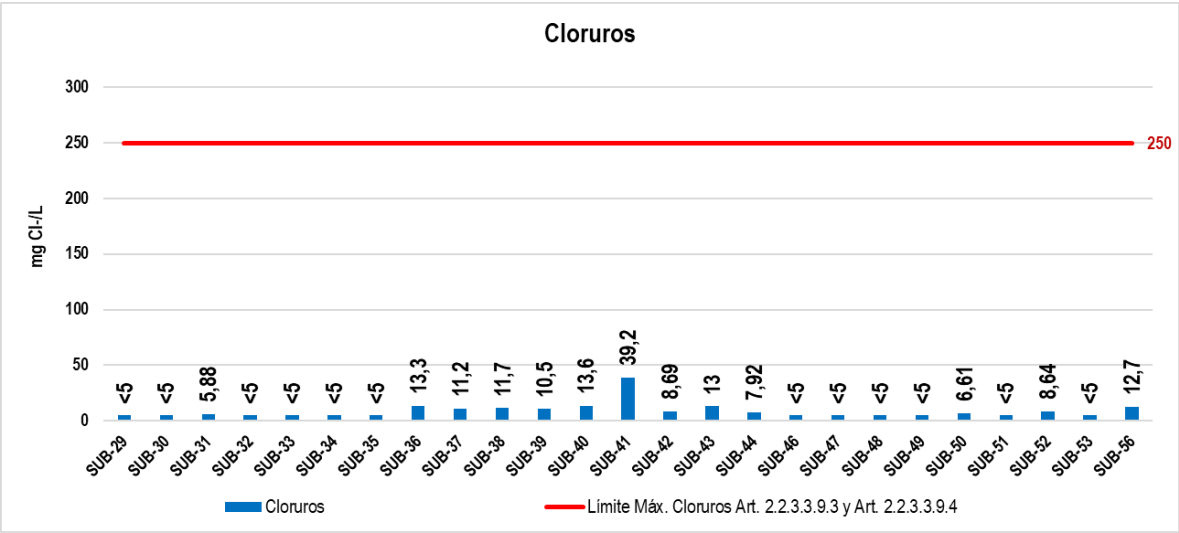


Figura 456. Comportamiento de los cloruros (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Fósforo total

El fósforo total incluye todas las formas del fósforo y se presenta mayoritariamente en forma de fosfatos; estos son clasificados en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y orto fosfatos) y fosfatos enlazados orgánicamente. Este ion (PO4 -) se forma a partir del fósforo inorgánico que existe como mineral y contribuye directamente en el ciclo de este elemento en el ambiente. También puede existir en solución como partículas, como fragmentos sueltos o en los cuerpos de organismos acuáticos (Bolaños Alfaro, Cordero Castro, & Segura Araya , 2017).

En el presente estudio, para el fósforo total se reportaron, en su mayoría,concentraciones detectables que pueden estar asociadas al contenido de materia orgánica en los puntos de muestreo y que variaron entre inferiores al límite de cuantificación establecido por el método de laboratorio empleado para su determinación (<0,0500 mg P/L) (SUB-01, SUB-02, SUB-06 y SUB-16) y 4,62 mg P/L (SUB-46), como se ilustra en la Figura 457 y en la Figura 458.

Cabe mencionar que, la normatividad de referencia no establece un límite máximo permisible para este parámetro, sin embargo, es importante considerar que los Artículos 2.2.3.3.9.7 y 2.2.3.3.9.8 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015, plantean que “el nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporción que no causen eutrofización”, por lo cual, se debe velar por que las concentraciones de fósforo en el agua sean mínimas.

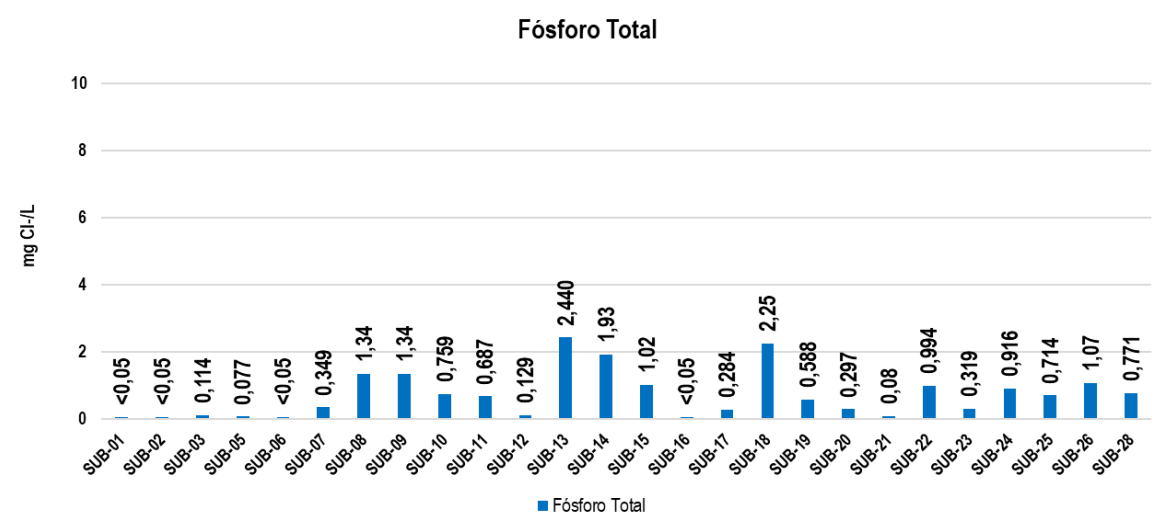


Figura 457. Comportamiento del fósforo total (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

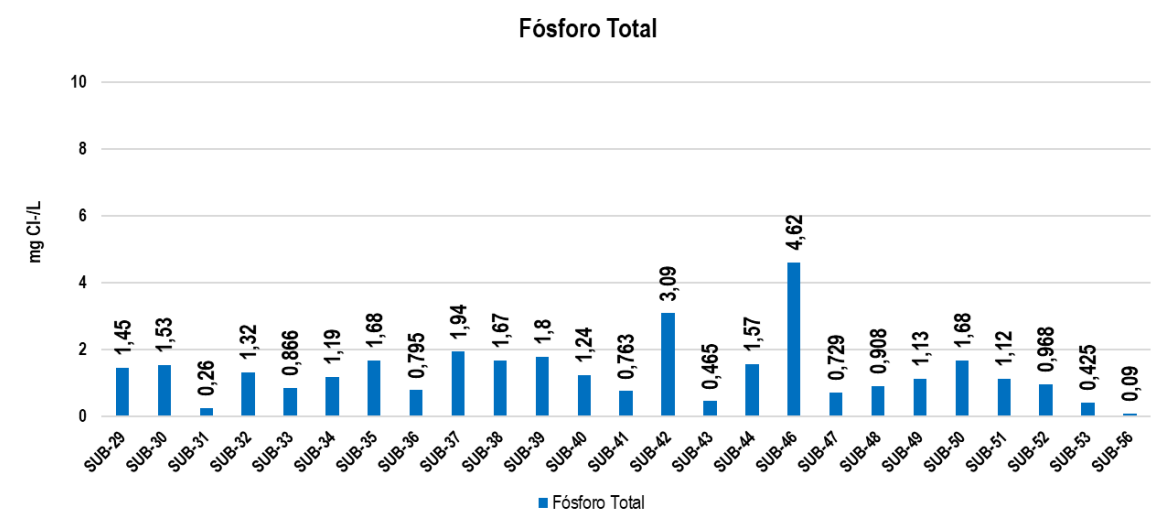


Figura 458. Comportamiento del fósforo total (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Nitratos

Los nitratos son compuestos solubles conformados molecularmente por nitrógeno y oxígeno. En el ambiente, el nitrito (NO2-) generalmente se convierte en nitrato (NO3-) fácilmente. Si bien es cierto, estos compuestos forman parte del ciclo natural del nitrógeno, las actividades humanas incrementan sus niveles principalmente en el suelo, y es debido a su solubilidad en agua, por lo que llega a alcanzar concentraciones importantes en ríos o lechos profundos (Bolaños Alfaro, Cordero Castro, & Segura Araya , 2017).

Para este parámetro fueron reportadas concentraciones inferiores al límite de cuantificación establecido por el método de laboratorio empleado para su detección (<0,100 mg NO3-N/L), cuatro (4) de los cincuenta y un (51) puntos monitoreados, mientras que para los puntos restantes se reportaron concentraciones detectables que oscilaron entre 0,115 mg NO3-N/L (SUB-01) y 3,042 mg NO3-N/L (SUB-12). Lo anterior, indica cumplimiento normativo frente a lo establecido en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015 (ver la Figura 459 y la Figura 460).

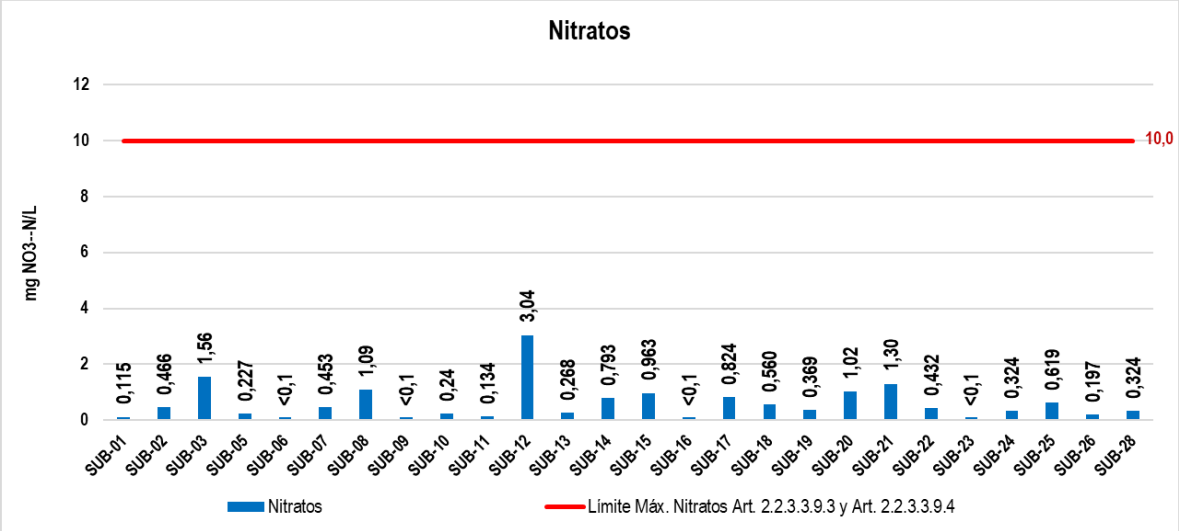


Figura 459. Comportamiento de los nitratos (Parte 1)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

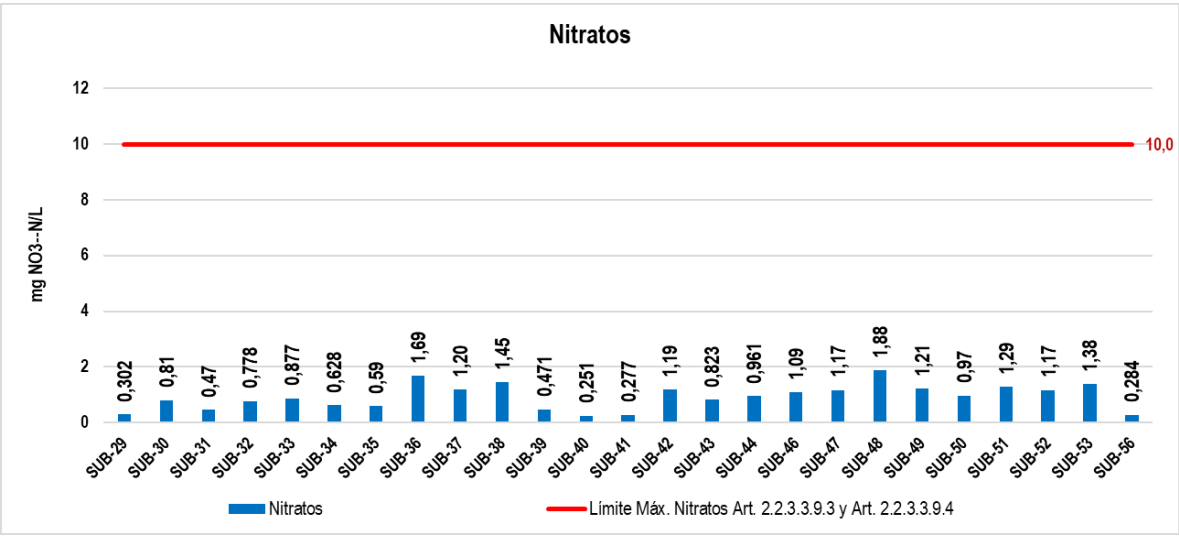


Figura 460. Comportamiento de los nitratos (Parte 2)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Nitrógeno total

En cuanto al nitrógeno total, se tiene que es una medida de todas las varias formas de nitrógeno que se encuentran en una muestra de agua. El nitrógeno es un nutriente necesario para el crecimiento de plantas acuáticas y algas. No todas las formas de nitrógeno pueden ser utilizadas fácilmente por las plantas acuáticas y las algas, especialmente el nitrógeno vinculado con materia orgánica disuelta o partículas. El nitrógeno total consiste en formas inorgánicas y orgánicas. Las formas inorgánicas incluyen el nitrato (NO3-), nitrito (NO2-), el amoníaco (NH4+) ionizado y gas del nitrógeno (N2), mientras

que el contenido de nitrógeno orgánico en un agua incluye el nitrógeno de aminoácidos, aminas, polipéptidos, proteínas y otros compuestos orgánicos del nitrógeno (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas - DANE, S.F).

Para el presente monitoreo, el nitrógeno total reportó concentraciones que oscilaron entre inferior al límite de cuantificación establecido por el método de laboratorio para su determinación (<0,500 mg/L) (SUB-06) y 80,2 mg/L (SUB-39) (ver Figura 461 y Figura 462). Cabe mencionar que, para este parámetro, los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015 no establecen límites máximos permisibles. Sin embargo, es importante considerar que los Artículos 2.2.3.3.9.7 y 2.2.3.3.9.8 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015, plantean que “el nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporción que no causen eutrofización”, por lo cual, las concentraciones de nitrógeno en el agua deberían ser mínimas.

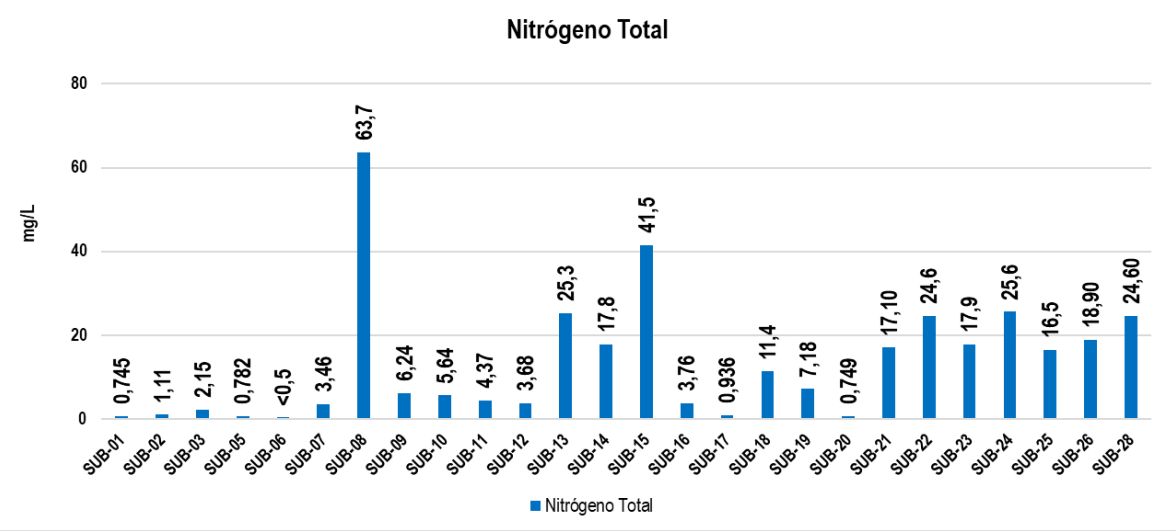


Figura 461. Comportamiento del nitrógeno total (Parte 1)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

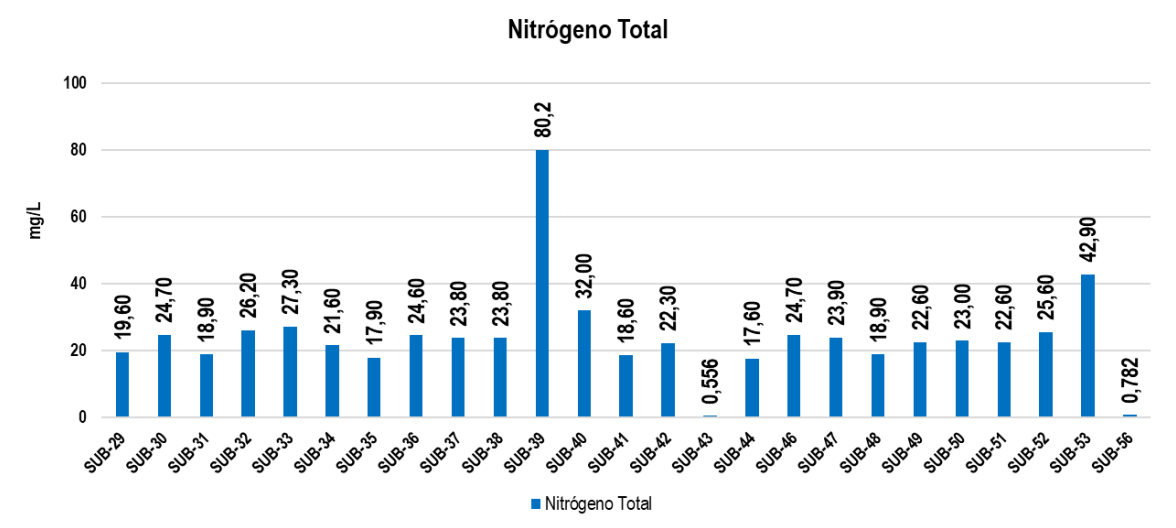


Figura 462. Comportamiento del nitrógeno total (Parte 2)

Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Sulfatos

Los sulfatos se encuentran en cuerpos naturales, siendo uno de los principales compuestos presentes en el agua lluvia. En el presente estudio, para este parámetro se reportaron en valores inferiores al límite de cuantificación definido por el método de laboratorio empleado para su determinación (<5,00 mg SO42-/L) en 32 de los 51 puntos de monitoreo, mientras que en los puntos restantes se reportaron concentraciones detectables que variaron entre 6,77 mg SO_4^{2-}/L (SUB-17) y 896 mg SO_4^{2-}/L (SUB-12), respectivamente (ver la Figura 463 y la Figura 464). Con base en lo anterior, se puede evidenciar cumplimiento normativo respecto al límite máximo permisible establecido en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 de la normatividad objeto de estudio (ver Figura 463). Cabe resaltar, que los demás artículos de referencia no establecen valores máximos permisibles para realizar la respectiva comparativa.

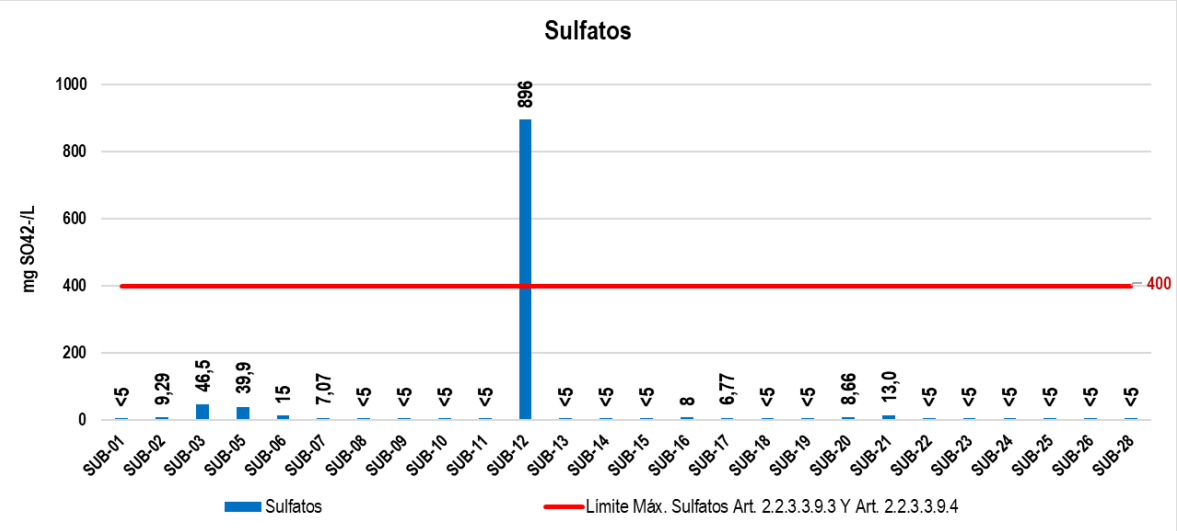


Figura 463. Comportamiento de los sulfatos (Parte 1)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

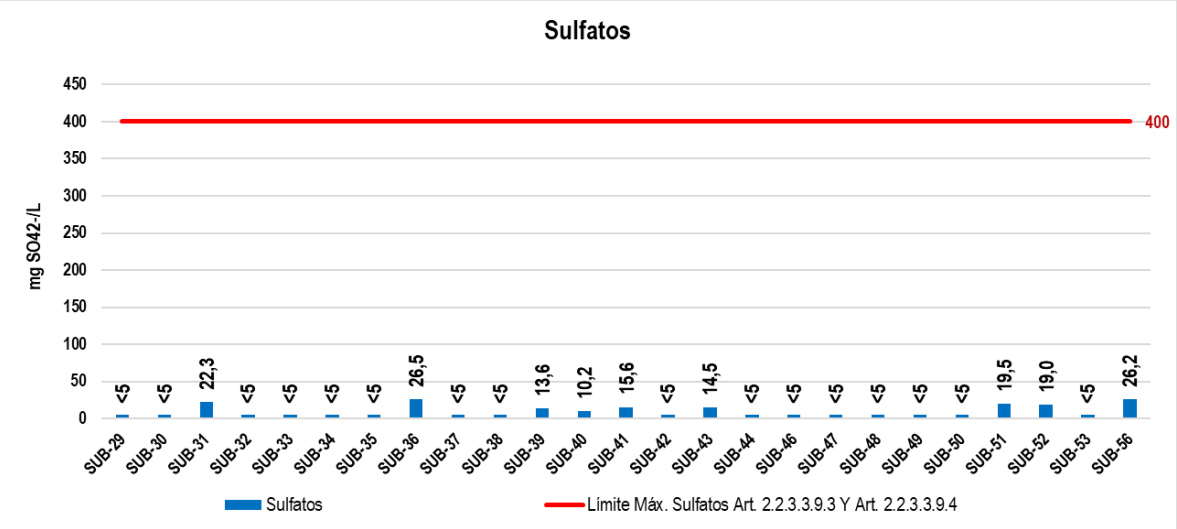


Figura 464. Comportamiento de los sulfatos (Parte 2)
Fuente:UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Calcio total

El calcio, junto con el magnesio son parámetros que se encuentran directamente asociados con la dureza de las aguas, por ende, esta depende de su concentración. En este caso, el calcio total reportó concentraciones entre 2,30 mg Ca/L (SUB-06) y 293 mg Ca/L (SUB-12) (ver Figura 465 y Figura 466). Cabe resaltar que no se emite juicio normativo debido a que los Artículos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015 no establecen límites máximos permisibles para este parámetro.

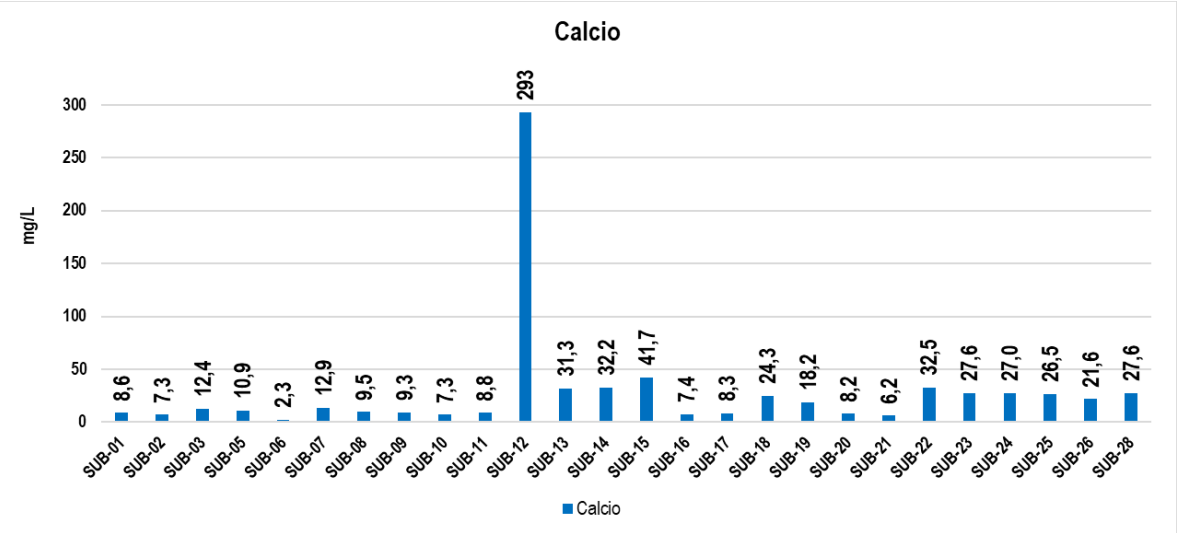


Figura 465. Comportamiento del calcio total (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

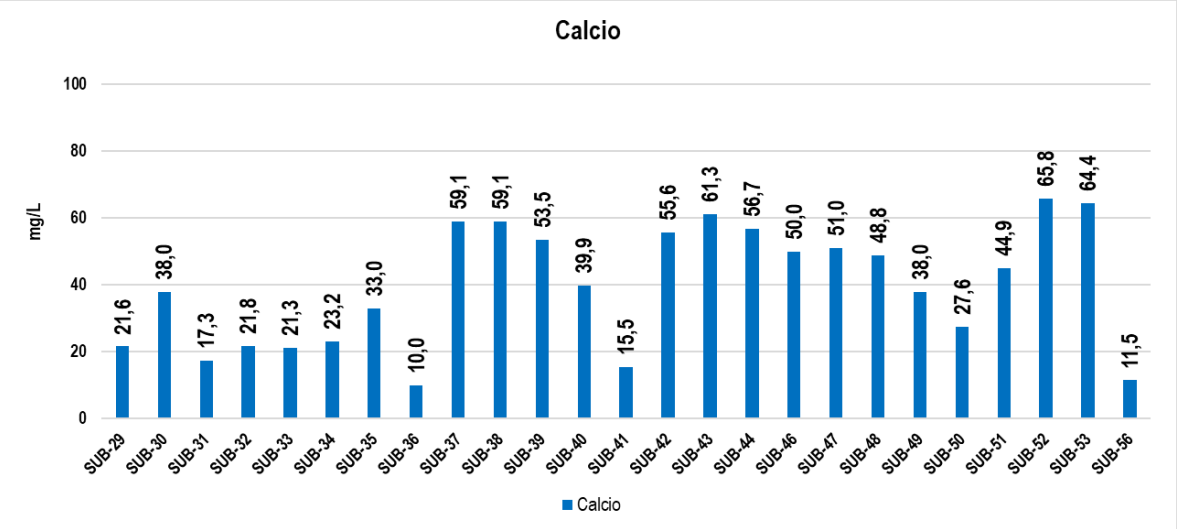


Figura 466. Comportamiento del calcio total (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Hierro total

El metal hierro total reportó valores entre 2,38 mg Fe/L (SUB-41) y 125 mg Fe/L (SUB-24), evidenciando cumplimiento normativo únicamente en cinco (5) puntos de monitoreo e incumplimiento normativo en los cuarenta y seis (46) restantes, respecto al límite máximo permisible establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015 (5,0 mg Fe/L) (ver la Figura 467 y la Figura 468). Cabe mencionar que en los demás Artículos de referencia no se especifican límites máximos permisibles para este parámetro.

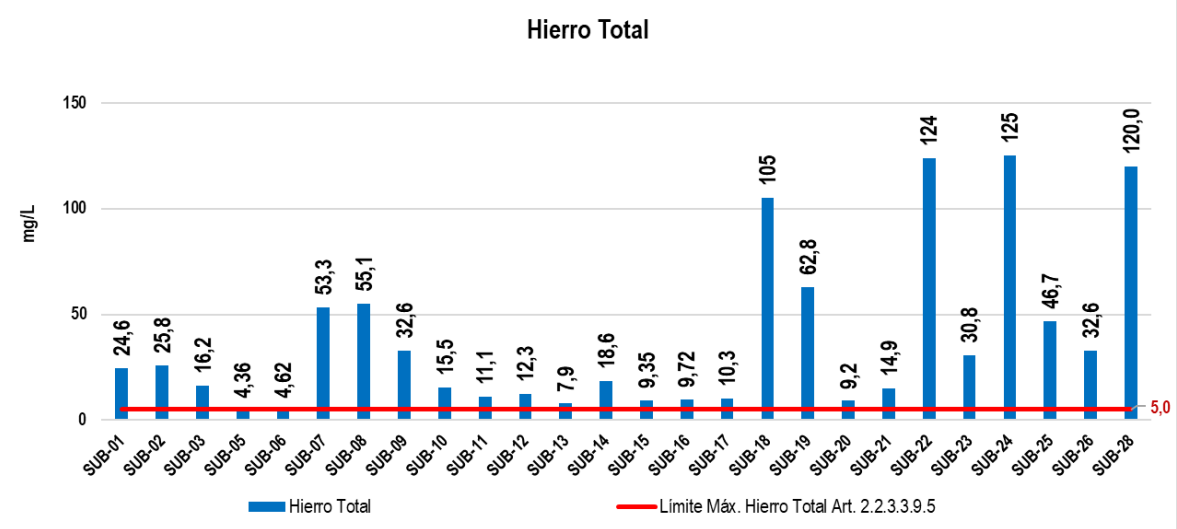


Figura 467. Comportamiento del hierro total (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

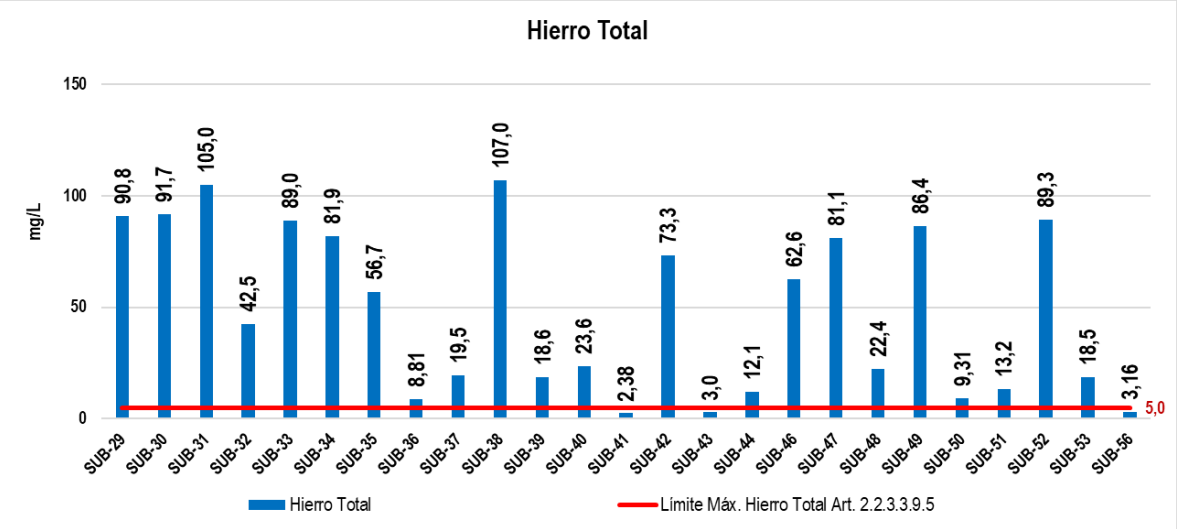


Figura 468. Comportamiento del hierro total (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Magnesio total

Las concentraciones obtenidas para el magnesio total registraron valores comprendidos entre 0,240 mg Mg/L para el punto denominado SUB-19 y 54,7 mg Mg/L para el punto SUB-12 (ver la Figura 469 y la Figura 470). Se debe considerar que los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015 no establecen límites máximos permisibles para este parámetro.

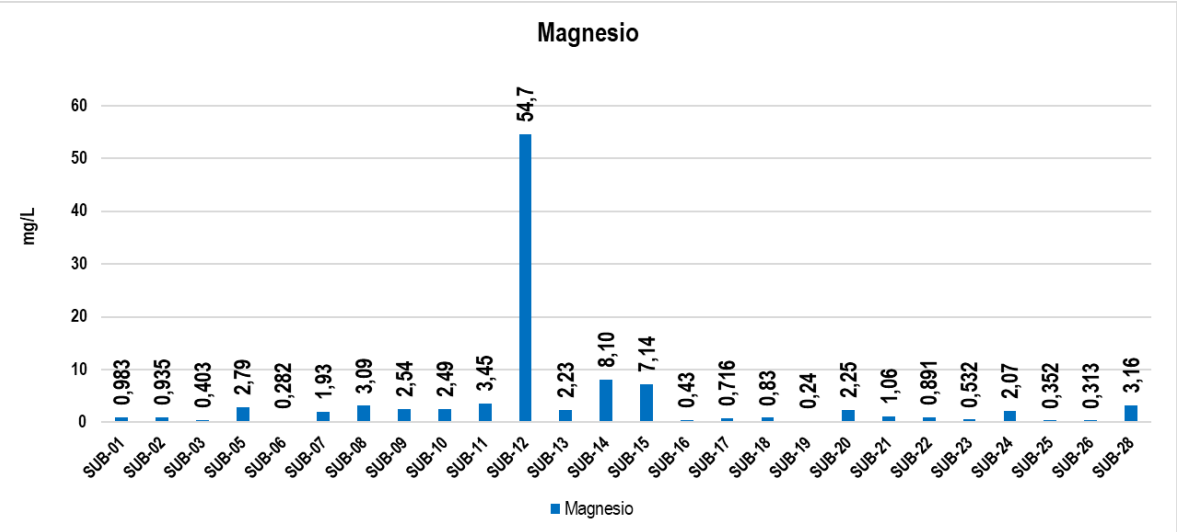


Figura 469. Comportamiento del magnesio total (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

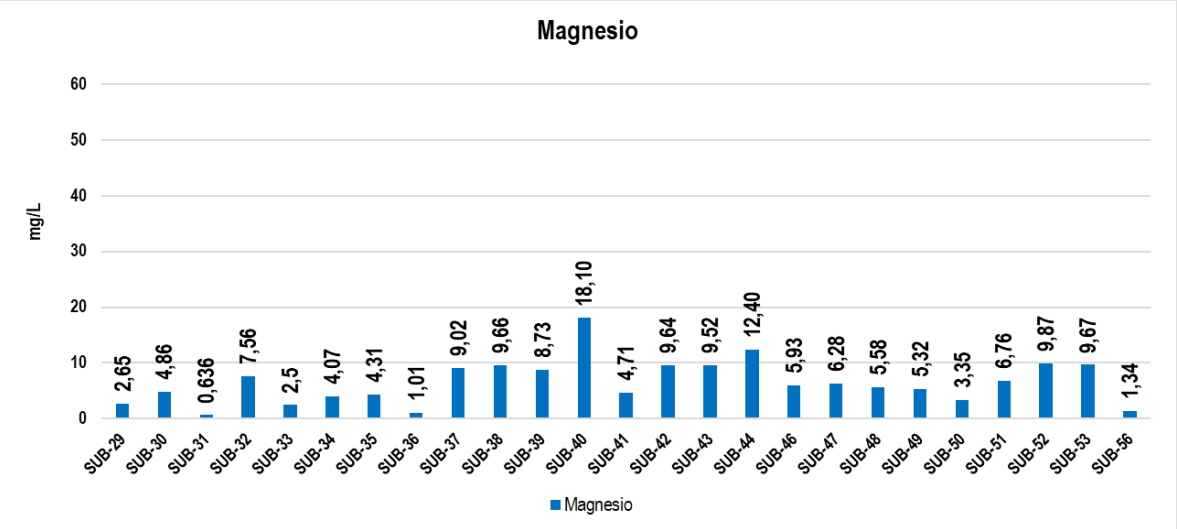


Figura 470. Comportamiento del magnesio total (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Potasio total

El potasio total en las muestras de agua subterránea analizadas registró concentraciones que oscilaron entre 0,256 mg K/L (SUB-10) y 11,7 mg K/L (SUB-38) (ver Figura 471 y la Figura 472). Cabe resaltar que no se emite juicio normativo dado que los artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015 no establecen valores máximos permisibles para este parámetro.

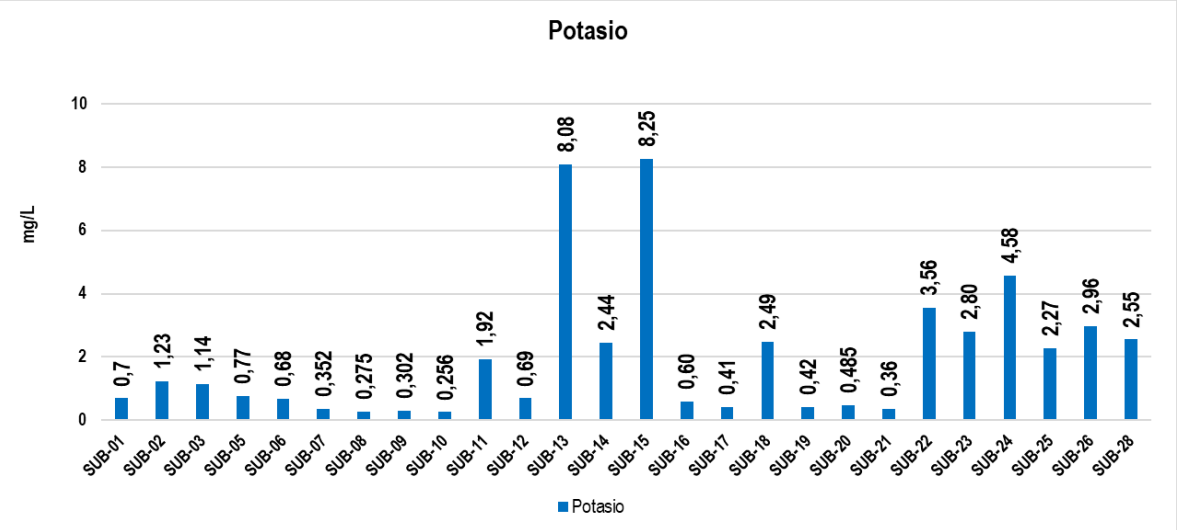


Figura 471. Comportamiento del potasio total (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

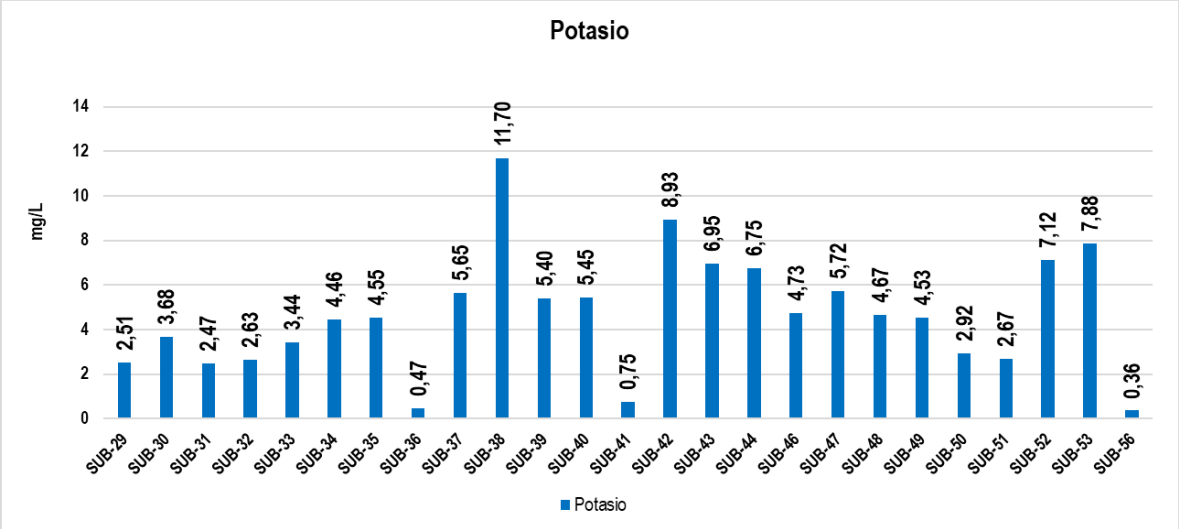


Figura 472. Comportamiento del potasio total (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Sodio total

En cuanto al sodio total, fueron reportadas concentraciones comprendidas entre 1,10 mg Na/L (SUB-12) y 83,0 mg Na/L (SUB-43) como se ilustra en la Figura 474 y en la Figura 474. No se emite juicio normativo debido a que en los artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015 no se especifican valores de referencia para este parámetro.

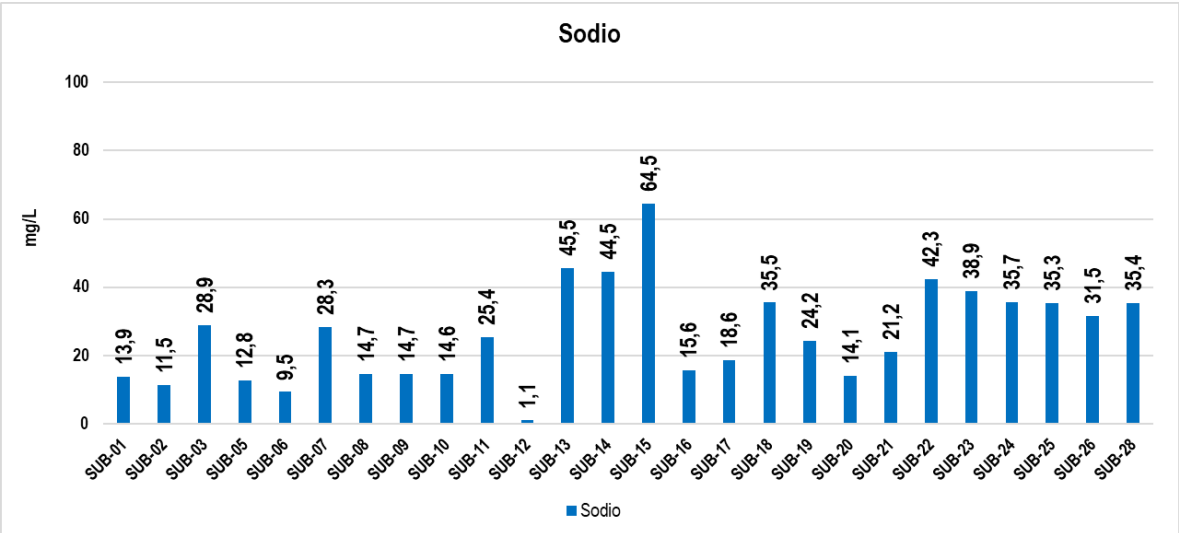


Figura 473. Comportamiento del sodio total (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

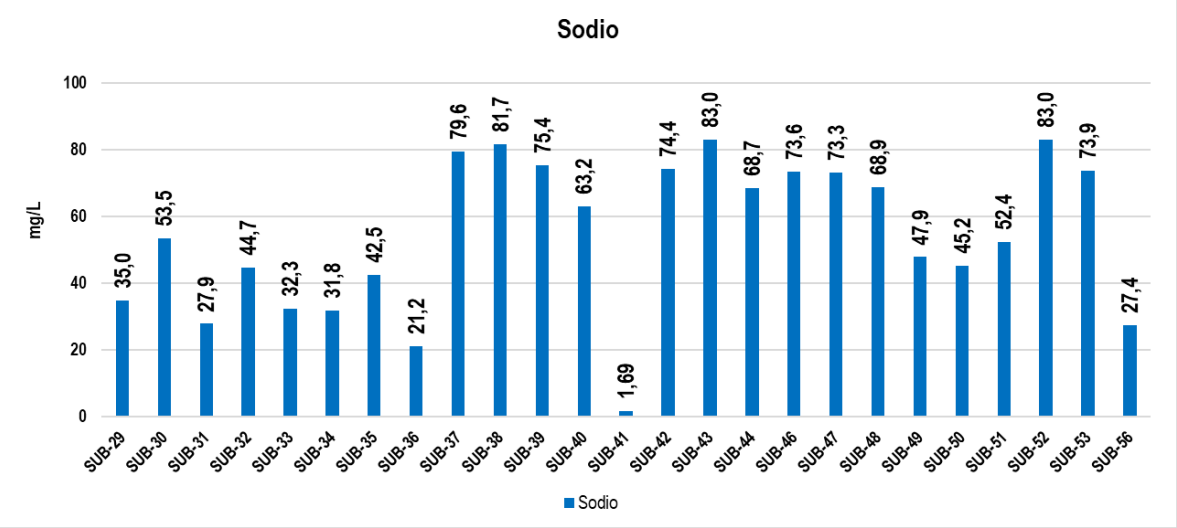


Figura 474. Comportamiento del sodio total (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Grasas y aceites

Las grasas y aceites son el conjunto de sustancias con niveles pobres de solubilidad que flotan sobre la masa acuosa con lo que se forman natas, películas y capas iridiscentes sobre el agua, por lo que dicha capa afecta de manera directa el transporte de oxígeno en el agua (Romero J. A., 2009). Los aceites y grasas son sustancias que presentan dificultad de transporte y reducen la capacidad de flujo, las concentraciones de grasas y aceites pueden producir un cambio en las características del agua, provocando en el ecosistema serios efectos debido al impacto negativo de estos contaminantes sobre sus diferentes componentes.

Las concentraciones reportadas de grasas y aceites en el presente monitoreo reportaron valores indetectables por el método de laboratorio (<0,900 mg aceites y grasas/L) en los puntos de monitoreo denominados SUB-08 y SUB-44. Para las cuarenta y nueve (49) muestras de agua subterránea restantes analizadas, se reportaron valores detectables que oscilaron entre 1,32 mg/L (SUB-07) y 42,7 mg/L (SUB-41), como se ilustra en la Figura 475 y en la Figura 476, evidenciando la presencia de estas sustancias en los cuerpos hídricos.

Desde el punto de vista normativo, no se evidencian límites máximos permisibles en los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015, por lo tanto, no es posible emitir juicio normativo. Sin embargo, los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.7 y 2.2.3.3.9.8 de la sección y el Decreto en mención definen cualitativamente que: “no se aceptará película visible de grasas y aceites flotantes, materiales flotantes, radioisótopos y otros no removibles por tratamiento convencional (Art. 2.2.3.3.9.3) y por desinfección (Art. 2.2.3.3.9.4) que puedan afectar la salud humana” y que “no se aceptará en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana (Art. 2.2.3.3.9.7 y 2.2.3.3.9.8)”.

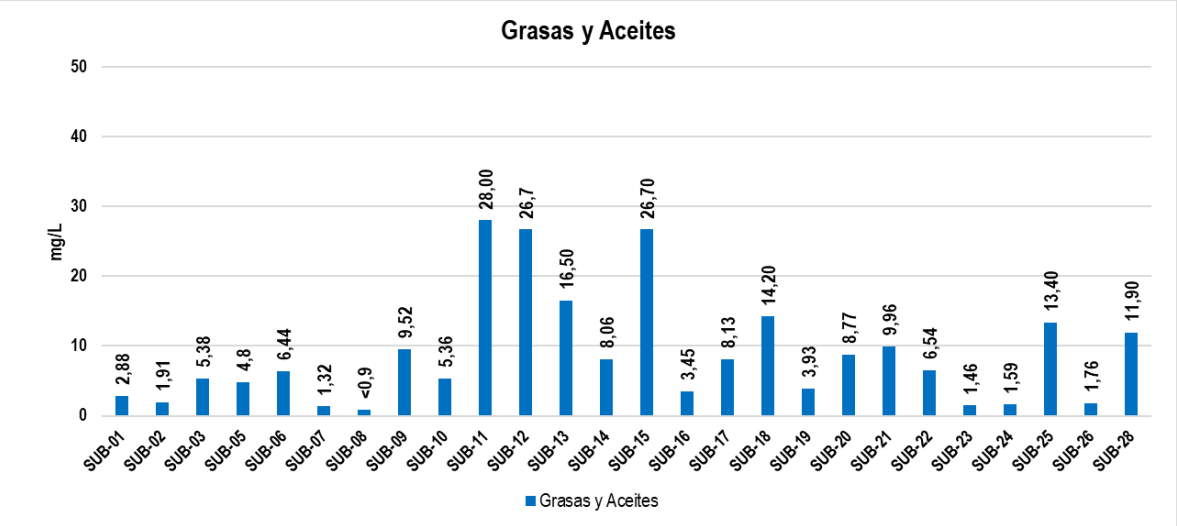


Figura 475. Comportamiento de las grasas y aceites (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

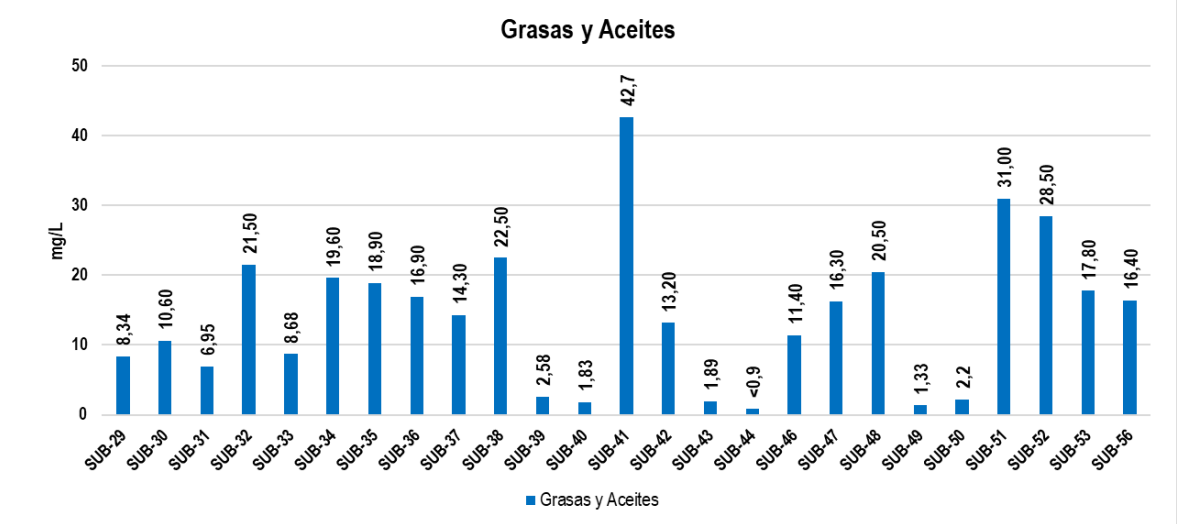


Figura 476. Comportamiento de las grasas y aceites (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Hidrocarburos

Los hidrocarburos totales son elementos que tienen una relación directa con las grasas y los aceites dado a que son poco solubles en el agua y además de esto, forman una película superficial en el cuerpo hídrico debido a su baja densidad, en comparación con el agua.

Para el caso del monitoreo de agua subterránea en los puntos de interés, las muestras analizadas reportaron concentraciones inferiores al límite de cuantificación definido por el método de laboratorio para su determinación (<0,900 mg/L) en catorce (14) de los cincuenta y un (51) puntos de monitoreo, mientras que para los puntos restantes se registraron concentraciones detectables comprendidas entre 0,930 mg/L (SUB-28) y 17,0 mg/L (SUB.41) (ver Figura 477 y Figura 478). Cabe aclarar que, los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015, no definen un valor máximo permisible para este parámetro.

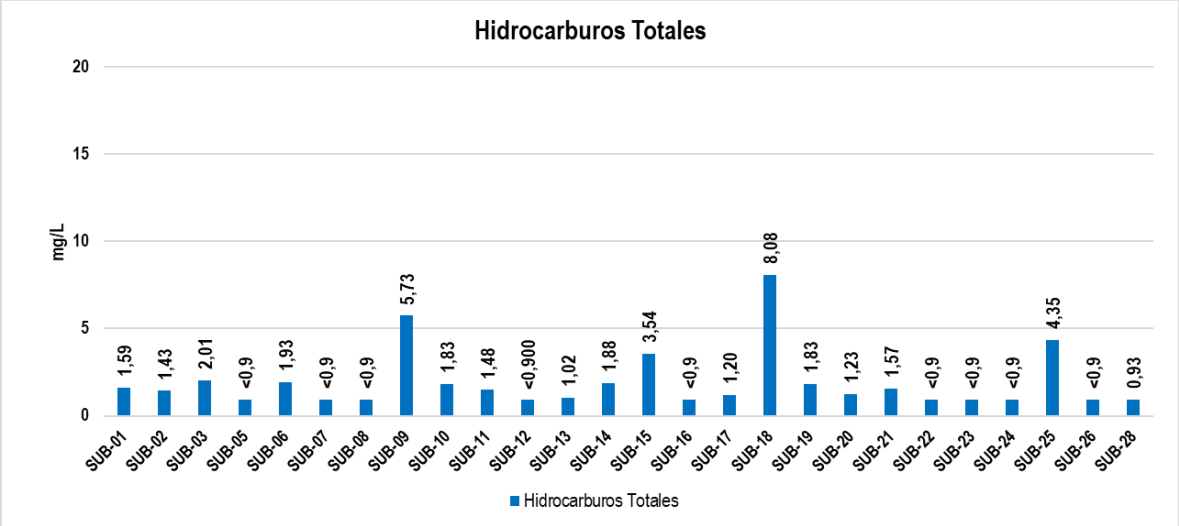


Figura 477. Comportamiento de los hidrocarburos totales (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

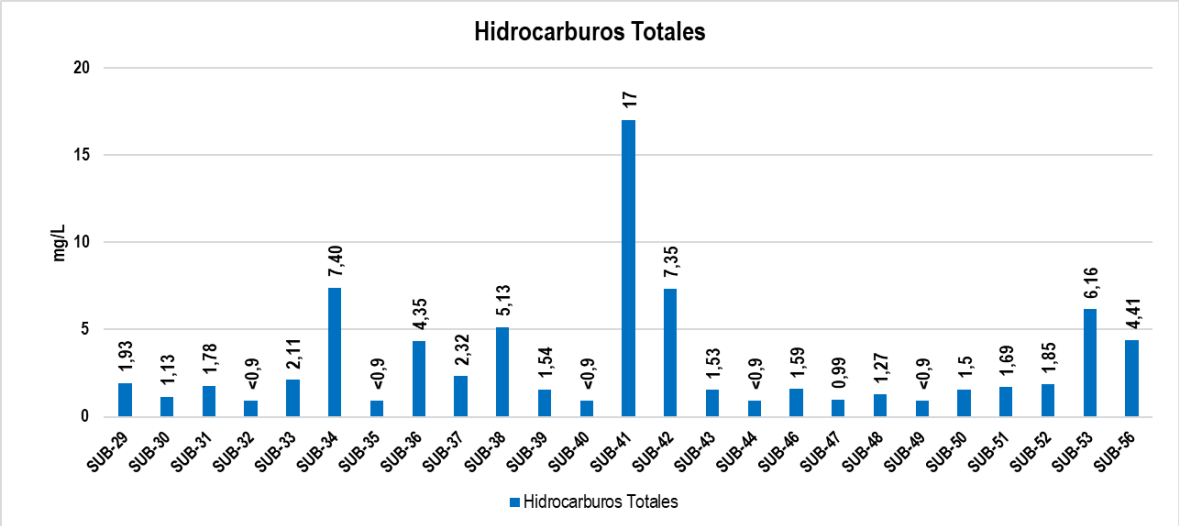


Figura 478. Comportamiento de los hidrocarburos totales (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Coliformes totales

El grupo de microorganismos de coliformes totales son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal de los animales de sangre caliente, incluidos los seres humanos, siendo un indicador adecuado de contaminación bacteriana debido a que estos están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan como los patógenos en los sistemas de desinfección (Pulido, Navia, Torres, & Prieto, 2005).

En la sanidad de las aguas los grupos de coliformes han sido indicadores microbianos que permiten detectar las buenas condiciones de las aguas en gran parte por su facilidad en el momento de la detección, este grupo de bacterias se caracteriza por presentar forma de bastoncillos gran negativos que se alimentan en presencia de medios salinos a condiciones de temperatura adecuada (Organización Mundial de la Salud (OMS), 1998).

El parámetro coliformes totales registró una concentración inferior al límite de cuantificación definido por el método de laboratorio empleado para su determinación (<1 NMP/100 mL) en el punto de monitoreo denominado SUB-41 y concentraciones detectables que se encuentran entre 109 NMP/100 mL (SUB-07) y 1.011.200 NMP/100 mL (SUB-23) (ver Figura 479 y Figura 480).

Lo anterior, refleja cumplimiento normativo en treinta y cuatro (34) de los puntos monitoreados frente al límite máximo permisible establecido por el Artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015 e incumplimiento para los puntos restantes. Respecto al límite máximo permisible establecido por los Artículos 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.7 (1000 NMP/100 mL) se evidencia cumplimiento normativo únicamente en siete (7) de los puntos y, finalmente, frente al valor máximo aceptable definido por los Artículos 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.8 (5000 NMP/100 mL) se tiene cumplimiento normativo en diecinueve (19) puntos de interés. Finalmente, cabe mencionar que en diecisiete (17) puntos de monitoreo se reportaron concentraciones superiores a todos los valores máximos permisibles definidos por la normatividad objeto de estudio, presentando incumplimiento normativo total.

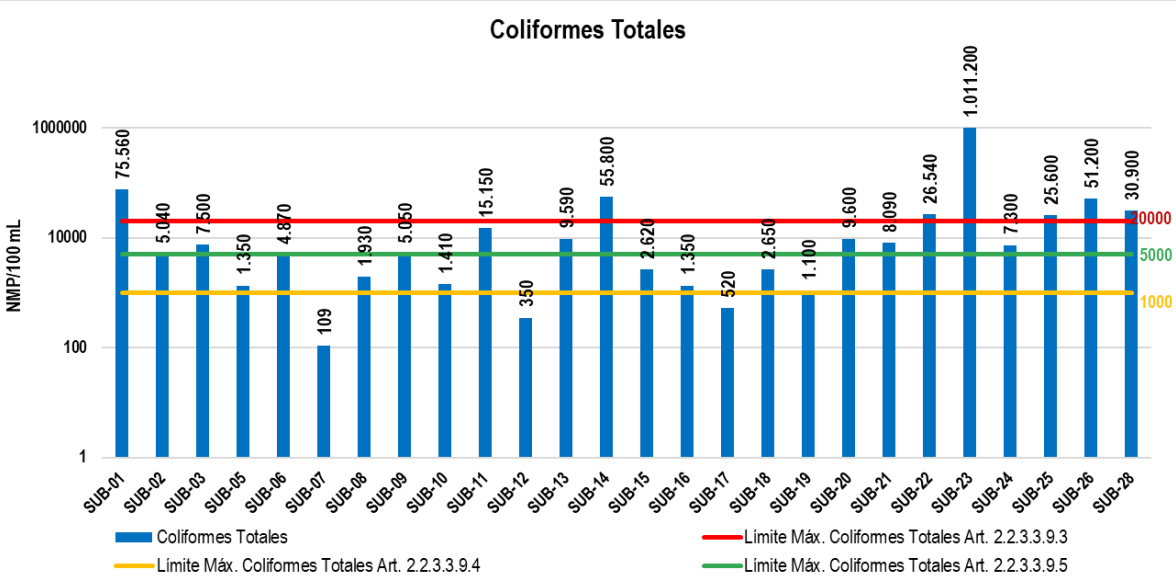


Figura 479. Comportamiento de las coliformes totales (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

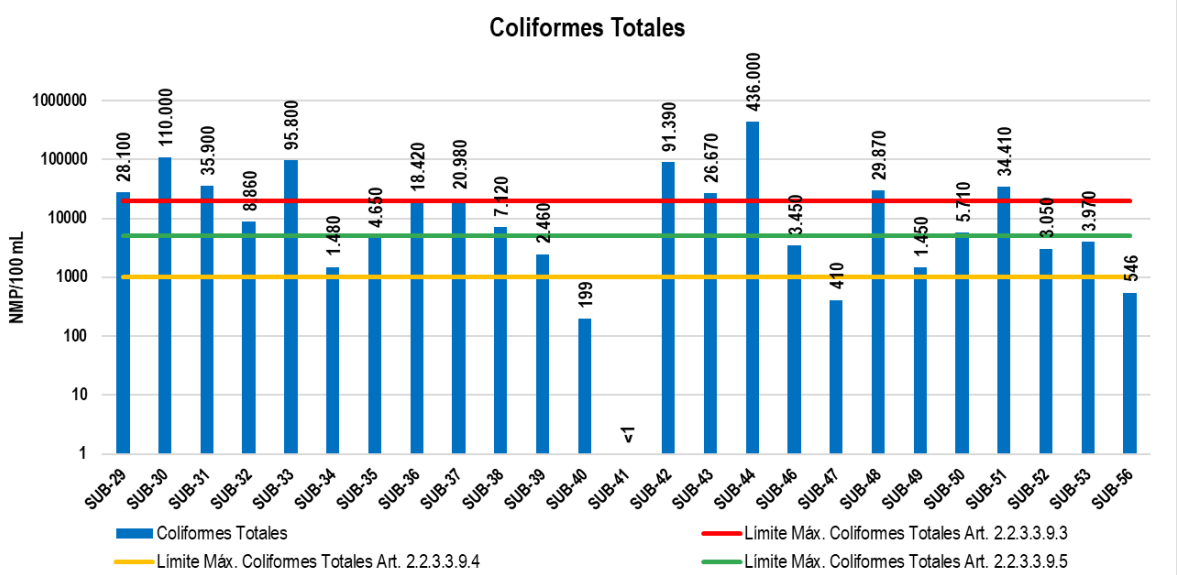


Figura 480. Comportamiento de las coliformes totales (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Coliformes termotolerantes (fecales)

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44,5 ºC y constituyen aproximadamente el 10% de los microorganismos intestinales. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por Escherichia coli y ciertas especies de Klebsiella. Debido a la pérdida de su capacidad de formar colonias con el tiempo en el medio acuático, éstas son indicadoras de contaminación reciente de origen fecal (Pulido, Navia, Torres, & Prieto, 2005).

En el presente monitoreo se registraron concentraciones de coliformes fecales inferiores al límite de cuantificación definido por el método de laboratorio empleado para su detección (<1 NMP/100 mL), en siete (7) de los puntos de monitoreo. Para los demás puntos de interés, se reportaron concentraciones detectables que oscilaron entre 86 NMP/100 mL (SUB-86) y 116.600 NMP/100 mL (SUB-23).

Con base en lo mencionado anteriormente, y, teniendo en cuenta los límites máximos permisibles establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.7 del Decreto 1076 de 2015 (2000 NMP/100 mL, 1000 NMP/100 mL y 200 NMP/100mL respectivamente), para el Artículo 2.2.3.3.9.3 se evidencia cumplimiento normativo en treinta y tres (33) de los cincuenta y un (51) puntos de monitoreo; frente al Artículo 2.2.3.3.9.5 se evidencia cumplimiento normativo en veinticuatro (24) de los puntos de monitoreo, y, finalmente, respecto al Artículo 2.2.3.3.9.7, únicamente se presenta cumplimiento normativo en doce (12) de estos. Además, cabe mencionar que, en los puntos denominados SUB-14, SUB-23, SUB-28, SUB-30, SUB-33 y SUB-44, se obtuvieron valores superiores a 20000 NMP/100 mL, reflejando la existencia de un alto contenido de bacterias en el agua y, por tanto, incumplimiento normativo respecto a la totalidad de los valores límite aceptables que define la normatividad objeto de estudio (ver la Figura 481 y la Figura 482).

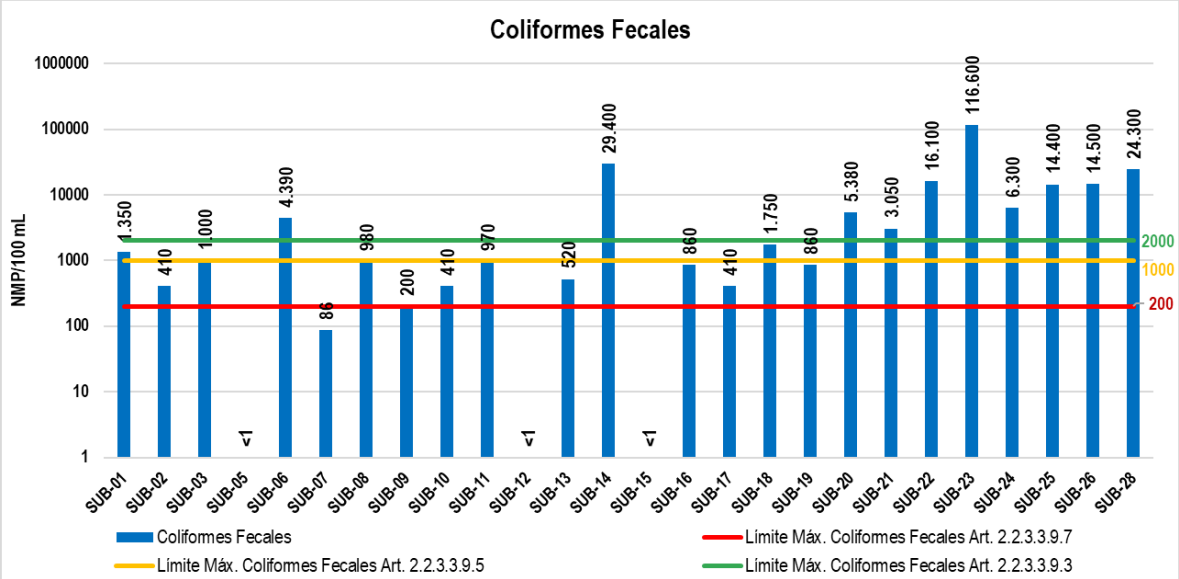


Figura 481. Comportamiento de las coliformes fecales o termotolerantes (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

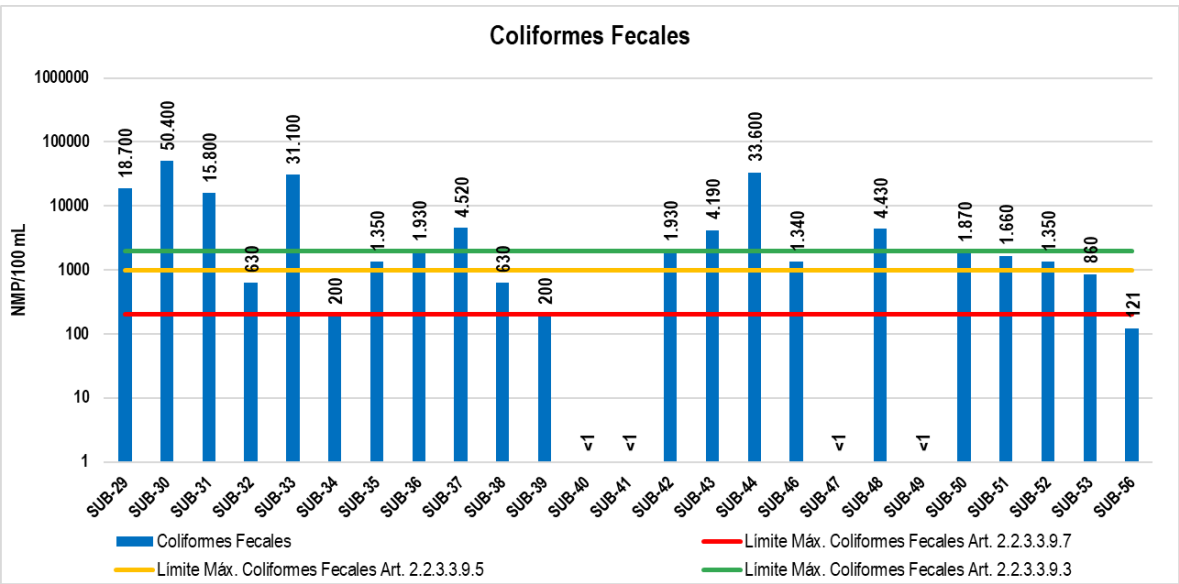


Figura 482. Comportamiento de las coliformes fecales o termotolerantes (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

- Escherichia coli

La E. Coli configura un subgrupo dentro del grupo de los coliformes totales, quienes se originan en las heces de animales de sangre caliente. La presencia de E. Coli indica que el agua ha sido expuesta a heces y existe un inmediato riesgo a la salud humana.

En el presente monitoreo, se registraron concentraciones inferiores al límite de cuantificación establecido por el método de laboratorio empleado para su determinación (<1 NMP/100 mL) en veinte (20) de los puntos de monitoreo; mientras que en los puntos restantes se reportaron valores detectables comprendidos entre 52 NMP/100 mL (SUB-07) y 60.500 NMP/100 mL (SUB-23) como se ilustra en la Figura 483 y en la Figura 484. Cabe mencionar que los Artículos evaluados de la sección 2.2.3.3.9 del Decreto 1076 de 2015, no establecen límites máximos permisibles para este parámetro microbiológico, razón por la cual no se emite juicio normativo.

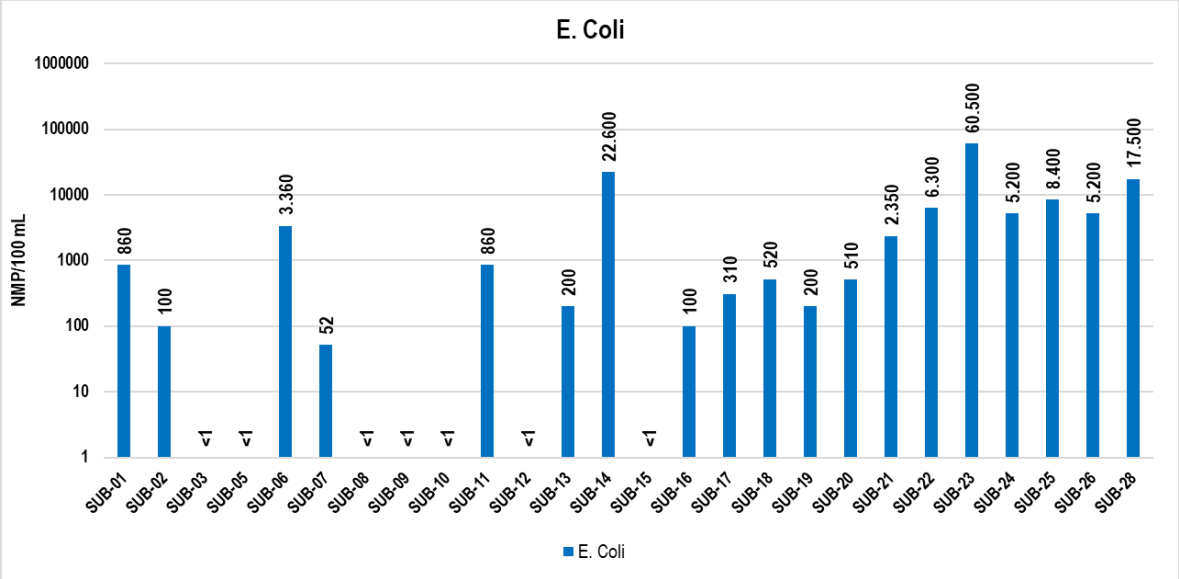


Figura 483. Comportamiento de la *Escherichia coli*
Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

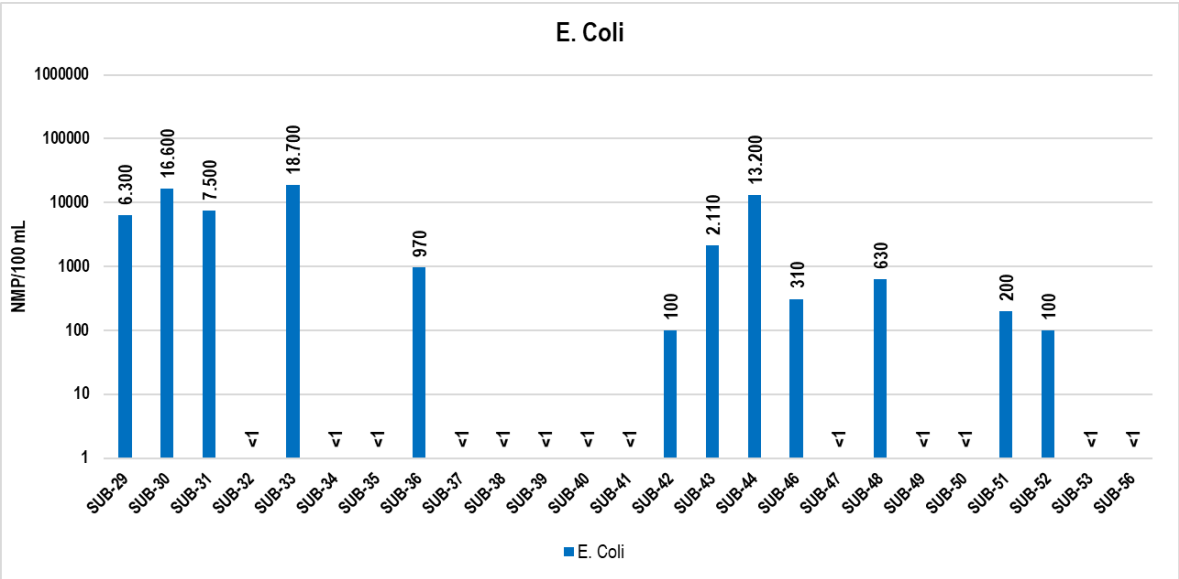


Figura 484. Comportamiento de la *Escherichia coli*

Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información de Ambienciq Ingenieros S.A.S, 2022.

5.2.2.5.14.5. Análisis hidroquímico

Los resultados de los análisis químicos de las muestras de agua se analizaron mediante diagramas de Piper, Stiff Schoeller - Berkaloff y Stabler. Los diagramas hidroquímicos son representaciones gráficas de los resultados de los análisis químicos que permiten definir las principales características del agua, facilitando su clasificación y análisis, así como la interpretación conjunta de un gran número de muestras (Castany, 1975; Custodio, 1996). Como soporte lógico para la caracterización de las aguas utilizó el software Diagrammes, versión 6.61 (Roland SIMLER Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon, 2020).

- Diagramas de Stiff: permite visualizar instantáneamente los Iones (aniones y cationes) principales de las muestras. Se basa en la localización de ejes horizontales y equidistantes. En cada eje se ubica un catión en la parte derecha mientras que el anión se localiza en la izquierda. Además, cuenta con segmentos ubicados de forma perpendicular a los ejes cuya longitud es proporcional a la concentración. Las concentraciones en cada eje se conectan mediante líneas continuas, generando polígonos con formas características dependiendo del tipo de agua. El detalle de dichos diagramas se presenta de la Figura 485 a la Figura 487.

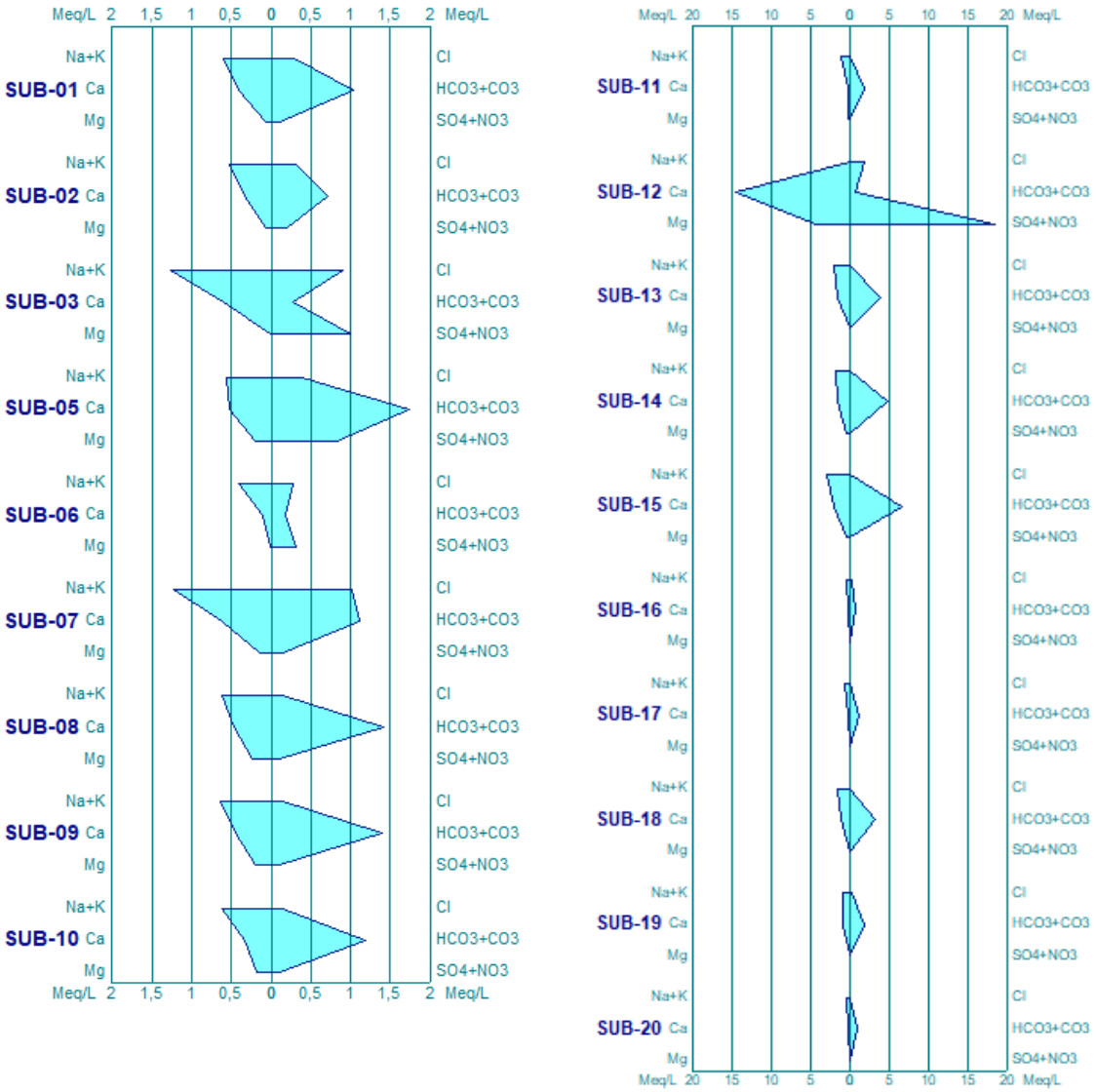


Figura 485. Diagramas de Stiff (Parte 1).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

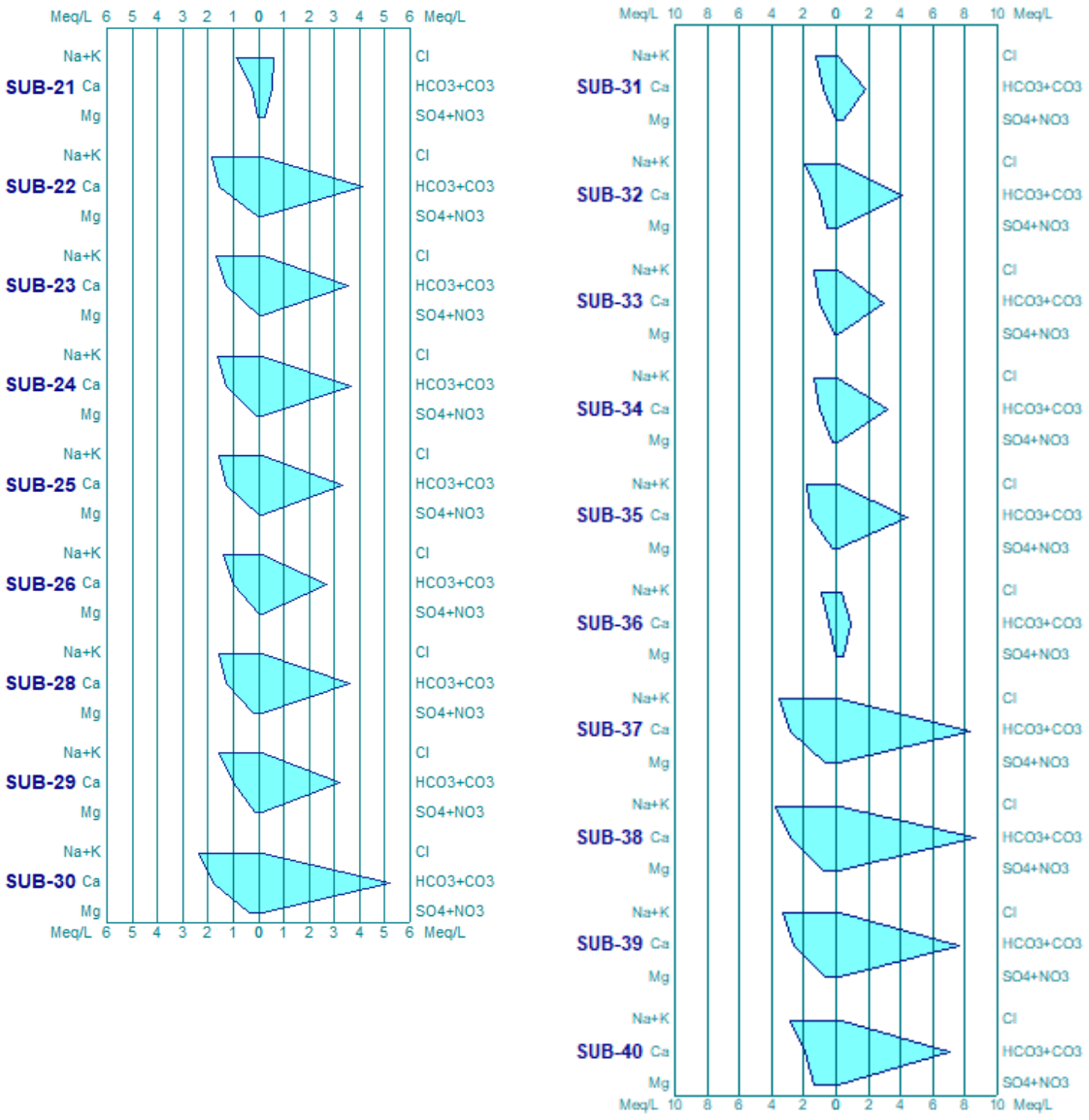


Figura 486. Diagramas de Stiff (Parte 2).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

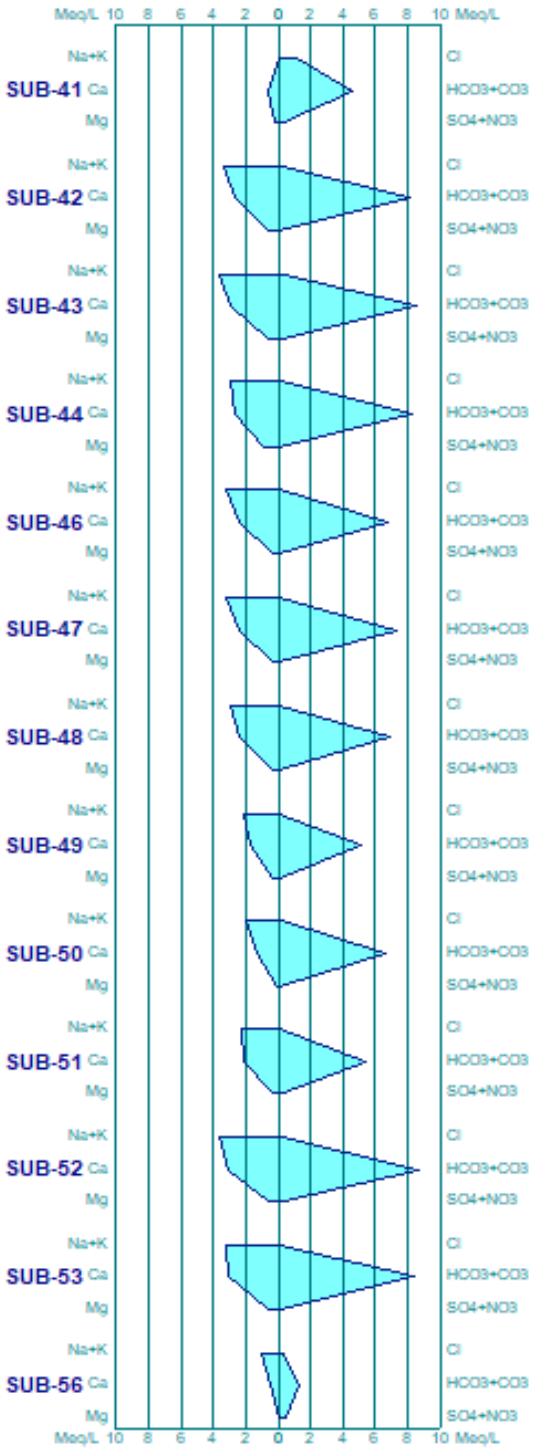


Figura 487. Diagramas de Stiff (Parte 3).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Diagrama de Piper: realiza una representación de los iones (aniones y cationes) mediante un diagrama triangular evidenciando la proporción de tres componentes en la composición de una muestra, siendo la suma de los tres componentes la representación del 100% de la composición de la muestra. El diagrama utiliza un triángulo para los cationes principales (Ca2+, Mg2+, Na++K+) y otro para los aniones (Cl- , SO4 2- , HCO3 -). La localización de la muestra en el interior del triángulo indica el porcentaje de cada ion respecto del total de los tres. Adicionalmente, se presenta un rombo central al cual son proyectados los iones y cationes; el punto de intersección indica la familia hidroquímica que representa la muestra. Teniendo en cuenta lo anterior, la utilidad del diagrama de Piper se da en la representación gráfica de iones mayores y con la agrupación de familias hidroquímicas. En la Figura 488 se presenta la estructura del diagrama de Piper[5] y las familias hidroquímicas.

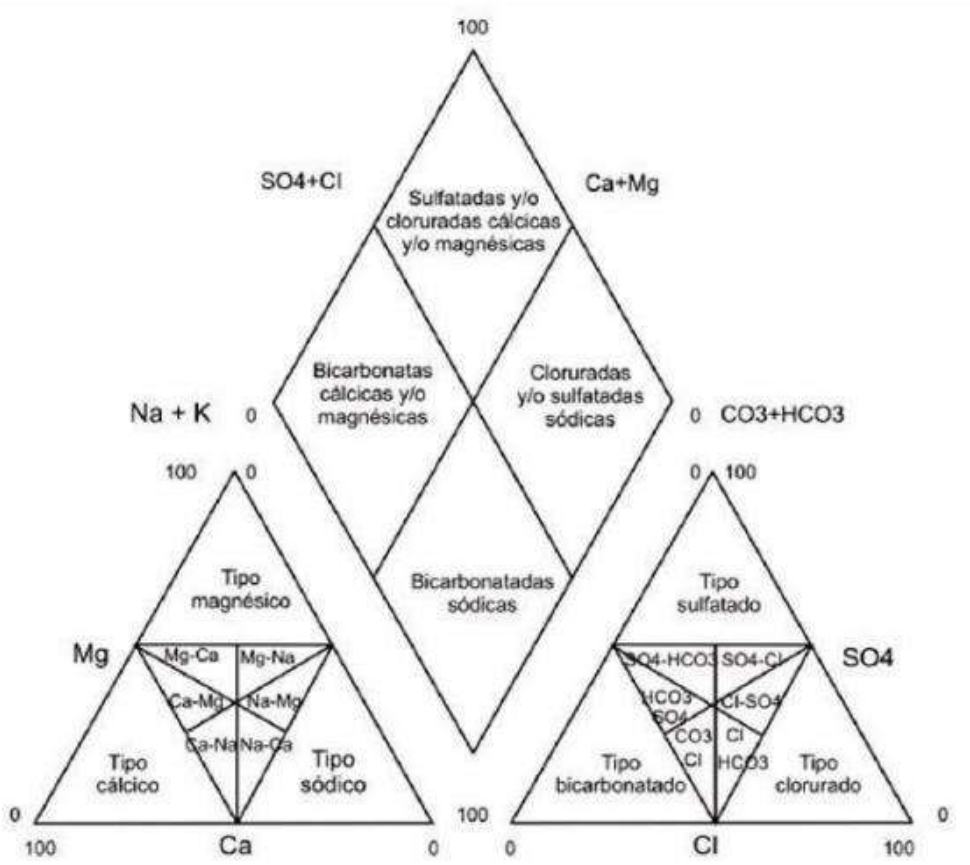


Figura 488. Configuración del diagrama de Piper
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

La representación del diagrama de Piper de las muestras tomadas en los puntos de monitoreo se presenta de la Figura 489 a la Figura 491.

[5] CUSTODIO, E.; LLAMAS, R. Hidrología subterránea (2350 pp.). 1983.

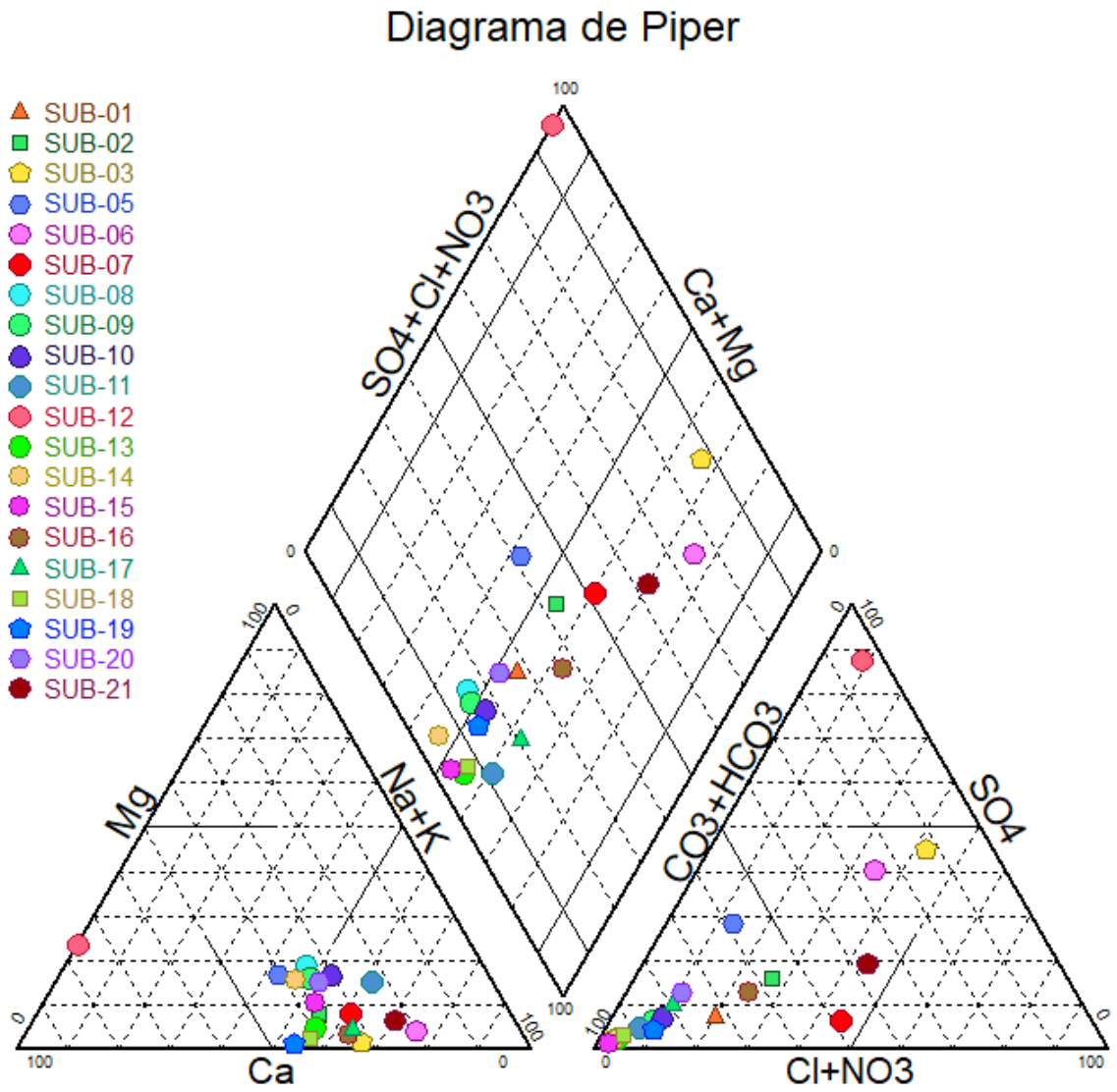


Figura 489. Diagrama de Piper (Parte 1)
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

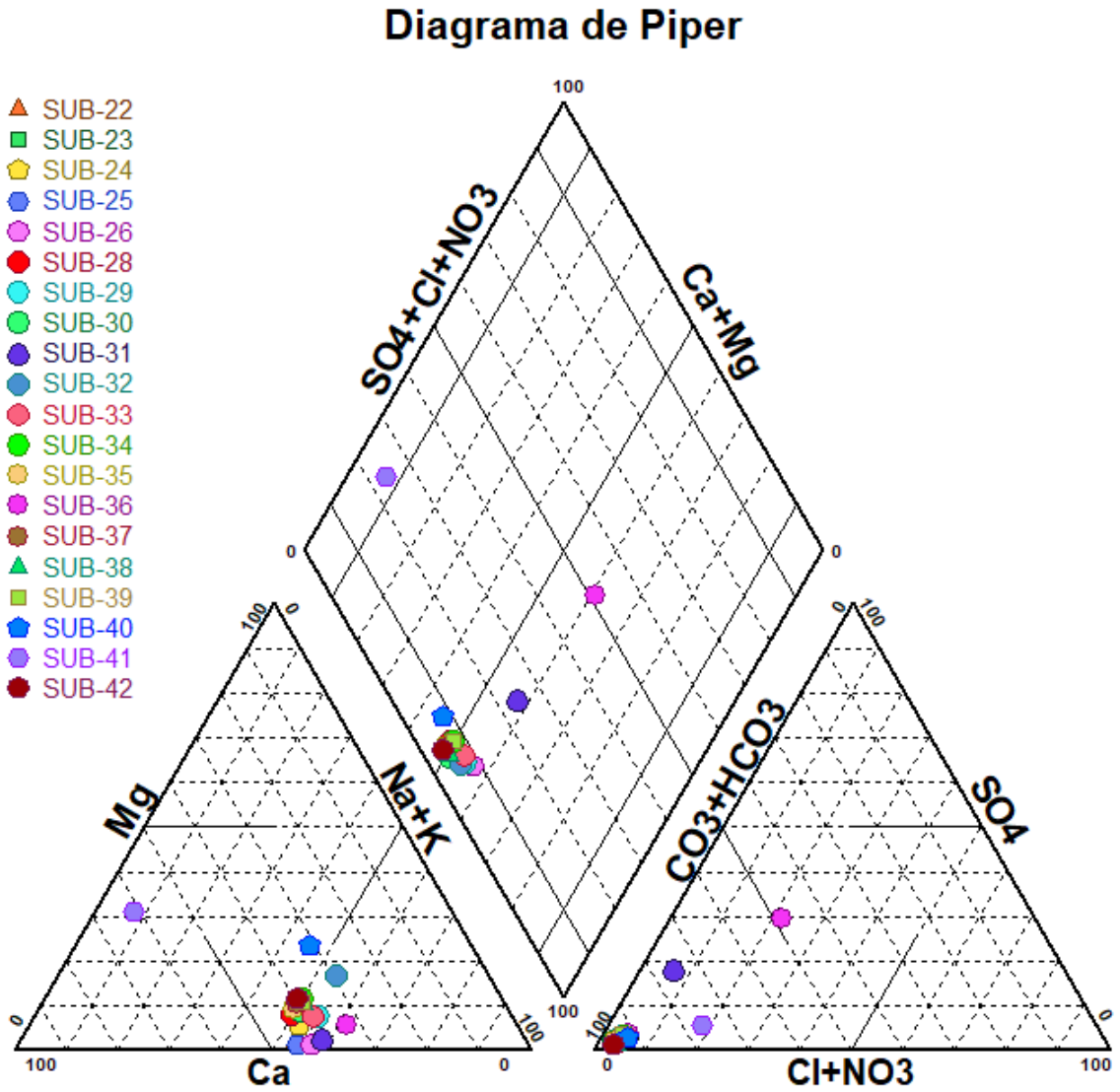


Figura 490. Diagrama de Piper (Parte 2)
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

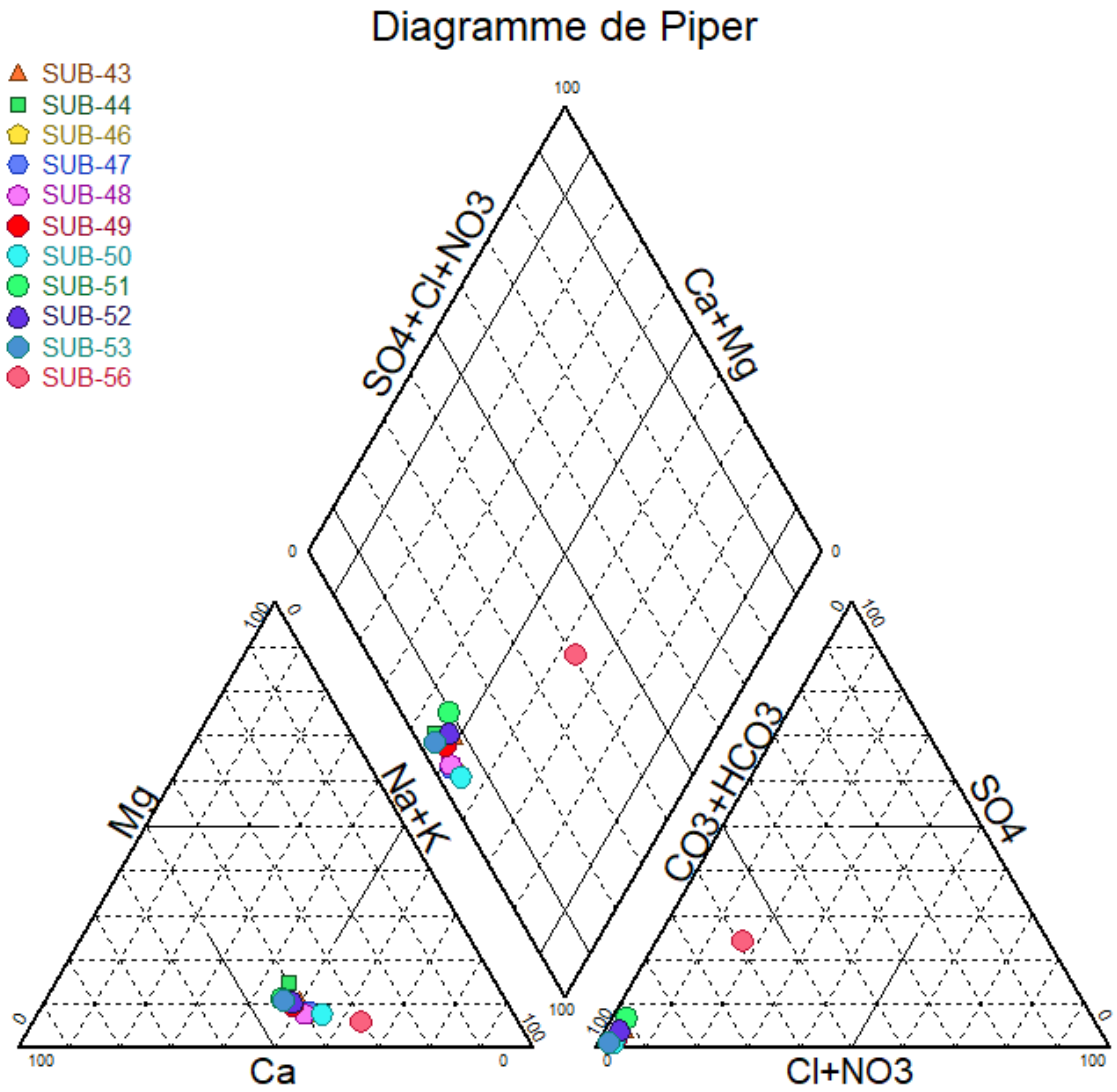


Figura 491. Diagrama de Piper (Parte 3)
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Teniendo en cuenta la representación del diagrama de Piper, es posible clasificar las muestras como se indica en la Tabla 269.

Tabla 269. Clasificación de las muestras.

ID	Nombre	Clasificación
SUB-01	L2MB-TUN-PT-04	Bicarbonatada sódica
SUB-02	L2MB-TUN-PT-01	Bicarbonatada sódica
SUB-03	L2MB-EST1-PT-01	Clorurada y/o sulfatada sódica

ID	Nombre	Clasificación
SUB-05	L2MB-DEP-PT-01	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica
SUB-06	L2MB-TUN-PT-05	Clorurada y/o sulfatada sódica
SUB-07	L2MB-DEP-PT-03	Clorurada y/o sulfatada sódica
SUB-08	L2MB-TUN-PT-06	Clorurada y/o sulfatada sódica
SUB-09	L2MB-TUN-PT-08	Bicarbonatada sódica
SUB-10	L2MB-TUN-PT-10	Bicarbonatada sódica
SUB-11	L2MB-TUN-PT-11	Bicarbonatada sódica
SUB-12	L2MB-TUN-PT-02	Sulfatada y/o Clorurada cálcica y/o Magnésica
SUB-13	L2MB-TUN-PT-16	Bicarbonatada sódica
SUB-14	L2MB-TUN-PT-20	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica
SUB-15	L2MB-TUN-PT-22	Bicarbonatada sódica
SUB-16	L2MB-EST3-PT-01	Bicarbonatada sódica
SUB-17	L2MB-TUN-PT-29	Bicarbonatada sódica
SUB-18	L2MB-TUN-PT-31	Bicarbonatada sódica
SUB-19	L2MB-TUN-PT-33	Bicarbonatada sódica
SUB-20	L2MB-TUN-PT-35	Bicarbonatada sódica
SUB-21	L2MB-EST4-PT-01	Clorurada y/o sulfatada sódica
SUB-22	L2MB-TUN-PT-39	Bicarbonatada sódica
SUB-23	L2MB-TUN-PT-42	Bicarbonatada sódica
SUB-24	L2MB-TUN-PT-40	Bicarbonatada sódica
SUB-25	L2MB-TUN-PT-43	Bicarbonatada sódica
SUB-26	L2MB-TUN-PT-45	Bicarbonatada sódica
SUB-28	L2MB-TUN-PT-47	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica
SUB-29	L2MB-TUN-PT-49	Bicarbonatada sódica
SUB-30	L2MB-TUN-PT-51	Bicarbonatada sódica
SUB-31	L2MB-TUN-PT-52	Bicarbonatada sódica
SUB-32	L2MB-EST6-PT-03	Bicarbonatada sódica
SUB-33	L2MB-TUN-PT-55	Bicarbonatada sódica
SUB-34	L2MB-TUN-PT-58	Bicarbonatada sódica
SUB-35	L2MB-TUN-PT-59	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica

ID	Nombre	Clasificación
SUB-36	L2MB-TUN-PT-57	Clorurada y/o sulfatada sódica
SUB-37	L2MB-TUN-PT-62	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica
SUB-38	L2MB-TUN-PT-64	Bicarbonatada sódica
SUB-39	L2MB-TUN-PT-66	Bicarbonatada sódica
SUB-40	L2MB-EST8-PT01	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica
SUB-41	L2MB-EST8-PT-02	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica
SUB-42	L2MB-TUN-PT-68	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica
SUB-43	L2MB-TUN-PT-70	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica
SUB-44	L2MB-TUN-PT-72	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica
SUB-46	L2MB-TUN-PT-76	Bicarbonatada sódica
SUB-47	L2MB-TUN-PT-78	Bicarbonatada sódica
SUB-48	L2MB-TUN-PT-81	Bicarbonatada sódica
SUB-49	L2MB-TUN-PT-79	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica
SUB-50	L2MB-EST9-PT-01	Bicarbonatada sódica
SUB-51	L2MB-TUN-PT-83	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica
SUB-52	L2MB-TUN-PT-85	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica
SUB-53	L2MB-TUN-PT-87	Bicarbonatada cálcica y/o magnésica
SUB-56	L2MB-PT-PT-02	Bicarbonatada sódica

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.2.6. Geotecnia



5.2.2.6.1. Localización de exploraciones geotécnicas

El proyecto se realizó en dos fases, ambas de dos jornadas de trabajo continuas, donde se ejecutaron en total 4959,45 m de perforación para la caracterización del corredor férreo, distribuidos en 109 puntos a lo largo del trazado. De las perforaciones realizadas en 57 puntos se instalaron piezómetros y en 10 sitios se realizaron pruebas Downhole. A continuación se presenta un resumen de la profundidad y ubicación perforaciones ejecutadas.

Tabla 270. Localización y características de perforaciones mecánicas

Nombre de la Perforación	Coordenadas de Ejecución		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-EST9-PT-02	997.019,9	1.015.365,6	63,50
L2MB-EST10-PT-01	996.826,0	1.016.791,5	48,50
L2MB-EST11-PT-02	995.735,3	1.017.557,9	58,50
L2MB-PT-PT-03	995.611,4	1.018.108,3	58,50
L2MB-TUN-PT-82	996.950,9	1.015.794,0	28,50
L2MB-TUN-PT-84	996.888,9	1.016.123,4	28,50
L2MB-TUN-PT-85	996.852,9	1.016.343,7	29,00
L2MB-TUN-PT-88	996.433,0	1.017.381,8	29,25
L2MB-DEP-PT-01	1.001.921,7	1.006.852,5	63,50
L2MB-DEP-PT-02	1.001.757,0	1.006.992,3	63,45
L2MB-DEP-PT-03	1.001.659,0	1.007.041,2	43,50
L2MB-DEP-PT-04	1.001.627,7	1.007.063,5	63,45
L2MB-EST1-PT-01	1.002.127,4	1.006.712,2	58,45
L2MB-EST1-PT-02	1.001.994,9	1.006.800,3	58,55
L2MB-EST2-PT-03	1.000.427,6	1.007.943,0	48,80
L2MB-EST3-PT-01	999.062,7	1.008.956,1	68,70
L2MB-EST3-PT-02	999.044,2	1.008.970,6	48,45
L2MB-EST4-PT-01	998.014,9	1.010.089,9	68,70
L2MB-EST4-PT-03	997.955,7	1.010.136,0	48,45
L2MB-EST5-PT-01	997.150,1	1.010.783,2	48,50
L2MB-EST5-PT-03	997.053,4	1.010.859,5	63,45
L2MB-EST6-PT-01	997.389,5	1.011.735,4	48,50
L2MB-EST6-PT-03	997.471,7	1.011.812,6	63,45
L2MB-EST7-PT-01	998.021,1	1.012.475,1	48,45

Nombre de la Perforación	Coordenadas de Ejecución		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-EST7-PT-03	998.149,0	1.012.596,6	63,45
L2MB-EST8-PT-01	998.211,0	1.013.558,8	48,50
L2MB-EST8-PT-02	998.133,4	1.013.650,4	63,45
L2MB-EST9-PT-01	997.043,0	1.015.220,6	48,50
L2MB-EST10-PT-02	996.834,2	1.016.928,2	63,45
L2MB-EST11-PT-01	995.878,3	1.017.538,6	58,45
L2MB-TUN-PT-04	1.002.222,0	1.006.643,5	63,50
L2MB-TUN-PT-06	1.001.486,7	1.007.159,3	28,45
L2MB-TUN-PT-08	1.001.358,5	1.007.245,2	48,45
L2MB-TUN-PT-09	1.001.237,5	1.007.328,3	28,50
L2MB-TUN-PT-10	1.001.113,8	1.007.411,1	53,50
L2MB-TUN-PT-13	1.000.758,9	1.007.684,5	28,50
L2MB-TUN-PT-16	1.000.141,0	1.008.129,2	53,70
L2MB-TUN-PT-17	1.000.099,1	1.008.209,1	68,45
L2MB-TUN-PT-19	999.887,0	1.008.337,0	38,80
L2MB-TUN-PT-20	999.770,7	1.008.433,0	38,70
L2MB-TUN-PT-21	999.611,3	1.008.554,4	38,80
L2MB-TUN-PT-22	999.509,1	1.008.635,7	39,25
L2MB-TUN-PT-23	999.339,8	1.008.751,9	39,10
L2MB-TUN-PT-26	998.941,9	1.009.125,3	38,70
L2MB-TUN-PT-28	998.772,8	1.009.344,6	28,45
L2MB-TUN-PT-29	998.703,1	1.009.416,6	28,50
L2MB-TUN-PT-32	998.406,0	1.009.735,4	28,50
L2MB-TUN-PT-35	998.214,9	1.009.897,9	53,95

Nombre de la Perforación	Coordenadas de Ejecución		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-TUN-PT-41	997.652,8	1.010.364,2	38,50
L2MB-TUN-PT-42	997.575,7	1.010.432,4	38,70
L2MB-TUN-PT-43	997.452,6	1.010.546,5	38,70
L2MB-TUN-PT-46	996.934,7	1.010.972,5	28,75
L2MB-TUN-PT-54	997.552,3	1.011.927,3	28,45
L2MB-TUN-PT-61	998.223,9	1.012.656,3	38,70
L2MB-TUN-PT-63	998.295,7	1.013.195,1	28,45
L2MB-TUN-PT-64	998.336,1	1.013.293,7	53,50
L2MB-TUN-PT-67	998.058,4	1.013.727,1	38,50
L2MB-TUN-PT-68	997.978,0	1.013.795,3	38,70
L2MB-TUN-PT-69	997.822,2	1.013.924,8	38,50
L2MB-TUN-PT-70	997.747,9	1.014.024,9	38,60
L2MB-TUN-PT-72	997.661,2	1.014.176,6	38,60
L2MB-TUN-PT-73	997.621,2	1.014.284,2	38,50
L2MB-TUN-PT-74	997.590,6	1.014.378,4	58,50
L2MB-TUN-PT-75	997.434,4	1.014.454,0	68,65
L2MB-ELE-PT-01	996.141,7	1.017.479,6	58,50
L2MB-ELE-PT-02	996.049,6	1.017.507,6	58,45
L2MB-TUN-PT-62	998.330,5	1.013.231,4	28,45
L2MB-TUN-PT-65	998.310,2	1.013.408,0	38,50
L2MB-TUN-PT-87	996.598,4	1.017.299,9	33,45
L2MB-TUN-PT-89	996.386,1	1.017.400,3	28,50
L2MB-TUN-PT-02	1.000.334,5	1.007.981,6	58,50
L2MB-TUN-PT-05	1.001.919,7	1.006.874,8	73,80

Nombre de la Perforación	Coordenadas de Ejecución		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-TUN-PT-07	1.001.453,9	1.007.275,9	63,50
L2MB-TUN-PT-11	1.000.985,2	1.007.565,4	58,50
L2MB-EST2-PT-01	1.000.395,7	1.007.905,7	68,55
L2MB-TUN-PT-31	998.516,0	1.009.603,5	28,45
L2MB-TUN-PT-33	998.241,3	1.009.853,3	28,50
L2MB-TUN-PT-34	998.172,0	1.009.870,2	28,45
L2MB-TUN-PT-39	997.832,6	1.010.219,1	28,45
L2MB-TUN-PT-40	997.762,5	1.010.280,4	28,50
L2MB-TUN-PT-45	997.251,5	1.010.763,4	28,50
L2MB-TUN-PT-47	997.062,6	1.011.027,9	38,85
L2MB-TUN-PT-48	997.055,1	1.011.123,6	38,75
L2MB-TUN-PT-49	997.056,7	1.011.215,4	38,70
L2MB-TUN-PT-50	997.073,2	1.011.317,4	28,50
L2MB-TUN-PT-51	997.133,7	1.011.426,5	28,50
L2MB-TUN-PT-52	997.335,6	1.011.615,3	58,45
L2MB-TUN-PT-55	997.601,2	1.012.008,0	28,50
L2MB-TUN-PT-56	997.757,2	1.012.142,6	38,70
L2MB-TUN-PT-58	997.771,1	1.012.228,7	28,45
L2MB-TUN-PT-59	997.836,4	1.012.305,9	28,50
L2MB-TUN-PT-60	997.955,7	1.012.418,0	38,70
L2MB-TUN-PT-66	998.240,7	1.013.471,0	38,75
L2MB-TUN-PT-71	997.727,1	1.014.051,3	28,50
L2MB-TUN-PT-76	997.309,9	1.014.612,7	28,45
L2MB-TUN-PT-77	997.183,8	1.014.782,0	28,50

Nombre de la Perforación	Coordenadas de Ejecución		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-TUN-PT-78	997.171,0	1.014.836,5	28,50
L2MB-TUN-PT-79	997.058,0	1.015.070,9	38,70
L2MB-TUN-PT-80	996.986,9	1.015.478,1	38,70
L2MB-TUN-PT-81	996.974,7	1.015.567,6	28,45
L2MB-TUN-PT-83	996.899,4	1.015.990,6	28,45
L2MB-TUN-PT-86	996.831,5	1.016.498,3	28,45
L2MB-PT-PT-02	995.528,2	1.017.869,8	58,45
L2MB-TUN-PT-01	1.002.184,8	1.006.671,8	63,45
L2MB-EST7-PT-02	998.176,0	1.012.625,5	53,65
L2MB-TUN-PT-57	998.720,6	1.013.086,8	19,35
L2MB-EST8-PT-03	997.918,6	1.013.845,6	63,50
L2MB-PT-PT-01	995.531,7	1.017.968,8	198,50
L2MB-PT-PT-04	995.768,6	1.018.024,3	58,45
TOTAL (m)			**4.959,45**

Durante la etapa de prefactibilidad del proyecto, se identificaron las redes que deberían ser intervenidas mediante traslados o complementadas con la instalación de nuevas redes, teniendo en cuenta esta información preliminar se generó el plan de exploraciones de redes húmedas con sondeos mecánicos, para ello se realizaron 152,50 m de sondeo con la única particularidad que sus profundidades máximas fueron de 10 m, a continuación se expone el cuadro resumen de los sondeos de redes húmedas realizados.

Tabla 271. Resumen de resultados de sondeos de redes húmedas.

Nombre de la Perforación	Coordenadas de Ejecución		Longitud Ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-REDES-PT-01	1.002.100,1	1.006.753,7	6,50
L2MB-REDES-PT-02	1.001.983,5	1.006.835,3	7,40

Nombre de la Perforación	Coordenadas de Ejecución		Longitud Ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-REDES-PT-03	1.001.915,2	1.006.891,1	4,40
L2MB-REDES-PT-04	1.001.713,1	1.006.955,0	4,45
L2MB-REDES-PT-05	1.001.662,9	1.007.024,7	4,40
L2MB-REDES-PT-06	1.001.636,6	1.007.142,6	4,70
L2MB-REDES-PT-07	1.000.382,1	1.007.875,2	4,80
L2MB-REDES-PT-08	1.000.313,0	1.008.036,9	4,50
L2MB-REDES-PT-09	999.507,8	1.008.718,9	4,70
L2MB-REDES-PT-10	999.100,2	1.009.056,6	4,40
L2MB-REDES-PT-11	998.975,7	1.009.146,4	8,75
L2MB-REDES-PT-12	998.858,9	1.009.162,8	4,70
L2MB-REDES-PT-13	998.045,4	1.010.054,2	4,70
L2MB-REDES-PT-14	997.926,0	1.010.193,4	4,65
L2MB-REDES-PT-15	997.323,9	1.011.627,0	4,85
L2MB-REDES-PT-16	997.393,1	1.011.694,5	6,65
L2MB-REDES-PT-17	997.980,5	1.012.525,7	4,70
L2MB-REDES-PT-18	998.138,5	1.012.540,7	6,65
L2MB-REDES-PT-19	998.214,7	1.012.677,1	5,45
L2MB-REDES-PT-20	998.334,4	1.013.302,9	4,75
L2MB-REDES-PT-21	998.028,3	1.013.765,6	4,80
L2MB-REDES-PT-22	997.908,3	1.013.889,7	4,70
L2MB-REDES-PT-23	996.524,0	1.017.323,4	4,65
L2MB-REDES-PT-24	996.334,2	1.017.387,4	4,50
L2MB-REDES-PT-25	996.426,0	1.017.481,6	4,70

Nombre de la Perforación	Coordenadas de Ejecución		Longitud Ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-REDES-PT-26	996.251,2	1.017.473,1	4,50
L2MB-REDES-PT-27	995.947,8	1.017.540,9	4,70
L2MB-REDES-PT-28	995.775,7	1.017.528,9	4,45
L2MB-REDES-PT-29	995.603,1	1.017.547,6	4,70
L2MB-REDES-PT-30	998.506,1	1.009.614,2	4,70
TOTAL (m)			**152,50**

Adicionalmente se programaron 35 apiques en las vías alrededor de las estaciones, de los cuales pudieron ejecutarse 33 apiques. A estos apiques se les realizó extracciones de muestras alteradas e inalteradas en el fondo del apique (Shelby y CBR).Es importante aclarar que estos apiques fueron ejecutados, a excepción de los apiques resaltados en gris, los cuales no pudieron realizarse debido a la interferencia con redes.

Tabla 272. Resumen de resultados apiques

Estación No.	Calle / Cra	Apique nombre	Este	Norte
01	Carrera 20a	L2MB-EST01-AP-PAV-01	101627,38	107153,93
01	Carrera 20a	L2MB-EST01-AP-PAV-02	101602,36	107114,00
01	Carrera 20b	L2MB-EST01-AP-PAV-03	101518,20	107166,79
01	Calle 72a	L2MB-EST01-AP-PAV-04	101480,47	107253,80
02	Calle 71c	L2MB-EST02-AP-PAV-05	107873,55	100361,00
02	Carrera 50	L2MB-EST02-AP-PAV-06	107923,18	100371,89
02	Calle 71c	L2MB-EST02-AP-PAV-07	107935,70	100281,85
02	Carrera 52	L2MB-EST02-AP-PAV-08	108026,92	100261,99
02	Calle 71c	L2MB-EST02-AP-PAV-09	108012,70	100178,27
03	Carrera 68	L2MB-EST03-AP-PAV-10	109155,77	98978,81
03	Carrera 69	L2MB-EST03-AP-PAV-11	109163,76	98853,75
03	Calle 72a	L2MB-EST03-AP-PAV-12	109261,22	98863,94
04	Calle 71a	L2MB-EST04-AP-PAV-13	110001,21	97977,35

Estación No.	Calle / Cra	Apique nombre	Este	Norte
04	Carrera 72a	L2MB-EST04-AP-PAV-14	110059,64	97901,53
04	Carrera 72a	L2MB-EST04-AP-PAV-15	110127,13	97948,44
04	Carrera 73a	L2MB-EST04-AP-PAV-16	110126,49	97814,06
05	Carrera 80	L2MB-EST05-AP-PAV-17	110695,05	97368,41
05	Carrera 80	L2MB-EST05-AP-PAV-18	110610,19	97295,51
05	Carrera 81a	L2MB-EST05-AP-PAV-19	110814,69	97226,13
06	Calle 77a	L2MB-EST06-AP-PAV-20	111648,74	97306,56
06	Carrera 85a	L2MB-EST06-AP-PAV-21	111663,43	97358,12
06	Calle 80	L2MB-EST06-AP-PAV-22	111753,14	97425,89
07	Av. Carrera 86	L2MB-EST07-AP-PAV-23	112530,71	98076,80
07	Calle 90	L2MB-EST07-AP-PAV-24	112574,53	98137,69
07	Calle 90a	L2MB-EST07-AP-PAV-25	112622,43	98171,08
08	Carrera 93c	L2MB-EST08-AP-PAV-26	113821,34	98001,81
08	Carrera 93d bis	L2MB-EST08-AP-PAV-27	113880,74	97936,15
08	Carrera 94	L2MB-EST08-AP-PAV-28	113936,64	97866,02
09	Calle 129d	L2MB-EST09-AP-PAV-29	115027,43	97082,04
09	Calle 130	L2MB-EST09-AP-PAV-30	115182,73	97076,14
09	Calle 130c	L2MB-EST09-AP-PAV-31	115279,14	96980,55
09	Calle 130f	L2MB-EST09-AP-PAV-32	115396,85	97014,75
10	Calle 139	L2MB-EST10-AP-PAV-33	116384,07	96879,99
10	Calle 139c	L2MB-EST10-AP-PAV-34	116523,58	96784,79
10	Carrera 118	L2MB-EST10-AP-PAV-35	116608,51	96868,30
11	Calle 146	L2MB-AP-CL146-01	1017799,99	996481,97
11	Calle 146	L2MB-AP-CL146-02	1017900,45	996212,64
11	Calle 145	L2MB-AP-CL145-01	1017523,26	995974,10
11	Calle 145	L2MB-AP-CL145-02	1017549,99	995723,26

Estación No.	Calle / Cra	Apique nombre	Este	Norte
11	Calle 144	L2MB-AP-CL144-01	1017515,60	995593,83
11	Calle 144	L2MB-AP-CL144-02	1017337,14	995452,99
11	Calle 144	L2MB-AP-CL144-03	1017374,63	995218,48

De forma complementaria a la exploración directa se ejecutaron pruebas de caracterización indirecta mediante ensayos de cono (CPTu con 82 puntos de muestreo) cono sísmico (SCPTu con 65 puntos de muestreo) y líneas sísmicas (28 líneas ejecutadas MAM y MASW).

Tabla 273. Ensayos CPTu Ejecutados

Descripción	Coordenadas		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-ELE-CPT-01	996.239,4	1.017.461,1	54,6
L2MB-TUN-CPT-75	997.054,8	1.015.124,7	30,42
L2MB-TUN-CPT-77	996.988,5	1.015.617,9	50,31
L2MB-TUN-CPT-79	996.924,4	1.015.952,5	50,3
L2MB-TUN-CPT-81	996.863,0	1.016.298,6	50,17
L2MB-TUN-CPT-83	996.831,3	1.016.558,8	50
L2MB-TUN-CPT-86	996.664,6	1.017.270,8	30,29
L2MB-TUN-CPT-72	997.259,7	1.014.711,5	50,3
L2MB-TUN-CPT-66	997.885,2	1.013.874,3	53,97
L2MB-TUN-CPT-55	997.780,2	1.012.238,8	49,24
L2MB-TUN-CPT-63	998.277,8	1.013.460,4	29,55
L2MB-TUN-CPT-39	997.800,2	1.010.254,4	38,41
L2MB-TUN-CPT-40	997.728,4	1.010.325,9	52,4
L2MB-TUN-CPT-44	997.276,9	1.010.687,8	53,16
L2MB-TUN-CPT-48	996.958,1	1.011.188,5	29,73
L2MB-TUN-CPT-49	996.979,1	1.011.292,1	54,31
L2MB-TUN-CPT-05	1.001.931,6	1.006.845,4	11,98

Descripción	Coordenadas		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-TUN-CPT-11	1.000.980,9	1.007.521,0	28,24
L2MB-TUN-CPT-14	1.000.649,6	1.007.763,7	53,96
L2MB-TUN-CPT-19	999.910,4	1.008.312,0	53,22
L2MB-TUN-CPT-32	998.568,4	1.009.553,9	38,66
L2MB-TUN-CPT-35	998.260,3	1.009.883,0	40,37
L2MB-TUN-CPT-85	996.836,9	1.017.003,8	31,18
L2MB-TUN-CPT-59	998.283,4	1.013.009,9	47,89
L2MB-TUN-CPT-61	998.319,7	1.013.137,1	37,37
L2MB-TUN-CPT-62	998.330,5	1.013.231,4	29,09
L2MB-TUN-CPT-73	997.166,1	1.014.842,6	30,96
L2MB-TUN-CPT-76	996.998,4	1.015.390,5	30,35
L2MB-TUN-CPT-78	996.916,9	1.015.886,9	38,81
L2MB-TUN-CPT-80	996.867,5	1.016.174,9	27,91
L2MB-TUN-CPT-82	996.814,3	1.016.390,7	40,41
L2MB-TUN-CPT-84	996.824,2	1.016.668,9	29,85
L2MB-TUN-CPT-87	996.566,9	1.017.315,3	28,38
L2MB-TUN-CPT-88	996.468,1	1.017.362,7	28,17
L2MB-TUN-CPT-58	998.188,4	1.012.625,3	31,2
L2MB-TUN-CPT-64	998.025,3	1.013.768,4	30,3
L2MB-TUN-CPT-65	997.961,2	1.013.819,2	31,94
L2MB-TUN-CPT-67	997.796,2	1.013.906,2	31,5
L2MB-TUN-CPT-68	997.680,4	1.014.131,3	30,9
L2MB-TUN-CPT-69	997.600,0	1.014.227,8	30,05
L2MB-TUN-CPT-70	997.437,1	1.014.452,1	31,2

Descripción	Coordenadas		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-TUN-CPT-71	997.376,5	1.014.539,9	30,28
L2MB-TUN-CPT-27	999.012,3	1.009.112,4	30,26
L2MB-TUN-CPT-28	998.339,6	1.009.805,9	30,56
L2MB-TUN-CPT-30	998.731,0	1.009.375,5	40,39
L2MB-TUN-CPT-31	998.648,8	1.009.432,8	30,46
L2MB-TUN-CPT-34	998.408,0	1.009.671,6	30,35
L2MB-TUN-CPT-36	998.129,6	1.009.936,3	30,66
L2MB-TUN-CPT-38	998.061,6	1.010.024,6	30,68
L2MB-TUN-CPT-41	997.548,2	1.010.480,4	30,49
L2MB-TUN-CPT-42	997.470,5	1.010.528,7	30,29
L2MB-TUN-CPT-43	997.391,9	1.010.592,6	30,24
L2MB-TUN-CPT-44	997.276,9	1.010.687,8	30,47
L2MB-TUN-CPT-46	997.098,8	1.010.926,6	30,54
L2MB-TUN-CPT-47	997.018,2	1.011.058,0	30,63
L2MB-TUN-CPT-52	997.526,3	1.011.872,1	30,32
L2MB-TUN-CPT-53	997.570,6	1.011.967,0	40,43
L2MB-TUN-CPT-54	997.691,4	1.012.080,2	31,34
L2MB-TUN-CPT-56	997.823,8	1.012.285,7	37,8
L2MB-TUN-CPT-57	997.893,1	1.012.355,1	30,83
L2MB-TUN-CPT-21	999.755,6	1.008.531,3	30,49
L2MB-TUN-CPT-22	999.685,4	1.008.572,5	50,77
L2MB-TUN-CPT-24	999.389,5	1.008.784,5	30,02
L2MB-TUN-CPT-23	999.451,4	1.008.750,9	30,46
L2MB-TUN-CPT-26	999.176,6	1.008.956,6	30,26

Descripción	Coordenadas		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-TUN-CPT-03	1.000.600,2	1.007.763,4	37,84
L2MB-TUN-CPT-06	1.001.588,2	1.007.116,7	30,7
L2MB-TUN-CPT-07	1.001.502,8	1.007.231,2	40,71
L2MB-TUN-CPT-08	1.001.367,3	1.007.384,8	40,56
L2MB-TUN-CPT-09	1.001.208,2	1.007.440,7	49,13
L2MB-TUN-CPT-12	1.000.788,4	1.007.662,3	40,41
L2MB-TUN-CPT-15	1.000.364,2	1.007.925,1	30,63
L2MB-TUN-CPT-16	1.000.171,9	1.008.035,3	30,98
L2MB-TUN-CPT-18	1.000.060,6	1.008.226,8	31,06
L2MB-TUN-CPT-20	999.947,3	1.008.393,5	30,82
L2MB-TUN-CPT-74	997.067,9	1.014.998,4	29,10
L2MB-TUN-CPT-04	1.002.204,2	1.006.658,0	5,30
L2MB-DEP-CPT-01	1.001.686,0	1.007.036,2	27,82
L2MB-PT-CPT-01	995.549,0	1.017.712,6	40,49
L2MB-TUN-CPT-50	997.176,6	1.011.463,6	30,64
L2MB-TUN-CPT-51	997.223,4	1.011.492,4	30,02
L2MB-TUN-CPT-25	999.259,3	1.008.894,4	30,65
TOTAL (m)			**2.906,93**

Tabla 274. Ensayos SCPTu Ejecutados

Descripción	Coordenadas		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-EST9-SCPT-01	997.036,0	1.015.274,6	50,3
L2MB-EST10-SCPT-01	996.830,7	1.016.862,5	48,72
L2MB-EST11-SCPT-01	995.778,5	1.017.550,8	51,82

Descripción	Coordenadas		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-TUN-SCPT-43	997.179,0	1.014.809,5	30,29
L2MB-TUN-SCPT-46	997.003,9	1.015.518,9	30,31
L2MB-TUN-SCPT-49	996.840,4	1.016.433,3	30,28
L2MB-TUN-SCPT-44	997.074,3	1.015.004,5	50,68
L2MB-TUN-SCPT-52	996.496,6	1.017.348,9	50,96
L2MB-EST8-SCPT-01	998.178,6	1.013.589,9	48,77
L2MB-TUN-SCPT-35	997.921,2	1.012.374,9	29,78
L2MB-TUN-SCPT-40	997.697,8	1.014.096,5	52,6
L2MB-TUN-SCPT-42	997.389,9	1.014.615,3	38,73
L2MB-EST5-SCPT-01	997.085,6	1.010.834,5	49,25
L2MB-TUN-SCPT-26	997.276,6	1.010.686,9	38,51
L2MB-TUN-SCPT-34	997.713,5	1.012.170,4	30,64
L2MB-TUN-SCPT-33	997.596,2	1.012.013,3	49,83
L2MB-TUN-SCPT-25	997.479,8	1.010.503,1	53,42
L2MB-EST4-SCPT-01	998.021,1	1.010.019,5	47,26
L2MB-EST6-SCPT-01	997.435,0	1.011.743,2	48,58
L2MB-TUN-SCPT-22	997.890,3	1.010.188,3	38,66
L2MB-TUN-SCPT-29	997.075,0	1.011.428,9	38,07
L2MB-TUN-SCPT-30	997.194,1	1.011.536,7	48,01
L2MB-TUN-SCPT-31	997.288,8	1.011.673,0	30,12
L2MB-EST1-SCPT-01	1.002.119,7	1.006.719,3	4,19
L2MB-EST2-SCPT-01	1.000.476,1	1.007.939,1	48,1
L2MB-TUN-SCPT-08	1.000.892,0	1.007.585,6	54,44
L2MB-EST3-SCPT-01	999.001,1	1.008.942,6	29,39

Descripción	Coordenadas		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-EST7-SCPT-01	998.079,6	1.012.464,5	49,25
L2MB-TUN-SCPT-10	1.000.291,8	1.008.049,2	38,75
L2MB-TUN-SCPT-13	999.682,5	1.008.495,2	53,82
L2MB-TUN-SCPT-15	999.446,7	1.008.687,7	49,12
L2MB-TUN-SCPT-16	999.149,1	1.008.768,8	52,86
L2MB-TUN-SCPT-18	998.826,7	1.009.286,0	53,28
L2MB-TUN-SCPT-19	998.631,3	1.009.484,1	52,86
L2MB-TUN-SCPT-20	998.460,2	1.009.669,0	47,74
L2MB-TUN-SCPT-36	998.328,4	1.013.347,2	28,46
L2MB-TUN-SCPT-51	996.698,6	1.017.244,3	32,7
L2MB-TUN-SCPT-53	996.335,6	1.017.420,0	29,72
L2MB-ELE-SCPT-01	995.604,6	1.017.572,1	60,08
L2MB-TUN-SCPT-47	996.945,0	1.015.722,8	30,36
L2MB-TUN-SCPT-48	996.889,2	1.016.048,4	40,4
L2MB-TUN-SCPT-50	996.822,9	1.016.735,3	40,39
L2MB-TUN-SCPT-17	998.914,0	1.009.203,9	30,88
L2MB-TUN-SCPT-21	998.374,2	1.009.785,7	40,68
L2MB-TUN-SCPT-23	997.706,6	1.010.339,6	30,42
L2MB-TUN-SCPT-24	997.634,4	1.010.394,7	30,16
L2MB-TUN-SCPT-27	997.034,2	1.010.997,0	40,55
L2MB-TUN-SCPT-28	997.042,6	1.011.159,1	30,33
L2MB-TUN-SCPT-37	998.211,2	1.013.507,9	28,31
L2MB-TUN-SCPT-38	998.085,8	1.013.710,0	29,08
L2MB-TUN-SCPT-39	997.850,1	1.013.898,8	29,39

Descripción	Coordenadas		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-TUN-SCPT-41	997.566,4	1.014.333,0	30,02
L2MB-TUN-SCPT-45	997.044,7	1.015.172,7	40,26
L2MB-TUN-SCPT-03	1.001.996,4	1.006.801,6	7,18
L2MB-TUN-SCPT-04	1.001.586,1	1.007.174,6	40,74
L2MB-TUN-SCPT-05	1.001.387,1	1.007.321,5	30,5
L2MB-TUN-SCPT-06	1.001.261,4	1.007.417,1	38,14
L2MB-TUN-SCPT-07	1.001.036,2	1.007.550,4	40,58
L2MB-TUN-SCPT-09	1.000.536,3	1.007.795,8	29,52
L2MB-TUN-SCPT-11	1.000.001,3	1.008.342,1	30,45
L2MB-TUN-SCPT-12	999.842,3	1.008.464,8	19,85
L2MB-TUN-SCPT-14	999.618,4	1.008.623,8	30,09
L2MB-TUN-SCPT-02	1.002.155,8	1.006.692,3	4,17
L2MB-PT-SCPT-01	995.815,0	1.018.048,0	5,07
L2MB-DEP-SCPT-01	1.001.804,2	1.006.909,4	25,32
TOTAL (m)			**2.443,19**

Tabla 275. Resumen de resultados de los ensayos MASW Y MAM.

Ensayo realizado	Descripción	Coordenadas iniciales		Coordenadas finales		Longitud ejecutada (m)
		Norte	Este	Norte	Este	
MASW y MAM	L2MB-LS-02	1.006.675,4	1.002.157,7	1.006.616,1	1.002.238,2	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-03	1.007.186,8	1.001.423,6	1.007.143,8	1.001.489,2	80,5
MASW y MAM	L2MB-LS-04	1.007.450,4	1.001.049,1	1.007.390,5	1.001.131,4	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-05	1.007.778,8	1.000.626,2	1.007.717,9	1.000.712,5	105,8
MASW y MAM	L2MB-LS-06	1.007.871,5	1.000.376,0	1.007.943,4	1.000.445,0	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-07	1.008.449,0	999.863,4	1.008.388,8	999.940,8	98,9

Ensayo realizado	Descripción	Coordenadas iniciales		Coordenadas finales		Longitud ejecutada (m)
		Norte	Este	Norte	Este	
MASW y MAM	L2MB-LS-08	1.008.732,5	999.486,8	1.008.670,8	999.570,9	105,8
MASW y MAM	L2MB-LS-09	1.009.215,4	998.883,0	1.009.294,3	998.802,3	115,0
MASW y MAM	L2MB-LS-10	1.009.529,3	998.623,9	1.009.452,8	998.693,8	105,8
MASW y MAM	L2MB-LS-11	1.009.794,7	998.349,6	1.009.724,1	998.423,2	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-12	1.010.025,7	998.065,7	1.009.972,6	998.144,0	96,6
MASW y MAM	L2MB-LS-13	1.010.333,2	997.693,4	1.010.275,2	997.771,7	98,9
MASW y MAM	L2MB-LS-14	1.010.727,6	997.221,9	1.010.666,5	997.301,1	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-15	1.011.094,4	996.916,2	1.011.087,7	997.021,6	108,1
MASW y MAM	L2MB-LS-16	1.011.566,2	997.219,8	1.011.508,2	997.292,2	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-17	1.012.022,4	997.590,6	1.011.947,4	997.523,1	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-18	1.012.304,6	997.841,4	1.012.235,2	997.772,1	99,0
MASW y MAM	L2MB-LS-19	1.012.681,5	998.248,2	1.012.609,4	998.178,9	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-20	1.013.343,5	998.333,6	1.013.243,7	998.338,9	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-21	1.013.770,2	998.014,4	1.013.706,0	998.089,2	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-22	1.014.138,2	997.675,7	1.014.049,7	997.722,2	107,5
MASW y MAM	L2MB-LS-23	1.014.726,4	997.227,3	1.014.707,1	997.321,0	96,6
MASW y MAM	L2MB-LS-24	1.015.171,5	997.044,3	1.015.072,9	997.061,8	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-25	1.015.664,5	996.978,0	1.015.565,9	996.995,6	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-26	1.016.344,9	996.852,6	1.016.246,3	996.870,2	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-27	1.017.053,3	996.828,3	1.016.954,6	996.845,9	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-28	1.017.390,5	996.383,3	1.017.348,8	996.476,1	103,5
MASW y MAM	L2MB-LS-29	1.017.530,0	995.991,7	1.017.505,4	996.091,2	103,5
Total (Und)						28

5.2.2.6.2. Metodología de caracterización y zonificación geotécnica

La caracterización geotécnica permite definir modelos estratigráficos y establecer parámetros de diseño para ser empleados en los análisis geotécnicos. Los insumos para establecer dicha caracterización corresponden a la zonificación por zonas homogéneas, los resultados de las investigaciones geotécnicas, información de referencia de que exista en la zona de interés, ensayos de campo y laboratorio, correlaciones establecidas en la literatura técnica y parámetros geotécnicos típicos recomendados en la bibliografía de referencia para los tipos de material que se encuentran en la zona del proyecto.

A partir de las unidades geológicas, la localización de las perforaciones, los resultados de ensayos de campo y laboratorio, se realizó la zonificación y caracterización geotécnica del área de estudio. Las correlaciones y los parámetros típicos serán empleados en aquellos casos en los cuales no se puedan obtener muestras de suelo inalteradas.

Para los suelos que se identifiquen dentro del corredor y de acuerdo con su comportamiento dominante (cohesivo o granular) se definirán los siguientes parámetros:

- Número de golpes del ensayo de SPT
- Ángulo de fricción (φ´),
- Cohesión (c'),
- Resistencia al corte no drenada (S_u),
- Módulo de deformación Elástica (E_s),
- Parámetros de compresibilidad (C_c, C_r, e_o),

5.2.2.6.3. Definición y sectorización por Tramos con Zonas Homogéneas



Se definieron cuatro zonas homogéneas a lo largo del trazado de la línea 2 del Metro de Bogotá con base en la interpretación geológica de las perforaciones donde se logran identificar tres tipos de depósitos: Qpd (depósito de pendiente), Qta (terraza alta) y Qlla (llanura de inundación). La distribución espacial de estos depósitos permite la identificación de al menos tres zonas homogéneas, siendo el depósito Qta el de mayor extensión a lo largo de la línea del metro.

Como complemento a la identificación geológica se realizó un análisis de la información parcial obtenida con los ensayos de laboratorio para las fases 1 y 2, donde se pudo establecer un cambio en el depósito Qta que coincide con el contacto entre las zonas 3 y 4 que se presentan en el mapa de microzonificación sísmica de Bogotá (INGEOMINAS, UNIANDES, 1997). El cambio de las propiedades del suelo es evidente principalmente en el contenido de humedad de la arcilla (Qta-arc).

Por cada zona homogénea se realizó la asignación del suelo en función principalmente de su clasificación entre suelo granular y suelo cohesivo, esto con la intención de identificar diferentes comportamientos del suelo asociados a su gradación, y a diferenciar un comportamiento drenado de uno no drenado, donde además se consideró como relevante el contenido de materia orgánica. A continuación se describe cada una de las zonas homogéneas y los tipos de suelos que la componen.

5.2.2.6.3.1. Zona Homogénea 1

La primera zona homogénea va desde la abscisa K0+000 hasta la abscisa K0+700 y coincide con el depósito de pendiente (Qcc) y se caracteriza por ser la zona del proyecto donde se presenta la mayor variación de los tipos de suelo por su heterogeneidad. Esta zona presenta suelos granulares en su mayoría, tales como depósitos Aluviales (Qcc-Alu), depósitos de Ladera Arenoso y Gravoso (Qcc-are+gra), depósitos de Ladera Arenoso y Limoso (Qta-are+lim), depósitos de Ladera Arenoso con Materia Orgánica (Qcc-are+mat). Esta primera zona también presenta suelos cohesivos, conformando parte de la matriz de los depósitos Coluviales, y conformando principalmente lo que se ha denominado como depósitos de Ladera Arcillosos con contenido de arena (Qcc-arc+are), depósitos de Ladera Arcillosos (Qta-arc1) y depósitos de Ladera Arcilloso con Materia Orgánica o Turba (Qta-mat). Adicionalmente, en la zona homogénea 1 también se presenta la roca de la Formación Bogotá (Tpb) subyaciendo los depósitos de suelo. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0079_V01.

La Tabla 273 presenta los tipos de suelos que se identificaron en la Zona 1 y la cantidad de muestras obtenidas y asignadas por cada depósito, así como la longitud relacionada a cada tipo de suelo. La Figura 492 presenta gráficamente la distribución porcentual de la cantidad de muestras asignadas a cada uno de los depósitos y roca asignada para esta zona.

Tabla 276. Tipos de Suelo en la Zona

Zona 1	Cant	Long.	Cant	Long.
Tpb	6	15,6	0,3%	0,6%
Qcc-col	81	106,5	3,7%	4,3%
Qcc-alu	63	147,1	2,9%	5,9%
Qcc-are+gra	234	285,2	10,8%	11,4%
Qta-are+lim	151	130,6	7,0%	5,2%
Qcc-arc+are	3	5,8	0,1%	0,2%
Qta-arc1	1353	1542,3	62,4%	61,6%
Qcc-are+mat	11	14,4	0,5%	0,6%
Qta-mat	174	144,1	8,0%	5,8%
Qant	92	111,4	4,3%	4,4%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

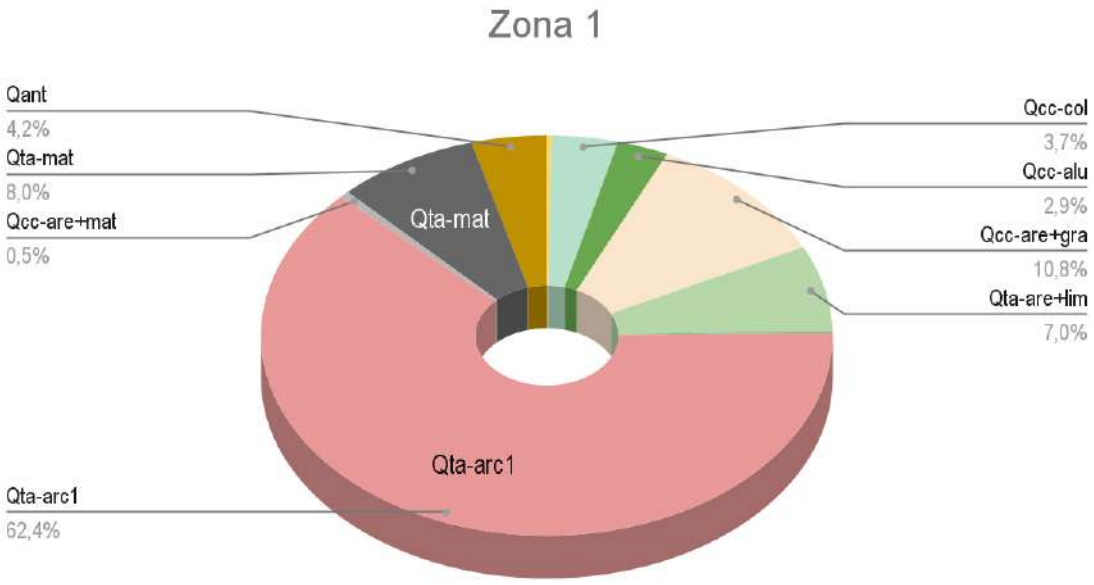


Figura 492. Distribución porcentual de los tipos de suelo para la Zona Homogénea 1
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

De esta asignación de tipos de suelo se observa que existe una similitud porcentual en asignación similar entre los tipos de suelo más relevantes y una menor cantidad de muestras del depósito Arenoso con materia orgánica (Qcc-are+mat), y el depósito arcilloso con contenido de arena (Qcc-arc+are).

La Figura 493 presenta el resumen de los resultados de los ensayos de humedad, granulometría, peso unitario total, SPT, resistencia al corte no drenada, cohesión, ángulo de fricción, relación de sobreconsolidación y resistencia al corte no drenada residual ejecutados en la zona homogénea 1. Anexo 5.2 - 10.1 a Anexo 5.2 - 11.4.

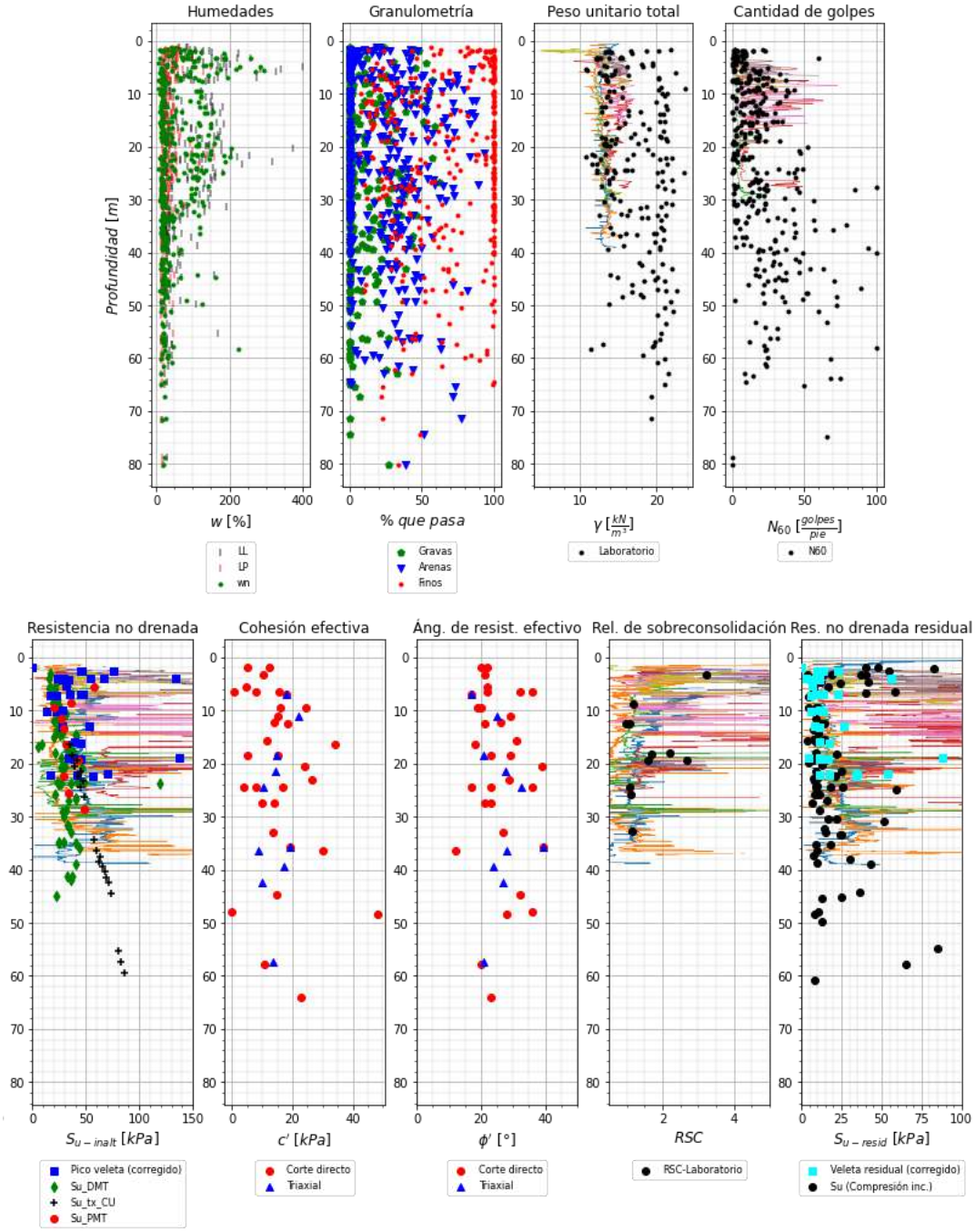


Figura 493. Parámetros resumen de la zona homogénea 1
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Teniendo en cuenta los resultados de pruebas de campo y ensayos de laboratorio en la Tabla 277, se presentan las propiedades físicas y los parámetros geomecánicos para diseño.

Tabla 277. Parámetros geomecánicos adoptados para la zona homogénea 1

Tipo de Suelo	Descripción	N60	Su (kPa)	σ_{ci} (kPa)	ɣ (kN/m³)	Gs	c´ (kPa)	Ø ´(°)	Øc (°)	Ec (MPa)	E_{DMT} (MPa)	EPMT (MPa)
Qant	Depósito de Relleno Antrópico	8	34 (2)	17,5	14,9	2,47	7	25	28 (3)	5,1 (4)	1,1	-
Qcc-alu	Depósito Aluvial	30	54 (2)	-	19,6	2,62	10 (3)	34 (3)	38 (3)	11,3 (5)	-	-
Qcc-are+gra	Depósito de Ladera Arenoso y Gravoso	28	50 (2)	-	19,2	2,54	13 (3)	31 (3)	37 (3)	10,8 (5)	4,3	-
Qta-are+lim	Depósito de Ladera Arenoso y Limoso	12	22 (2)	-	16,3	2,49	22	25	31 (3)	6,8 (5)	4,5	3,0
Qcc-are+mat	Depósito de Ladera Arenoso con Materia Orgánica	35	70 (2)	-	16,7	2,67	10 (3)	32 (3)	38 (3)	-	-	-
Qcc-col	Depósito Coluvión	24	100 (2)	38	20,0	2,57	15	31	36 (3)	15,0 (4)	6,0	-
Qta-arc1	Depósito de Ladera Arcilloso	3	18 (2)	51	13,6	2,47	15	21	26 (3)	2,7 (4)	1,4	4,7
Qta-mat	Depósito de Ladera Arcilloso con Materia Orgánica o Turba	8	22 (2)	38	13,9	2,5	15	18	29 (3)	3,3 (4)	2,3	4,3

Notas:
(1) Parámetros representativos utilizando como referencia los valores promedio o medianas en función de la variación (C.V.)
(2) Resistencia deducida para muestras con contenidos de finos que permitieron la ejecución del ensayo de compresión inconfinada

(3) Resistencia friccional obtenida por correlaciones con la cantidad de golpes del SPT
(4) Correlaciones con la resistencia no drenada deducida de la compresión inconfinada (300 x Su) (5)
(5) Correlaciones con los valores de SPT para arenas saturadas 250(N+15)

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 278 se presentan los parámetros adoptados como representativos de los ensayos edométricos y límites de consistencia.

Tabla 278. Parámetros adoptados de ensayos edométricos y límites como representativos

Tipo de Suelo	λ	κ	Cc	Cr	e0	ω	LL	LP	IP	Ic
Qant	-	-	1,5	0,11	-	81%	103%	45%	58%	38%
Qcc-alu	-	-	-	-	1,09	19%	30%	17%	13%	85%

Tipo de Suelo	λ	κ	Cc	Cr	e0	ω	LL	LP	IP	Ic
Qcc-are+gra	0,04	0,00	0,1	0,01	0,69	19%	35%	16%	19%	84%
Qta-are+lim	-	-	1,59	0,19	-	24%	42%	22%	20%	90%
Qcc-are+mat	-	-	-	-	-	18%	29%	15%	14%	79%
Qcc-col	0,43	0,07	1,00	0,15	2,5	22%	32%	17%	15%	67%
Qta-arc	0,70	0,08	1,60	0,18	3,15	116%	148%	39%	109%	29%
Qta-mat	0,43	0,04	1,00	0,10	2,1	83%	121%	42%	79%	48%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Las recomendaciones de los parámetros de deformabilidad asociados al modelo de Plastic Hardening o Hardening Soil se presentan en la Tabla 279.

Tabla 279. Parámetros para el modelo de Plastic Hardening / Hardening Soil

Tipo de Suelo	σ_{ref} (kPa)	Rf	$E_{50\text{-}ref}$ (MPa)	$E_{ur\text{-}ref}$ (MPa)	$E_{0\text{-}ref}$ (MPa)
Qant	-	-	-	-	-
Qcc-alu	-	-	-	-	-
Qcc-are+gra	100	-	13,0 (1)	38,9 (1)	116,6 (1)
Qta-are+lim	-	-	-	-	-
Qcc-are+mat	-	-	-	-	-
Qcc-col	100	-	1,8 (1)	5,4 (1)	16,1 (1)
Qta-arc1	100	-	1,8 (1)	5,3 (1)	15,9 (1)
Qta-mat	100	-	2,4 (1)	7,1 (1)	21,4 (1)

Notas:
(1) Eur obtenido de κ* (aproximación) y demás módulos de relaciones recomendadas por default

La validación de los módulos establecidos para los suelos se realiza al considerar las siguientes condiciones:

- $E_{50\text{-}ref} < E_{i\text{-}re} < E_{ur\text{-}ref} < E_{0\text{-}ref} < E_{0\ Máx}$
- $G_{ur\text{-}ref} < G_0$

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Estos parámetros se deben entender como valores de referencia, aclarando que para mayor claridad y escogencia de parámetros representativos se cuenta con el perfil con los resultados de los ensayos tanto de campo como de laboratorio en profundidad, lo que permite tomar decisiones particulares por cada obra al analizar las perforaciones cercanas.

5.2.2.6.3.2. Zona Homogénea 2

La zona homogénea 2 va desde la abscisa K0+700 hasta la abscisa K4+400 y su inicio coincide con la finalización del depósito de pendiente (Qcc) y donde inicia el depósito correspondiente a la terraza alta (Qta). Esta zona presenta en su gran mayoría suelos cohesivos tales como depósitos de Terraza Arcilloso/Limoso de Alta Humedad (Qta-arc1), depósitos de Terraza Arcillosos con contenido de arena (Qta-arc+are) y depósitos de Terraza Arcilloso con materia orgánica o turba (Qta-mat). Esta zona también presenta suelos antrópicos (Qant).

La Tabla 277 presenta los tipos de suelos que se identificaron en la Zona 2 y la cantidad de muestras obtenidas y asignadas por cada depósito, así como la longitud relacionada a cada tipo de depósito. La Figura 494 presenta gráficamente la distribución porcentual de la cantidad de muestras asignadas a cada uno de los depósitos asignados a esta zona, donde no se cuenta con recobro de roca para esta zona, justificado por su profundidad. Anexo 5.2 - 10.1 a Anexo 5.2 - 11.4. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0079_V01.

Tabla 280. Tipos de Suelo en la Zona 2

Zona 2	Cant	Long.	Cant	Long.
Qta-arc1	1353	1542,3	89,0%	87,8%
Qta-arc+are	8	15,1	0,5%	0,9%
Qta-mat	74	83,8	4,9%	4,8%
Qant	85	116,0	5,6%	6,5%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Para esta zona se identifica que se cuenta con poca información para el suelo compuesto por arcilla y arena (Qta-arc+are).

En esta zona se aprecia que el mayor muestreo se obtiene de un suelo arcilloso (Qta-arc1) y en menor medida del relleno antrópico (Q-ant) que existe en superficie.

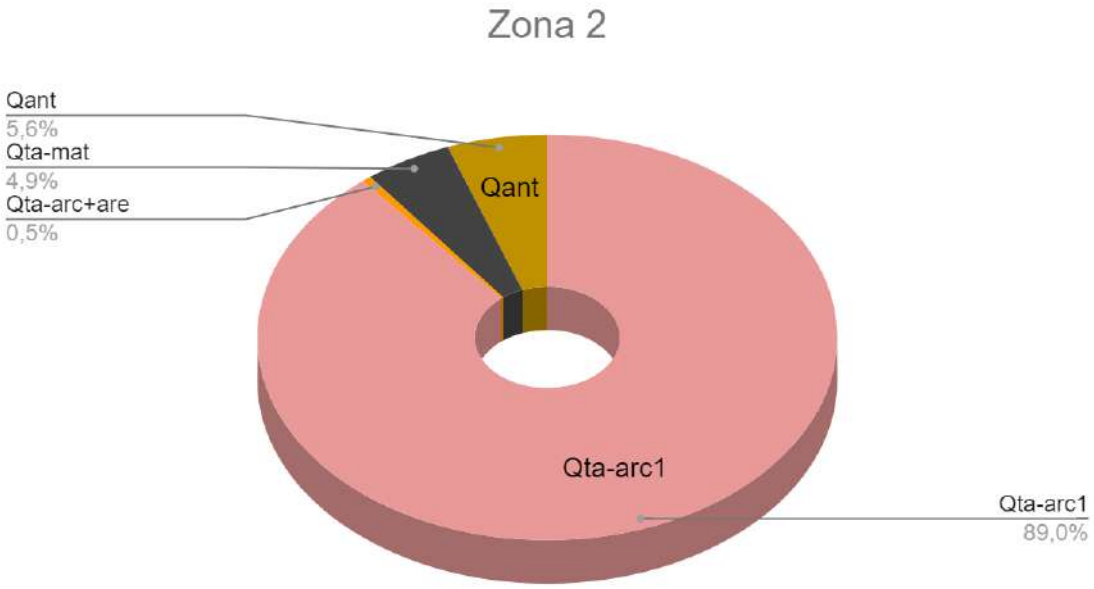


Figura 494. Distribución porcentual de los tipos de suelo para la Zona Homogénea 2
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

La Figura 495 presenta el resumen de los resultados de los ensayos de humedad, granulometría, peso unitario total, SPT, resistencia al corte no drenada, cohesión, ángulo de fricción, relación de sobreconsolidación y resistencia al corte no drenada residual ejecutados en la zona homogénea 2.

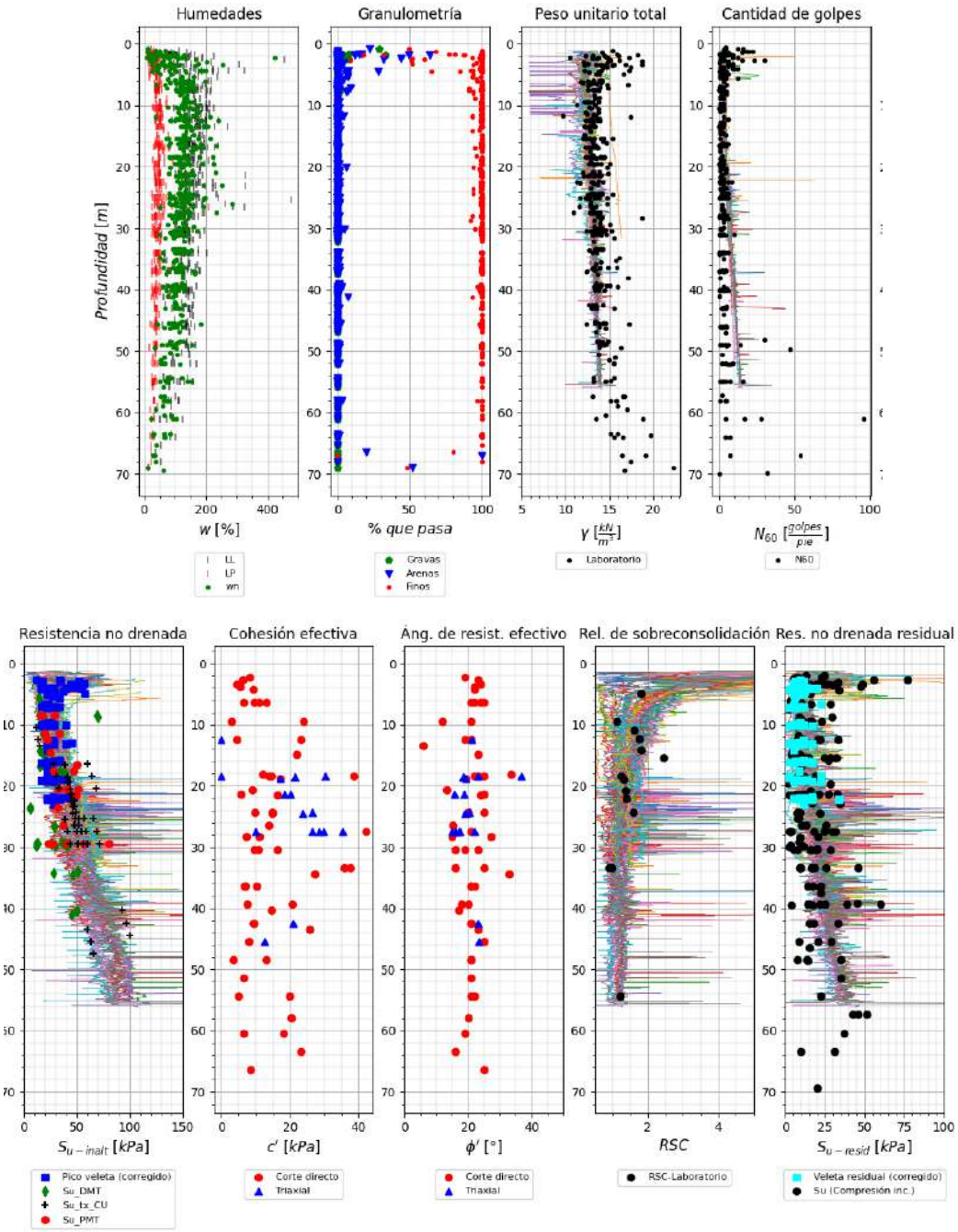


Figura 495. Parámetros resumen de la zona homogénea 2
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Teniendo en cuenta los resultados de pruebas de campo y ensayos de laboratorio en la Tabla 281, se presentan las propiedades físicas y los parámetros geomecánicos para diseño.

Tabla 281. Parámetros geomecánicos adoptados para la zona homogénea 2

Tipo de Suelo	Descripción	N60	Su (kPa)	σ_{ci} (kPa)	ɣ (kN/m³)	Gs	c´ (kPa)	Ø ´(°)	Øc (°)	Ec (MPa)	E_{DMT} (MPa)	EPMT (MPa)
Qant	Depósito de Relleno Antrópico	6	42 (2)	17,5	14,6	2,49	6	22	28 (3)	6,3 (4)	-	-
Qta-arc+are	Depósito de Terraza Arcilloso con contenido de arena	10	60 (2)	-	16,5	2,68	23	16	28 (3)	6,3 (5)	-	-
Qta-arc1	Depósito de Terraza Arcilloso/Limoso Alta Humedad	3	28 (2)	51	13,5	2,47	20	20	26 (3)	4,2 (4)	2,5	4,4
Qta-mat	Depósito de Terraza Arcilloso con Materia Orgánica o Turba	2	25 (2)	38	13,1	2,42	14	26	26 (3)	3,8 (4)	2,8	2,2

Notas:
(1) Parámetros representativos utilizando como referencia los valores promedio o medianas en función de la variación (C.V.)
(2) Resistencia deducida para muestras con contenidos de finos que permitieron la ejecución del ensayo de compresión inconfinada

(3) Resistencia friccional obtenida por correlaciones con la cantidad de golpes del SPT
(4) Correlaciones con la resistencia no drenada deducida de la compresión inconfinada (300 x Su) (5)
(5) Correlaciones con los valores de SPT para arenas saturadas 250(N+15)

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 282 se presentan los parámetros adoptados como representativos de los ensayos edométricos y límites de consistencia.

Tabla 282. Parámetros adoptados de ensayos edométricos y límites como representativos

Tipo de Suelo	λ	κ	Cc	Cr	e0	ω	LL	LP	IP	Ic
Qant	-	-	-	-	-	83%	117%	42%	75%	45%
Qta-arc+are	-	-	-	-	-	60%	69%	23%	46%	20%
Qta-arc1	0,62	0,08	1,43	0,18	3,1	118%	144%	42%	102%	25%
Qta-mat	0,57	0,03	1,31	0,08	3,07	129%	151%	45%	106%	21%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Las recomendaciones de los parámetros de deformabilidad asociados al modelo de Plastic Hardening o Hardening Soil se presentan en la Tabla 283.

Tabla 283. Parámetros para el modelo de Plastic Hardening / Hardening Soil

Tipo de Suelo	σ_{ref} (kPa)	Rf	$E_{50\text{-}ref}$ (MPa)	$E_{ur\text{-}ref}$ (MPa)	$E_{0\text{-}ref}$ (MPa)
Qant	-	-	-	-	-
Qta-arc+are	-	-	-	-	-
Qta-arc1	100	0,95	4,5 (1)	13,4 (1)	40,2 (1)
Qta-mat	100	-	3,9 (1)	11,7 (1)	35,1 (1)

Notas:
(1) Eur obtenido de κ* (aproximación) y demás módulos de relaciones recomendadas por default
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

La validación de los módulos establecidos para los suelos se realiza al considerar las siguientes condiciones:

- $E_{50\text{-}ref}<E_{i\text{-}re}<E_{ur\text{-}ref}<E_{0\text{-}ref}<E_{0\ Máx}$
- $G_{ur\text{-}ref}<G_0$

Estos parámetros se deben entender como valores de referencia, aclarando que para mayor claridad y escogencia de parámetros representativos se cuenta con el perfil con los resultados de los ensayos tanto de campo como de laboratorio en profundidad, lo que permite tomar decisiones particulares por cada obra al analizar las perforaciones cercanas.

5.2.2.6.3.3. Zona Homogénea 3

La zona homogénea 3 va desde la abscisa K4+400 hasta la abscisa K14+600, y se diferencia de la zona 2 al identificar dos estratos de suelo arcilloso (Qta-arc2 y Qta-arc3) con variaciones en su humedad natural, lo que se presume y más adelante se presenta como un comportamiento diferente del suelo. Esta diferencia también se identifica en el estudio de microzonificación sísmica de Bogotá, donde la "Zona 4" (definida en ese estudio) se asocia a un suelo superficial más blando con espesor variable entre 30 m y 50 m. Esta zona presenta en su gran mayoría suelos cohesivos tales como depósitos de Terraza Arcilloso/Limoso de Alta Humedad (Qta-arc2), Terraza Arcilloso/Limoso de Baja Humedad (Qta-arc3), depósitos de Terraza Arcilloso con Materia Orgánica o Turba (Qta-mat). . Anexo 5.2 - 10.1 a Anexo 5.2 - 11.4. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0079_V01.

La Tabla 284 presenta los tipos de suelos que se identificaron en la Zona 3 y la cantidad de muestras obtenidas y asignadas por cada depósito, así como la longitud relacionada a cada tipo de depósito. La Figura 496 presenta gráficamente la distribución porcentual de la cantidad de muestras asignadas a cada uno de los depósitos asignados a esta zona, donde no se cuenta con recobro de roca para esta zona, justificado por su profundidad.

Tabla 284. Tipos de Suelo en la Zona 3

Zona 3	Cant	Long.	Cant	Long.
Qta-arc2	4013	4231,4	75,4%	69,9%
Qta-arc3	939	1309,9	17,6%	21,7%
Qta-mat	137	155,4	2,6%	2,6%
Qant	236	352,7	4,4%	5,8%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

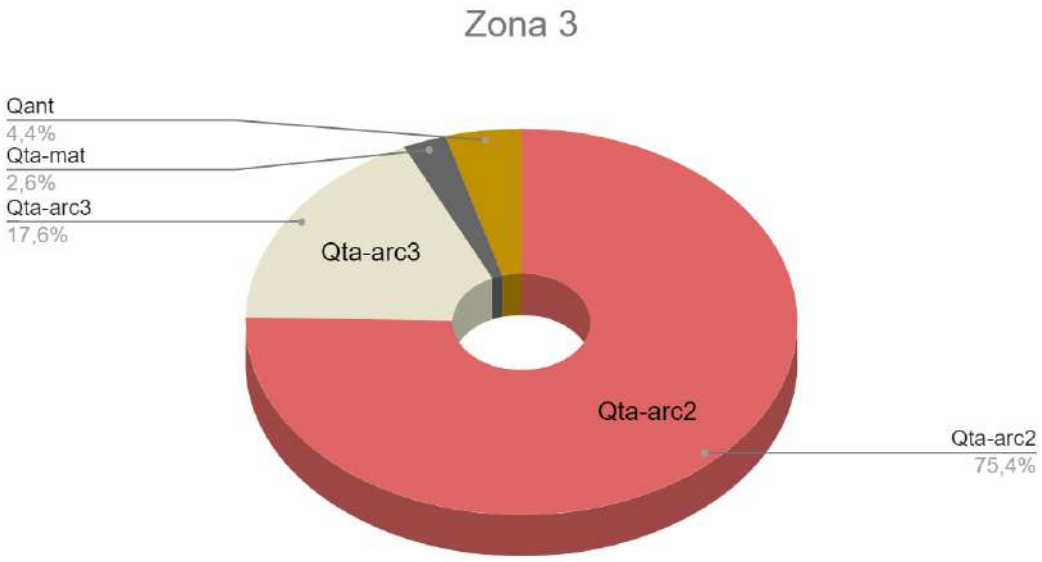


Figura 496. Distribución porcentual de los tipos de suelo para la Zona Homogénea 3
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Al igual que en la Zona 2, se cuenta principalmente con información de los suelos arcillosos, antrópicos y con contenido de materia orgánica, mientras que los suelos identificados con algo de contenido de arena cuentan con poca información.

La Figura 497 presenta el resumen de los resultados de los ensayos de humedad, granulometría, peso unitario total, SPT, resistencia al corte no drenada, cohesión, ángulo de fricción, relación de sobreconsolidación y resistencia al corte no drenada residual ejecutados en la zona homogénea 3.

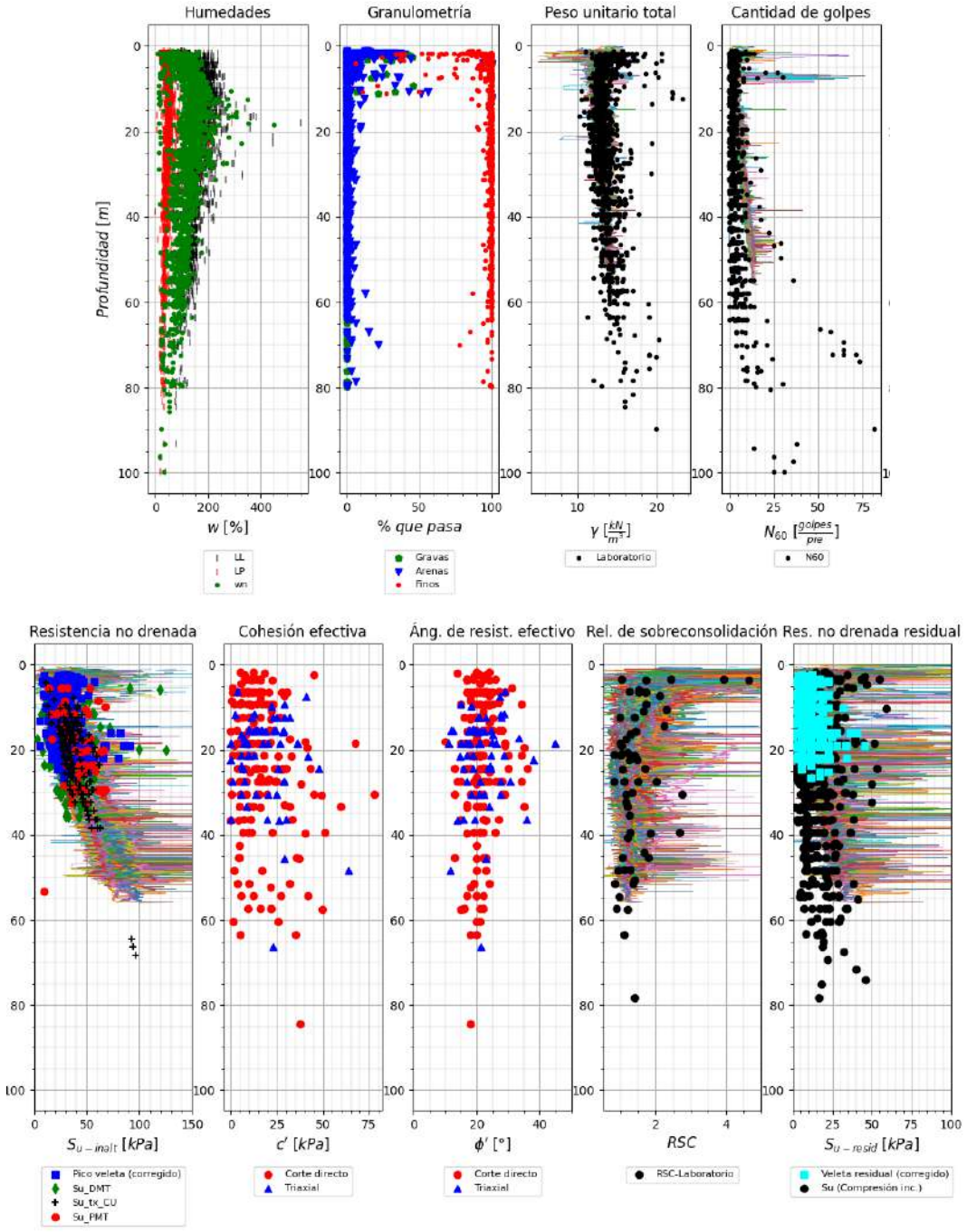


Figura 497. Parámetros resumen de la zona homogénea 3
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Teniendo en cuenta los resultados de pruebas de campo y ensayos de laboratorio en la Tabla 285, se presentan las propiedades físicas y los parámetros geomecánicos para diseño.

Tabla 285. Parámetros geomecánicos adoptados para la zona homogénea 3

Tipo de Suelo	Descripción	N60	Su (kPa)	σ_{ci} (kPa)	γ (kN/m³)	Gs	c´ (kPa)	Ø ´(°)	Øc (°)	Ec (MPa)	E_{DMT} (MPa)	EPMT (MPa)
Qant	Depósito de Relleno Antrópico	3	40 (2)	17,5	14,7	2,46	15	20	27 (3)	6,0 (4)	2,9	4,3
Qta-arc2	Depósito de Terraza Arcilloso/Limoso Alta Humedad	2	20 (2)	38	13,0	2,44	16	21	26 (3)	3,0 (4)	1,9	5,4
Qta-arc3	Depósito de Terraza Arcilloso/Limoso Baja Humedad	6	30 (2)	65	14,0	2,54	24	20	27 (3)	4,5 (4)	5,1	-
Qta-mat	Depósito de Terraza Arcilloso con Materia Orgánica o Turba	3	24 (2)	38	13,1	2,37	18	21	26 (3)	3,6 (4)	2,7	-

Notas:
(1) Parámetros representativos utilizando como referencia los valores promedio o medianas en función de la variación (C.V.)
(2) Resistencia deducida para muestras con contenidos de finos que permitieron la ejecución del ensayo de compresión inconfinada

(3) Resistencia friccional obtenida por correlaciones con la cantidad de golpes del SPT
(4) Correlaciones con la resistencia no drenada deducida de la compresión inconfinada (300 x Su) (5)
(5) Correlaciones con los valores de SPT para arenas saturadas 250(N+15)

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 286 se presentan los parámetros adoptados como representativos de los ensayos edométricos y límites de consistencia.

Tabla 286. Parámetros adoptados de ensayos edométricos y límites como representativos

Tipo de Suelo	λ	κ	Cc	Cr	e0	ω	LL	LP	IP	Ic
Qant	0,15	0,02	0,57	0,06	1,3	0,14	2,74	68%	96%	35%
Qta-arc2	0,66	0,09	1,51	0,20	3,38	135%	165%	46%	119%	25%
Qta-arc3	0,58	0,07	1,33	0,16	2,43	96%	125%	35%	90%	32%
Qta-mat	0,53	0,07	1,22	0,15	2,17	145%	151%	42%	109%	6%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Las recomendaciones de los parámetros de deformabilidad asociados al modelo de Plastic Hardening o Hardening Soil se presentan en la Tabla 287.

Tabla 287. Parámetros para el modelo de Plastic Hardening / Hardening Soil

Tipo de Suelo	σ_{ref} (kPa)	Rf	$E_{50\text{-}ref}$ (MPa)	$E_{ur\text{-}ref}$ (MPa)	$E_{0\text{-}ref}$ (MPa)
Qant	100	-	3,9 (1)	11,7 (1)	35,1 (1)
Qta-arc2	100	0,95	4,8 (1)	14,4 (1)	43,2 (1)
Qta-arc3	100	0,95	4,4 (1)	13,2 (1)	39,7 (1)
Qta-mat	100	-	1,6 (1)	4,9 (1)	14,6 (1)

Notas:
(1) Eur obtenido de κ* (aproximación) y demás módulos de relaciones recomendadas por default

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

La validación de los módulos establecidos para los suelos se realiza al considerar las siguientes condiciones:

- $E_{50\text{-}ref}<E_{i\text{-}re}<E_{ur\text{-}ref}<E_{0\text{-}ref}<E_{0\ Máx}$
- $G_{ur\text{-}ref}<G_0$

Estos parámetros se deben entender como valores de referencia, aclarando que para mayor claridad y escogencia de parámetros representativos se cuenta con el perfil con los resultados de los ensayos tanto de campo como de laboratorio en profundidad, lo que permite tomar decisiones particulares por cada obra al analizar las perforaciones cercanas.

5.2.2.6.3.4. Zona Homogénea 4

La zona homogénea 4 va desde la abscisa K14+600 hasta la abscisa K15+000 y coincide con el contacto inferido entre el depósito de la terraza alta (Qta) y el depósito de la llanura de inundación del río Bogotá (Qlla), que fue definido con la identificación de un suelo arenoso. Esta zona presenta en su gran mayoría suelos cohesivos tales como depósitos de Llanura de inundación Arcilloso (Qta-arc4), depósitos de Llanura Aluvial Arcilloso con contenido de arena (Qta-arc+are) y depósito de Llanura Arcilloso con Materia Orgánica o turba (Qta-mat). Esta zona también presenta suelos granulares tales como depósitos de Llanura Aluvial Arenoso (Qlla-are). . Anexo 5.2 - 10.1 a Anexo 5.2 - 11.4. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0079_V01.

La Tabla 288 presenta los tipos de suelos que se identificaron en la Zona 4 y la cantidad de muestras obtenidas y asignadas por cada depósito, así como la longitud relacionada a cada tipo de depósito. La Figura 498 presenta gráficamente la distribución porcentual de la cantidad de muestras asignadas a cada uno de los depósitos asignados a esta zona, donde no se cuenta con recobro de roca para esta zona, justificado por su profundidad.

Tabla 288. Tipos de Suelo en la Zona 4

Zona 4	Cant	Long.	Cant	Long.
Qta-arc4	513	616,4	74,2%	76,1%

Zona 4	Cant	Long.	Cant	Long.
Qta-arc+are	1	0,5	0,1%	0,1%
Qlla-are	117	138,5	16,9%	17,1%
Qta-are	46	37,8	6,7%	4,7%
Qta-mat	11	11,5	1,6%	1,4%
Qant	3	4,9	0,5%	0,6%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

A diferencia de las zonas homogéneas anteriores, en esta zona se presenta la mayor recuperación de suelo predominantemente arenoso.



Figura 498. Distribución porcentual de los tipos de suelo para la Zona Homogénea 4
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

La Figura 499 presenta el resumen de los resultados de los ensayos de humedad, granulometría, peso unitario total, SPT, resistencia al corte no drenada, cohesión, ángulo de fricción, relación de sobreconsolidación y resistencia al corte no drenada residual ejecutados en la zona homogénea 4.

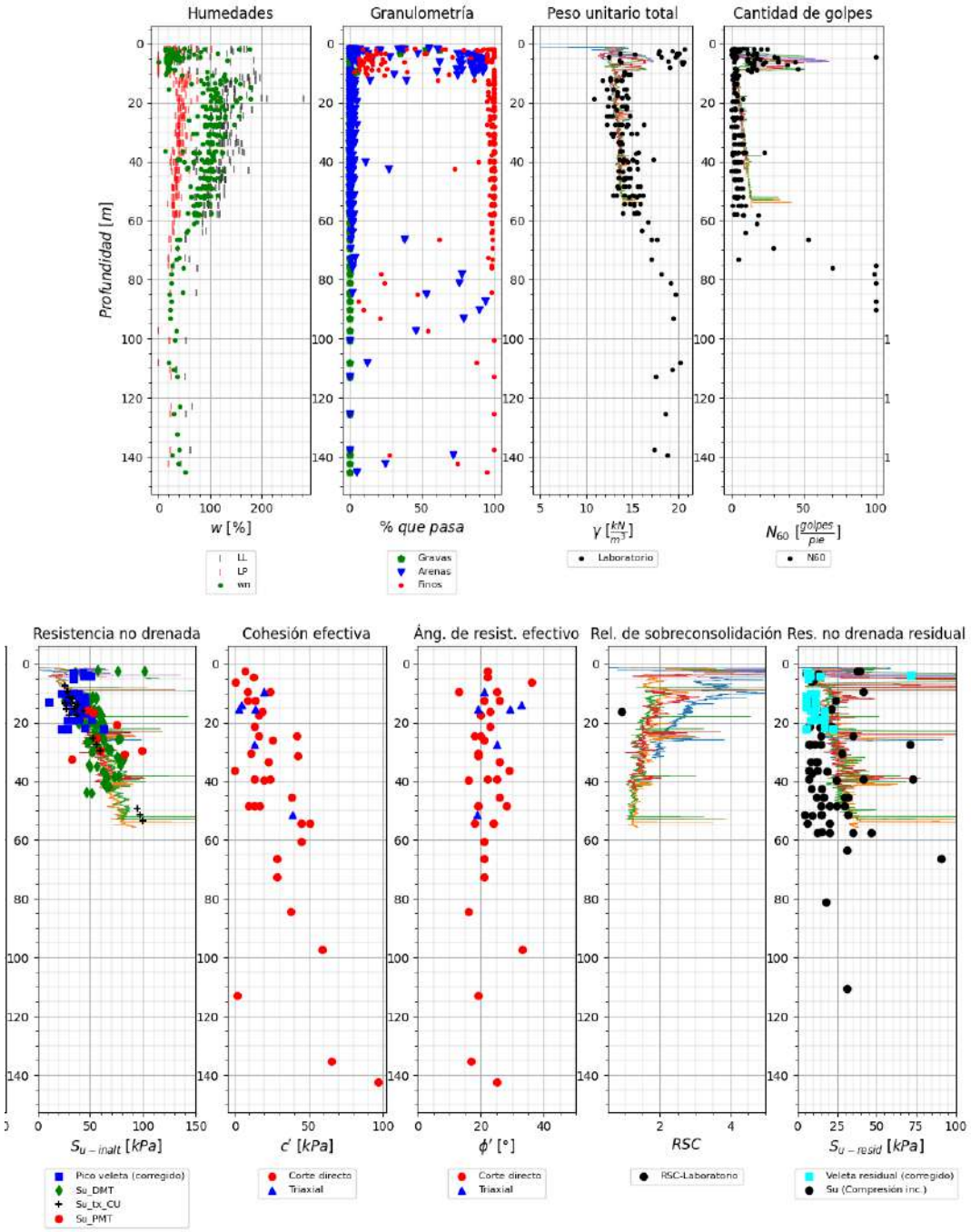


Figura 499. Parámetros resumen de la zona homogénea 4
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Teniendo en cuenta los resultados de pruebas de campo y ensayos de laboratorio en la Tabla 289, se presentan las propiedades físicas y los parámetros geomecánicos para diseño.

Tabla 289. Parámetros geomecánicos adoptados para la zona homogénea 4

Tipo de Suelo	Descripción	N60	Su (kPa)	σ_{ci} (kPa)	ɣ (kN/m³)	Gs	c´ (kPa)	Ø ´(°)	Øc (°)	Ec (MPa)	E_{DMT} (MPa)	EPMT (MPa)
Qant	Depósito de Relleno Antrópico	3	40 (2)	17,5	14,7	2,46	15	20	27 (3)	6,0 (4)	2,9	4,3
Qlla-are	Depósito de Llanura Aluvial Arenoso	2	28 (2)	17,5	20,3	2,59	-	-	30 (3)	4,2 (4)	8,7	-
Qta-arc+are	Depósito de Terraza Arcilloso con contenido de arena	14	48 (2)	-	18,5	2,57	10	23	38 (3)	7,3 (5)	21,0	-
Qta-arc4	Depósito de Llanura Aluvial Arcilloso	25	14 (2)	-	14,2	2,75	5 (3)	21 (3)	27 (3)	2,1 (4)	-	-
Qta-mat	Depósito de Terraza Arcilloso con Materia Orgánica o Turba	5	22 (2)	38	13,6	2,34	22	19	27 (3)	3,3 (4)	-	-

Notas:
(1) Parámetros representativos utilizando como referencia los valores promedio o medianas en función de la variación (C.V.)
(2) Resistencia deducida para muestras con contenidos de finos que permitieron la ejecución del ensayo de compresión inconfinada

(3) Resistencia friccional obtenida por correlaciones con la cantidad de golpes del SPT
(4) Correlaciones con la resistencia no drenada deducida de la compresión inconfinada (300 x Su)
(5)Correlaciones con los valores de SPT para arenas saturadas 250(N+15)

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 290 se presentan los parámetros adoptados como representativos de los ensayos edométricos y límites de consistencia.

Tabla 290. Parámetros adoptados de ensayos edométricos y límites como representativos

Tipo de Suelo	λ	κ	Cc	Cr	e0	ω	LL	LP	IP	Ic
Qant	-	-	-	-	-	20%	68%	27%	41%	117%
Qlla-are	-	-	-	-	-	31%	52%	18%	34%	62%
Qta-arc+are	0,42	0,06	0,97	0,14	2,6	94%	123%	38%	85%	34%
Qta-arc4	0,37	0,05	0,86	0,12	3,14	64%	115%	30%	85%	60%
Qta-mat	0,44	0,08	1,01	0,18	3,06	110%	140%	53%	87%	34%

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Las recomendaciones de los parámetros de deformabilidad asociados al modelo de Plastic Hardening o Hardening Soil se presentan en la Tabla 291.

Tabla 291. Parámetros para el modelo de Plastic Hardening / Hardening Soil

Tipo de Suelo	σ_{ref} (kPa)	Rf	$E_{50\text{-}ref}$ (MPa)	$E_{ur\text{-}ref}$ (MPa)	$E_{0\text{-}ref}$ (MPa)
Qant	-	-	-	-	-
Qlla-are	-	-	-	-	-
Qta-arc+are	100	0,95	6,3 (1)	19,0 (1)	56,9 (1)
Qta-arc4	100	-	2,6 (1)	7,9 (1)	23,8 (1)
Qta-mat	100	-	1,7 (1)	5,2 (1)	15,6 (1)

Notas:

(1) Eur obtenido de κ* (aproximación) y demás módulos de relaciones recomendadas por default

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

La validación de los módulos establecidos para los suelos se realiza al considerar las siguientes condiciones:

- $E_{50\text{-}ref}<E_{i\text{-}re}<E_{ur\text{-}ref}<E_{0\text{-}ref}<E_{0\ Máx}$
- $G_{ur\text{-}ref}<G_0$

Estos parámetros se deben entender como valores de referencia, aclarando que para mayor claridad y escogencia de parámetros representativos se cuenta con el perfil con los resultados de los ensayos tanto de campo como de laboratorio en profundidad, lo que permite tomar decisiones particulares por cada obra al analizar las perforaciones cercanas.

5.2.2.6.4. .Descripción geotécnica del proyecto

5.2.2.6.4.1. Caracterización geotécnica para las estaciones subterráneas

El trazado de la L2MB tiene una longitud de 15,5 km y está comprendido entre el pozo de salida de la tuneladora, localizado en la Calle 72 cerca a la Carrera 10, y el patio taller en la carrera 145 en la localidad de Suba. La mayor parte de la línea de metro transcurre en un túnel de 10,5 m de diámetro y 12,7 km de longitud que será excavado con máquina tuneladora EPB. La línea del metro termina en un tramo elevado hasta llegar al patio taller. Anexo 5.2 - 10.1 a Anexo 5.2 - 11.4. Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0079_V01.

El tramo subterráneo de la L2MB, está comprendido entre la Calle 72 con Carrera 10, en donde se localiza el K0+000 del trazado y el K14+280, en donde se ubica el pozo de entrada para la máquina tuneladora. Además de los pozos de entrada y salida, a lo largo de este tramo se ubican 10 estaciones subterráneas con profundidades a riel de 30,0 a 32,0 m, con dimensiones útiles de 160 m de largo y anchos útiles de 31,8 y 23,2 m. Después del pozo de entrada, la línea del metro sale a superficie hasta la estación elevada 11 en el K14+790.

Para la L2MB se han previsto dos tipologías de estaciones subterráneas, una para la estación 1, Av. Caracas y otra para las 9 estaciones restantes. La estación 1, tendrá una longitud interior de 160 m y 31,8 m de ancho interior. En esta estación se han previsto dos filas de columnas interiores a lo largo de la estación localizadas a 4,9 m de las pantallas externas dejando una distancia interior entre columnas de 22,0 m. La estación tendrá una tapa superior, tres mezzanines y la losa

de fondo con solera curva. La tipología para las estaciones restantes tendrá una longitud útil de 160 m y 23,2 m de ancho. Estas estaciones tendrán una tapa superior, tres mezzanines y la losa de fondo con solera curva. Todas las estaciones tendrán una profundidad media a riel de 30 m y estarán conformadas por un muro pantalla perimetral de concreto reforzado de 1,20 m de espesor.

En las zonas de las estaciones, se realizaron varios sondeos y ensayos con piezocono (SCPT), dilatómetro (DMT), veleta y SPT. También, para la caracterización de los suelos de acuerdo con la estratigrafía establecida con las perforaciones, se realizaron ensayos de granulometría, pesos unitarios, límites de Atterberg, humedad natural, compresión inconfinada, gravedad específica, cortes directos, ensayos triaxiales y ensayos de consolidación.

A continuación se presenta respectivamente la estratigrafía con base en los resultados de las investigaciones geotécnicas donde se emplaza la estación 1 y la estratigrafía típica para las estaciones restantes.

En términos generales, en la estación 1 se distinguen dos tipos de columnas de suelo las cuales están compuestas por los materiales indicados, Tabla 292:

Tabla 292. Perfiles estratigráficos generales estación 1

Columna 1		
Convención	**Espesor**	**Descripción del material**
Qant	De 0,0 a 5,0 m	Relleno antrópico compuesto por arcilla arenosa con presencia de gravas. El material se presenta con humedad de baja a media, plasticidad media a alta y consistencia blanda.
Qta-arc1	De 5,0 a 42,0 m	Arcilla limosa. Material muy húmedo de alta plasticidad y consistencia blanda.
Qcc-alu	De 42,0 a 45,0 m	Depósito coluvial. Gravas, cantos y bloques en matriz areno arcillosa.
Qcc-are+gra	De 45,0 a 49,0 m	Arena con niveles de grava.
Qcc-alu	De 49,0 a 58,0 m	Depósito coluvial. Gravas, cantos y bloques en matriz areno arcillosa.
Qdp-are+gra	> 58,8 m	Arena con niveles de grava.
Qdp-mat	Lentes ocasionales de 1 a 3 m de espesor	Depósito arcilloso con materia orgánica o turba.

Columna 2		
Convención	**Espesor**	**Descripción del material**
Qant	De 0,0 a 4,0 m	Relleno antrópico compuesto por arcilla arenosa con presencia de gravas. El material se presenta con humedad de baja a media, plasticidad media a alta y consistencia blanda.
Qta-arc1	De 4,0 a 56,0 m	Arcilla limosa. Material muy húmedo de alta plasticidad y consistencia blanda.
Qdp-are+gra	> 56 m	Arena con niveles de grava.
Qdp-mat	Lentes ocasionales de 1 a 3 m de espesor	Depósito arcilloso con materia orgánica o turba.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 293. Perfil estratigráfico general estaciones 2 a 3

Convención	**Espesor**	**Descripción del material**
Qant	De 2 a 6 m de espesor	Relleno antrópico compuesto por arcilla arenosa con presencia de gravas. El material se presenta con humedad de baja a media, plasticidad media a alta y consistencia blanda.
Qta-arc1	> 2 a 6 m de profundidad	Arcilla limosa. Material muy húmedo de alta plasticidad y consistencia blanda.
Qdp-mat	Lentes ocasionales de 1 a 3 m de espesor	Depósito arcilloso con materia orgánica o turba.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 294. Perfil estratigráfico general estaciones 4 a 10

Convención	Espesor	Descripción del material
Qant (Rell)	De 2 a 6 m de espesor	Relleno antrópico compuesto por arcilla arenosa con presencia de gravas. El material se presenta con humedad de baja a media, plasticidad media a alta y consistencia blanda.
Qta-arc2	De 2 a 35 m de profundidad	Arcilla limosa. Material muy húmedo de alta plasticidad y consistencia blanda.
Qta-arc3	> a 35 m	Arcilla limosa. Material muy húmedo de alta plasticidad y consistencia media.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

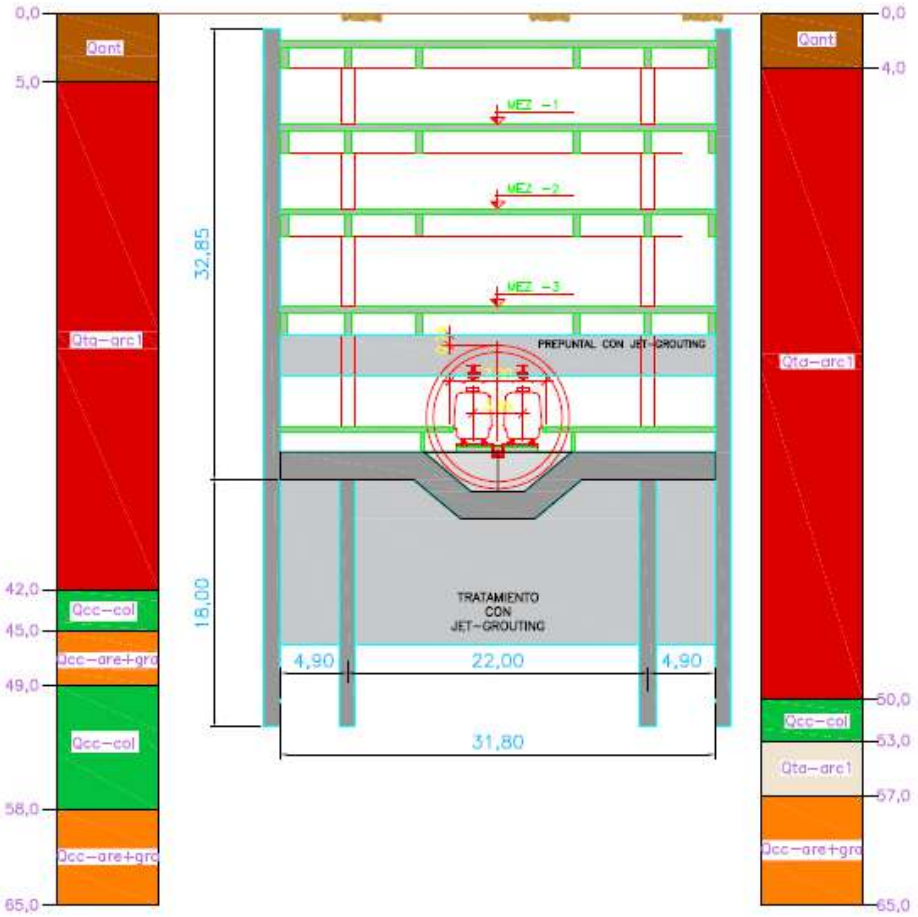


Figura 500. Columnas estratigráficas estación 1
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

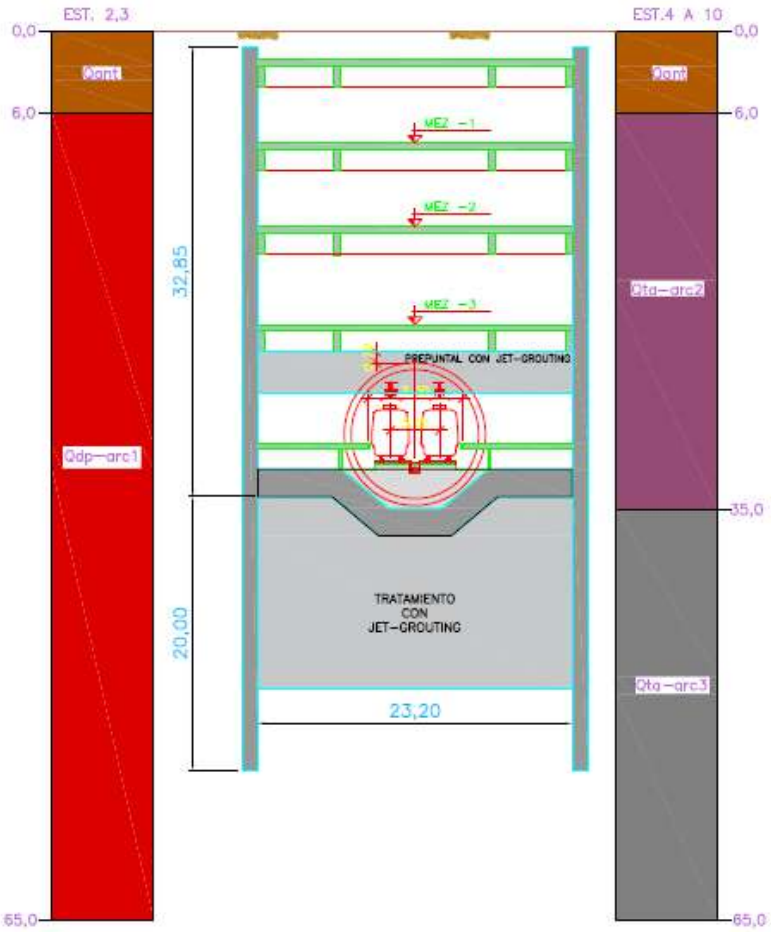


Figura 501. Columna estratigráfica típica, estaciones 2 a 10
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

De acuerdo con los resultados de las investigaciones geotécnicas, los parámetros para cada tipo de suelo se relacionan en la Tabla 295.

Tabla 295. Parámetros geotécnicos

Parámetro	Qant	Qdp-alu	Qdp-are+gra	Qta-arc1	Qta-arc2	Qta-arc3	Qta-mat
Gradación principal	Cohesivo	Granular	Granular	Cohesivo	Cohesivo	Cohesivo	Cohesivo
γ (KN/m^3)	14,5-15,0	19,0-20,0	19,0-20,0	13,5-14,0	13,0-13,5	14,0-14,5	13,5-14,0
Su (KN/m^2)	15,0-20,0	-	-	49,0-52,0	35,0-40,0	60,0-70,0	35-45
C´ (KN/m^2)	18,0-20,0	17,0	13,0-20,0	15,0-25,0	15,0-20,0	17,0-29,0	16,0-15,0
ϕ (°)	19,0-20,0	36,0-41,0	28,0-32,0	19,0-20,0	20,0-21,0	19,0-20,0	20,0-25,0
E_{50} (MPa)	2,05	11,0-12,0	13,00	4,50	4,80	4,40	2,60
Eur (MPa)	6,20	33,0-36,0	38,90	13,40	14,40	13,20	7,90
ν	0,41	0,25	0,22	0,44	0,47	0,44	0,47
RSC	5,07	-	-	1,61	2,11	1,33	1,36
Cc	1,13	-	-	1,52	1,51	1,27	0,94
Cr	0,14	-	-	0,18	0,20	0,16	0,10
eo	2,07	-	-	3,03	3,40	2,35	2,29
k (m/s)	$1x10^{-6}$ / $1x10^{-7}$	$1x10^{-6}$ /$1x10^{-7}$	$1x10^{-8}$ /$1x10^{-9}$	$1x10^{-9}$ /$1x10^{-10}$	$1x10^{-9}$ /$1x10^{-10}$	$1x10^{-9}$ /$1x10^{-10}$	-

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

De acuerdo con los registros de los piezómetros de hilo vibrátil y piezómetros con punta de Casagrande localizados en campo, se observa que el nivel freático a lo largo del trazado de la L2MB se encuentra entre -1,0 m y -3,0 m de profundidad.

5.2.2.6.4.2. Caracterización geotécnica tramo elevado

El tramo elevado se compone de un viaducto de 1 005 m desde el final de la trinchera hacia el final de la cola de maniobras. Ese tramo se divide en subtramos con distintos sistemas estructurales, que se describen a continuación:

- En primer lugar, una rampa de 3%, que sale del pozo de entrada al túnel. Este tramo tiene, en términos de geometría en planta, una curva con radio de curvatura de 750 m. Durante la transición, la cual se encuentra entre las abscisas K14+280 y K14+507, se cuenta con el el pozo de salida el cual está protegido por un sistema de pantallas preexcavadas con una placa de cimentación que soporta la vía férrea y con una placa superior que soporta las vías vehiculares que pasan sobre el pozo. Posteriormente, se tiene un tramo recto con altura constante aproximada de 9,8 m entre el terreno y el tope de riel, hasta llegar en la estación 11 – Fontanar. Ese tramo se caracteriza por el sistema estructural Viaducto Elevado en Vigas Gran-U.
- En seguida se tiene el tramo de la estación 11 – Fontanar
- Desde el final de la estación se tiene el tramo de cola de maniobra y acceso al patio y talleres. Ese tramo se compone por distintas soluciones:

    A. Primero un tramo del Viaducto Elevado en Vigas Gran-U.
    B. Después, un tramo con viaducto en vigas prefabricadas por donde se conectan los dos accesos Norte y Sur al patio y taller.
    C. Posteriormente, la cola de maniobra vuelve a la estructura en viaducto elevado en Vigas Gran-U.
    D. Los accesos al patio se hacen con viaducto en vigas prefabricadas y con un viaducto continuo en voladizos sucesivos para pasar sobre el pondaje sin pilas dentro del mismo.

Con estos segmentos y usando la distancia entre pilas planteada anteriormente, se tiene un total de 33 pilas; cifra que resulta de las siguientes operaciones:

- 100 m/(30 m/dado) = 3 dados de cimentación. En la estructura de aproximación, dadas las características del depósito lacustre y para reducir al máximo la posibilidad de asentamientos diferenciales en la transición entre estructuras, la losa de la estructura de cimentación se debe apoyar sobre cimentación profunda.
- 177 m/(30 m/dado) = 6 dados de cimentación. En la estructura de aproximación, dadas las características del depósito lacustre y para reducir al máximo la posibilidad de asentamientos diferenciales en la transición entre estructuras, la losa de la estructura de cimentación se debe apoyar sobre cimentación profunda.
- 728 m/(30 m/pila) = 24 pilas. En la zona de vano recto.

Para los módulos de acceso a la estación elevada será necesario también el uso de cimentación profunda; son dos, y en cada uno hay 10 nodos de cimentación; es decir, hacen falta 20 grupos de pilotes para este componente.

Conocido el número de pilas y de nodos de cimentación, es necesario dimensionar el sistema de cimentación de cada uno de estos componentes.

La caracterización geotécnica presenta las zonas geotécnicas de la ciudad de Bogotá, con un recuadro rojo se señala el tramo elevado del corredor de la L2MB. Dicho tramo se encuentra localizado en la zona Lacustre 500, la cual se describe de la siguiente manera: "*Suelo lacustre blando: Arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba*"; además, se espera que el espesor del depósito esté entre 300 y 500 m.

En esta zona de la ciudad, además de la naturaleza lacustre del depósito, es importante tener en cuenta la cercanía del río Bogotá pues existe la posibilidad de encontrar depósitos aluviales. Debido a esta cercanía con el cauce, el segmento elevado y el Patio Taller están clasificados como zonas de amenaza media y alta de inundación por desbordamiento, como se muestra en la Figura 502

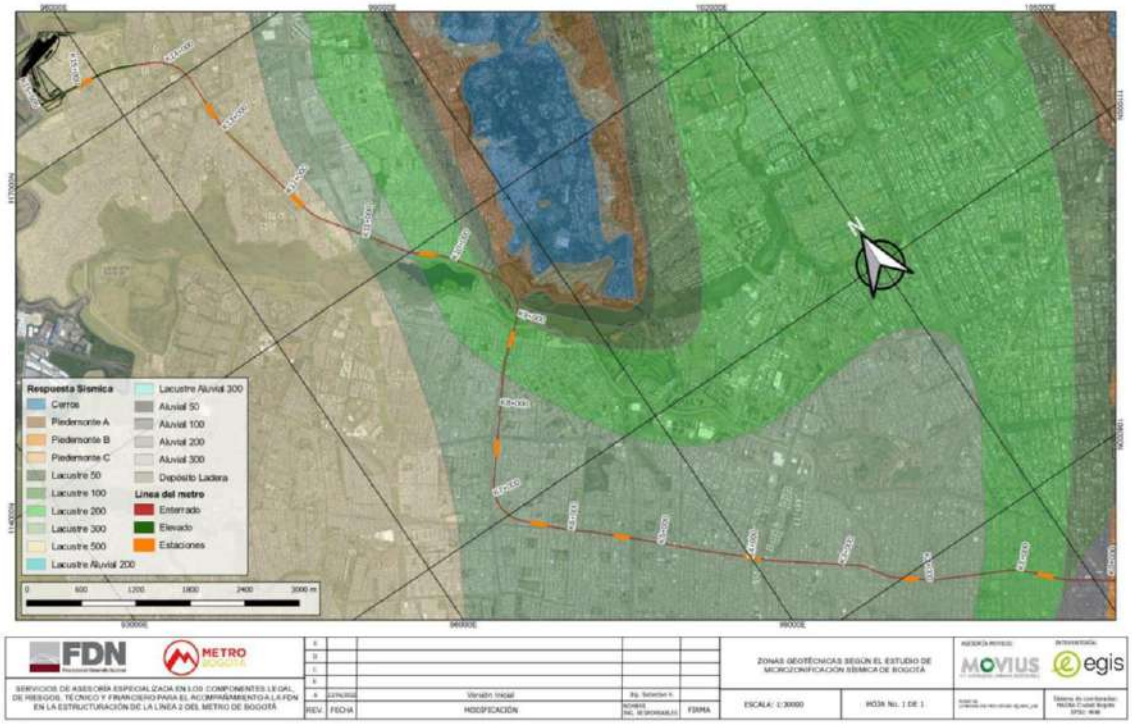


Figura 502. Trazado de la L2MB sobre el mapa de zonas de respuesta sísmica de la MZSB.
Fuente: FOPAE (2010)

Para caracterizar geotécnicamente los suelos de la zona se ejecutó en el marco de los diseños, un Plan de Exploraciones que comprende las siguientes perforaciones, piezoconos y líneas sísmicas que consistió:

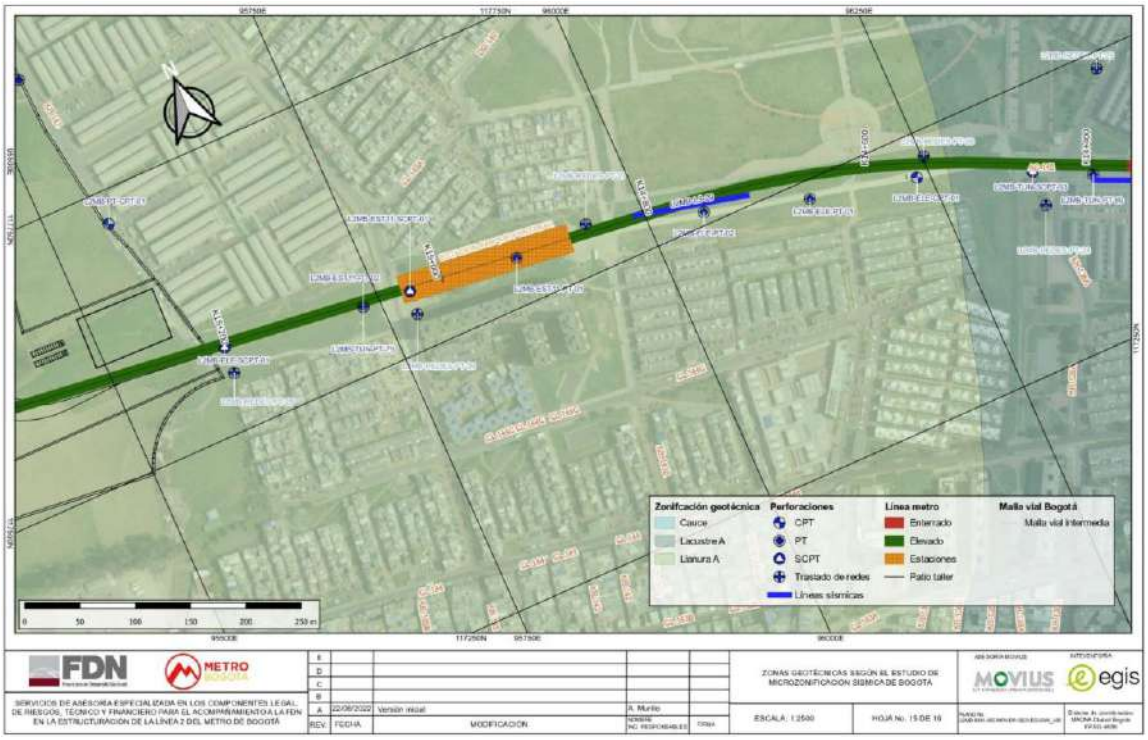


Figura 503. Exploraciones usadas para la caracterización geotécnica.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Se realizó un estudio detallado de los suelos que componen el tramo correspondiente a la estación y línea elevada. Esto permitió discretizar la zona en tres tramos distintos, los cuales son mostrados a continuación:

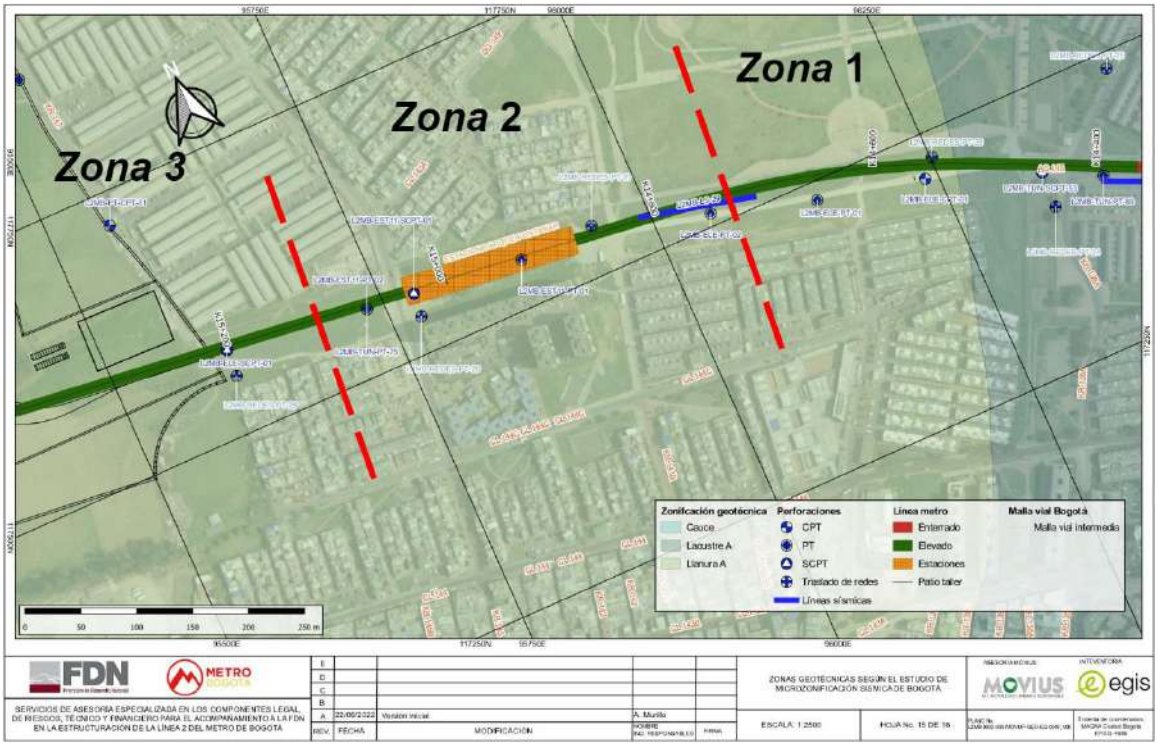


Figura 504. Discretización de zonas para caracterización geotécnica.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

A continuación, se presentan los perfiles de humedades y granulometrías, acompañados por las curvas granulométricas y la carta de plasticidad de las muestras ensayadas. Esta figura confirma lo anteriormente planteado: a pesar de que en los 10 más superficiales del perfil hay cierta cantidad de arenas (clasificada como arena limosa o arena arcillosa), por el contenido de finos y la plasticidad del material es necesario calcular la resistencia de los pilotes usando el método alfa y para el perfil de diseño se debe establecer la variabilidad de Su.

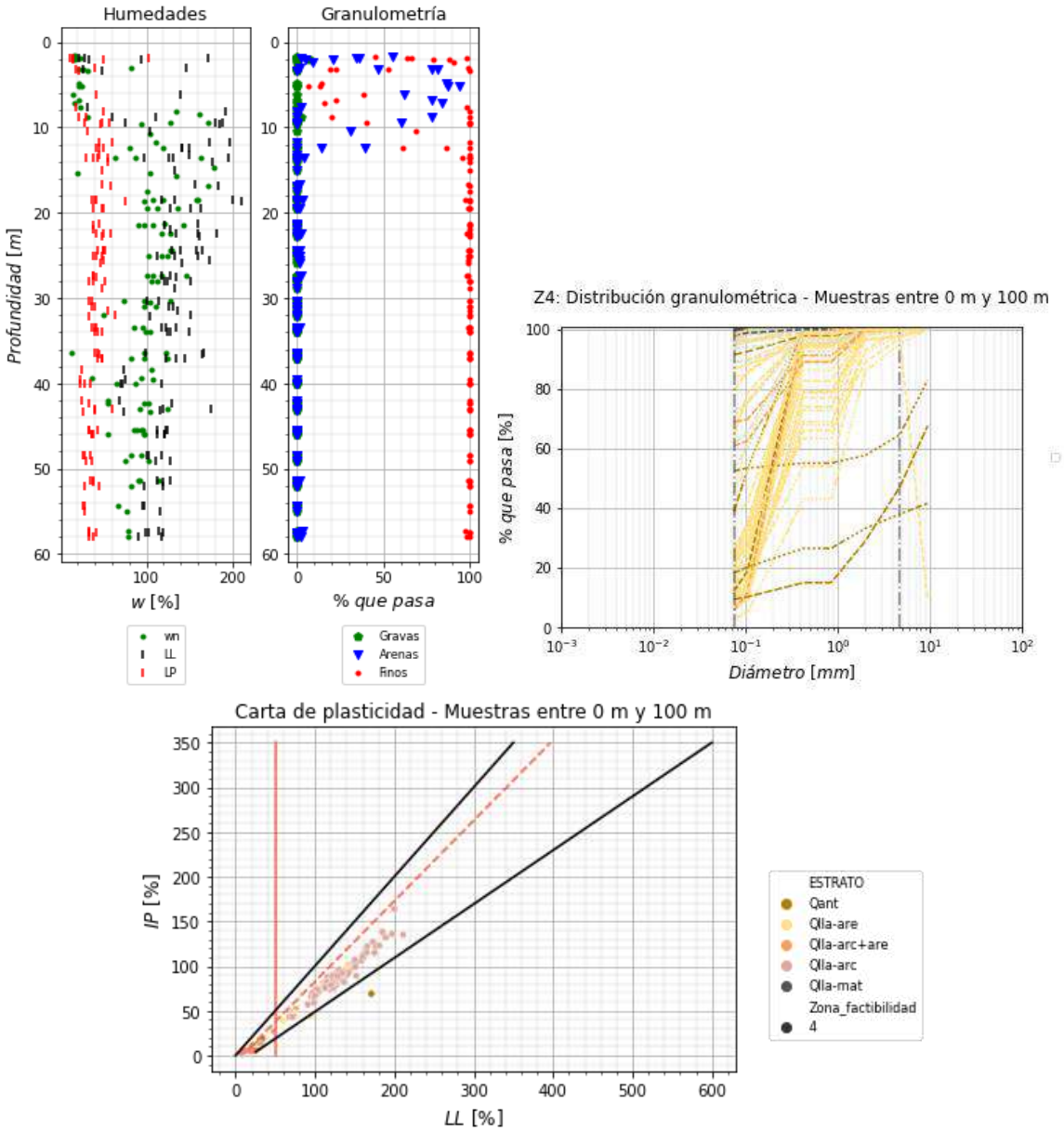


Figura 505. Análisis de granulometrías, humedad y plasticidad de las muestras extraídas.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

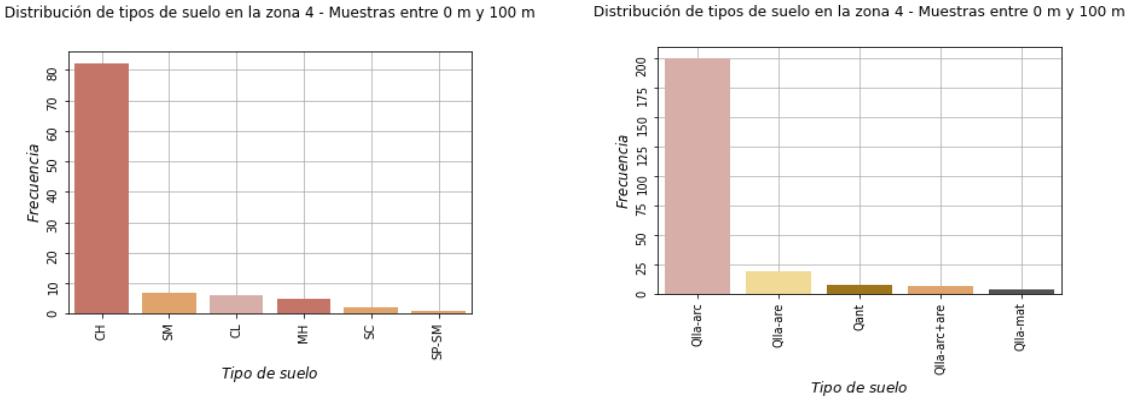


Figura 506. Distribución de clasificación USCS.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Se realizó la discretización de estas zonas debido principalmente a que las zonas 1 y 3 presentan suelos arcillosos para los primeros 80 metros de profundidad, mientras que para la zona 2 se identificó un estrato clasificado como arena limosa para los primeros 10 metros de profundidad y arcilloso entre los 10 y 80 metros de profundidad. Estas características son mostradas en las siguientes figuras:

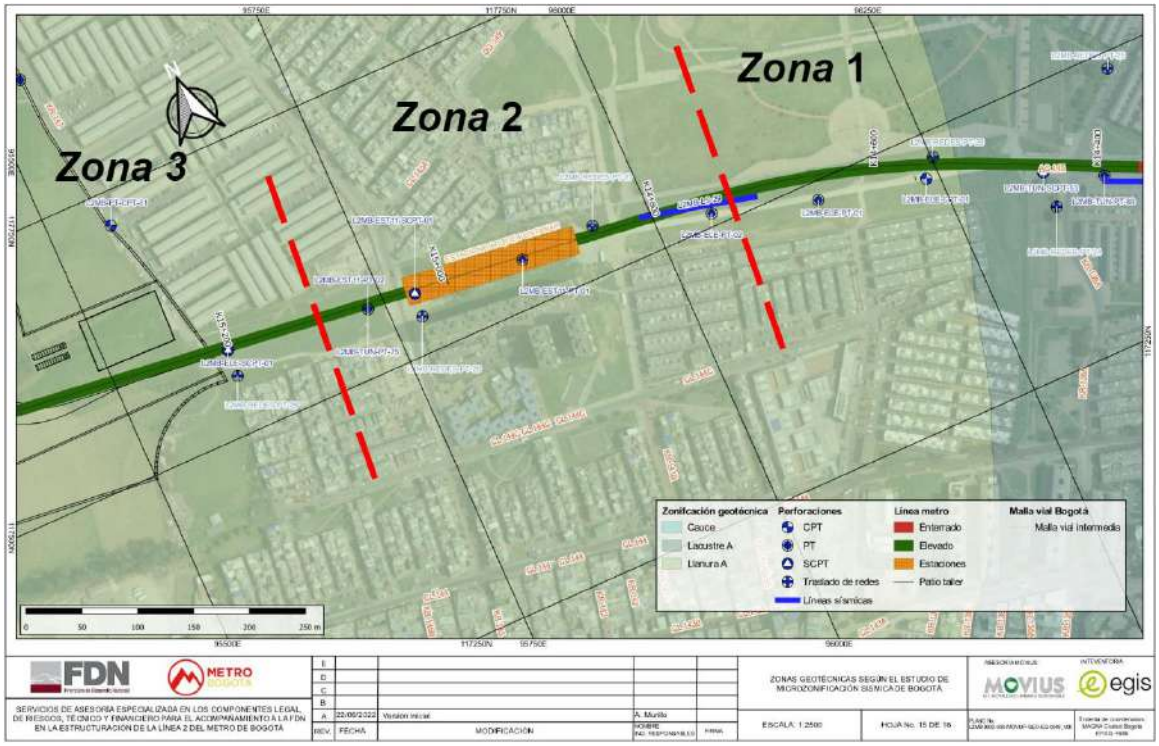


Figura 507. Discretización de zonas para caracterización geotécnica.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

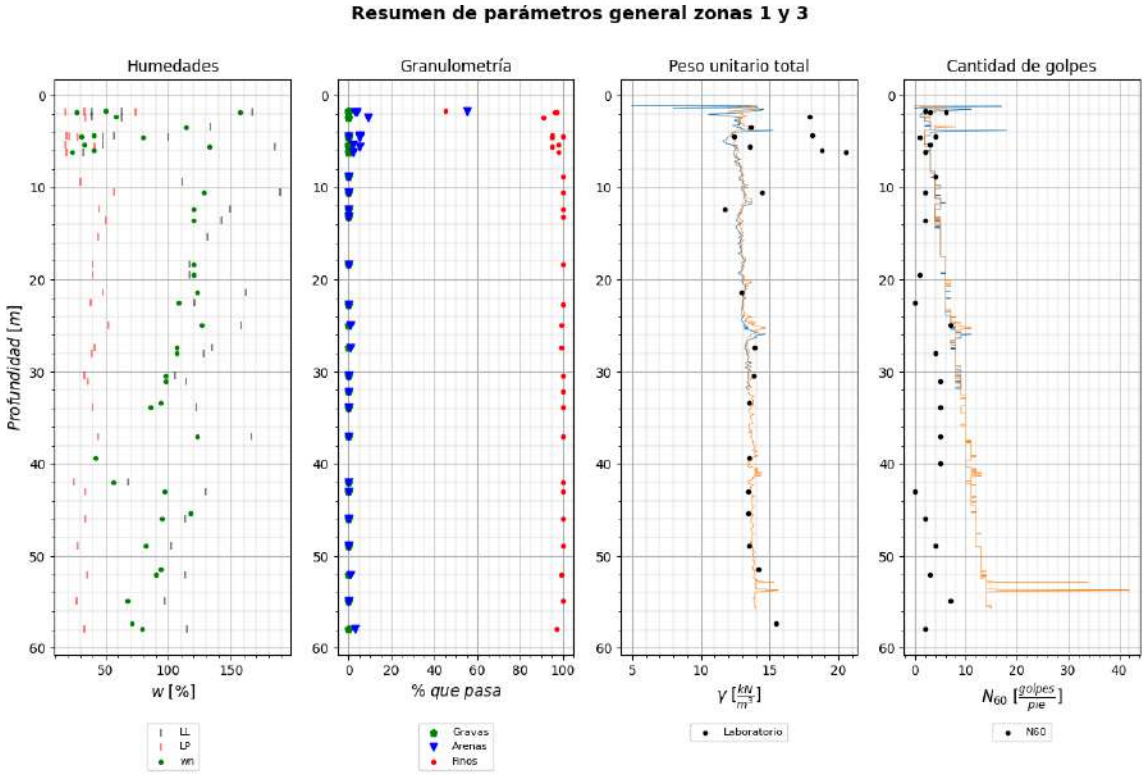


Figura 508. Resumen de parámetros zonas 1 y 3.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

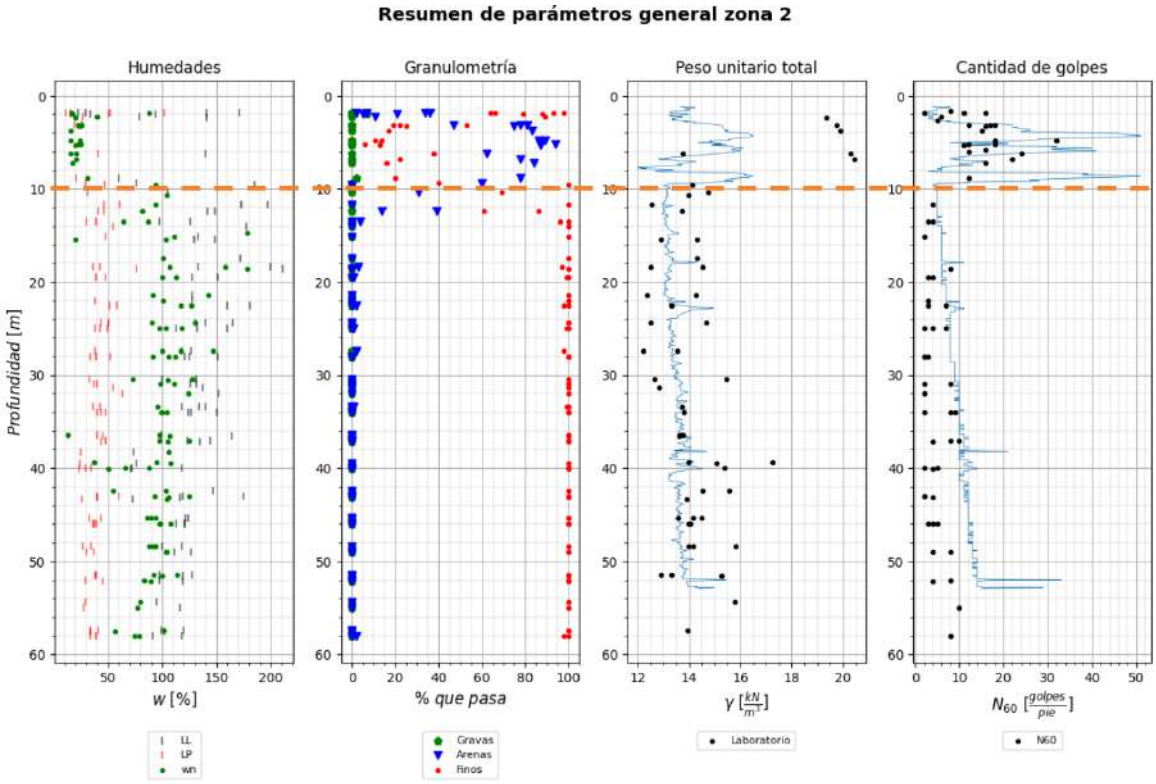


Figura 509. Resumen de parámetros zona 2 - Capa arena - arcilla primeros 10 metros.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Los resultados arrojan que después de los 10 metros de profundidad, la zona 2 presenta arcillas de las mismas características que las zonas 1 y 3, por lo que la diferencia entre las zonas se encontrará únicamente para los primeros 10 metros.

En el caso de las zonas 1 y 3, para la obtención del módulo de elasticidad de diseño se tuvieron en cuenta los datos proveídos por las Líneas Sísmicas, DownHole y Triaxiales CU. Para el caso de la zona 2, se usó una correlación con los datos obtenidos del SPT, las Líneas Sísmicas y el DownHole.

Adicionalmente, para la definición de un perfil de diseño es necesario establecer valores representativos de la resistencia al corte en condición no drenada. Para esto se cuenta con cuatro fuentes de información:

- Correlaciones con los resultados de los ensayos CPT.
- Correlaciones con los resultados de ensayos de DMT.
- Valores de Su calculados con los parámetros de resistencia obtenidos en ensayos triaxiales CU.
- Valores de Su calculados a partir de ensayos de veleta de campo, corregidos por plasticidad.

Se realizó la caracterización del suelo según cada uno de los ensayos de laboratorio e in situ que se tienen para cada zona. En el caso de la zona 2, estos parámetros corresponden al módulo de deformación, ángulo de fricción efectivo, peso unitario del suelo y N60 obtenido de los resultados del SPT. Con el propósito de caracterizar la zona, se establecieron “estratos” cada 5 m de profundidad. Para cada “estrato” se obtuvieron los valores representativos de diseño correspondientes a ese rango de profundidad. Para el caso de la zona 2, a continuación se muestran los resultados para los primeros 10 metros de profundidad:

Tabla 296. Resumen de parámetros zona 2 tramo línea elevada (Primeros 10 metros).

Rango de profundidad (m)	Estratos	Módulo E (MPa)	φ'	Pu (KN/M3)	N60
0 - 5	E01	13,22	32,25	18	13
5 - 10	E02	12,89	34,08	18	16

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En el caso de las zonas 1 y 3, y para la zona 2 desde los 10 hasta los 80 metros de profundidad, se realizó la caracterización de las arcillas que componen estos suelos. Para este caso, se obtuvieron los parámetros correspondientes al módulo de deformación, resistencia al corte no drenado, peso unitario del suelo, relación de vacíos, índice de compresión (Cc), índice de recompresión (Cr), relación de sobreconsolidación (RSC) y coeficiente de consolidación (Cv) obtenido de los resultados del SPT. Con el propósito de caracterizar la zona, se establecieron subestratos cada 5 m de profundidad. Para cada subestrato se obtuvieron los valores representativos de diseño correspondientes a ese rango de profundidad:

Tabla 297. Resumen de parámetros zonas 1 y 3 tramo línea elevada (y zona 2 de 10 a 80 metros).

Rango de profundidad (m)	Estratos	Módulo E (MPa)	Su (KPa)	Pu (KN/M3)	e0 (%)	Cc	Cr	RSC	Cv (cm2/s)
0 - 5	E01	13,38	33,76	16,0	2,47	0,700	0,086	15,50	0,00533
5 - 10	E02	13,42	26,89	16,0	2,47	0,600	0,078	4,80	0,00533
10 - 15	E03	16,34	36,83	13,5	3,15	0,900	0,120	2,30	0,00172
15 - 20	E04	18,56	42,47	13,6	2,8	0,900	0,130	1,99	0,00172
20 - 25	E05	17,49	46,51	13,7	2,47	0,950	0,140	1,74	0,00065
25 - 30	E06	19,32	53,79	13,8	2,625	1,000	0,140	1,58	0,00065
30 - 35	E07	23,25	62,69	13,9	2,825	1,000	0,140	1,48	0,00065
35 - 40	E08	23,06	68,62	14,0	2,75	1,000	0,140	1,38	0,00035
40 - 45	E09	30,03	69,00	14,1	2,6	0,950	0,140	1,30	0,00035
45 - 50	E10	31,70	75,57	14,2	2,6	1,075	0,140	1,24	0,00035
50 - 55	E11	31,94	79,63	14,4	3,25	1,200	0,150	1,19	0,00027
55 - 60	E12	33,28	86,17	14,5	2,7	1,200	0,160	1,17	0,00027
60 - 65	E13	34,60	88,35	14,5	2,5	1,200	0,160	1,21	0,00027
65 - 70	E14	36,00	89,47	14,3	2,4	1,100	0,140	1,20	0,00027
70 - 75	E15	37,30	91,07	14,4	2,4	1,100	0,130	1,14	0,00027
75 - 80	E16	38,70	92,39	14,5	2,3	1,100	0,120	1,11	0,00027

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Para el Patio Taller, el sitio está sectorizado dentro de la microzonificación sísmica de Bogotá como tipo de suelo Lacustre 500, (Suelo lacustre blando: Arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba) con periodo fundamental entre 4,5s y 6,5s, velocidades de onda de corte menores a 175 m/s y humedades superiores a 80%. Por otra parte, para la clasificación geotécnica el patio taller se encuentra en llanura A, Suelo de llanura-lacustre descrita como una composición de Arenas sueltas y arcillas limosas blandas, de moderada capacidad portante y comprensibles, susceptibles a licuación. Para el análisis geotécnico se ha tenido en cuenta la información proveniente de la exploración del área de estudio, para el cual se ha analizado tanto los resultados de ensayos de campo y laboratorio.

La ubicación de los puntos de exploración usados como referencia para el diseño de obras del Patio Taller se relacionan a continuación:

Tabla 298. Puntos de exploración geotécnica Patio Taller

Nombre de la Perforación	Coordenadas de Ejecución		Longitud ejecutada (m)
	Este	Norte	
L2MB-PT-PT-01	995.531,7	1.017.968,8	200,0
L2MB-PT-PT-02	995.528,2	1.017.869,8	60,0
L2MB-PT-PT-03	995.611,4	1.018.108,3	60,0
L2MB-PT-PT-04	995.768,6	1.018.024,3	60,0
L2MB-PT-CPT-01	995.554,1	1.017.716,5	40,0
L2MB-PT-SCPT-01	995.723,3	1.018.238,1	6,50

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En las exploraciones ejecutadas en el área de estudio se encontraron depósitos aluviales y antrópicos de matriz arenosa con algunas arcillas en los primeros 9,5 m, el cuales suprayace materiales de matriz arcillosa de origen lacustre. La capa arcillosa lacustre presenta una continuidad estratigráfica entre los 9,5 m hasta los 85 m; sin embargo de los índices de caracterización esta capa se puede subdividir en 2 estratos, una constituida por materiales arcillosos de alta plasticidad entre los 9,5 m y 65 m aproximadamente y una capa arcillosa de baja plasticidad entre los 65 m y 85 m.

A partir de los 85 m y hasta los 105 m se presentan intercalaciones con depósitos arenosos, finalmente a partir de los 105 m y hasta los 200 m de profundidad de la perforación se da continuidad a materiales de tipo arcillosos con un alto nivel de consolidación, como lo muestra la Figura 295.

De los ensayos de deformabilidad se han encontrado los siguientes valores promedio para los índices de deformabilidad.

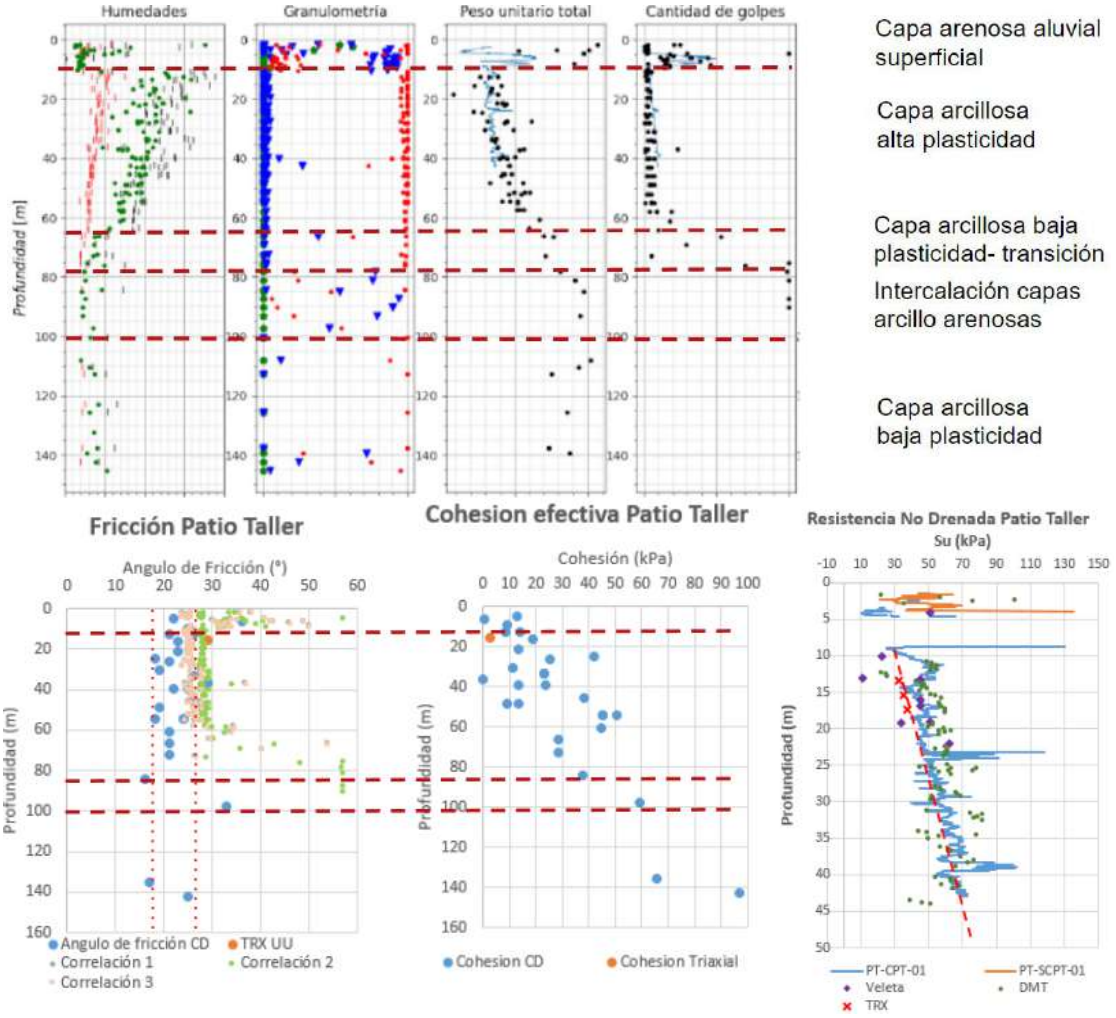
- Índice de compresibilidad virgen Cc entre 1,48 y 0,30.
- Índice de recompresión (hinchamiento) Cr entre 0,30 y 0,03.
- Relación de vacíos inicial entre 2,82 y 0,74.
- Relación de sobreconsolidación máxima de 2,30 en la parte más somera a 1,05 a profundidades superiores a 40m

Con relación a los parámetros de resistencia, se observa un incremento de resistencia lineal con la profundidad a través del ensayo de cono (CPT) que se ve igualmente reflejado en los ensayos del dilatómetro (DMT) y veleta (VST) obteniendo valores que oscilan entre los 45 kPa y 110 kPa (a 10 m y 55 m de profundidad respectivamente).

El comportamiento endurecido de las capas arcillosas consolidadas profundas se refleja en los resultados de ensayos de resistencia al corte drenado, con cohesiones aparentes altas que superan incluso los 50 kPa. Los ángulos de fricción por otra parte para materiales arcillosos se mantienen aproximadamente constantes en un rango entre 18° y 25° mientras para las capas arenosas se suelen presentar valores por encima de 30°.

Finalmente, en cuanto a la deformabilidad se observa que a mayor profundidad los índices Cc y cr tienden a disminuir reflejando la poca compresibilidad de estos materiales a grandes profundidades.

Los valores de permeabilidad para los estratos arcillosos se mantienen en los rangos típicos establecidos para arcillas variables entre 1x10-10 m/s y 1x10-8 m/s, mientras para la arena superficial se alcanza valores de 1x10-4 m/s.


Humedades
Granulometría
Peso unitario total
Cantidad de golpes
Profundidad [m]
Capa arenosa aluvial superficial
Capa arcillosa alta plasticidad
Capa arcillosa baja plasticidad- transición
Intercalación capas arcillo arenosas
Capa arcillosa baja plasticidad
Fricción Patio Taller
Angulo de Fricción (°)
Profundidad (m)
Angulo de fricción CD
TRX UU
Correlación 1
Correlación 2
Correlación 3
Cohesion efectiva Patio Taller
Cohesión (kPa)
Cohesion CD
Cohesion Triaxial
Resistencia No Drenada Patio Taller
Su (kPa)
PT-CPT-01
PT-SCPT-01
Veleta
DMT
TRX

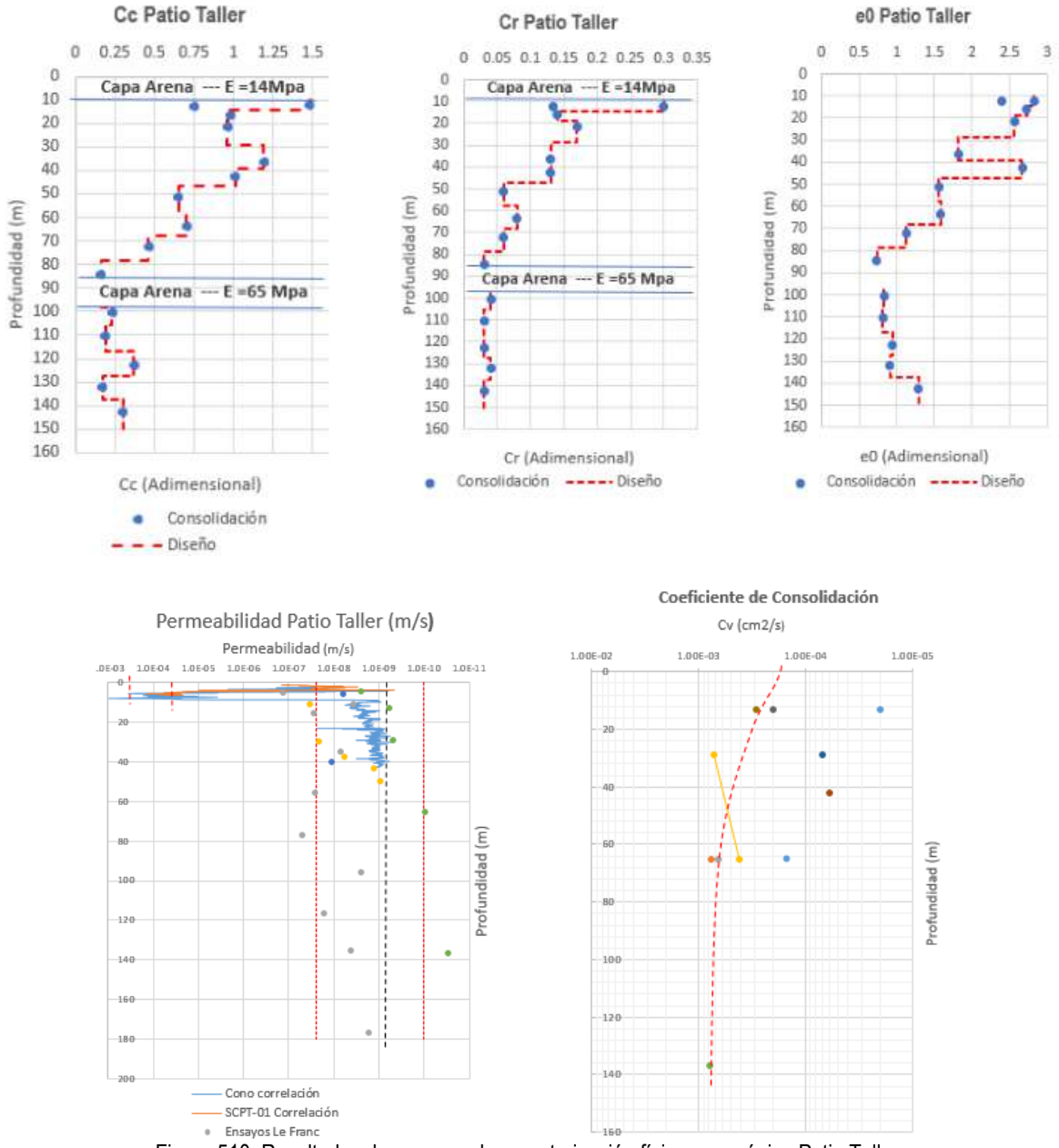


Figura 510. Resultados de ensayos de caracterización física y mecánica Patio Taller
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 299. Descripción geológica de la estratigrafía del Patio Taller

Estrato	Profundidad inicial (m)	Profundidad final (m)	Descripción
1	0,0	1,0	Lodo orgánico Negro con abundante Materia Orgánica diseminada y presencia de restos vegetales y raíces. Consistencia dura. Seco
2	1,0	9,5	Arenas de grano fino, compuesta por cuarzo (85%), minerales máficos o líticos oscuros (10%) y mica muscovita (5%).
3	9,5	13,5	Intercalación de arenas cuarzosas de grano fino con arcillas. Las arcillas son plásticas, de consistencia media y moderadamente húmedas
4	13,5	46,8	DEPÓSITO LACUSTRE (Qta) Arcilla color verde oliva, consistencia dura, seca, con plasticidad con intercalaciones de arcilla de consistencia media y blanda, humedad media, baja plasticidad.
5	46,8	46,9	Nivel de ceniza volcánica de grano fino a muy fino. Deleznable.
6	46,9	85,0	DEPÓSITO LACUSTRE (Qta) Arcilla color verde oliva, consistencia dura, seca, con plasticidad con intercalaciones de arcilla de consistencia media y blanda, humedad media, baja plasticidad.
7	85,0	98,0	Arena de contextura suave, tamaño fino, color grisácea con algunas intercalaciones de capas arcillosas
8	98,0	137,0	Arcilla color grisácea, húmeda, baja plasticidad con un lente de arena
9	137,0	200,0	Arcilla de alta consistencia transición a lodolita

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

De los resultados de caracterización se obtuvieron los siguientes los parámetros de diseño de deformabilidad y resistencia:

Tabla 300. Parámetros de diseño deformabilidad y resistencia Patio Taller

	De Prof	A Prof	Cc	Cr	e0	RSC	Peso Unitario (kN/m3)	cv(cm2/s)	k(m/s)	E (MPa)
Sand 1	0	9,5	-	-	-	-	19	-	4,98E-05	14,00
Clay 1	9,5	13,5	1,48	0,3	2,82	2,3	13,3	2,50E-04	5,00E-10	13,42
Clay 2	13,5	18,5	0,98	0,14	2,73	1,8	13,3	2,50E-04	5,00E-10	16,34
Clay 3	18,5	21	0,96	0,17	2,56	1,6	13,4	2,50E-04	5,00E-10	18,56
Clay 4	21	28,5	0,96	0,17	2,56	1,43	13,5	3,50E-04	5,00E-10	17,49
Clay 5	28,5	36	1,29	0,13	1,82	1,35	13,6	4,50E-04	5,00E-10	21,29
Clay 6	36	39,4	1,29	0,13	1,82	1,1	13,8	4,50E-04	5,00E-10	23,06

	De Prof	A Prof	Cc	Cr	e0	RSC	Peso Unitario (kN/m3)	cv(cm2/s)	k(m/s)	E (MPa)
Clay 7	39,4	46,9	1,01	0,13	2,67	1,05	13,9	4,50E-04	5,00E-10	30,03
Clay 8	46,9	57,4	0,65	0,06	1,56	1,05	15	5,50E-04	5,00E-10	31,82
Clay 9	57,4	67,9	0,7	0,08	1,58	1,05	16,5	5,50E-04	5,00E-10	32,61
Clay 10	67,9	78,4	0,46	0,06	1,13	1,05	17,9	6,00E-04	5,00E-10	33,28
Clay 11	78,4	85	0,16	0,03	0,74	1,05	19	6,00E-04	5,00E-10	33,28
Sand 2	85	98	-	-	-	-	19	-	9,95E-06	65,00
Clay12	98	105,45	0,23	0,04	0,83	1,05	19,7	7,10E-04	5,00E-10	33,28
Clay13	105,45	116,7	0,19	0,03	0,81	1,05	19,7	7,10E-04	5,00E-10	33,28
Clay14	116,7	127,6	0,37	0,03	0,94	1,05	18,3	7,10E-04	5,00E-10	33,28
Clay15	127,6	137,35	0,17	0,04	0,91	1,05	18,3	7,10E-04	5,00E-10	33,28
Clay16	137,35	200	0,3	0,03	1,29	1,05	18,3	7,10E-04	5,00E-10	33,28

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

	De Prof(m)	A Prof(m)	Peso Unitario (kN/m3)	c' (kPa)	Ø(°)	Su (kPa)
Sand 1	0	9,5	19	2	36	-
Clay 1	9,5	13,5	13,3	16	25	31,7
Clay 2	13,5	18,5	13,3	16	25	36,9
Clay 3	18,5	21	13,4	16	25	41,1
Clay 4	21	28,5	13,5	16	25	46,9
Clay 5	28,5	36	13,6	16	25	55,4
Clay 6	36	39,4	13,8	16	25	61,7
Clay 7	39,4	46,9	13,9	16	25	67,9
Clay 8	46,9	57,4	15	40,7	20	78,2
Clay 9	57,4	67,9	16,5	40,7	20	78,2
Clay 10	67,9	78,4	17,9	30	22	78,2
Clay 11	78,4	85	19	30	22	78,2

	De Prof(m)	A Prof(m)	Peso Unitario (kN/m3)	c' (kPa)	Ø(°)	Su (kPa)
Sand 2	85	98	19	60	30	-
Clay 12	98	105,45	19,7	58	19	-
Clay 13	105,45	116,7	19,7	58	19	-
Clay14	116,7	127,6	18,3	58	19	-
Clay15	127,6	137,35	18,3	58	19	-
Clay 16	137,35	200	18,3	58	19	-

Fuente: UT MOVIUS, 2022

Con el análisis de la información parcial obtenida de la segunda fase de la campaña de exploraciones geotécnicas, se identificaron cuatro zonas homogéneas partiendo de la definición geológica de tres tipos de depósitos principales: Qdp (Depósito de Pendiente), Qta (Depósito de terraza lacustre alta) y Qlla (Depósito de llanura de inundación). Otro factor relevante para la asignación de zonas homogéneas fue el análisis de los resultados de laboratorio y de campo, donde se pudo evidenciar un cambio en la humedad de la arcilla del depósito de terraza alta (Qta) que coincide con el contacto de las Zonas 3 y 4 del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá (INGEOMINAS, UNIANDES, 1997).

La primera zona homogénea, va desde la abscisa K0+000 hasta la abscisa K0+700 y coincide con el depósito de pendiente (Qdp) y se caracteriza por ser la zona del proyecto donde se presenta la mayor variación de los tipos de suelo por su heterogeneidad. Esta zona presenta suelos granulares en su mayoría, tales como depósitos Aluviales (Qdp-Alu), depósitos de Ladera Arenoso y Gravoso (Qdp-are+gra), depósitos de Ladera Arenoso (Qdp-are), depósitos de Ladera Arenoso y Limoso (Qdp-are+lim), depósitos de Ladera Arenoso con Materia Orgánica (Qdp-are+mat). Esta primera zona también presenta suelos cohesivos conformando parte de la matriz de los depósitos Coluviales, y conformando principalmente lo que se ha denominado como depósitos de Ladera Arcillosos con contenido de arena (Qdp-arc+are), depósitos de Ladera Arcillosos (Qdp-arc) y depósitos de Ladera Arcilloso con Materia Orgánica o Turba (Qdp-mat). Adicionalmente, en la zona homogénea 1 también se presenta la roca de la Formación Bogotá (Tpb) subyaciendo los depósitos de suelo.

La zona homogénea 2, va desde la abscisa K0+700 hasta la abscisa K4+400 y su inicio coincide con la finalización del depósito de pendiente (Qdp) y donde inicia el depósito correspondiente a la terraza alta (Qta). Esta zona presenta en su gran mayoría suelos cohesivos tales como depósitos de Terraza Arcilloso/Limoso de Alta Humedad (Qta-arc1), depósitos de Terraza Arcillosos con contenido de arena (Qta-arc+are) y depósitos de Terraza Arcilloso con materia orgánica o turba (Qta-mat). Esta zona también presenta suelos granulares como depósito de Terraza Arenoso (Qta-are).

La zona homogénea 3, va desde la abscisa K4+400 hasta la abscisa K14+600, y se diferencia de la zona 2 al identificar dos estratos de suelo arcilloso (Qta-arc2 y Qta-arc3) con variaciones en su humedad natural, lo que se presume y más adelante se presenta como un comportamiento diferente del suelo. Esta diferencia también se identifica en el estudio de microzonificación sísmica de Bogotá donde la "Zona 4" (definida en ese estudio) se asocia a un suelo superficial más blando con espesor variable entre 30 m y 50 m. Esta zona presenta en su gran mayoría suelos cohesivos tales como depósitos de Terraza Arcilloso/Limoso de Alta Humedad (Qta-arc2), Terraza Arcilloso/Limoso de Baja Humedad (Qta-arc3), depósitos de Terraza Arcilloso con Materia Orgánica o Turba (Qta-mat). Esta zona también presenta suelos granulares tales como depósitos de Terraza Arenoso (Qta-are).

La zona homogénea 4, va desde la abscisa K14+600 hasta la abscisa K15+000 y coincide con el contacto inferido entre el depósito de la terraza alta (Qta) y el depósito de la llanura de inundación del río Bogotá (Qlla), que fue definido con la identificación de un suelo arenoso. Esta zona presenta en su gran mayoría suelos cohesivos tales como depósitos de Llanura de inundación Arcilloso (Qlla-arc), depósitos de Llanura Aluvial Arcilloso con contenido de arena (Qlla-arc+are) y

depósito de Llanura Arcilloso con Materia Orgánica o turba (Qlla-mat). Esta zona también presenta suelos granulares tales como depósitos de Llanura Aluvial Arenoso (Qlla-are).

Por cada zona homogénea se asignó la denominación del depósito predominante y por cada depósito se identificaron diferentes tipos de suelo con la intención de diferenciar el comportamiento drenado principalmente en materiales granulares y no drenado en materiales finos (cohesivos). De esta forma se asignaron diversos tipos de suelos por zonas homogéneas a los cuales se les realizó un análisis de clasificación e identificación de materiales, propiedades físicas, propiedades mecánicas (resistencia [drenada y no drenada]] y deformabilidad), características químicas, expansividad, propiedades hidráulicas y lámina de agua.

De los análisis agrupados por tipo de suelo se encontró la consistencia entre los resultados en los ensayos de campo y laboratorio con las características de cada depósito, identificando que la zona homogénea 1 es la de mayor heterogeneidad. La caracterización permite encontrar la variación de las propiedades que serán utilizadas en los diseños, donde estadísticamente se puede establecer la representatividad de un solo parámetro o cuando no aplica el uso de un solo parámetro representativo por tipo de suelo.

Para la L2MB se han previsto dos tipologías de estaciones subterráneas, una para la estación 1, Av. Caracas y otra para las 9 estaciones restantes. La estación 1 tendrá una longitud interior de 160 m y 31,8 m de ancho interior. En esta estación se han previsto dos filas de columnas interiores a lo largo de la estación localizadas a 4,9 m de las pantallas externas dejando una distancia interior entre columnas de 22,0 m. La estación tendrá una tapa superior, tres mezzanines y la losa de fondo con solera trapezoidal. La tipología para las estaciones restantes tendrá una longitud útil de 160 m y 23,2 m de ancho. Estas estaciones tendrán una tapa superior, tres mezzanines y la losa de fondo con solera trapezoidal. Las estaciones tendrán una profundidad media a riel de 30,44 a 31,82 m desde la superficie del terreno y estarán conformadas por un muro pantalla perimetral de concreto reforzado de 1,20 m de espesor. La profundidad de las pantallas entre el nivel de desplante y el fondo de la excavación (parte inferior de la losa de fondo) es de 32,85 m. Encima de la tapa superior se tiene un relleno de espesor variable para cada estación hasta la superficie del terreno.

5.2.2.6.4.3. Análisis espectros sísmicos de diseños

Para el diseño sísmico de edificaciones, incluidas las estaciones, es necesario usar los espectros definidos para la ciudad en el Estudio de Microzonificación Sísmica. Como se puede ver en el siguiente mapa, las zonas de respuesta sísmica atravesadas por el trazado de la L2MB son las siguientes:

- Piedemonte B.
- Aluvial 100.
- Lacustre 200.
- Lacustre 300.
- Lacustre 500

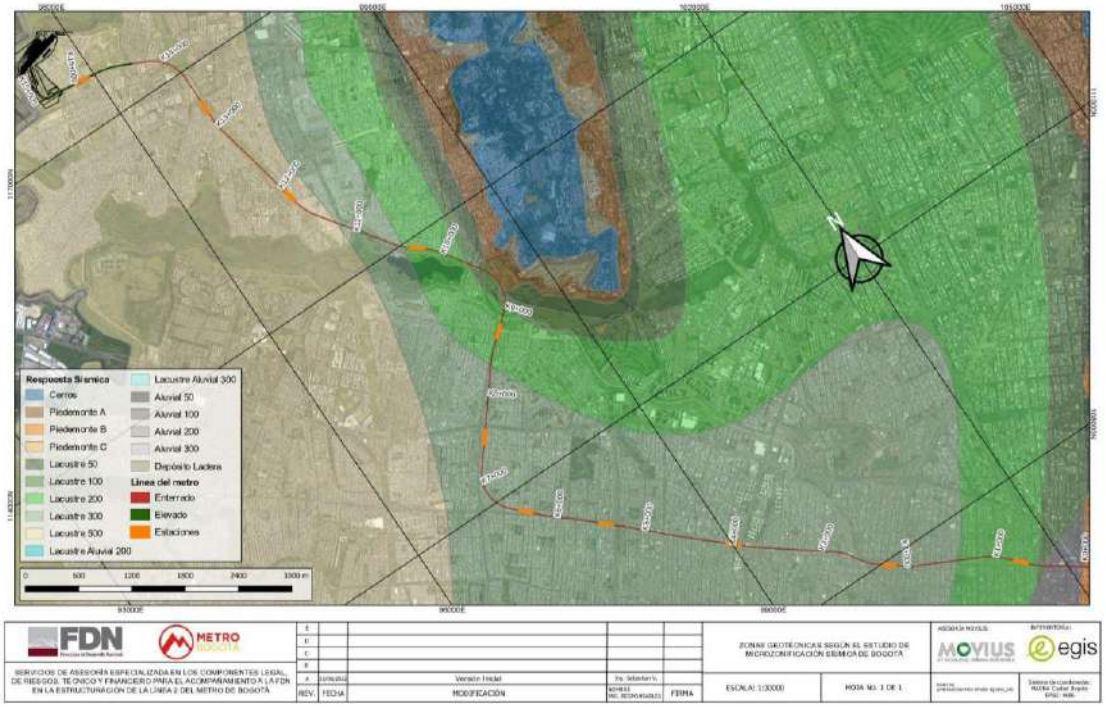


Figura 511. Trazado L2MB en zonas respuestas sísmicas microzonificación sísmica de Bogotá. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En el Estudio de Microzonificación hay espectros para una serie de periodos de retorno, siendo el más alto 475 años; en esa medida, y para complementar la caracterización del corredor, en este informe se presentan los espectros para un periodo de retorno de 1000 años para las zonas de respuesta atravesadas. Vale la pena hacer algunas consideraciones normativas.

Para la modelación de los espectros sísmicos de diseño en DeepSoil se seleccionaron las siguientes señales de entrada:

Chuetsu-Niigata 1
Chuetsu-Niigata 2
Iwate
Loma Prieta
Northridge

En el proyecto PLMB se generó un grupo de espectros con los que se cubren algunas zonas del trazado de este proyecto, esas zonas son las siguientes:

- Piedemonte B
- Aluvial 100
- Lacustre 200

Con el propósito de dar continuidad a lo desarrollado por INGETEC, se propone conservar en este proyecto los espectros generados para dichas zonas, los cuales son presentados a continuación:

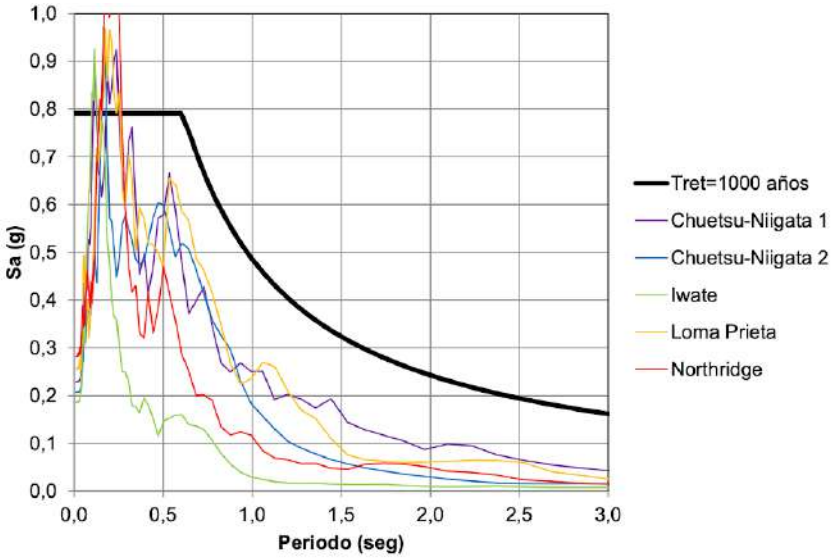


Figura 512. Zona Piedemonte B. Espectros de respuesta para las señales seleccionadas y envolvente para 1000 años de periodo de retorno. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

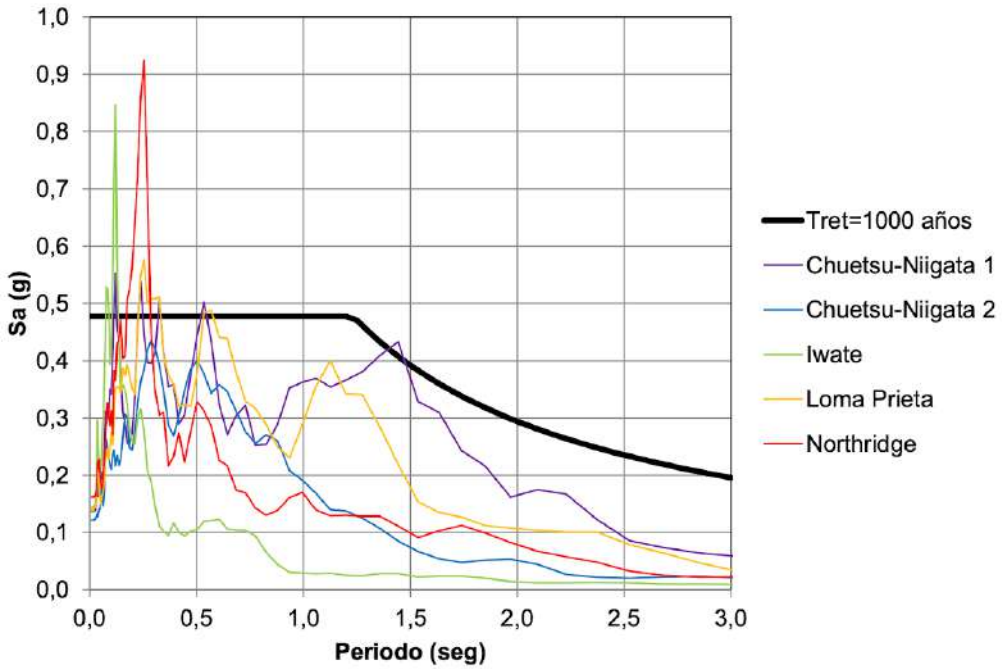


Figura 513. Zona Aluvial 100. Espectros de respuesta para las señales seleccionadas y envolvente para 1000 años de periodo de retorno. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

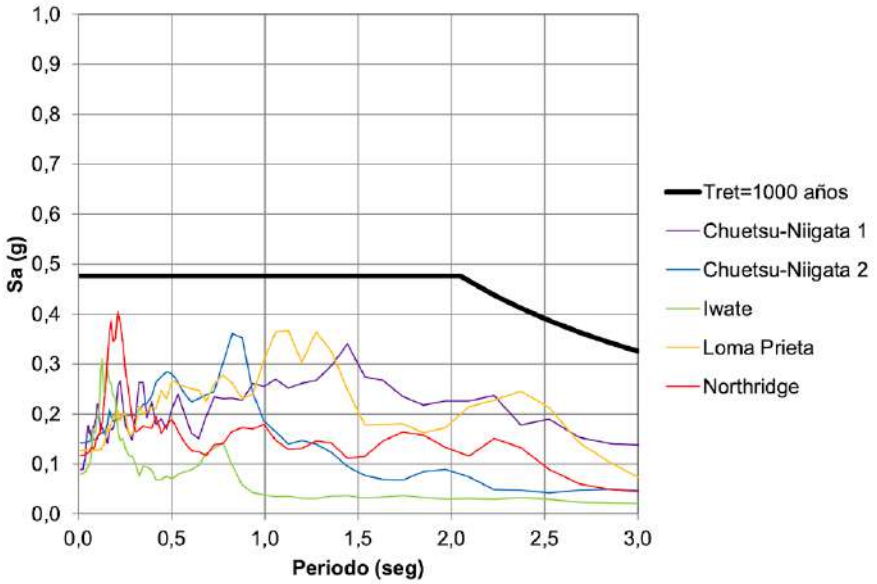


Figura 514. Zona Lacustre 200. Espectros de respuesta para las señales seleccionadas y envolvente para 1000 años de periodo de retorno. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Para complementar la caracterización del corredor, en este informe se presentan los espectros generados para un periodo de retorno de 1000 años para las zonas de respuesta atravesadas. Con el propósito de dar continuidad a lo desarrollado por INGETEC se usó la misma metodología planteada en la PLMB. A continuación, se presentan algunas consideraciones que se tuvieron en cuenta para la modelación de los espectros de respuesta:

- Para las curvas de degradación se usó un ajuste a la propuesta de Vucetic y Dobry 1991.
- El espesor de las capas se ajustó apuntando a conservar una frecuencia máxima relativamente homogénea y del orden 30 Hz.
- Para las velocidades de onda cortante se usó el dato obtenido en los ensayos DownHole.
- Para determinar el espesor total del depósito se usó el nominal según el estudio de Microzonificación, es decir, para Lacustre 300 el espesor de la columna modelada es 300 m.

A continuación, son presentados los parámetros que fueron tenidos en cuenta para cada zona de respuesta sísmica:

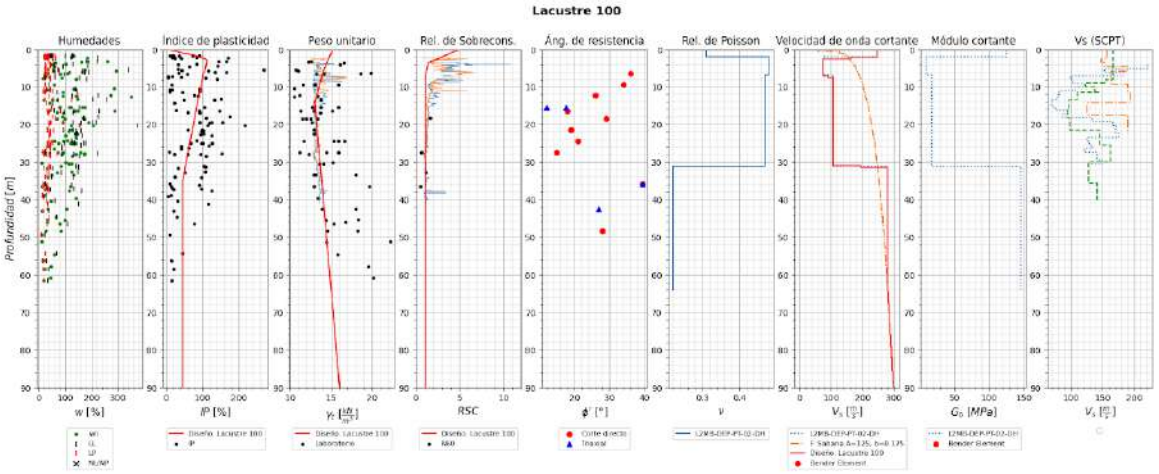


Figura 515. Zona Lacustre 100. Parámetros utilizados para la modelación del espectro de respuesta sísmica

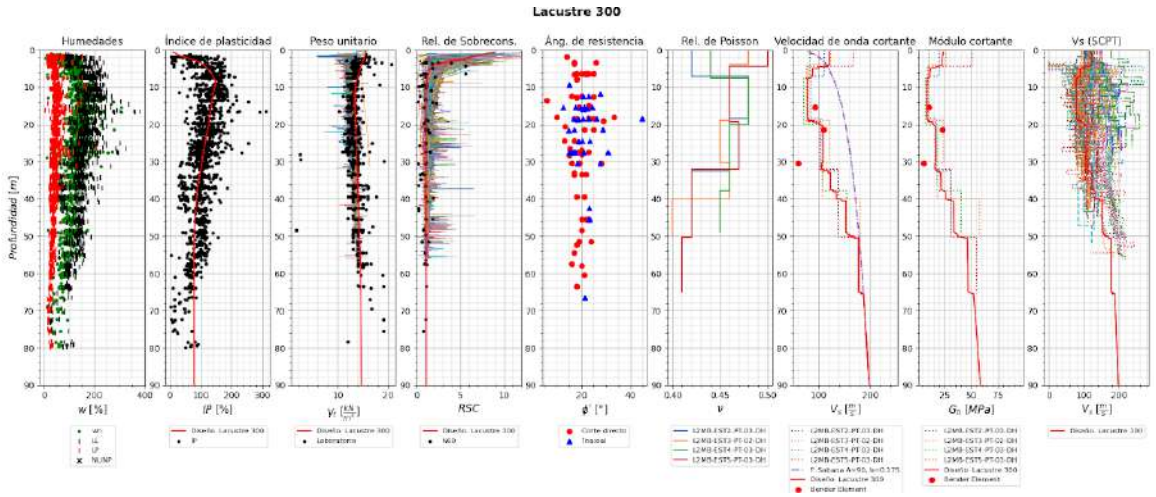


Figura 516. Zona Lacustre 300. Parámetros utilizados para la modelación del espectro de respuesta sísmica. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

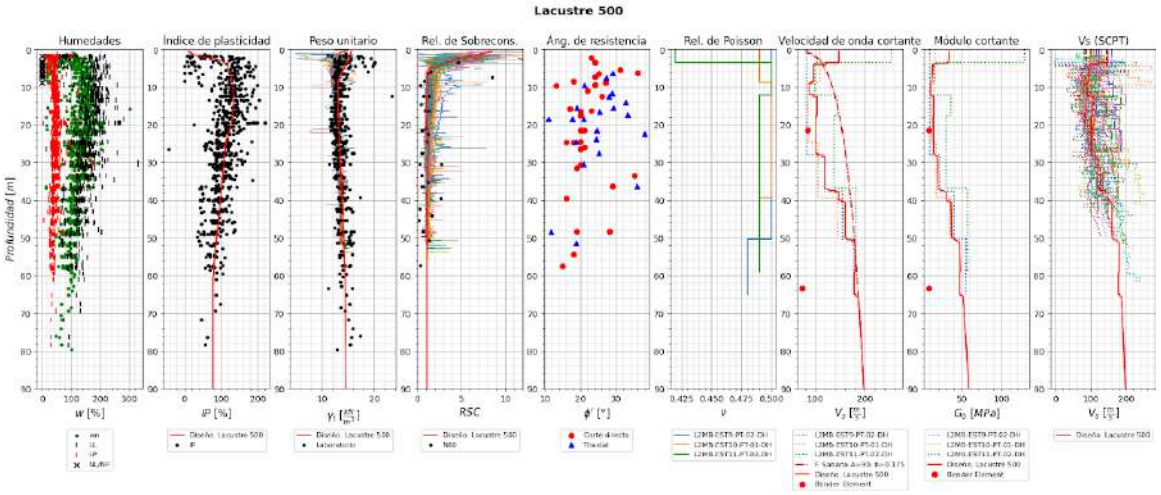


Figura 517. Zona Lacustre 500. Parámetros utilizados para la modelación del espectro de respuesta sísmica. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

A partir de estos parámetros, se realizó la modelación de los espectros de respuesta sísmica generados para un periodo de retorno de 1000 años para las zonas de respuesta atravesadas y su respectiva comparación con el espectro de respuesta establecido por la microzonificación sísmica de Bogotá para un periodo de retorno de 475 años:

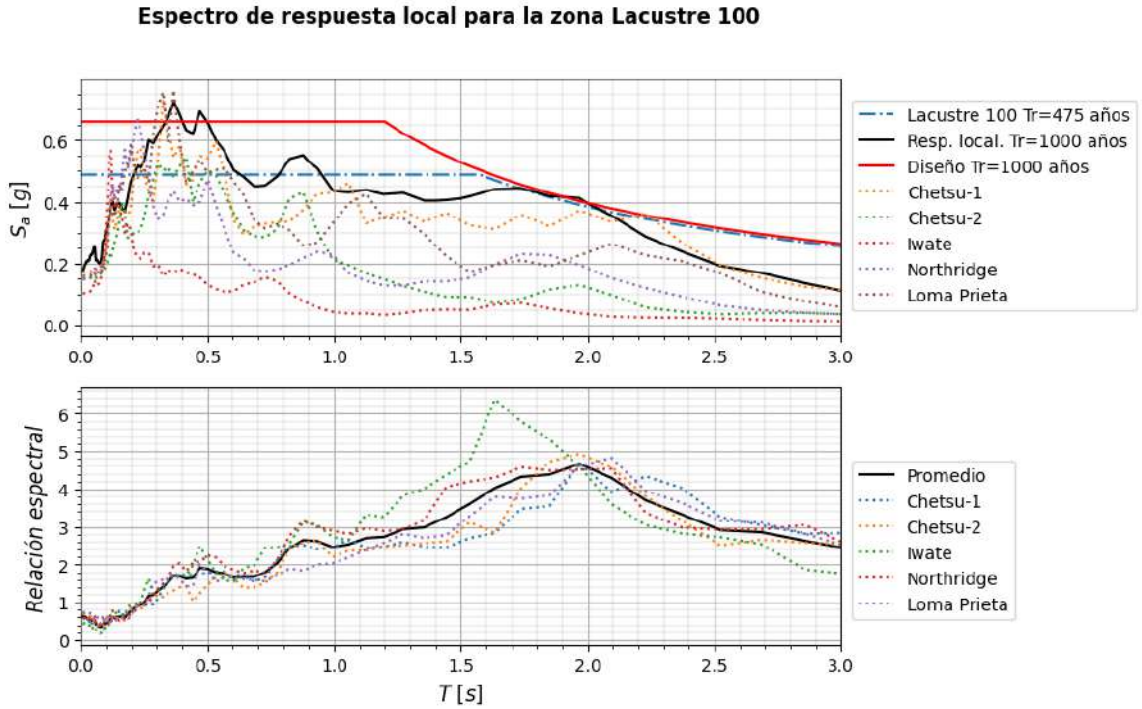


Figura 518. Zona Lacustre 100. Espectros de respuesta para las señales seleccionadas y envolvente para 1000 años de periodo de retorno.Fuente: UT MOVIUS, 2022.

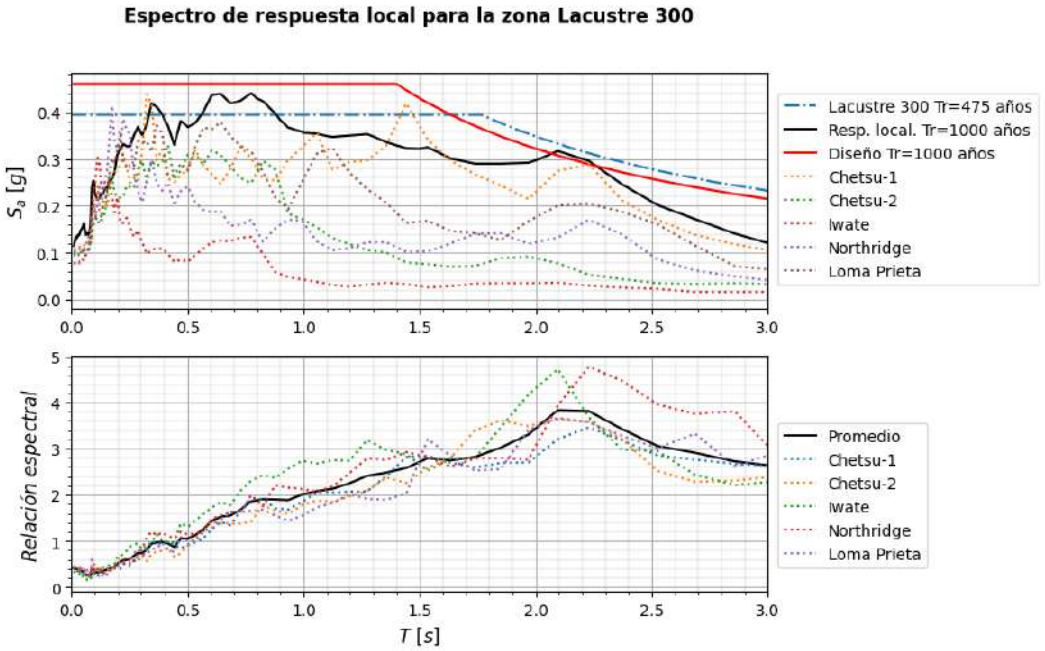


Figura 519. Zona Lacustre 300. Espectros de respuesta para las señales seleccionadas y envolvente para 1000 años de periodo de retorno.Fuente: UT MOVIUS, 2022.

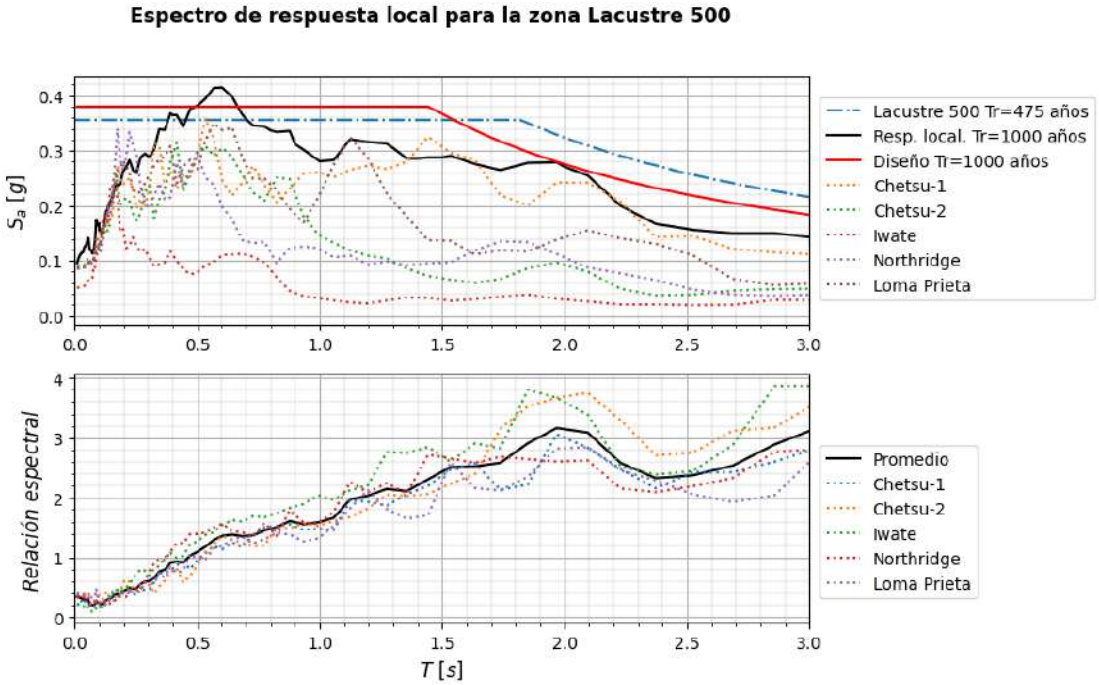


Figura 520. Zona Lacustre 500. Espectros de respuesta para las señales seleccionadas y envolvente para 1000 años de periodo de retorno. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Los coeficientes o valores de diseño que generan los espectros de respuesta mostrados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 301. Coeficientes de diseño espectros periodo de retorno de 1000 años

Espectro	Sd	Sds	Fa	Ts	SD1
Piedemonte B	0,6	0,79	1,32	0,60	0,474
Aluvial 100	0,6	0,475	0,79	1,25	0,594
Lacustre 200	0,6	0,475	0,79	2,05	0,974
Lacustre 100	0,6	0,66	1,10	1,20	0,792
Lacustre 300	0,6	0,46	0,77	1,40	0,644
LAcustre 500	0,6	0,39	0,65	1,44	0,562

Adicionalmente, se presentan los espectros de respuesta establecida para los mismos tramos establecidos por la microzonificación sísmica de Bogotá para obras diseñadas para un periodo de retorno de 475 años (ver Figura 521).

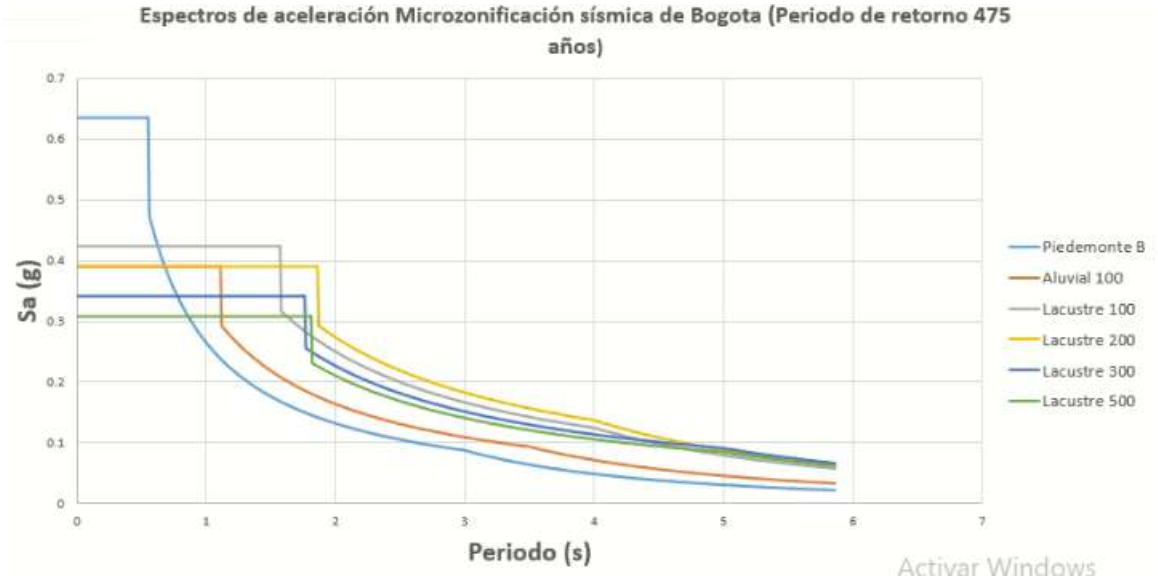


Figura 521. Espectros de respuesta microzonificación sísmica de Bogotá corredor L2MB
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Los valores de diseño se presentan en la Tabla 302

Tabla 302. Coeficientes de diseño espectros microzonificación sísmica de Bogotá
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Parámetro	Piedemonte	Aluvial 100	Lacustre 100	Lacustre 200	Lacustre 300	Lacustre 500
Ae	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Fa	1,95	1,20	1,3	1,2	1,05	0,95

Parámetro	Piedemonte	Aluvial 100	Lacustre 100	Lacustre 200	Lacustre 300	Lacustre 500
Fv	1,7	2,1	3,2	3,5	2,9	2,7
Tc	0,56	1,12	1,58	1,87	1,77	1,82
TI	3,0	3,5	4	4	5	5
I	1	1	1	1	1	1



5.2.2.6.4.4 Análisis de Subsidencia

Los asentamientos que pueden llegar a ocurrir durante el proceso de construcción del túnel se deben principalmente a tres componentes:

- Los asentamientos a corto plazo (o inmediatos) provocados por la excavación del túnel, y son función de la estabilidad del frente del túnel, la velocidad de avance, el tiempo necesario para instalar el revestimiento del túnel y, en caso de túneles mecanizados, el tiempo necesario para llenar el vacío de la cola. El asentamiento inmediato a lo largo del eje del túnel comienza a cierta distancia por delante del frente del túnel y se detiene cuando la inyección de lechada del hueco de la cola se ha endurecido lo suficiente como para contrarrestar cualquier desplazamiento radial adicional.
- También pueden ocurrir parte del asentamiento debido a la deformación del revestimiento del túnel. Sin embargo, para túneles mecanizados en un entorno urbano, donde las cargas son conocidas, las deformaciones en el túnel se pueden evitar fácilmente con el diseño adecuado del revestimiento con segmentos de dovela de concreto reforzado.
- Por otra parte existen asentamientos a largo plazo, debido a: (1) la consolidación primaria (que normalmente ocurre en suelos cohesivos o comprimibles durante la disipación del exceso de presión de poro) en el proceso de excavación, y (2) a la consolidación secundaria (una forma de fluencia del suelo) que está controlada en gran medida por la velocidad a la que el esqueleto de los suelos compresibles pueden ceder y que puede ser independiente del proceso constructivo.

Para revisar el efecto en superficie de la construcción del túnel con máquina EPB se aplicaron criterios de análisis de tipo analítico y/o semi empírico, así como modelación numérica 2D y 3D. Los resultados de los análisis en detalle están consignados en el ET24 - Informe de Factibilidad - Vol. 1 - Versión H. ENTREGABLE 8 - PROYECTO TÚNEL – INFORME DE FACTIBILIDAD - L2MB-1000-000-MOV-DP-GEO-IN-001.

- Metodos analiticos

Los asentamientos que pueden llegar a ocurrir durante el proceso de construcción del túnel se deben principalmente a tres componentes:

- Los asentamientos a corto plazo (o inmediatos) provocados por la excavación del túnel.
- También pueden ocurrir parte del asentamiento debido a la deformación del revestimiento del túnel.
- Otra parte se debe a los asentamientos a largo plazo, debido a: (1) la consolidación primaria (que ocurre en suelos cohesivos por disipación del exceso de presión de poro) y (2) a la consolidación secundaria.

Durante el proceso de excavación, el suelo sin apoyo o parcialmente apoyado alrededor del túnel se mueve hacia adentro a medida que se produce el alivio de los esfuerzos. Por lo tanto, siempre será necesario eliminar un volumen de suelo mayor que el volumen teórico del vacío terminado. Este volumen extra excavado se conoce como "pérdida de volumen" (o "pérdida de terreno").

Para efectos de estimar asentamientos con el método analítico se aplicó lo sugerido por Loganathan y Poulos (1998) para el caso de Mono túnel. Comprobaciones mediante otros métodos como fue el de Taylor y Grand (2000) y lo planteado por Jones(2022), también se realizaron como parte de la verificación. Estos métodos resultan con valores parecidos de la cubeta de asentamientos, los cuales dependen de las presiones de inyección, y de la pérdida de volumen que resulte detrás de la cola de la TBM.

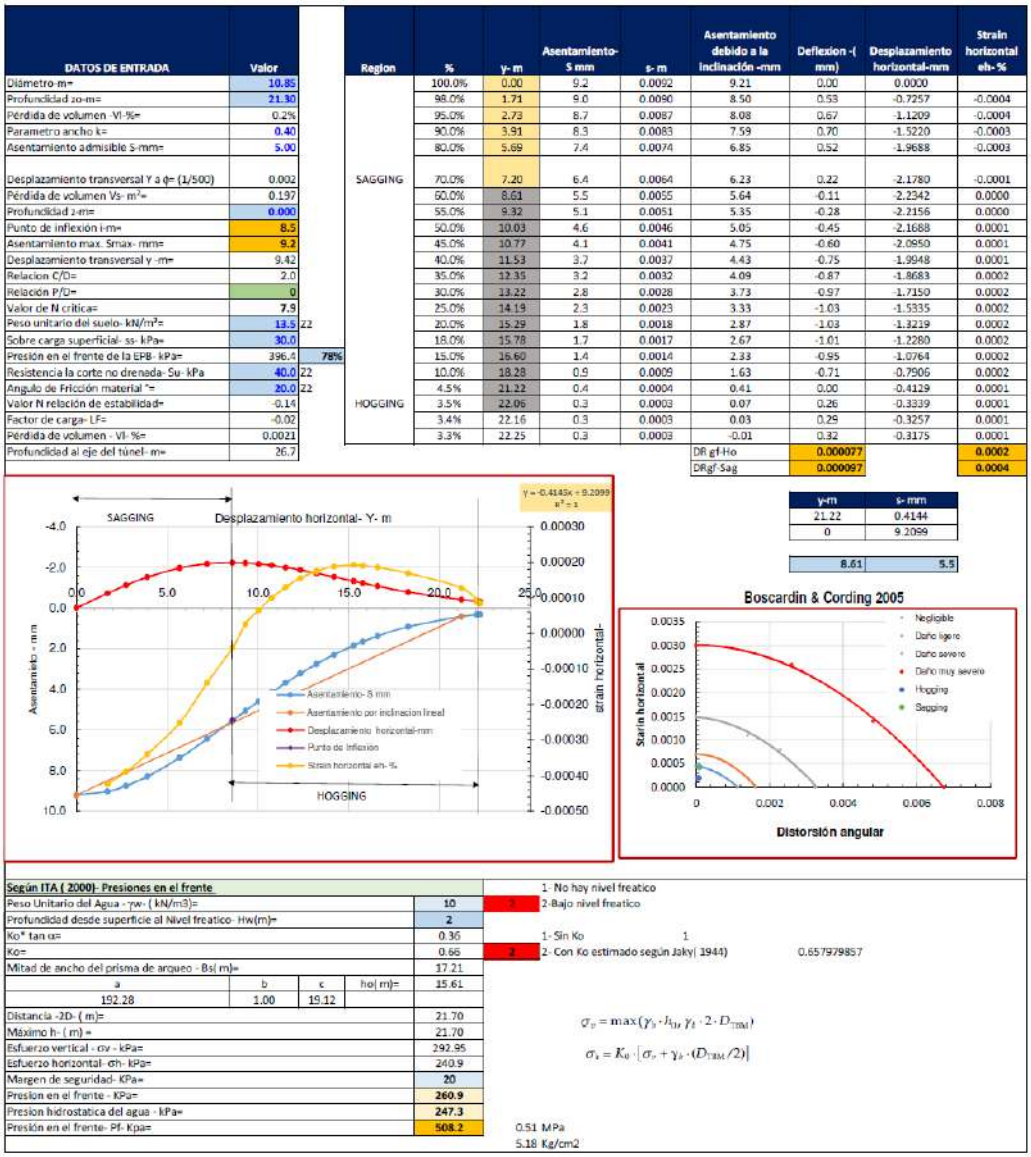
Para el análisis de subsidencias se adoptaron 36 secciones representativas a lo largo de todo el trazado de la L2MB cubriendo los sitios más críticos, con miras a definir eventuales pretratamientos para reducir impactos en superficie.

Como referencia en la siguiente figura, se presenta la cubeta de asentamientos para el caso bajo el paso del Humedal Juan Amarillo (Abscisa K11+050 del eje del túnel), con una profundidad de implantación a clave del túnel del orden de 24 m. Según los resultados en este análisis el asentamiento máximo esperado puede ser del orden de 23 a unos 25 mm, con un distorsión angular 0.06% a 0.025% respectivamente. Este cálculo fue realizado sobre la base de una posible pérdida de volumen del orden de 1.5%, lo cual se considera bastante conservador en el caso de excavación de túneles con máquinas EPB en arcillas(Jones -2022). Hoy en día y de acuerdo con experiencias en la Línea 12 del metro de México, como en otros metros excavado en arcillas parecidas a las que serán excavadas en la L2MB, la pérdida de volumen real medida fue del orden de 0,5%, lo que depende de la experticia del contratista y de la forma eficiente de controlar adecuadamente las presiones del frente como la inyección detrás de la cola del escudo.



Figura 522. Comparación de cubeta de asientos entre Loganathan y Poulos versus Taylor y Grand.
Fuente: UT MOVIUS (2022)

Unos ejemplos del tipo de la matriz y gráficos que fueron elaborados según el análisis analítico, se indica en la Figura 1002 para el cruce bajo el canal Arzobispo y en la Figura 1003 para el paso bajo el brazo del humedal Juan Amarillo respectivamente.



DATOS DE ENTRADA	Valor
Diámetro-m=	10.85
Profundidad zo-m=	21.30
Pérdida de volumen -Vl-%=	0.2%
Parametro ancho k=	0.40
Asentamiento admisible S-mm=	5.00
Desplazamiento transversal Y a ϕ= (1/500)	0.002
Pérdida de volumen Vs- m³=	0.197
Profundidad z-m=	0.000
Punto de inflexión i-m=	8.5
Asentamiento max. Smax- mm=	9.2
Desplazamiento transversal y -m=	9.42
Relacion C/D=	2.0
Relación P/D=	0
Valor de N crítica=	7.9
Peso unitario del suelo- kN/m³=	13.5
Sobre carga superficial- ss- kPa=	30.0
Presión en el frente de la EPB- kPa=	396.4
Resistencia la corte no drenada- Su- kPa	40.0
Angulo de Fricción material °=	20.0
Valor N relación de estabilidad=	-0.14
Factor de carga- LF=	-0.02
Pérdida de volumen - Vl- %=	0.0021
Profundidad al eje del túnel- m=	26.7

Region	%	y- m	Asentamiento- S mm	s- m	Asentamiento debido a la inclinación -mm	Deflexion -(mm)	Desplazamiento horizontal-mm	Strain horizontal eh- %
	100.0%	0.00	9.2	0.0092	9.21	0.00	0.0000	
	98.0%	1.71	9.0	0.0090	8.50	0.53	-0.7257	-0.0004
	95.0%	2.73	8.7	0.0087	8.08	0.67	-1.1209	-0.0004
	90.0%	3.91	8.3	0.0083	7.59	0.70	-1.5220	-0.0003
	80.0%	5.69	7.4	0.0074	6.85	0.52	-1.9688	-0.0003
SAGGING	70.0%	7.20	6.4	0.0064	6.23	0.22	-2.1780	-0.0001
	60.0%	8.61	5.5	0.0055	5.64	-0.11	-2.2342	0.0000
	55.0%	9.32	5.1	0.0051	5.35	-0.28	-2.2156	0.0000
	50.0%	10.03	4.6	0.0046	5.05	-0.45	-2.1688	0.0001
	45.0%	10.77	4.1	0.0041	4.75	-0.60	-2.0950	0.0001
	40.0%	11.53	3.7	0.0037	4.43	-0.75	-1.9948	0.0001
	35.0%	12.35	3.2	0.0032	4.09	-0.87	-1.8683	0.0002
	30.0%	13.22	2.8	0.0028	3.73	-0.97	-1.7150	0.0002
	25.0%	14.19	2.3	0.0023	3.33	-1.03	-1.5335	0.0002
	20.0%	15.29	1.8	0.0018	2.87	-1.03	-1.3219	0.0002
	18.0%	15.78	1.7	0.0017	2.67	-1.01	-1.2280	0.0002
	15.0%	16.60	1.4	0.0014	2.33	-0.95	-1.0764	0.0002
	10.0%	18.28	0.9	0.0009	1.63	-0.71	-0.7906	0.0002
	4.5%	21.22	0.4	0.0004	0.41	0.00	-0.4129	0.0001
HOGGING	3.5%	22.06	0.3	0.0003	0.07	0.26	-0.3339	0.0001
	3.4%	22.16	0.3	0.0003	0.03	0.29	-0.3257	0.0001
	3.3%	22.25	0.3	0.0003	-0.01	0.32	-0.3175	0.0001
					DR gf-Ho	0.000077		0.0002
					DRgf-Sag	0.000097		0.0004

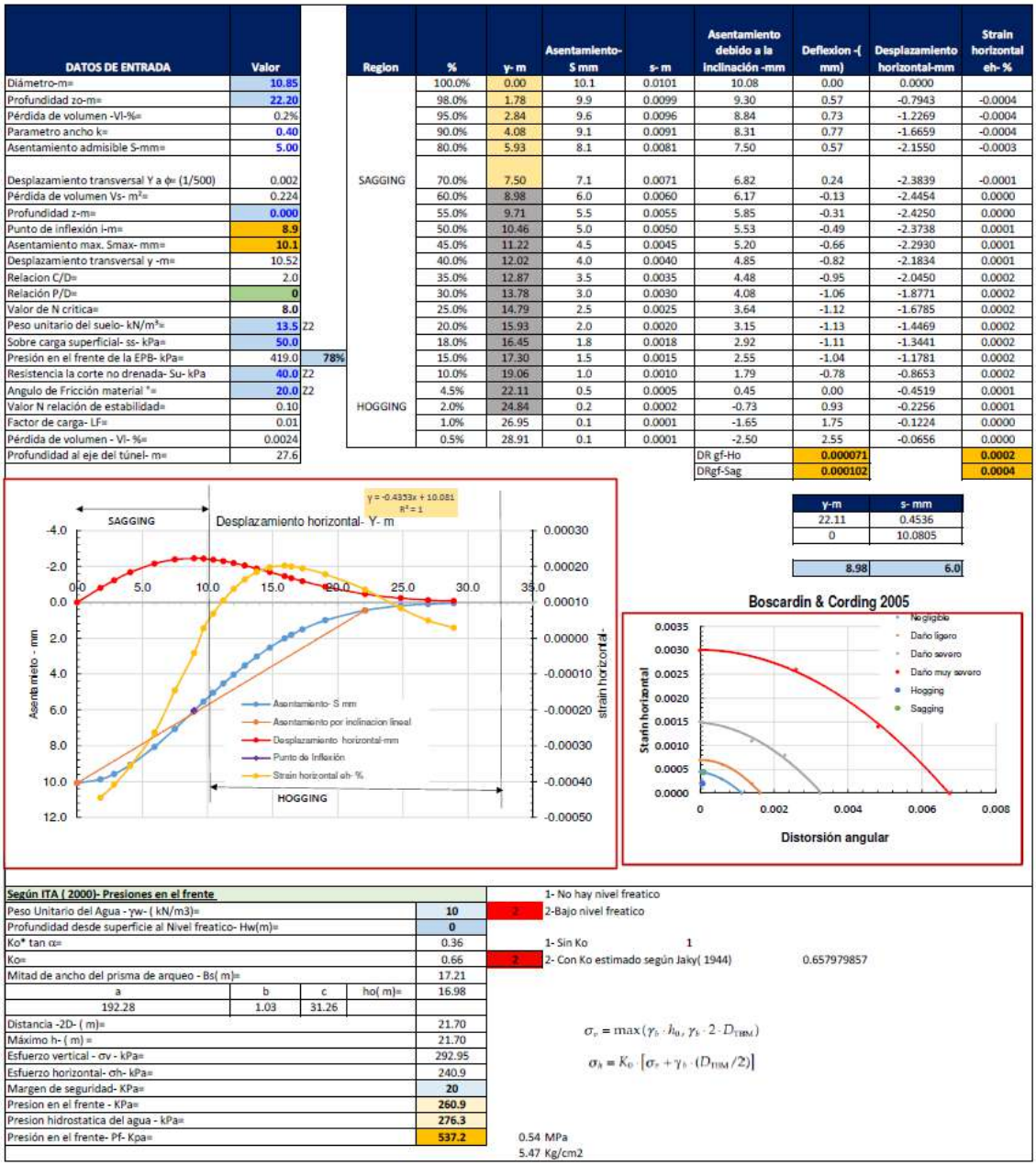
y-m	s- mm
21.22	0.4144
0	9.2099
8.61	5.5

Según ITA (2000)- Presiones en el frente		
Peso Unitario del Agua - γw- (kN/m3)=	10	1- No hay nivel freatico 2-Bajo nivel freatico
Profundidad desde superficie al Nivel freatico- Hw(m)=	2	
Ko* tan α=	0.36	1- Sin Ko 1
Ko=	0.66	2- Con Ko estimado según Jaky(1944) 0.657979857
Mitad de ancho del prisma de arqueo - Bs(m)=	17.21	
a / b / c / ho(m)=	15.61	
192.28 / 1.00 / 19.12		
Distancia -2D- (m)=	21.70	
Máximo h- (m) =	21.70	
Esfuerzo vertical - σv - kPa=	292.95	
Esfuerzo horizontal- σh- kPa=	240.9	
Margen de seguridad- KPa=	20	
Presion en el frente - KPa=	260.9	
Presion hidrostatica del agua - kPa=	247.3	
Presión en el frente- Pf- Kpa=	508.2	0.51 MPa 5.18 Kg/cm2

$$\sigma_v = \max(\gamma_h \cdot h_w, \gamma_t \cdot 2 \cdot D_{TBM})$$

$$\sigma_h = K_0 \cdot [\sigma_v + \gamma_h \cdot (D_{TBM}/2)]$$

Figura 523. Análisis de subsidencias asentamientos y desplazamientos horizontales - Sección 24 - Zona canal Arzobispo.
Fuente: UT MOVIUS (2022)



DATOS DE ENTRADA	Valor		Region	%	y- m	Asentamiento- S mm	s- m	Asentamiento debido a la inclinación -mm	Deflexion -(mm)	Desplazamiento horizontal-mm	Strain horizontal eh- %
Diámetro-m=	10.85			100.0%	0.00	10.1	0.0101	10.08	0.00	0.0000	
Profundidad zo-m=	22.20			98.0%	1.78	9.9	0.0099	9.30	0.57	-0.7943	-0.0004
Pérdida de volumen -Vl-%=	0.2%			95.0%	2.84	9.6	0.0096	8.84	0.73	-1.2269	-0.0004
Parametro ancho k=	0.40			90.0%	4.08	9.1	0.0091	8.31	0.77	-1.6659	-0.0004
Asentamiento admisible S-mm=	5.00			80.0%	5.93	8.1	0.0081	7.50	0.57	-2.1550	-0.0003
Desplazamiento transversal Y a ϕ= (1/500)	0.002		SAGGING	70.0%	7.50	7.1	0.0071	6.82	0.24	-2.3839	-0.0001
Pérdida de volumen Vs- m^2=	0.224			60.0%	8.98	6.0	0.0060	6.17	-0.13	-2.4454	0.0000
Profundidad z-m=	0.000			55.0%	9.71	5.5	0.0055	5.85	-0.31	-2.4250	0.0000
Punto de inflexión i-m=	8.9			50.0%	10.46	5.0	0.0050	5.53	-0.49	-2.3738	0.0001
Asentamiento max. Smax- mm=	10.1			45.0%	11.22	4.5	0.0045	5.20	-0.66	-2.2930	0.0001
Desplazamiento transversal y -m=	10.52			40.0%	12.02	4.0	0.0040	4.85	-0.82	-2.1834	0.0001
Relacion C/D=	2.0			35.0%	12.87	3.5	0.0035	4.48	-0.95	-2.0450	0.0002
Relación P/D=	0			30.0%	13.78	3.0	0.0030	4.08	-1.06	-1.8771	0.0002
Valor de N crítica=	8.0			25.0%	14.79	2.5	0.0025	3.64	-1.12	-1.6785	0.0002
Peso unitario del suelo- kN/m^3=	13.5	Z2		20.0%	15.93	2.0	0.0020	3.15	-1.13	-1.4469	0.0002
Sobre carga superficial- ss- kPa=	50.0			18.0%	16.45	1.8	0.0018	2.92	-1.11	-1.3441	0.0002
Presión en el frente de la EPB- kPa=	419.0	78%		15.0%	17.30	1.5	0.0015	2.55	-1.04	-1.1781	0.0002
Resistencia la corte no drenada- Su- kPa	40.0	Z2		10.0%	19.06	1.0	0.0010	1.79	-0.78	-0.8653	0.0002
Angulo de Fricción material °=	20.0	Z2		4.5%	22.11	0.5	0.0005	0.45	0.00	-0.4519	0.0001
Valor N relación de estabilidad=	0.10		HOGGING	2.0%	24.84	0.2	0.0002	-0.73	0.93	-0.2256	0.0001
Factor de carga- LF=	0.01			1.0%	26.95	0.1	0.0001	-1.65	1.75	-0.1224	0.0000
Pérdida de volumen - Vl- %=	0.0024			0.5%	28.91	0.1	0.0001	-2.50	2.55	-0.0656	0.0000
Profundidad al eje del túnel- m=	27.6							DR gf-Ho	0.000071		0.0002
								DRgf-Sag	0.000102		0.0004

y-m	s- mm
22.11	0.4536
0	10.0805
8.98	6.0

Según ITA (2000)- Presiones en el frente						
Peso Unitario del Agua - γw- (kN/m3)=				10	2	1- No hay nivel freatico 2-Bajo nivel freatico
Profundidad desde superficie al Nivel freatico- Hw(m)=				0		
Ko* tan α=				0.36		1- Sin Ko 1
Ko=				0.66	2	2- Con Ko estimado según Jaky(1944) 0.657979857
Mitad de ancho del prisma de arqueo - Bs(m)=				17.21		
a	b	c	ho(m)=	16.98		
192.28	1.03	31.26				
Distancia -2D- (m)=				21.70		
Máximo h- (m) =				21.70		
Esfuerzo vertical - σv - kPa=				292.95		
Esfuerzo horizontal- σh- kPa=				240.9		
Margen de seguridad- KPa=				20		
Presion en el frente - KPa=				260.9		
Presion hidrostatica del agua - kPa=				276.3		
Presión en el frente- Pf- Kpa=				537.2		0.54 MPa 5.47 Kg/cm2

$$\sigma_v = \max(\gamma_b \cdot h_w, \gamma_b \cdot 2 \cdot D_{TBM})$$

$$\sigma_h = K_0 \cdot [\sigma_v + \gamma_b \cdot (D_{TBM}/2)]$$

Figura 524. Análisis de subsidencias asentamientos y desplazamientos horizontales - Seccion 5 - Zona Brazo humedal Juan Amarillo.
Fuente: UT MOVIUS (2022)

Según los resultados en estos análisis para la zona del paso bajo el canal Arzobispo como bajo el brazo del humedal Juan Amarillo, indican que el asentamiento máximo esperado para la profundidad de implantación de 21,30m y 22,20 m respectivamente, pueden ser del orden de 9.2 mm y 10.1 mm, con distorsiones angulares en la zona de Sagging de 0.007% y en el Hogging de 0.01% respectivamente. Con estos valores y los máximos strain horizontales estimados en ambos tramos de la curva de asientos, se establece que la incidencia de asientos en superficie o los daños según la metodología de Buscarding

& Cording(1989) serán negligibles en estas zonas del trazado. Para el resto del trazado se realizaron varias secciones de análisis que son presentadas en el ET24 - Informe de Factibilidad - Vol. 1 - Versión H. ENTREGABLE 8 - PROYECTO TÚNEL – INFORME DE FACTIBILIDAD - L2MB-1000-000-MOV-DP-GEO-IN-001.

En el caso del paso del túnel por el humedal Juan Amarillo y con base en la información analizada como las comprobaciones de magnitud de asientos para la profundidad de implantación establecida del túnel en este sector, se aplicará la técnica constructiva con una tuneladora tipo EPB (Earth pressure Balance). El tipo de soporte estará conformado por dovelas prefabricadas de concreto reforzado que se colocan inmediatamente con el avance del túnel, las cuales son diseñadas para ser completamente estancas e impermeables. La máquina estará compuesta por un escudo cerrado, con una cámara donde se aplica presión de agua y tierra, en el frente balanceada, con el fin de controlar los desplazamientos. El efecto de soporte y balance de presiones se logra con el material de la excavación, el cual es mezclado con agua o aditivos condicionantes dependiendo del tipo de material por excavar, para formar un lodo de consistencia suave a muy suave que se retira a través del tornillo sin fin ubicado detrás de la cámara y la cabeza cortadora, para luego ser evacuado hasta la zona de depósito. El “gap” que deja la cabeza cortadora se rellena con inyecciones de lechada inmediatamente se va avanzado para reducir el efecto de desplazamiento y, en consecuencia, la subsidencia. Al ser hermético el sistema se elimina la posibilidad de tener infiltraciones hacia el túnel y en consecuencia efectos en el humedal. Además, es importante aclarar que los bicomponentes que se utilizan para acondicionar el material de suelo como para garantizar la presión del frente, según información analizada de algunos proveedores, garantizan bajo normas que estos elementos no tendrán impactos ambientales.

El método constructivo permite un contrabalance de presiones del terreno y de las aguas, manteniendo la hermeticidad con los escudos de la máquina, como con los sellos previstos en los segmentos de los anillos de dovela, evitando así que se afecte el nivel freático, el desecamiento de la fuentes hídrica superficial entre otros. En el proceso de excavación se utilizarán aditivos para el acondicionamiento y corrección de los cambios en la humedad y granulometría del terreno excavado en el frente. Para ese propósito, se utilizan espumas para sustituir los finos faltantes y el agua intersticial.

A continuación, se resume el estimativo de asentamientos, desplazamientos horizontales (strain en %) y ángulos de distorsión angular de las 36 secciones representativas analizadas. Los resultados de los análisis analíticos de subsidencia muestran baja afectación a lo largo del corredor del trazado de la L2MB. De la lista de las 36 secciones hay al menos 9 sitios particulares que fueron considerados de mayor cuidado debido a la presencia de estructuras o cuerpos de agua o tuberías de la Empresa de Acueducto de Bogotá, que en algunos casos requieren de llevar un control riguroso del avance de la máquina EPB y del sistema de inyección, vigilado con instrumentación geotécnica con miras a reducir los asentamientos y los desplazamientos horizontales. Como medidas de mitigación se han previsto unos pretratamientos que podrían ser utilizados en caso de que con la instrumentación se detecten anomalías durante la construcción.Estos pretratamientos deberán ser verificados por el contratista en la ingeniería de detalle si así se requiere. En algunos casos particulares y con miras a reducir asentamientos y/o desplazamientos horizontales como es el caso del paso por debajo de las tuberías de Tibitoc, se plantean algunas medidas especiales que son analizadas mediante modelación numérica más adelante.

Tabla 303. Resumen de estimativo de asentamientos, desplazamientos horizontales (strain en %) y ángulos de distorsión angular

Sección	Abscisa	Causa o problemática	Profundidad a la clave- m	Asentamiento máximo en el eje del túnel - mm	Punto de Inflexión - i- m=	Presión en el frente- kPa	Pérdida de volumen estimado. Vl- %	Relación de deflexión DRgf. Hogg	Strain horizontal Hogging-%	Tipo de daño en zona de hogging	Relación de deflexión DRgf. Sagg	Strain horizontal Sagging- %	Tipo de daño en zona de sagging
1	14280	Baja cobertura - suelos poco competentes - mejora terreno para el sector contiguo al pozo de entrada	4,00	1,52	1,60	269,25	0,01%	5,95E-05	0,00017	Negligible	8,54E-05	0,000372	Negligible
2	13375	Cruce Canal Cafam-	24,00	9,07	9,60	425,25	0,24%	5,92E-05	0,00017	Negligible	8,51E-05	0,000370	Negligible
3	11800	Estacion Alo sur	25,40	9,50	10,16	436,17	0,26%	5,86E-05	0,00017	Negligible	8,42E-05	0,000366	Negligible
4	11297	Cruce túnel por debajo de edificaciones	28,40	10,46	11,36	459,57	0,32%	5,77E-05	0,00016	Negligible	8,29E-05	0,000361	Negligible
5	11067	Cruce túnel por debajo de edificaciones	22,20	10,08	8,88	419,01	0,24%	7,12E-05	0,00020	Negligible	1,02E-04	0,000445	Ligero
6	11040	Brazo humedal Juan Amarillo	23,80	10,60	9,52	431,49	0,27%	6,98E-05	0,00020	Negligible	1,00E-04	0,000436	Ligero
7	10290	Estación humedal y Juan amarillo- edificaciones costado izquierdo -	24,80	10,31	9,92	423,69	0,28%	6,51E-05	0,00019	Negligible	9,36E-05	0,000408	Negligible
8	10108	Estación humedal y Juan amarillo- edificaciones costado izquierdo -	26,50		10,60	436,95	0,31%	6,42E-05	0,00018	Negligible	9,23E-05	0,000402	Negligible
9	8950	Suelos blandos	20,30	8,89	8,12	388,59	0,20%	6,87E-05	0,00020	Negligible	9,86E-05	0,000429	Negligible
10	8895	Canal Salitre - Suelos blandos	18,70	6,65	7,48	391,71	0,13%	5,58E-05	0,00016	Negligible	8,00E-05	0,000349	Negligible
11	8870	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	23,00	9,74	9,20	409,65	0,24%	6,64E-05	0,00019	Negligible	9,53E-05	0,000415	Negligible
12	8847	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	24,90	10,35	9,96	424,47	0,28%	7,37E-05	0,00019	Negligible	9,35E-05	0,000407	Negligible
13	8398	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	29,80	12,04	11,92	462,69	0,39%	7,17E-05	0,00018	Negligible	9,09E-05	0,000396	Negligible
14	7418	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	23,60	9,93	9,44	414,33	0,25%	7,47E-05	0,00019	Negligible	9,47E-05	0,000412	Negligible
15	6737	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	25,50	10,54	10,20	429,15	0,29%	7,33E-05	0,00018	Negligible	9,30E-05	0,000405	Negligible
16	5401	Suelos blandos - paso por debajo de la tubería de 72 " de Tibitoc- Av. Boyaca	23,40	9,87	9,36	412,77	0,25%	7,48E-05	0,00019	Negligible	9,49E-05	0,000413	Negligible
17	5259	Suelos blandos	28,30	11,49	11,32	450,99	0,35%	7,20E-05	0,00018	Negligible	9,13E-05	0,000398	Negligible
18	4737	Suelos blandos	33,10	13,40	13,24	488,43	0,48%	7,19E-05	0,00018	Negligible	9,10E-05	0,000397	Negligible
19	4413	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	29,30	11,85	11,72	458,79	0,38%	7,17E-05	0,00018	Negligible	9,10E-05	0,000396	Negligible
20	4004	AV. CRA 68- Puente- Suelos	24,60	10,25	9,84	422,13	0,27%	7,39E-05	0,00019	Negligible	9,38E-05	0,000408	Negligible
21	3557	Av. CRA 68- Edificaciones - paso túnel por debajo - suelos blandos	26,50	10,87	10,60	436,95	0,31%	7,27E-05	0,00018	Negligible	9,23E-05	0,000402	Negligible
22	2983	Suelos blandos	34,90	14,27	13,96	502,47	0,54%	7,25E-05	0,00018	Negligible	9,20E-05	0,000401	Negligible
23	2770	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	29,80	12,04	11,92	462,69	0,39%	7,17E-05	0,00018	Negligible	9,09E-05	0,000396	Negligible
24	2545	Zona Canal Arzobispo- suelos blandos	21,30	9,21	8,52	396,39	0,21%	7,67E-05	0,00019	Negligible	9,73E-05	0,000424	Negligible

Fuente: UT MOVIUS (2022)

- Modelación numérica

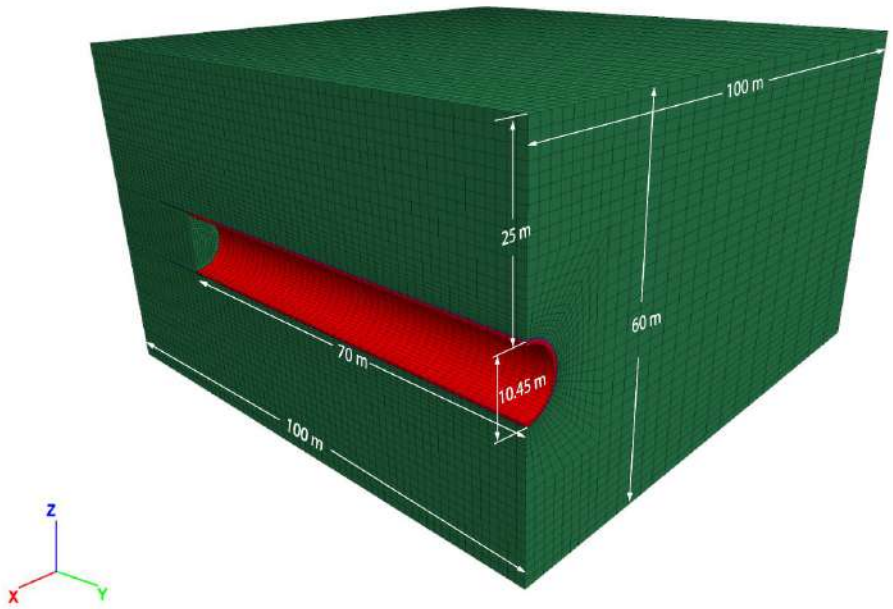
Túnel en suelo arcilloso blando (análisis numérico)

A continuación se describe el análisis numérico del túnel de la línea 2 del Metro de Bogotá desarrollado en FLAC3D. El análisis considera el túnel ubicado en la Zona 2, en suelos arcillosos blandos, con una cobertura de 25 m a la clave, siendo ésta representativa de la Zona 2. Más adelante se considera el impacto de mayores y menores coberturas, así como el comportamiento en otras zonas del trazado.

El comportamiento del suelo se describe mediante el modelo constitutivo Plastic Hardening con Small-Strain Stiffness, con la capacidad de reproducir el módulo a muy bajas deformaciones, lo cual ha sido identificado como un requerimiento importante para reproducir el comportamiento de suelos bajo condiciones típicas de excavaciones (Zakhem 2019, Hejazi 2008).

El modelo se utiliza para estudiar el impacto de las presiones que sostienen las caras de la excavación, tanto en el frente como en la cola de la TBM, sobre el asentamiento en superficie, teniendo en cuenta las observaciones realizadas en diversos proyectos de construcción de túneles TBMs (EPB).

Se ilustra a continuación, el dominio de modelación considerando 60 m de profundidad de suelo, y un área de 100 m x 100 m en planta, un plano de simetría por el eje del túnel, y una cobertura de 25 m.



.Figura 1004. Dimensiones generales del modelo de diferencias finitas para la estimación de asentamientos
Fuente: UT MOVIUS (2022)

De los resultados obtenidos en la modelación numérica en el marco de los diseños (véase ET24 - Informe de Factibilidad - Vol. 1 - Versión H. ENTREGABLE 8 - PROYECTO TÚNEL – INFORME DE FACTIBILIDAD - L2MB-1000-000-MOV-DP-GEO-IN-001) sobre el proceso de construcción de túneles con TBM-EPBs se puede concluir lo siguiente:

- Los modelos desarrollados usando el modelo constitutivo Plastic Hardening con Small Strain representan adecuadamente la rigidez del suelo a bajas deformaciones, así como su degradación con la deformación, característica importante para describir el comportamiento de excavaciones.
- El efecto de la presión utilizada en el frente de excavación durante la fase de corte de la tuneladora se ha estudiado partiendo de un valor en la clave que corresponde al esfuerzo horizontal total in-situ previo al paso de la máquina (278 kPa). La sensibilidad realizada incluye la variación del gradiente vertical de presión del frente, el cual depende de las propiedades del suelo excavado y la mezcla que se genera en la cara cortadora. Los gradientes considerados son de entre 10 y 16 kPa/m, y dicha variación muestra un impacto importante en las deformaciones del frente (Figura 263), pero su impacto en superficie en términos de asentamientos no es significativo.
- El efecto de la presión de inyección se ha estudiado en términos de su impacto sobre el asentamiento en superficie, cuantificado en términos de pérdida de volumen. Se asume que la presión de inyección en la clave tiene un valor de 315 kPa, igual al valor del esfuerzo vertical total in-situ previo al paso de la tuneladora, y el gradiente vertical de presión se varía entre 8 y 11 kPa/m, resultando en pérdidas de volumen de entre -1.92 % y 0.61% respectivamente.

Contrato interadministrativo 136 de 2021
Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legales, de riesgos, técnico y financiero

Capítulo 5.2 Línea Base
Medio Abiótico
Parte 4

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-IN-001-VD

Elaborado por:

Financiera de Desarrollo Nacional

U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

Bogotá D.C.
2022

5.2.3. Componente Atmósfera

5.2.3.1. Meteorología

El área de estudio se encuentra instrumentada con estaciones climatológicas operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) y la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, las cuales permiten conocer el comportamiento altitudinal y temporal de variables climáticas como: temperatura, brillo solar, radiación solar, humedad relativa, evaporación, velocidad y dirección del viento, nubosidad y la distribución espacial y temporal de la precipitación total. En la Figura 522 se presentan las estaciones identificadas en la zona del proyecto, diferenciadas por colores según las entidades operadoras.

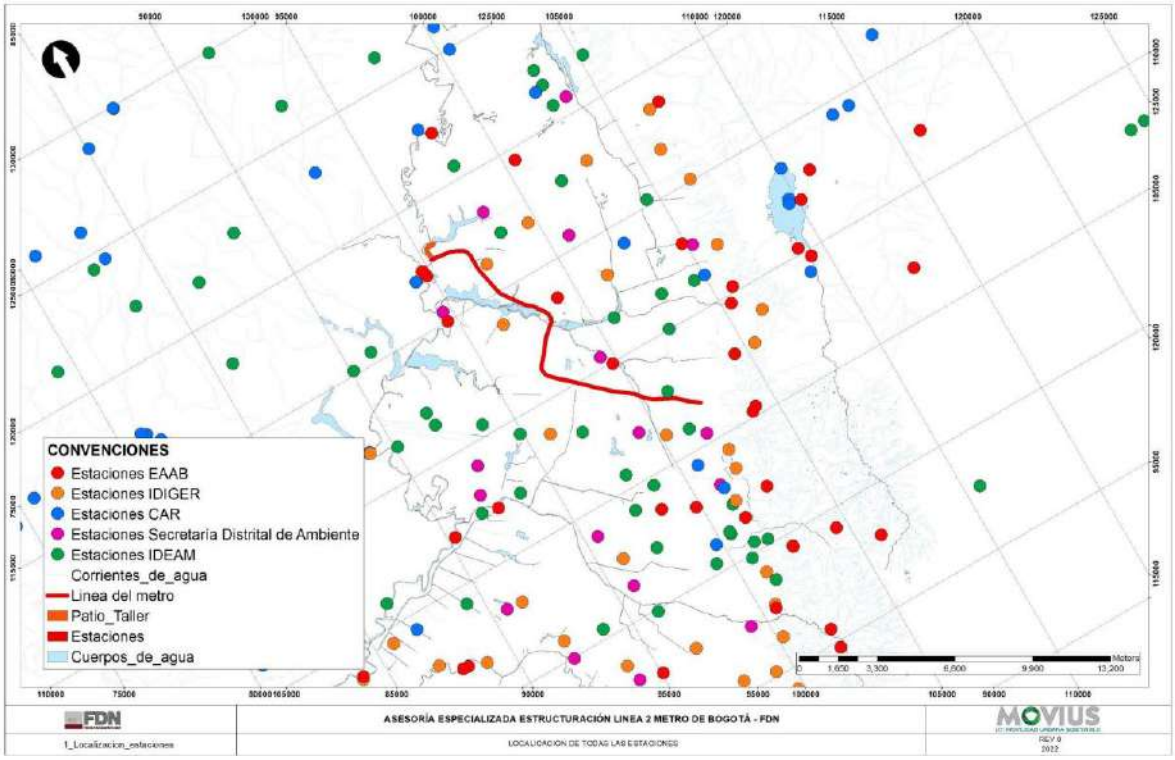


Figura 526. Localización espacial de las estaciones de todas las entidades disponibles en la zona.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Para la selección de las estaciones y la escogencia de los periodos comunes a analizar se revisó la disponibilidad de datos para cada parámetro a evaluar. En la Figura 523 se presenta de forma esquemática los periodos de registro de cada estación para diferentes variables climáticas, sin embargo, en el anexo Anexo 5.2 -5.2 - hidrología se presenta en detalle la información analizada.

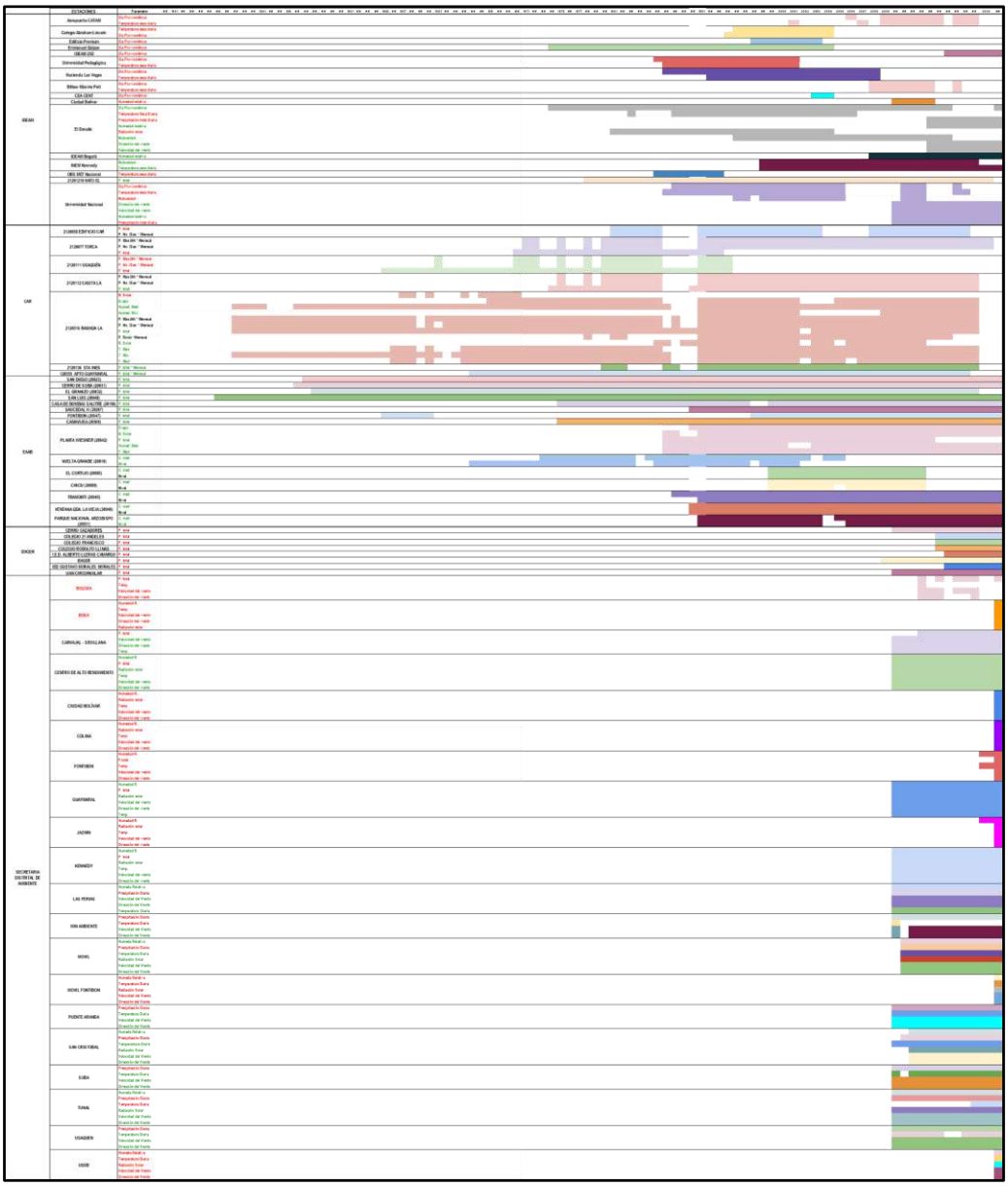


Figura 527. Periodos de registros para las estaciones identificadas según la entidad operadora.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Teniendo identificada la información disponible para cada estación, se definió un periodo común para cada parámetro climático (ver Tabla 303), en función de la disponibilidad de datos de cada estación. Con los periodos comunes establecidos se realizó la selección de las estaciones y la definición de la distribución temporal de cada uno de los parámetros registrados.

Tabla 304. Periodo común de los parámetros climáticos a analizar.

Parámetro	Periodo común
Brillo Solar	1987-2021
Evaporación	1991 - 2019
Humedad Relativa	2010-2021
Precipitación Total	1987 - 2021
Precipitación número de días	1980 - 2019
Nubosidad	1998-2016
Temperatura media	1998-2019
Temperatura máxima	1998-2019
Temperatura mínima	1998-2019
Velocidad del viento	2010 - 2021
Radiación solar	2010 - 2021

Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Tabla 304, Tabla 305, Tabla 306 y Tabla 307 se presentan las características de las estaciones a analizar en la zona de estudio según la entidad a cargo de su operación, y en la Figura 524 y Figura 525 se presenta su localización espacial.

Tabla 305. Características de las estaciones climatológicas del IDEAM cercanas a la zona de estudio.

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas[1]	
							Norte	Este
21205791	IDEAM	APTO EL DORADO AUTOMATICA	MET	ACTIVA	BOGOTÁ	2547	112097,37	91882,59
21206960	IDEAM	IDEAM BOGOTÁ AUTOMÁTICA	MET	ACTIVA	SAN FRANCISCO	2646	100417,63	101207,17
21206560	IDEAM	INEM KENNEDY	MET	ACTIVA	BOGOTÁ	2580	107177,60	93646,20
21205012	IDEAM	UNIV NACIONAL AUTOMÁTICA	MET	ACTIVA	BOGOTÁ	2556	104630,38	98718,41
21201210	IDEAM	EL HATO *	PM	ACTIVA	SUBACHOQUE	2575	129917,42	91528,22

Fuente: IDEAM, 2022

* Estación analizada para desarrollo de isoyetas

[1] Sistema de coordenadas: MAGNA Ciudad Bogotá.

Dónde: CO: Climatológica ordinaria, CP: Climatológica principal, PM: Pluviométrica, PG: Pluviográfica MET: Estación meteorológica, AM: Agrometeorológica, SP: Sinóptica principal.

Tabla 306. Características de las estaciones climatológicas de la CAR cercanas a la zona de estudio.

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Norte	Este
2120058	CAR	EDIFICIO CAR	PG	ACTIVA	R. BOGOTÁ	2622	103051,14	101237,71
2120077	CAR	TORCA	PM	ACTIVA	R. BOGOTÁ	2572	114144,65	102740,95
2120112	CAR	CASITA LA	PM	ACTIVA	R. TEUSACÁ	3094	104433,91	100753,46
2120516	CAR	RAMADA LA	CP	ACTIVA	R. BOGOTÁ	2538	111827,02	88938,23
2120136	CAR	SANTA INÉS *	PM	ACTIVA	R. CHICÚ	2591	123264,46	92896,84
2120559	CAR	APTO GUAYMARAL *	CP	ACTIVA	R. BOGOTÁ	2603	121547,38	102669,04

Fuente: CAR, 2022

* Información a escala mensual, registros utilizados únicamente para la creación de las isoyetas.

Dónde: CO: Climatológica ordinaria, CP: Climatológica principal, PM: Pluviométrica, PG: Pluviográfica ME: Estación meteorológica, AM: Agrometeorológica, SP: Sinóptica principal.

Tabla 307. Características de las estaciones climatológicas de la EAAB cercanas a la zona de estudio.

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Norte	Este
2120023	EAAB	SAN DIEGO	PVG	ACTIVA	RÍO ARZOBISPO	2700	101497,85	101394,52
2120031	EAAB	CERRO DE SUBA	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2691	113543,43	99139,50
2120032	EAAB	EL GRANIZO	PVG	ACTIVA	RÍO ARZOBISPO	3125	102198,26	102835,03
2120040	EAAB	SAN LUIS	PVG	ACTIVA	RIO TEUSACA	2300	105379,65	104135,25
2120196	EAAB	CASA DE BOMBAS SALITRE	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2580	109951,06	99773,09
2120207	EAAB	SAUCEDAL II	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2900	106927,95	90313,97
2120547	EAAB	FONTIBÓN	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2518	107082,01	92527,07
2120569	EAAB	CAMAVIEJA	PVG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2680	103578,41	98483,17
2120642	EAAB	PLANTA WIESNER	CO	ACTIVA	RIO TEUSACA	2795	110265,59	109012,40
2120810	EAAB	RIO BOGOTA - VUELTA GRANDE	LMG	SUSP	RÍO BOGOTÁ	2570	117103,44	94800,44

Código	Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Norte	Este
2120888	EAAB	RÍO BOGOTÁ EL CORTIJO	LMG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2540	115002,58	94600,56
2120889	EAAB	RIO BOGOTA CHICU	LMG	ACTIVA	RÍO BOGOTÁ	2550	117353,53	94750,40
2120948	EAAB	QDA. CHICO - TRAMONTI	LMG	ACTIVA	QUEBRADA CHICO	2760	107730,62	104455,16
2120949	EAAB	QDA. LA VIEJA - VENTANA - CAPTACIÓN	LMG	ACTIVA	QUEBRADA LA VIEJA	2850	105239,58	103925,18
2120951	EAAB	ARZOBISPO - PARQUE NACIONAL	LMG	ACTIVA	RÍO ARZOBISPO	2730	102928,27	99803,76

Fuente: EAAB, 2022

Dónde: CO: Climatológica ordinaria, CP: Climatológica principal, PVM: Pluviométrica, PVG: Pluviográfica ME: Estación meteorológica, LMM: Limnimétrica, LMG: Limnigrafica.

Tabla 308. Características de las estaciones climatológicas de la Secretaría Distrital de Ambiente cercanas a la zona de estudio.

Entidad	Nombre	Categoría	Estado	Altitud (msnm)	Coordenadas	
					Norte	Este
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	GUAYMARAL	ME	ACTIVA	2580	120745,49	103704,96
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	USAQUÉN	ME	ACTIVA	2570	112625,76	105229,19
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	SUBA	ME	ACTIVA	2571	118255,47	98231,43
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	LAS FERIAS	ME	ACTIVA	2552	110451,21	99450,49
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO	ME	ACTIVA	2552	106885,35	99286,17
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	ESTACIÓN MÓVIL 7MA	ME	ACTIVA	2583	105417,36	101773,95
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	MINAMBIENTE	ME	ACTIVA	2621	103237,04	101172,01
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	PUENTE ARANDA	ME	ACTIVA	2590	103931,40	95565,98
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	KENNEDY	ME	ACTIVA	2580	103188,32	90698,50
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	CARVAJAL-SEVILLANA	ME	ACTIVA	2563	99956,19	92123,04
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	TUNAL	ME	ACTIVA	2589	97787,02	94070,66
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	SAN CRISTÓBAL	ME	ACTIVA	2688	97381,07	99303,96

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2022

Dónde: CO: Climatológica ordinaria, CP: Climatológica principal, PM: Pluviométrica, PG: Pluviográfica ME: Estación meteorológica, AM: Agrometeorológica, SP: Sinóptica principal.

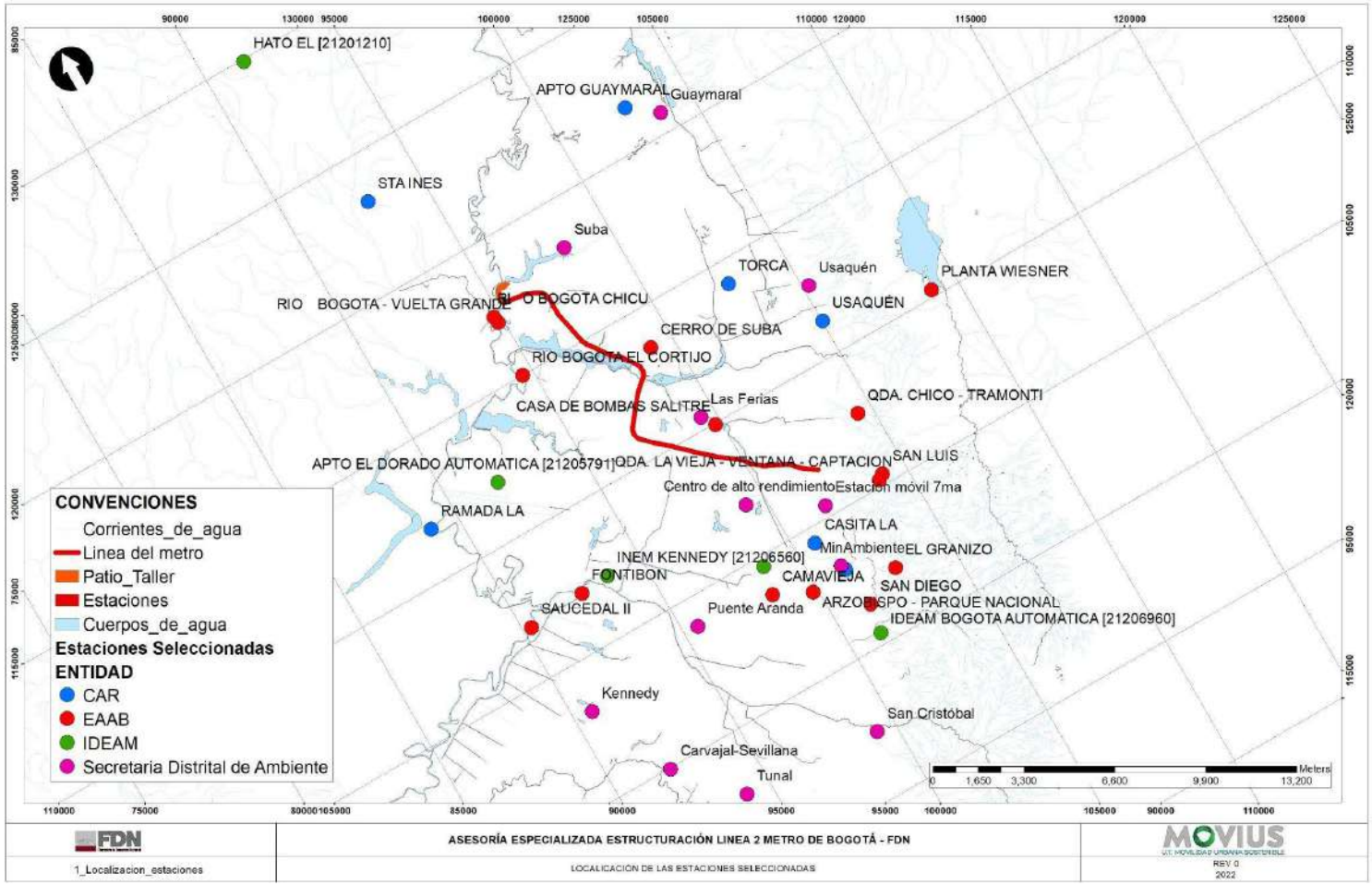


Figura 528. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por entidad operadora.
Fuente: UT MOVIUS 2022

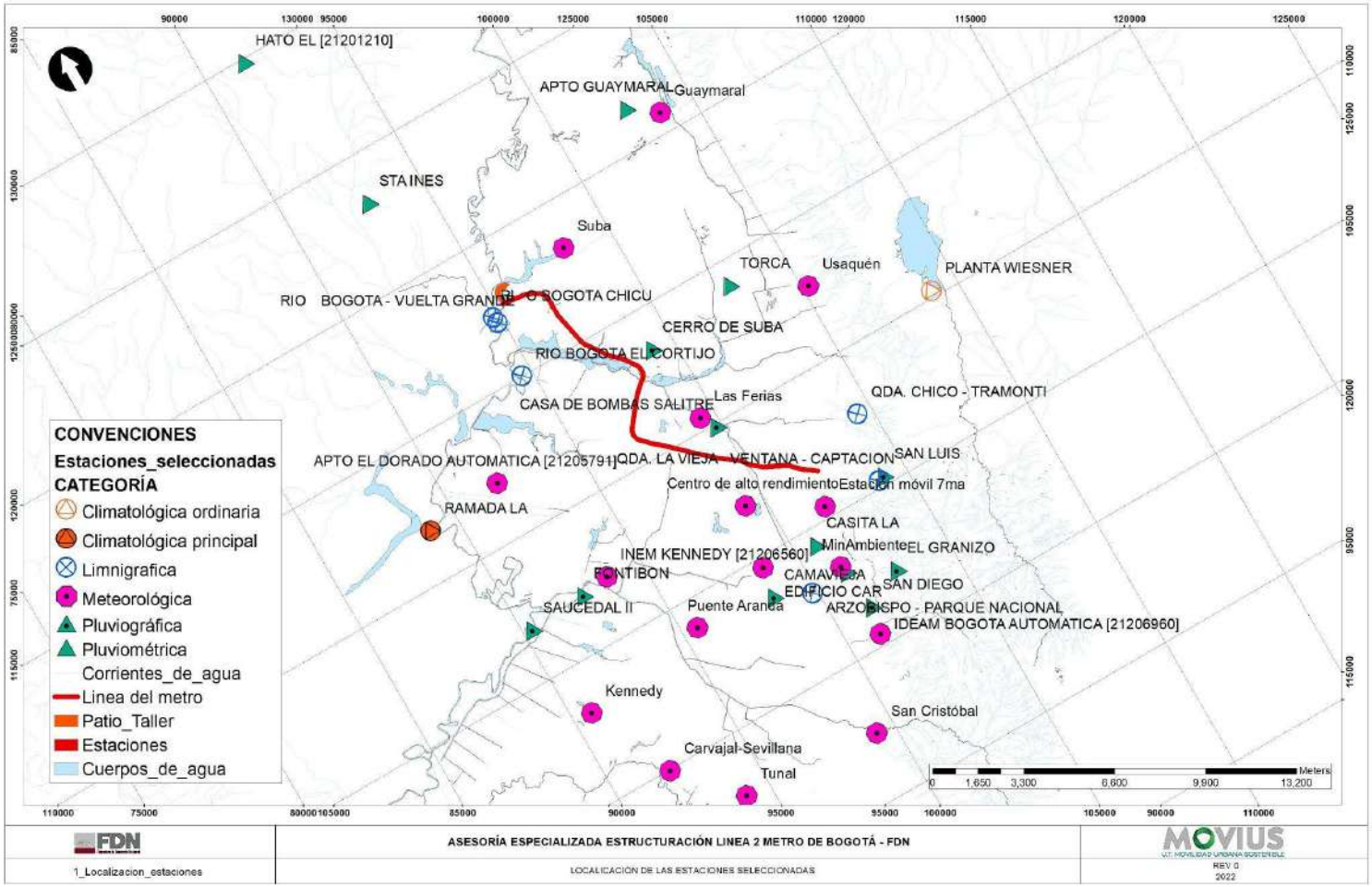


Figura 529. Localización espacial de las estaciones seleccionadas por categoría.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Una vez recopilados los registros de las estaciones seleccionadas y definidos los periodos de análisis, se realizó la caracterización temporal de la presión atmosférica, humedad relativa, radiación solar, nubosidad y dirección y velocidad del viento. En la Tabla 308 se presentan los periodos de los registros de los parámetros recopilados de brillo solar, humedad relativa, nubosidad, velocidad del viento, radiación solar y dirección del viento. En la Tabla 309 se presentan los periodos de registro de temperatura y evaporación para cada una de las estaciones seleccionadas, los periodos de registro para la precipitación se presentan en la Tabla 310 dado que el cubrimiento espacial de las cuencas considera un número mayor de estaciones. En el CAP5.2-CMAB-L2MB-AN#013-1 se presentan los registros climáticos recopilados.

Tabla 309. Periodos de registros de los parámetros recopilados.

Estación	Brillo Solar	Humedad Relativa	Nubosidad	Velocidad del viento	Radiación solar	Dirección del viento
APTO EL DORADO		1981-2021	1995-2016	2014-2021		2014-2021
IDEAM BOGOTÁ		2008-2021				
INEM KENNEDY			1998-2019			
UNIVERSIDAD NACIONAL		2010-2021		2010-2021		2010-2021
LA RAMADA		1938-1941, 1945-1987, 1991-2019			1986-1988, 1989-2001, 2003-2005, 2007-2013	
PLANTA WIESNER	1987-1989, 1991-2021	1987-2000, 2003-2021				
CARVAJAL - SEVILLANA				2010-2021		2010-2021
CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO		2010-2021		2010-2021	2010-2021	2010-2021
GUAYMARAL		2010-2021		2010-2021	2010-2021	2010-2021
KENNEDY		2010-2021		2010-2021	2010-2021	2010-2021
LAS FERIAS		2010-2021		2010-2021		2010-2021
MINISTERIO DE AMBIENTE				2010-2011, 2012-2021		2010-2011, 2012-2021
MÓVIL SÉPTIMA		2010-2021		2010-2021	2010-2021	2010-2021
PUENTE ARANDA				2010-2021		2010-2021
SAN CRISTÓBAL		2012-2021		2012-2021	2012-2021	2012-2021
SUBA				2010-2021		2010-2021
TUNAL		2010-2021		2010-2021	2010-2021	2010-2021
USAQUÉN				2010-2021		2010-2021

Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 310. Periodos de registros de temperatura y evaporación para cada estación.

Estación	Evaporación	Temperatura media	Temperatura máxima	Temperatura mínima
INEM KENNEDY	-	1998-2021	-	-
LA RAMADA	1967-1986, 1991-2001, 2005-2019	1956-1958, 1960, 1964-1987, 1991-2001, 2003-2005, 2007-2019	1956-1958, 1960, 1964-1986, 1991-2019	1938-1961, 1963-1987, 1991-2019
PLANTA WIESNER	1990-2021	1987-2021	-	-
CARVAJAL - SEVILLANA	-	2010-2021	-	-
CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO	-	2010-2021	-	-
GUAYMARAL	-	2010-2021	-	-
KENNEDY	-	2010-2021	-	-
LAS FERIAS	-	2010-2021	-	-
MÓVIL SÉPTIMA	-	2010-2021	-	-
PUENTE ARANDA	-	2010-2021	-	-
SAN CRISTÓBAL	-	2010-2021	-	-
SUBA	-	2010, 2012-2021	-	-
USAQUÉN	-	2010-2015, 2018-2021	-	-

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se mencionó anteriormente, la distribución temporal y espacial de la precipitación para las cuencas analizadas tuvo como base la información de 15 estaciones. En la Tabla 310 se presentan los períodos de registros recopilados:

Tabla 311. Periodos de registros de precipitación recopilados.

N°	Estación	Precipitación total	Precipitación Número de días
1	SAN DIEGO	1946-2021	1946-2021
2	CERRO DE SUBA	1946-2021	1946-2021
3	EL GRANIZO	1947-2019	1947-2019
4	SAN LUIS	1936-2021	1936-2021
5	CASA DE BOMBAS SALITRE	1975-2021	1975-2021
6	SAUCEDAL II	1990-2021	1990-2021
7	FONTIBÓN	1955-2021	1955-2021
8	CAMAVIEJA	1975-2021	1975-2021
9	PLANTA WIESNER	1987-2021	1987-2021

N°	Estación	Precipitación total	Precipitación Número de días
10	APTO EL DORADO AUTOMATICA	1974-2021	1974-2021
11	CASITA LA	1973-2021	1973-2021
12	RAMADA LA	1938-2021	1938-2021
13	SANTA INÉS	1980-2019	1980-2019
14	APTO GUAYMARAL - USTA	1965-2019	1965-2019
15	HATO EL	1987-2020	1987-2020

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.1.1. Definición de período común

Para la caracterización climática de la zona de estudio se tuvo en cuenta el periodo común de las estaciones climáticas recopiladas para cada parámetro. Los periodos comunes identificados se presentan en la Tabla 311.

Tabla 312. Periodo común de los parámetros climáticos.

Parámetro	Período común
Brillo Solar	1987-2021
Evaporación	1991 - 2019
Humedad Relativa	2010-2021
Precipitación Total	1987 - 2021
Precipitación número de días	1980 - 2019
Nubosidad	1998-2016
Temperatura media	1998-2019
Temperatura máxima	1998-2019
Temperatura mínima	1998-2019
Velocidad del viento	2010 - 2021
Radiación solar	2010 - 2021

Fuente: UT MOVIUS 2022

Con los periodos comunes establecidos se realizó la descripción de la distribución temporal de cada uno de los parámetros registrados por las estaciones que caracterizan la zona de estudio.

5.2.3.1.2. Distribución temporal de la precipitación total

Con los registros de precipitación recopilados y complementados se determinó la distribución temporal de la precipitación total, los resultados de estos análisis para cada estación se presentan a continuación. En la Figura 526 se presenta la localización de las estaciones analizadas respecto a la Línea 2 del Metro.

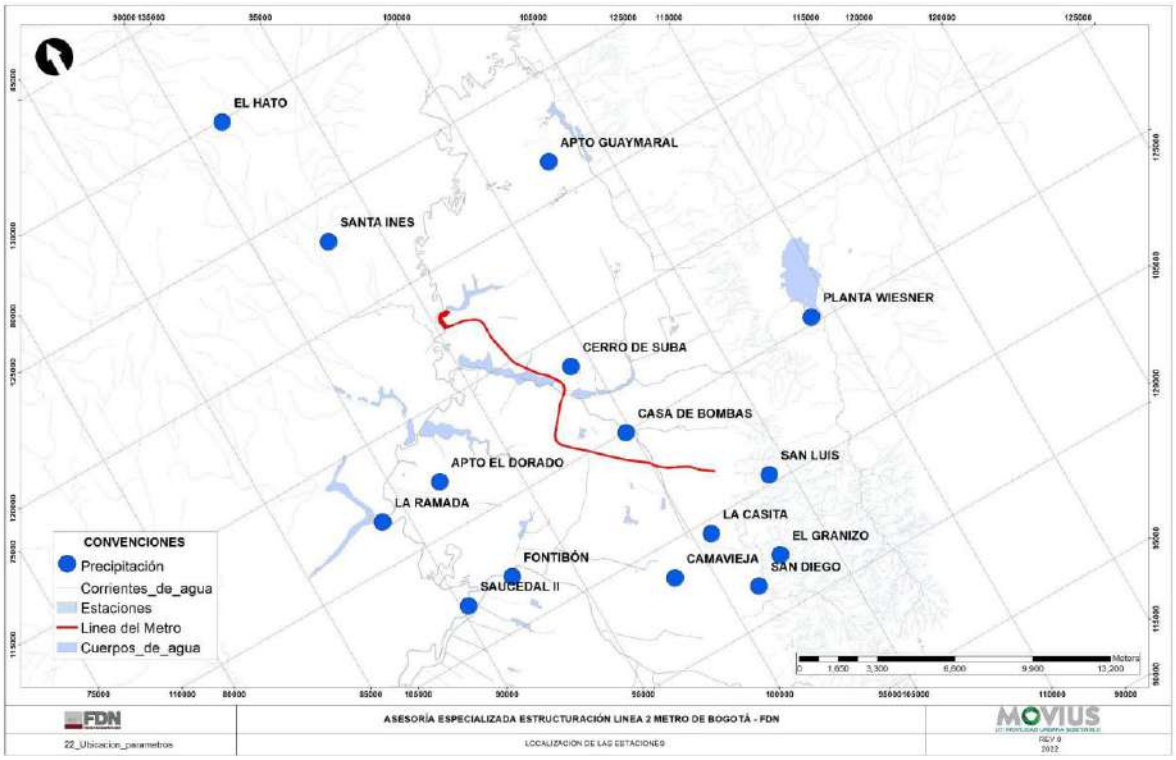


Figura 530. Localización de las estaciones de precipitación.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120023 SAN DIEGO

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación San Diego presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 160,1 mm, mientras que el registro más bajo se presenta en septiembre con un valor de 54,74 mm. La precipitación media mensual multianual es de 95,68 mm y la precipitación total anual multianual es de 1 148,20 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se

identificó que en noviembre de 2 010 se presentó el registro más alto con un valor de 345,2 mm. En la Figura 527 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación San Diego.

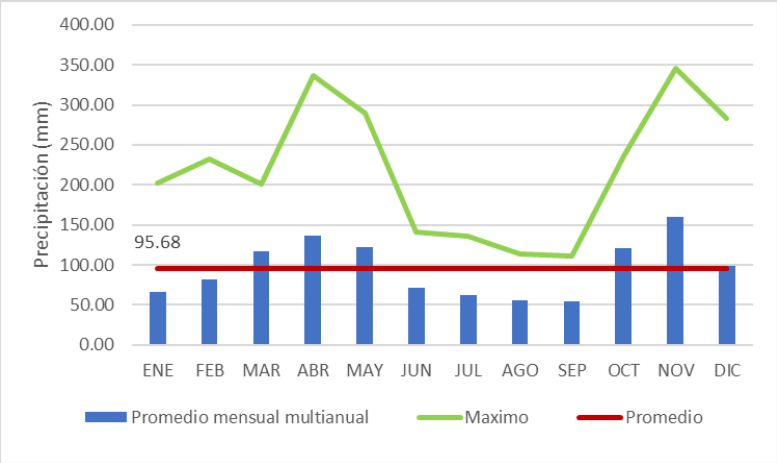


Figura 531. Distribución temporal precipitación total estación San Diego. Periodo 1987 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120031 CERRO DE SUBA

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Cerro de Suba presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 123,74 mm mientras que el registro más bajo se presenta en julio con un valor de 42,3 mm. La precipitación media mensual multianual es de 76,00 mm y la precipitación total anual multianual es de 911,98 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2011 se presentó el registro más alto con un valor de 261,8 mm. En la Figura 528 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Cerro de Suba.

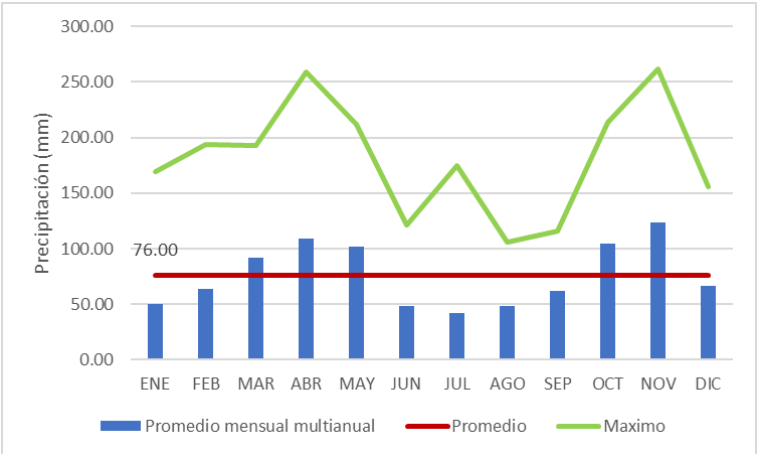


Figura 532. Distribución temporal precipitación total estación Cerro de Suba. Periodo 1987 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120032 EL GRANIZO

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación El Granizo presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 157,49 mm mientras que el registro más bajo se presenta en septiembre con un valor de 59,59 mm. La precipitación media mensual multianual es de 100,17 mm y la precipitación total anual multianual es de 1 202,05 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2016 se presentó el registro más alto con un valor de 343,92 mm. En la Figura 529 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación El Granizo.

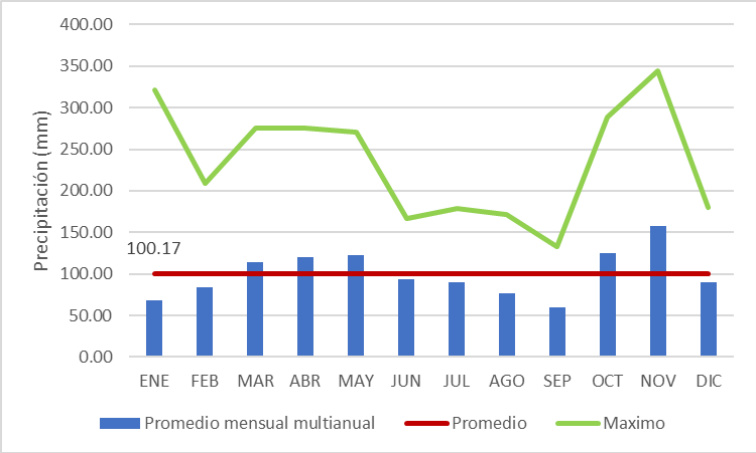


Figura 533. Distribución temporal precipitación total estación El Granizo. Periodo 1987 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120040 SAN LUIS

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación San Luis presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 155,8 mm mientras que el registro más bajo se presenta en septiembre con un valor de 58,67 mm. La precipitación media mensual multianual es de 97,38 mm y la precipitación total anual multianual es de 1168,6 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en enero de 2017 se presentó el registro más alto con un valor de 341,6 mm. En la Figura 530 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación San Luis.

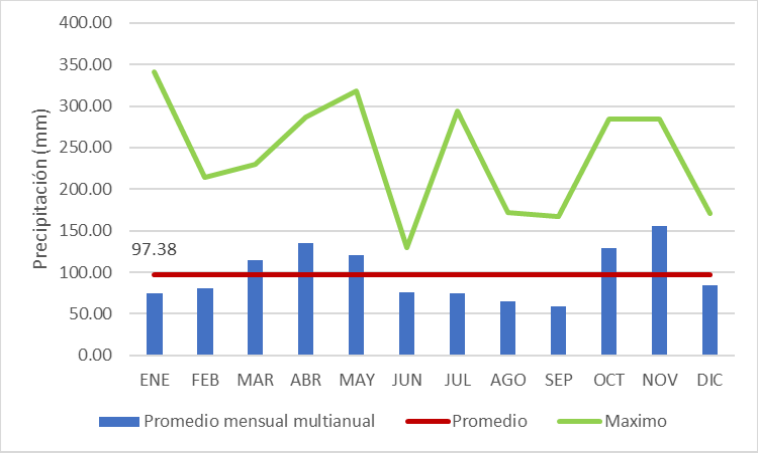


Figura 534. Distribución temporal precipitación total estación 2120040 San Luis. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120196 CASA DE BOMBAS SALITRE

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Casa de Bombas Salitre presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 153,13 mm mientras que el registro más bajo se presenta en agosto con un valor de 47,73 mm. La precipitación media mensual multianual es de 88,47 mm y la precipitación total anual multianual es de 1 061,69 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2016 se presentó el registro más alto con un valor de 331,7 mm.

En la Figura 531 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Casa de Bombas Salitre.

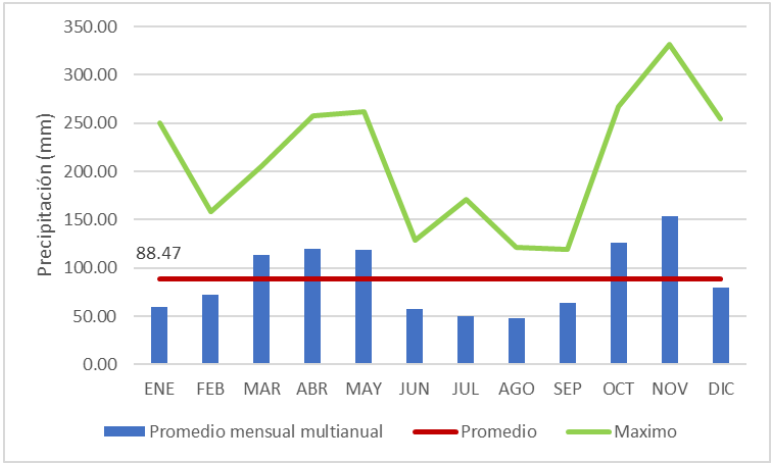


Figura 535. Distribución temporal precipitación total estación 2120196 Casa de Bombas Salitre. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120207 SAUCEDAL II

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Saucedal II presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En mayo se presenta la precipitación más alta con un valor de 101,68 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 22,19 mm. La precipitación media mensual multianual es de 62,44 mm y la precipitación total anual multianual es de 749,23 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en abril de 2012 se presentó el registro más alto con un valor de 235,3 mm. En la Figura 532 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Saucedal II.

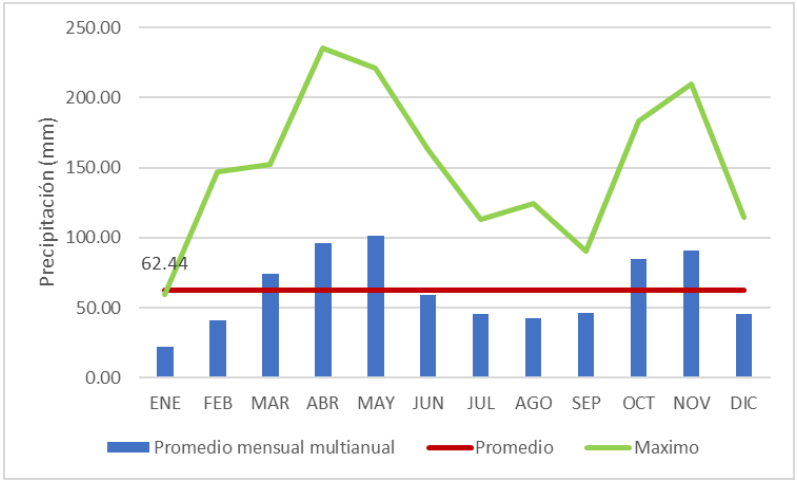


Figura 536. Distribución temporal precipitación total estación 20207 Saucedal II. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120547 FONTIBÓN

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Fontibón presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En abril se presenta la precipitación más alta con un valor de 103,41 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 26,1 mm. La precipitación media mensual multianual es de 66,14 mm y la precipitación total anual multianual es de 793,71 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en diciembre de 2010 se presentó el registro más alto con un valor de 251,6 mm. En la Figura 533 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Fontibón.

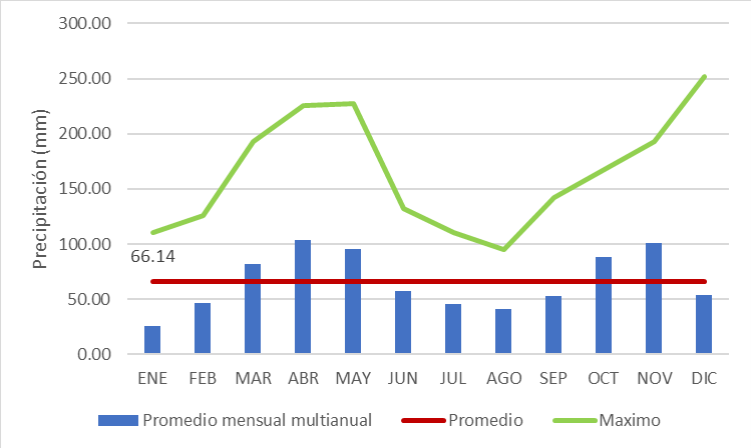


Figura 537. Distribución temporal precipitación total estación 2120547 Fontibón. El Periodo 1987 - 2021
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120569 CAMAVIEJA

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Camavieja presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 135,0 mm mientras que el registro más bajo se presenta en julio con un valor de 44,7 mm. La precipitación media mensual multianual es de 80,72 mm y la precipitación total anual multianual es de 968,68 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2010 se presentó el registro más alto con un valor de 294,1 mm. En la Figura 534 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Camavieja.

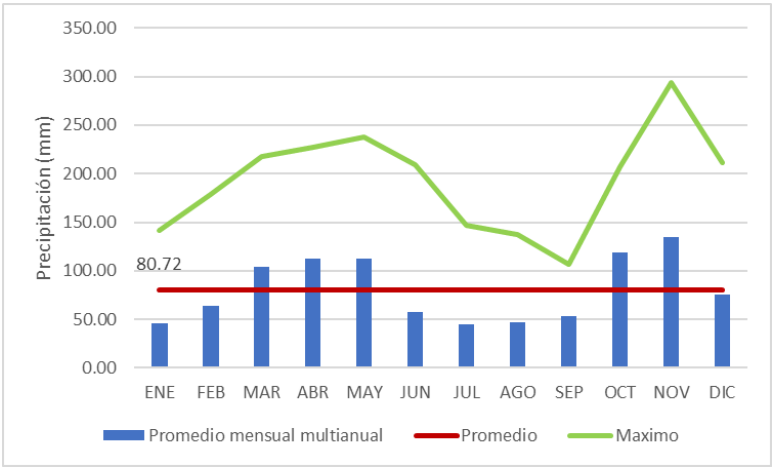


Figura 538. Distribución temporal precipitación total estación 2120569 Camavieja. El Periodo 1987 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120642 PLANTA WIESNER

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Planta Wiesner presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 113,59 mm mientras que el registro más bajo se presenta en septiembre con un valor de 45,7 mm. La precipitación media mensual multianual es de 74,69 mm y la precipitación total anual multianual es de 896,25 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2011 se presentó el registro más alto con un valor de 296 mm. En la Figura 535 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Planta Wiesner.

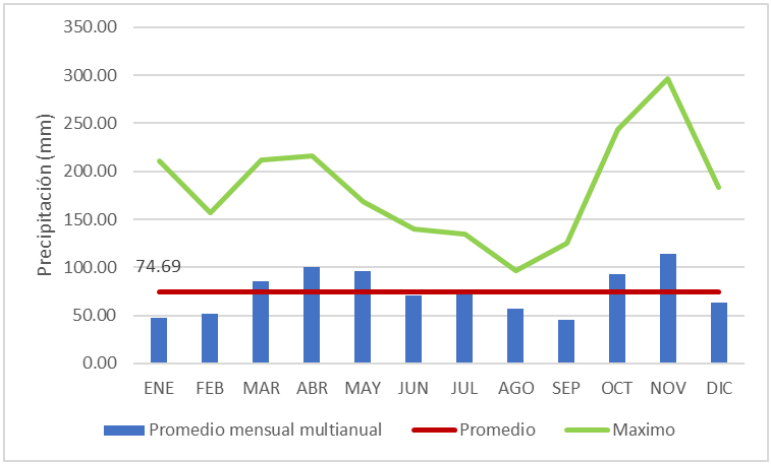


Figura 539. Distribución temporal precipitación total estación 2120642 Planta Wiesner. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 21205791 APTO EL DORADO AUTOMATICA

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Apto. El Dorado presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En abril se presenta la precipitación más alta con un valor de 117,54 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 33,87 mm. La precipitación media mensual multianual es de 76,26 mm y la precipitación total anual multianual es de 915,08 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2016 se presentó el registro más alto con un valor de 266,19 mm. En la Figura 536 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Apto. El Dorado.

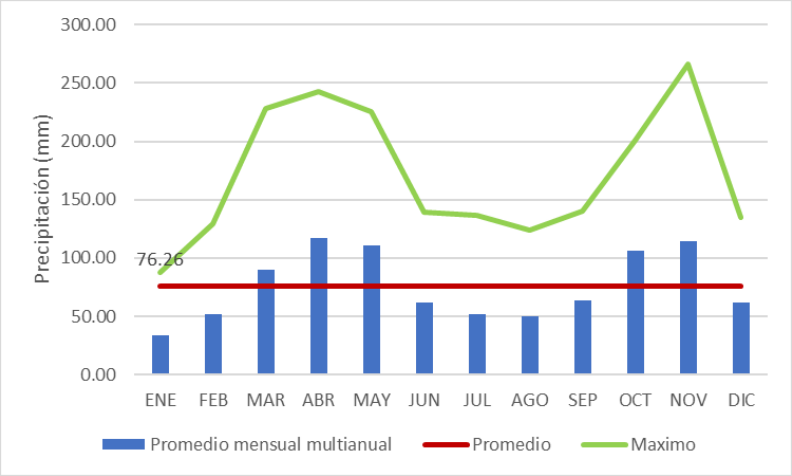


Figura 540. Distribución temporal precipitación total estación 21205791 Apto. El Dorado Auto. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120112 LA CASITA

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación La Casita presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En noviembre se presenta la precipitación más alta con un valor de 144,35 mm mientras que el registro más bajo se presenta en septiembre con un valor de 49,17 mm. La precipitación media mensual multianual es de 90,25 mm y la precipitación total anual multianual es de 1 082,96mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2 020 se presentó el registro más alto con un valor de 449,6 mm. En la Figura 537 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación La Casita.

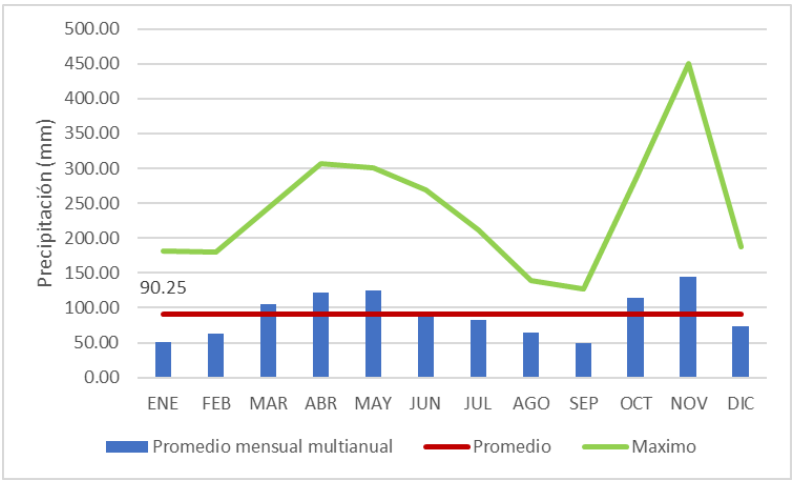


Figura 541. Distribución temporal precipitación total estación 2120112 La Casita. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120516 LA RAMADA

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación La Ramada presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En mayo se presenta la precipitación más alta con un valor de 105,2 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 28,64 mm. La precipitación media mensual multianual es de 68,46 mm y la precipitación total anual multianual es de 821,58 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en noviembre de 2011 se presentó el registro más alto con un valor de 252,5 mm. En la Figura 538 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación La Ramada.

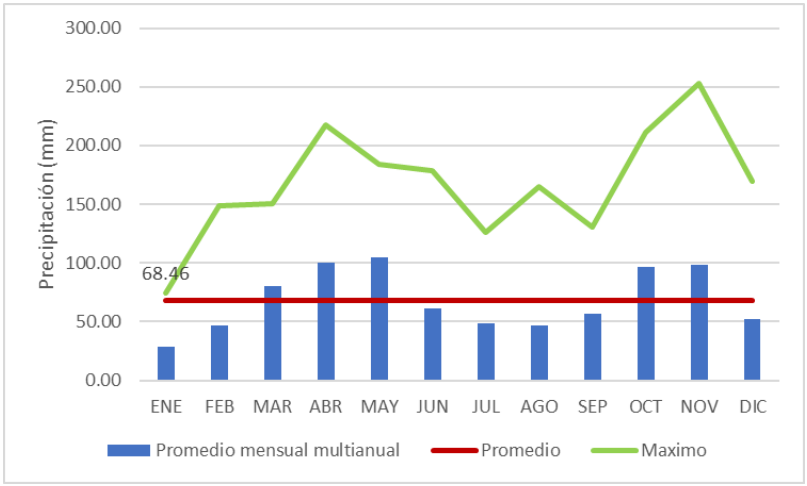


Figura 542. Distribución temporal precipitación total estación 2120516 La Ramada. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120136 SANTA INÉS

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Santa Inés presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de marzo a mayo y octubre a noviembre. En octubre se presenta la precipitación más alta con un valor de 102,73 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 29,19 mm. La precipitación media mensual multianual es de 66,42 mm y la precipitación total anual multianual es de 797,07 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en octubre de 2005 se presentó el registro más alto con un valor de 324,2 mm. En la Figura 539 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Santa Inés.

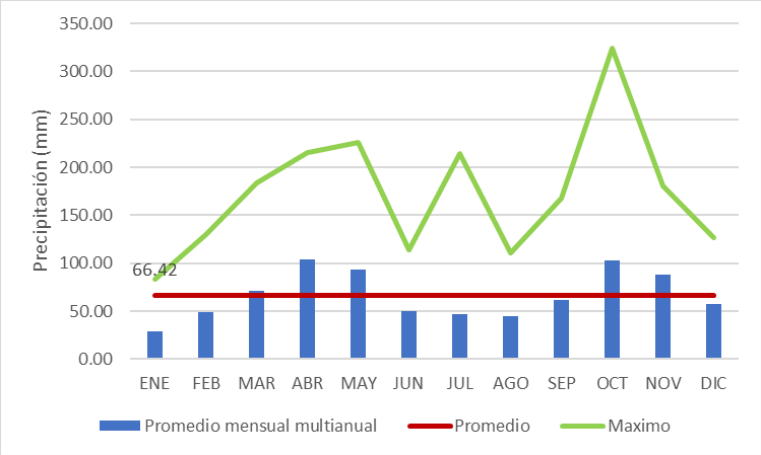


Figura 543. Distribución temporal precipitación total estación 2120136 Santa Inés. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120559 APTO GUAYMARAL - USTA

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación Apto Guaymaral - Usta (2120559). El presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de abril a mayo y octubre a noviembre. En octubre se presenta la precipitación más alta con un valor de 104,43 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 32,67 mm. La precipitación media mensual multianual es de 67,69 mm y la precipitación total anual multianual es de 812,24 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en octubre 2007 se presentó el registro más alto con un valor de 287,9 mm. En la Figura 540 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación Apto. Guaymaral - Usta.

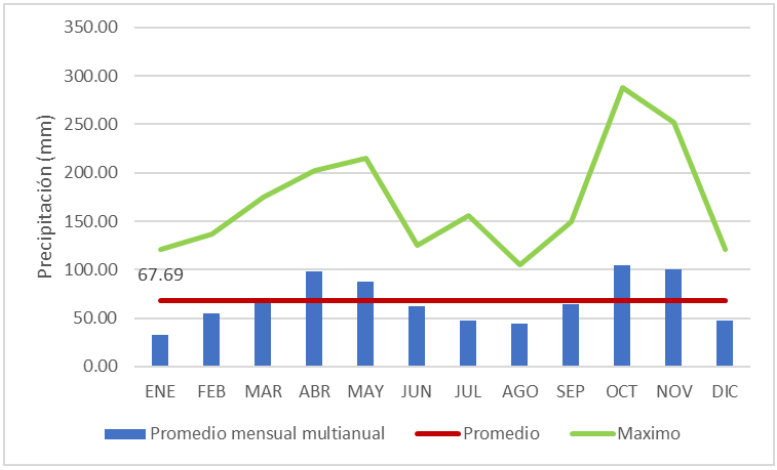


Figura 544. Distribución temporal precipitación total estación 2120559 Apto. Guaymaral - Usta. El Periodo 1987 - 2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 21201210 HATO EL

La distribución temporal de los registros de precipitación de la estación El Hato presenta un comportamiento de tipo bimodal con valores más altos que el promedio en el periodo de abril a julio y octubre. En mayo se presenta la precipitación más alta con un valor de 120,38 mm mientras que el registro más bajo se presenta en enero con un valor de 19,37 mm. La precipitación media mensual multianual es de 68,98 mm y la precipitación total anual multianual es de 827,73 mm. De la revisión a los registros máximos de precipitación total para el periodo de análisis, se identificó que en abril de 2011 se presentó el registro más alto con un valor de 208,5 mm. En la Figura 541 se presenta la distribución temporal de la precipitación total en la estación El Hato.

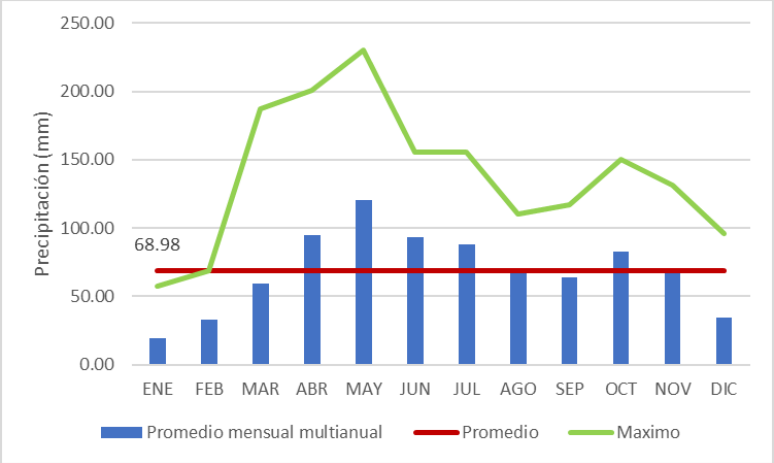
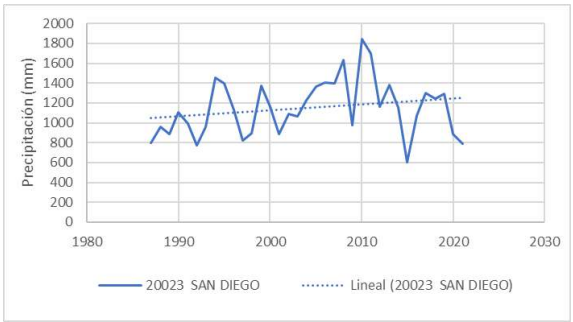
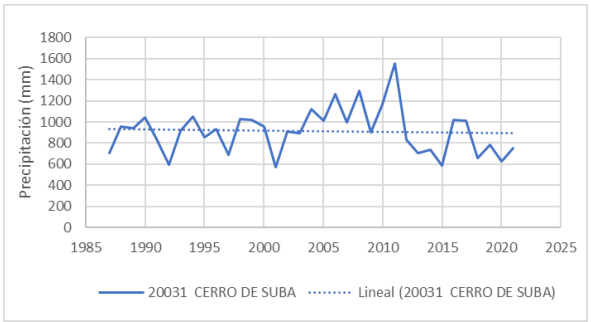


Figura 545. Distribución temporal precipitación total estación 21201210 El Hato. El Periodo 1987 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

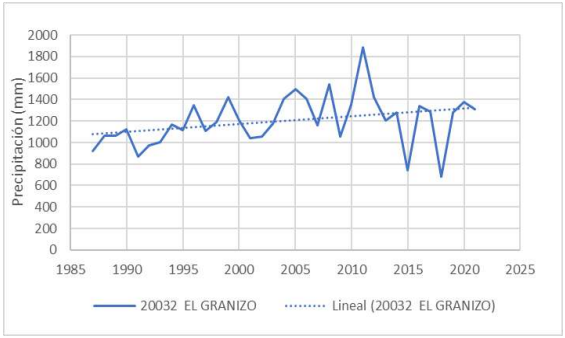
Con los registros del periodo común se graficó el comportamiento anual y la tendencia de las series de precipitación total mensual de las estaciones base. Los resultados se presentan en la Figura 542. En las gráficas de tendencia de las distintas estaciones se observa que todas tienen una tendencia positiva, pero con un comportamiento no estable o oscilante a lo largo de los años. Con esto se concluye que la precipitación es variable de acuerdo a la época del año y de que aumentará con el paso del tiempo.



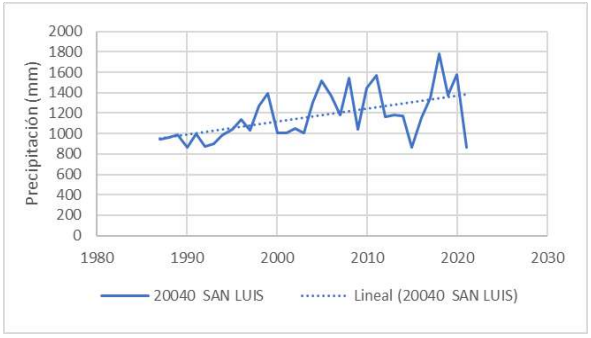
San Diego Tendencia: Creciente



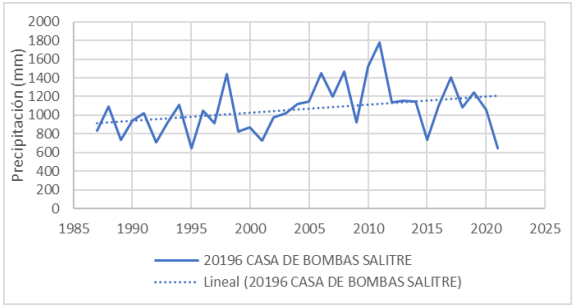
Cerro de Suba Tendencia: Estable



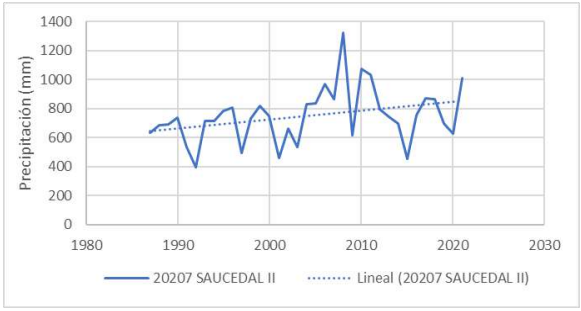
El Granizo Tendencia: Creciente



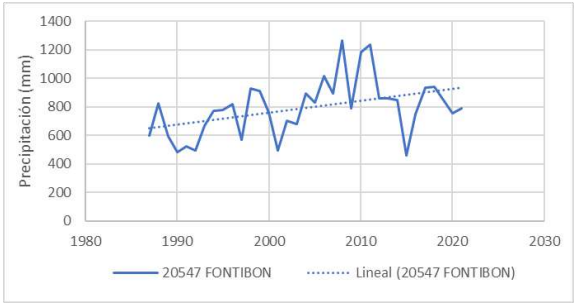
San Luis Tendencia: Creciente



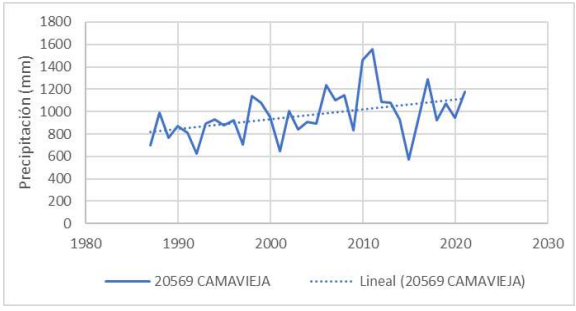
Casa de Bombas Tendencia: Creciente



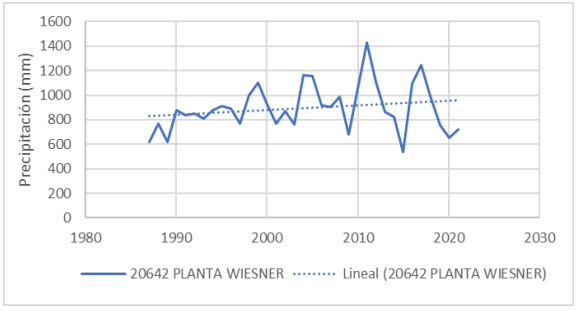
Saucedal II Tendencia: Creciente



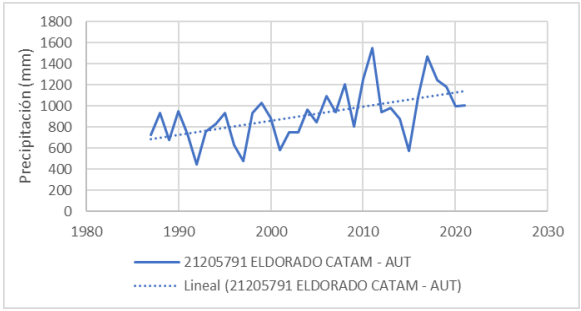
Fontibón Tendencia: Creciente



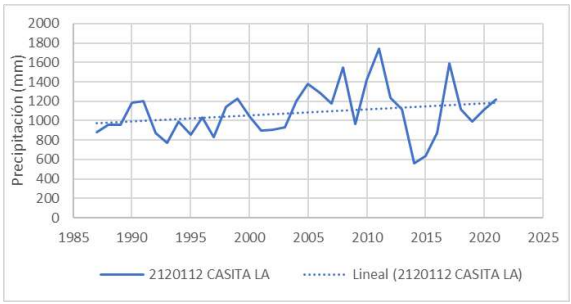
Camavieja Tendencia: Creciente



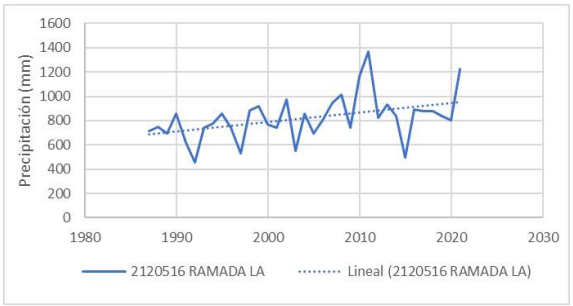
Planta Wiesner Tendencia: Creciente



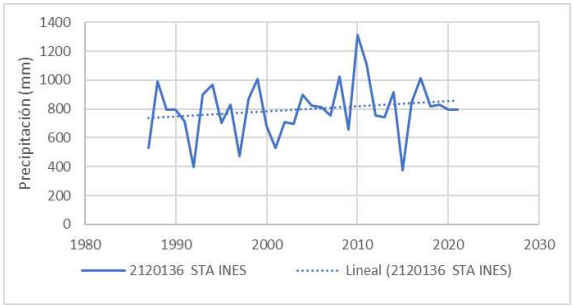
El Dorado Tendencia: Creciente



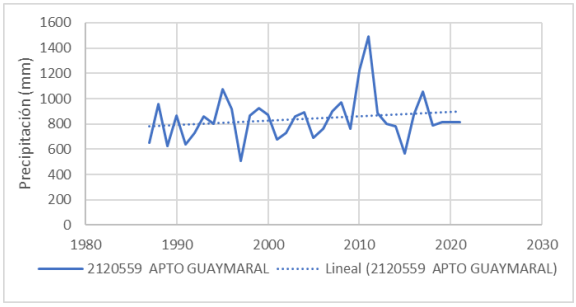
La Casita Tendencia: Creciente



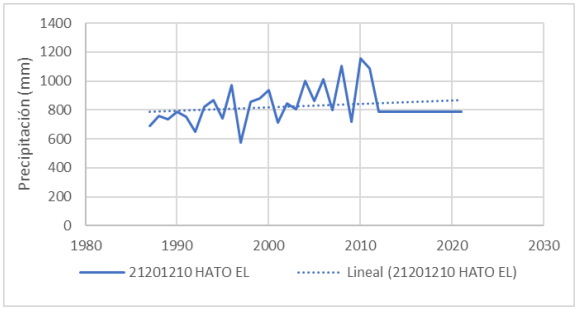
La Ramada Tendencia: Creciente



Santa Ines Tendencia: Creciente



Apto. Guaymaral Tendencia: Creciente



El Hato Tendencia: Creciente

Figura 546. Variación anual y tendencia de la precipitación total de las estaciones base.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.1.3. Distribución temporal de la evaporación total diaria

Para la caracterización de la evaporación total en la zona de proyecto se consideraron dos estaciones y se estableció a partir de los registros recopilados un periodo común entre los años 1991 - 2019, en la Figura 543 se presenta la localización de las estaciones analizadas. A continuación, se presentan los resultados de los análisis realizados para determinar la distribución temporal de este parámetro.

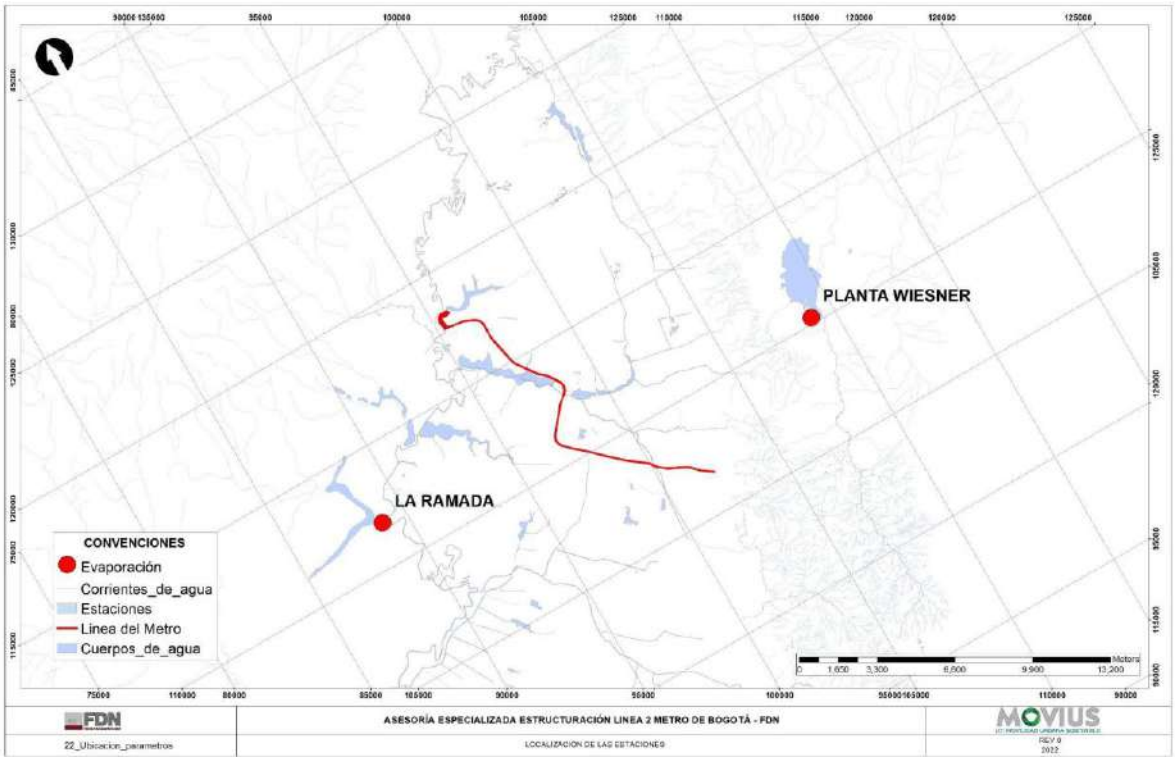


Figura 547. Localización de las estaciones analizadas con registros de evaporación.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 20642 PLANTA WIESNER

La evaporación en la estación Planta Wiesner tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 74,45 mm. En los meses de octubre a marzo los registros superan el promedio, mientras que en los meses de abril a septiembre, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 65,62 mm en el mes de junio y el máximo registro se presentó en el mes enero (90,85 mm). En la Figura 544 se presenta la distribución temporal de la evaporación en esta estación:

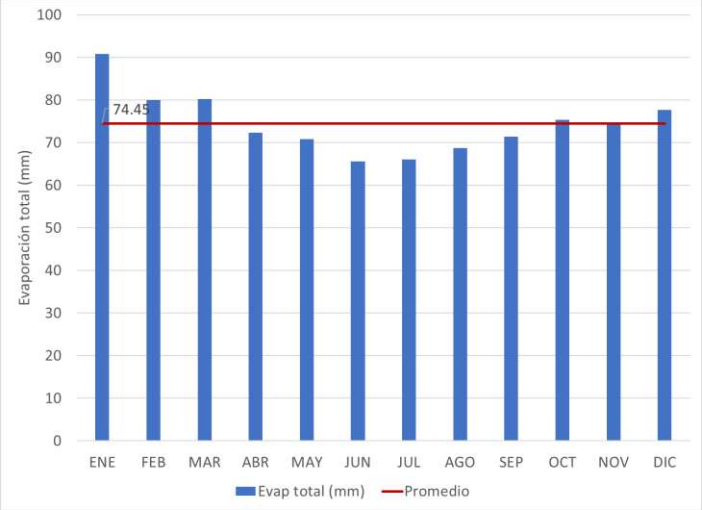


Figura 548. Distribución temporal de la evaporación total diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1991 - 2019
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120516 RAMADA LA

La evaporación en la estación La Ramada tiene un comportamiento bimodal, donde el valor promedio multianual es de 82,90 mm. En los meses de diciembre a marzo y de agosto a octubre los registros superan el promedio, mientras que en los meses de abril a julio y noviembre, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 73,02 mm en el mes de mayo y el máximo registro se presentó en el mes enero (93,85 mm). En la Figura 545 se presenta la distribución temporal de la evaporación en esta estación:

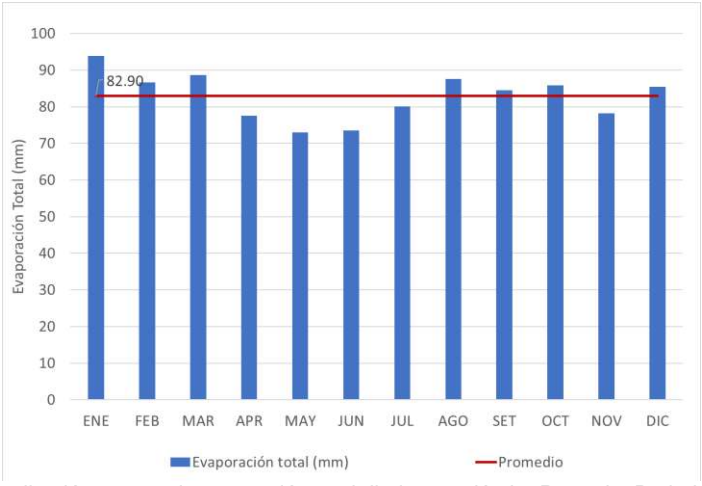


Figura 549. Distribución temporal evaporación total diaria estación La Ramada. Periodo 1991 - 2019.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.1.4. Distribución temporal de la temperatura

A continuación se presentan los resultados de los análisis realizados para determinar la distribución temporal de la temperatura media, mínima y máxima de las estaciones base y complementarias analizadas para el periodo común de análisis definido para los registros. En la Figura 546 se presenta la localización de las estaciones analizadas.

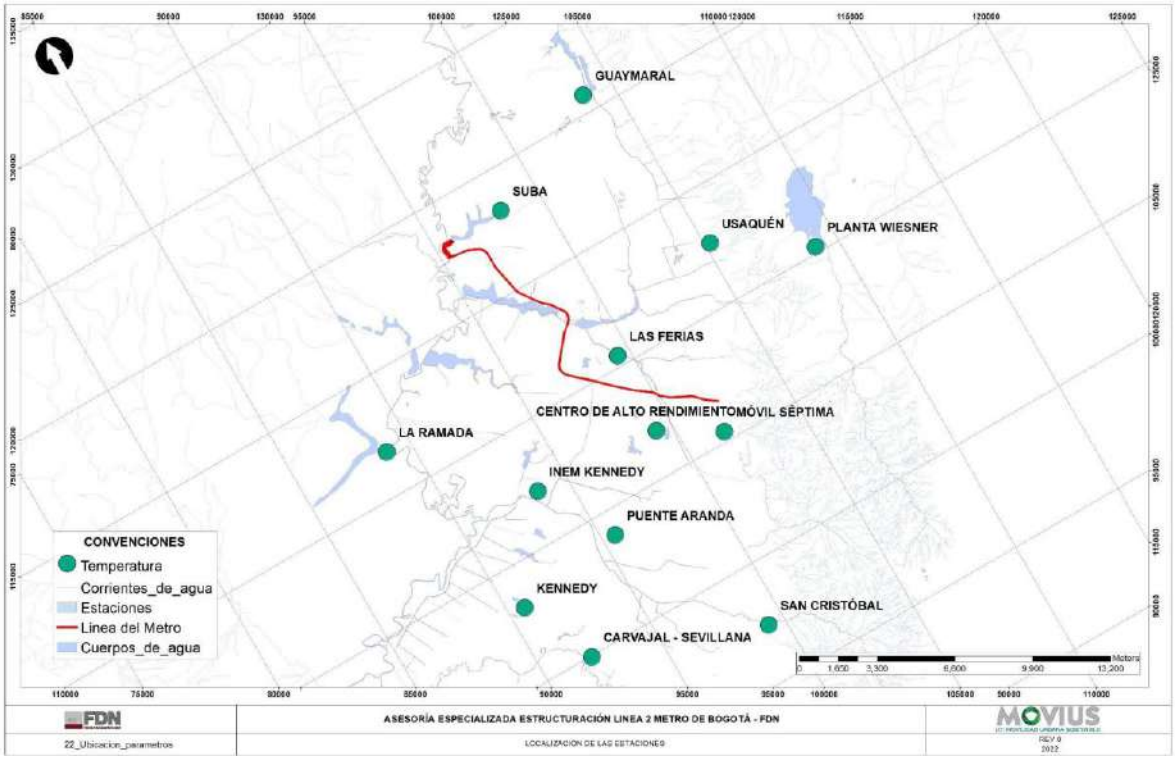


Figura 550. Localización de las estaciones de temperatura.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.1.4.1. Variación anual de la temperatura media

Tomando como base los registros históricos de temperatura media recopilados, se identificó que las estaciones Planta Wiesner, La Ramada e INEM Kenndy, cuentan con registros a partir del año 1956 hasta el año 2021, sin embargo, se presentan algunas discontinuidades en los registros y valores fuera de tendencia, por esta razón, se definió un periodo común entre los años 1998-2019, y se complementaron los datos faltantes. En el caso de otras estaciones que también registran este parámetro como lo son Carvajal - Sevillana, Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, Kennedy, Las Ferias, Ministerio de Ambiente, Móvil Séptima, Puente Aranda, San Cristóbal, Suba, Tunal y Usaquén, el registro de datos se tiene entre los años 2010 - 2021, sin embargo, estas se utilizaron para la caracterización de la temperatura como estaciones complementarias para dar soporte a los análisis, teniendo en cuenta que las estaciones base para la caracterización corresponden a Planta Wiesner, La Ramada e Inem Kennedy.

5.2.3.1.4.2. Distribución temporal de la temperatura media

- 20642 PLANTA WIESNER

Los registros de temperatura media de la estación Planta Wiesner (20642) tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 12,74°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y los registros menores se presentan en los meses de junio a enero. El registro promedio más alto corresponde al mes de abril con un valor de 13,45°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de julio con un valor de 12,06°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes de noviembre del año 2019 (22°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de diciembre del año 2008 (1,8 ºC). A continuación en la Figura 547, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.



Figura 551. Distribución temporal temperatura media diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 2120516 LA RAMADA

Los registros de temperatura media de la estación La Ramada (2120516) tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 14,3°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de abril a mayo y los registros menores se presentan en los meses de junio a marzo. El registro promedio más alto corresponde a los meses de abril y mayo con un valor de 14,61°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de julio con un valor de 13,9°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes enero del año 2008 (26,6°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de enero del año 2012 (0ºC). A continuación en la Figura 548, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.



Figura 552. Distribución temporal temperatura media diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 21206560 INEM KENNEDY

Los registros de temperatura media de la estación Inem Kennedy (21206560) tienen un comportamiento bimodal, con un valor promedio multianual de 13,5°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de abril a junio y octubre a noviembre, y los registros menores se presentan en los meses de julio a septiembre y diciembre a marzo. El registro promedio más alto corresponde al mes de mayo con un valor de 14,08°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de enero con un valor de 12,95°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes febrero del año 2007 (22,8°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de enero del año 2001 (5,4ºC). A continuación en la Figura 549, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

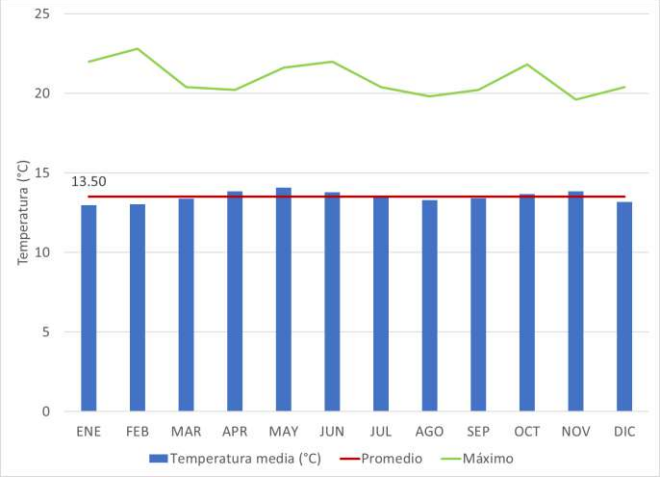


Figura 553. Distribución temporal temperatura media diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- CARVAJAL-SEVILLANA

Los registros de temperatura media de la estación Carvajal - Sevillana tienen un comportamiento bimodal, con un valor promedio multianual de 15,58°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de marzo a agosto y octubre a noviembre y los registros menores se presentan en los meses de septiembre y de diciembre a febrero. El registro promedio más alto corresponde al mes de marzo con un valor de 15,58°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de septiembre con un valor de 15,49°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes abril del año 2019 (18,5°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de enero del año 2017 (11,6 ºC). A continuación en la Figura 550, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

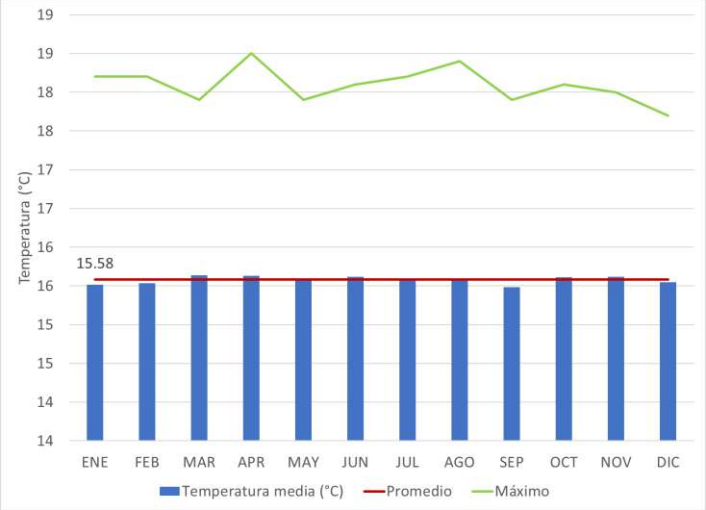


Figura 554. Distribución temporal temperatura media diaria estación Carvajal-Sevillana. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO

Los registros de temperatura media de la estación Centro de alto rendimiento tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 14,88°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y los registros menores se presentan en los meses de junio a enero. El registro promedio más alto corresponde al mes de mayo con un valor de 15,26°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de diciembre con un valor de 14,62°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes marzo del año 2016 (17,8°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de octubre del año 2011 (11,3 ºC). A continuación en la Figura 551, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.



Figura 555. Distribución temporal temperatura media diaria estación Centro de Alto Rendimiento. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- GUAYMARAL

Los registros de temperatura media de la estación Guaymaral tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 14,65°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y los registros menores se presentan en los meses de junio a enero. El registro promedio más alto corresponde al mes de marzo con un valor de 15,16°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de julio con un valor de 14,2°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes febrero del año 2016 (17,9°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de octubre del año 2011 (11,2 ºC). A continuación en la Figura 552, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

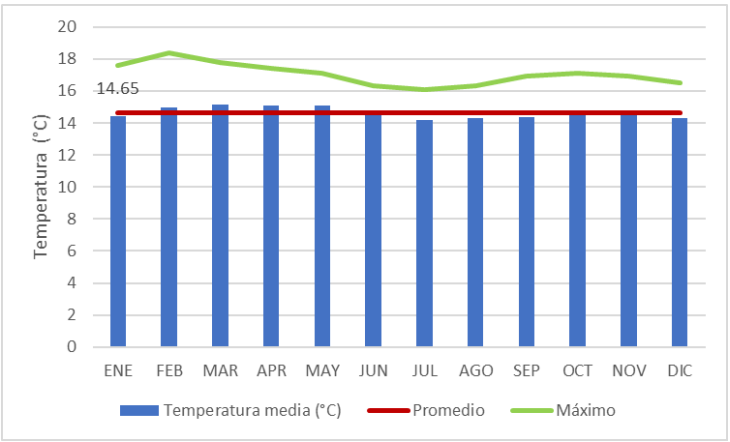


Figura 556. Distribución temporal temperatura media diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- KENNEDY

Los registros de temperatura media de la estación Kennedy tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 15,18°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y los registros menores se presentan en los meses de junio a enero. El registro promedio más alto corresponde a los meses de abril y mayo con un valor de 15,33°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de enero con un valor de 14,94°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes diciembre del año 2019 (20,6°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de octubre del año 2011 (11,2 ºC). A continuación en la Figura 553, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

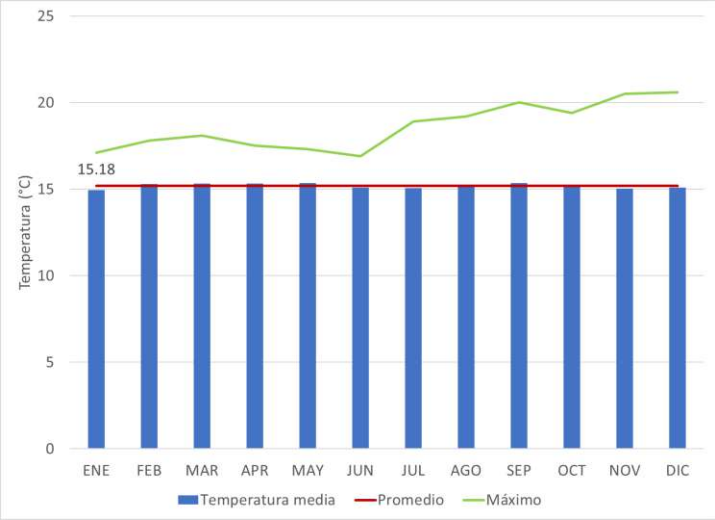


Figura 557. Distribución temporal temperatura media diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- MÓVIL SÉPTIMA

Los registros de temperatura media de la estación Móvil Séptima tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 15,8°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de enero a mayo y diciembre, y los registros menores se presentan en los meses de junio a octubre y noviembre. El registro promedio más alto corresponde a los meses de abril y mayo con un valor de 16,1°C y el registro promedio mínimo se observa en los meses de julio y agosto con un valor de 15,3°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes enero del año 2016 (19,3°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de agosto del año 2012 (11,9 ºC). A continuación en la Figura 554, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

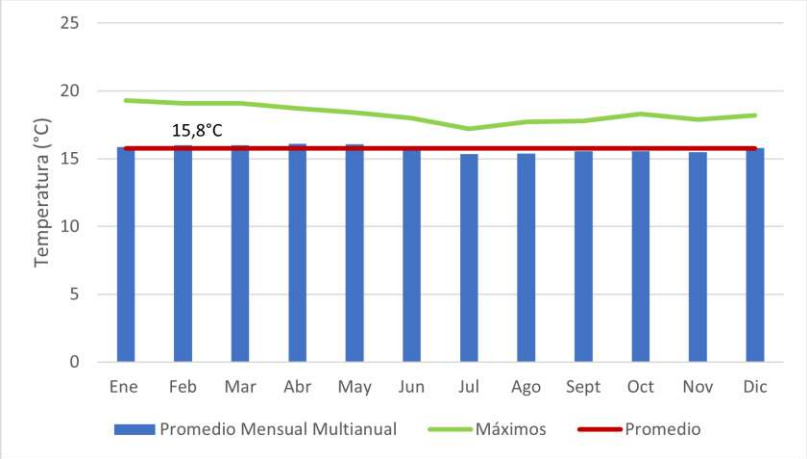


Figura 558. Distribución temporal temperatura media diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- PUENTE ARANDA

Los registros de temperatura media de la estación Puente Aranda tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 14,2°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y noviembre, y los registros menores se presentan en los meses de enero, junio a octubre y diciembre. El registro promedio más alto corresponde al mes de febrero con un valor de 14,5°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de julio con un valor de 13,68°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes febrero del año 2010 (17,5°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de octubre del año 2011 (10,6 ºC). A continuación en la Figura 555, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

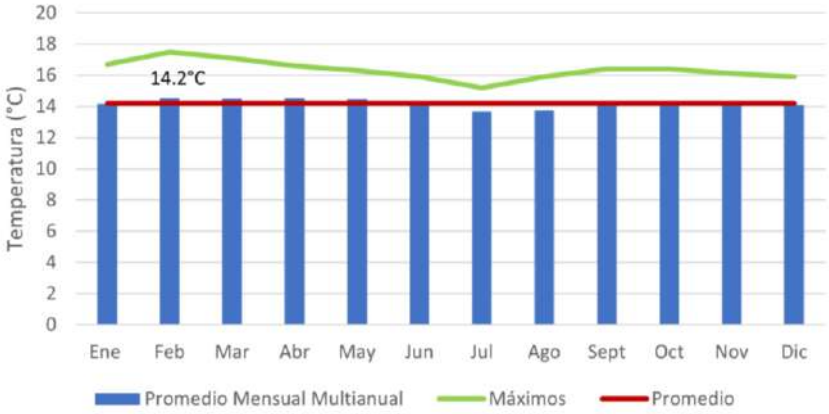


Figura 559. Distribución temporal temperatura media diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- SAN CRISTÓBAL

Los registros de temperatura media de la estación San Cristóbal tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 13,35°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y octubre, y los registros menores se presentan en los demás meses. El registro promedio más alto corresponde al mes de febrero con un valor de 13,8°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de julio con un valor de 12,77°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes febrero del año 2016 (16,5°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de agosto del año 2012 (10,2 ºC). A continuación en la Figura 556, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

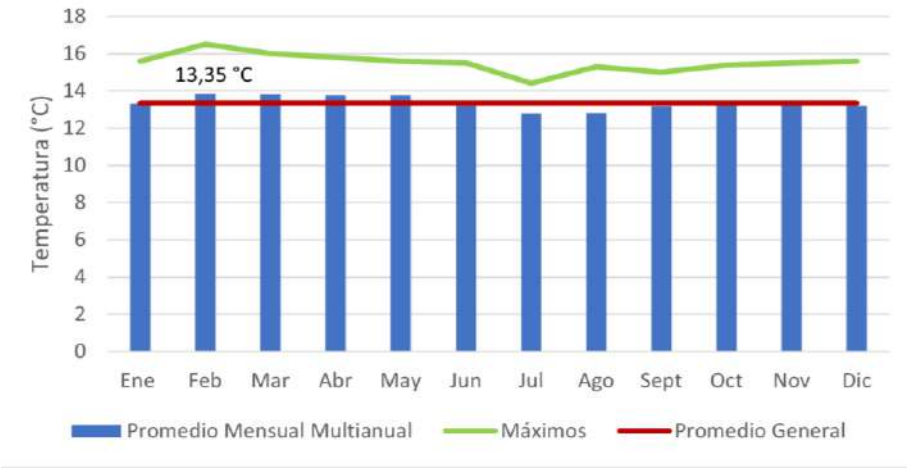


Figura 560. Distribución temporal temperatura media diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- SUBA

Los registros de temperatura media de la estación Suba tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 14,3°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo, y los registros menores se presentan en los meses de enero, junio a octubre y noviembre a diciembre. El registro promedio más alto corresponde a los meses de abril con un valor de 14,76°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de diciembre con un valor de 13,9°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes febrero del año 2016 (17,9°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de septiembre del año 2010 (11,4 ºC). A continuación en la Figura 557, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

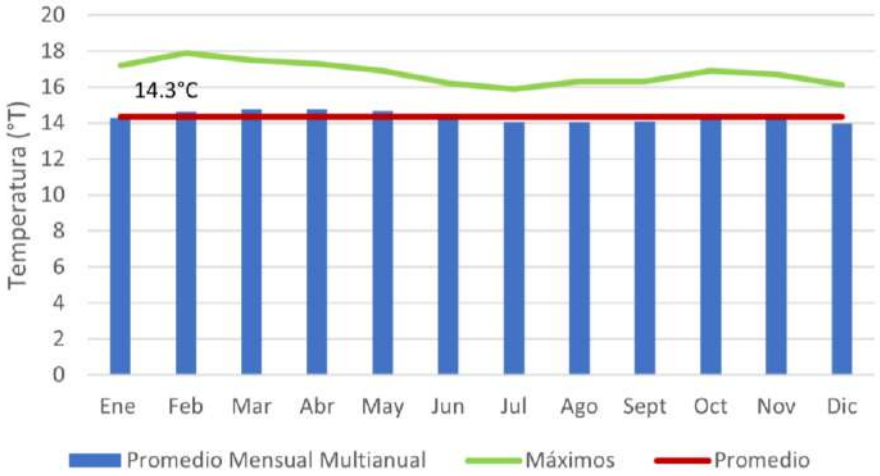


Figura 561. Distribución temporal temperatura media diaria estación Suba. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- USAQUÉN

Los registros de temperatura media de la estación Usaquén tienen un comportamiento monomodal, con un valor promedio multianual de 14,17°C. Los meses mayores al promedio corresponden a los meses de enero a junio y agosto, y los registros menores se presentan en los meses de julio a diciembre. El registro promedio más alto corresponde al mes de abril con un valor de 14,5°C y el registro promedio mínimo se observa en el mes de diciembre con un valor de 13,48°C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes febrero del año 2010 (17,7°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de octubre del año 2011 (10,7 ºC). A continuación en la Figura 558, se puede observar la distribución temporal de este parámetro para la estación.

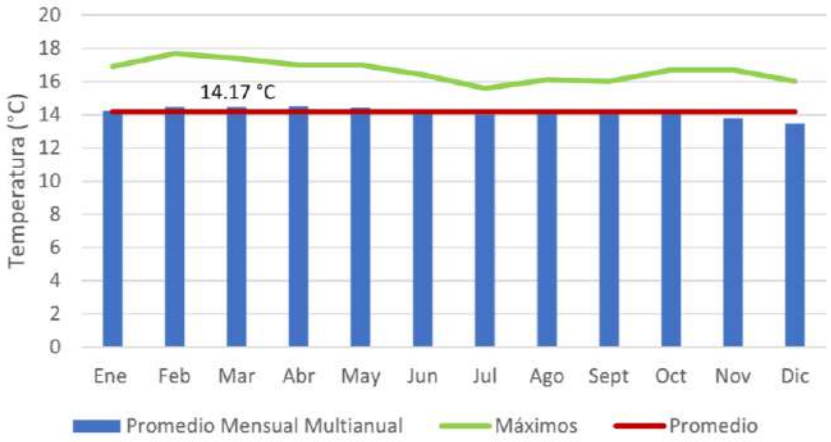
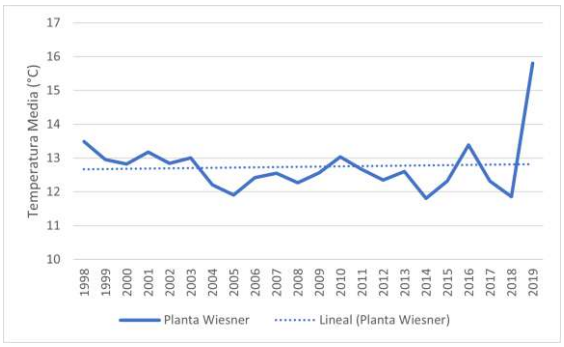
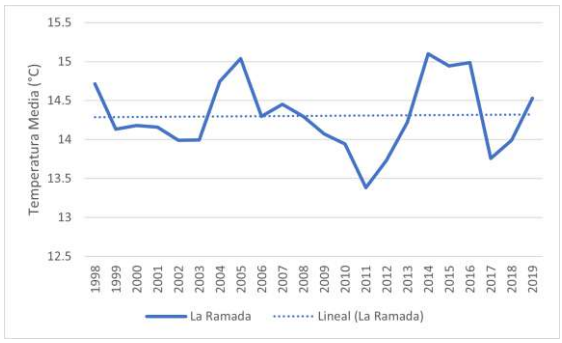


Figura 562. Distribución temporal temperatura media diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

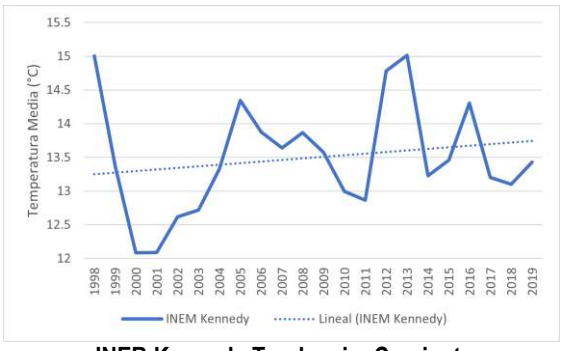
A partir de los registros del periodo común se definió el comportamiento anual y la tendencia de las series de temperatura media de las estaciones base y de las estaciones complementarias. Como resultado del análisis se identificó que la tendencia de la serie anual de temperatura para las tres estaciones base, es creciente (ver Figura 559), en cuanto a la tendencia de la mayoría de las estaciones complementarias esta también es creciente (ver Figura 560). En cuanto al comportamiento de estas estaciones se presenta oscilante a lo largo de los años. Con esto se concluye que la temperatura no es constante, y que aumentará con el paso del tiempo.



Planta Wiesner Tendencia: Creciente



La Ramada Tendencia: Creciente



INER Kennedy Tendencia: Creciente

Figura 563. Variación anual y tendencia de la temperatura media de las estaciones base. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

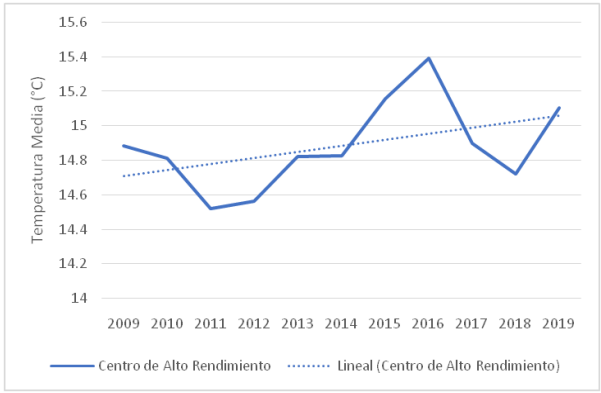
En la Tabla 312, se presentan los valores anuales de temperatura para el periodo común de las estaciones base. Se identifica que la estación con los mayores registros es La Ramada, y que su mayor registro fue de 15,1°C en el año 2014 y su menor registro 13,4°C en el año 2011, los menores registros anuales se presentaron en la estación INEM Kennedy, con el menor registro en el año 2001 con el valor de 5,4°C y el mayor registro 9,8°C en el año 2013.

Tabla 313. Valores anuales de temperatura media para estaciones base para caracterización.

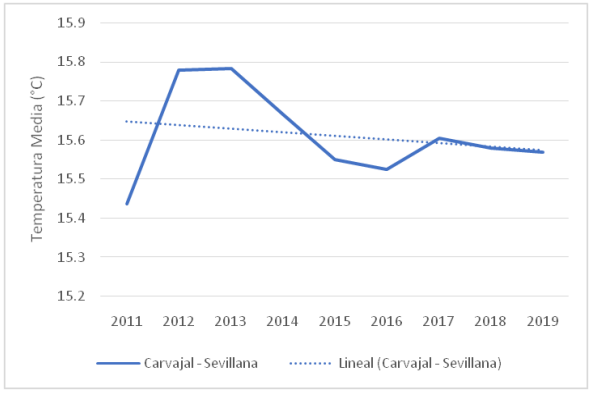
Año	Planta Wiesner (°C)	La Ramada (°C)	INEM Kennedy (°C)
1998	13,5	14,7	6,3
1999	13,0	14,1	8,6
2000	12,8	14,2	6,4
2001	13,2	14,2	5,4
2002	12,8	14,0	6,6
2003	13,0	14,0	6,0
2004	12,2	14,7	7,4
2005	11,9	15,0	8,2
2006	12,4	14,3	8,4
2007	12,6	14,5	6,4
2008	12,3	14,3	7,4
2009	12,6	14,1	7,4
2010	13,0	13,9	8,0
2011	12,7	13,4	7,2
2012	12,4	13,7	7,4
2013	12,6	14,2	9,8
2014	11,8	15,1	8,4
2015	12,3	14,9	9,0
2016	13,4	15,0	8,8
2017	12,3	13,8	9,4
2018	11,9	14,0	8,6

Año	Planta Wiesner (°C)	La Ramada (°C)	INEM Kennedy (°C)
2019	15,8	14,5	9,4

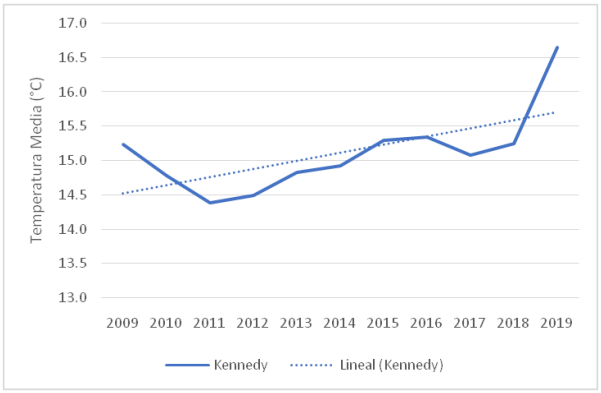
Fuente: UT MOVIUS, 2022.



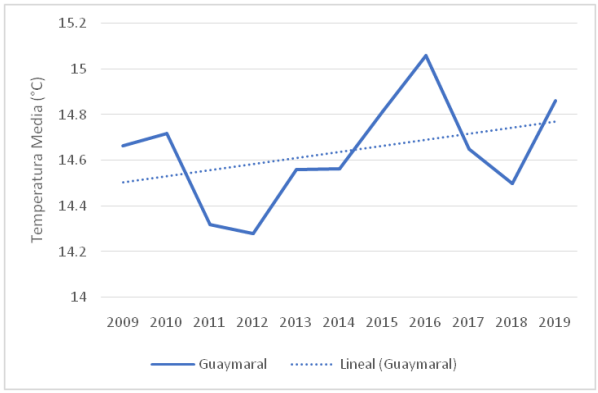
Centro de alto rendimiento Tendencia: Creciente



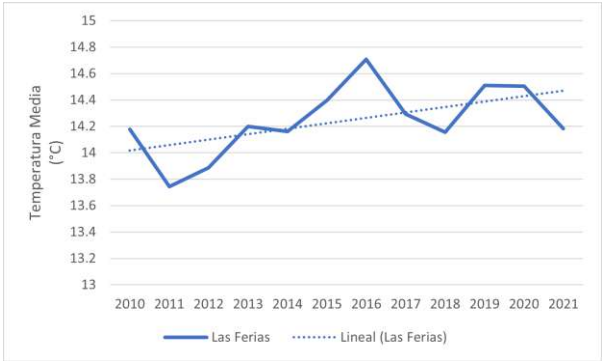
Carvajal - Sevillana Tendencia: Decreciente



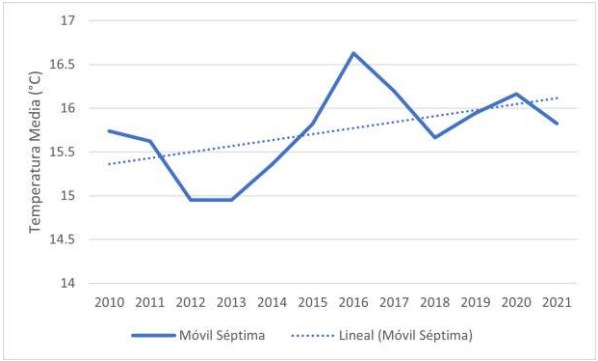
Kennedy Tendencia: Creciente



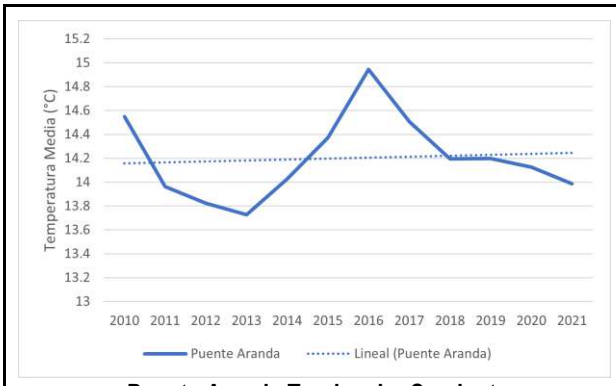
Guaymaral Tendencia: Creciente



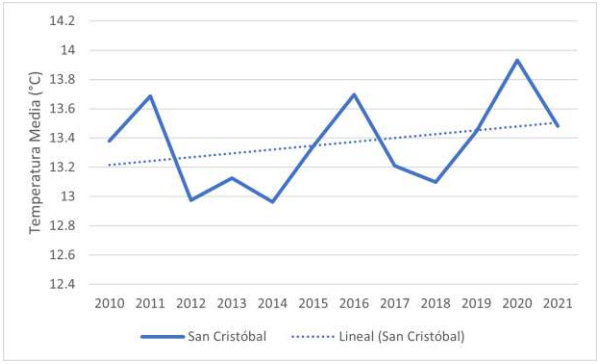
Las Ferias Tendencia: Creciente



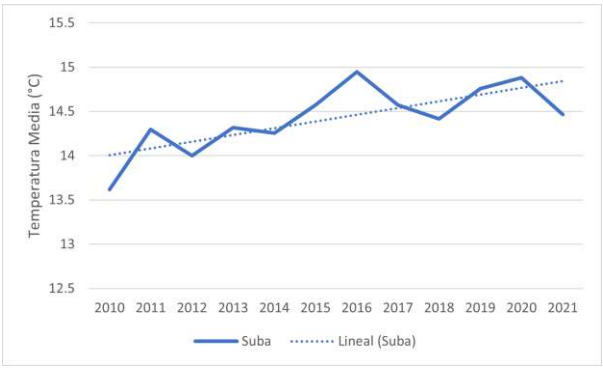
Móvil Séptima Tendencia: Creciente



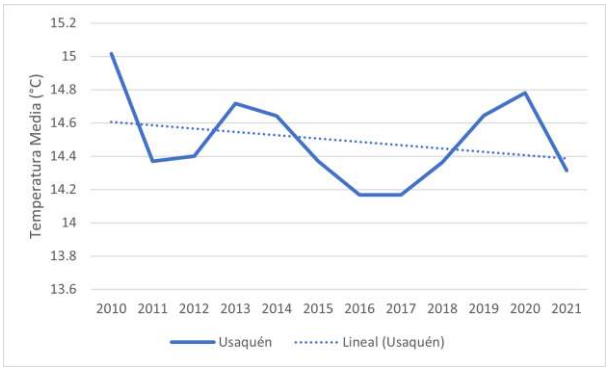
Puente Aranda Tendencia: Creciente



San Cristóbal Tendencia: Creciente



Suba Tendencia: Creciente



Usaquén Tendencia: Decreciente

Figura 564. Variación anual y tendencia de la temperatura media de las estaciones complementarias. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 313 se presentan los valores anuales de temperatura para el periodo común de las estaciones complementarias. Se identifica que la estación con los mayores registros es Móvil Séptima, y su mayor registro fue de 16,6°C en el año 2016 y su menor registro 15°C en los años 2012 y 2013, los menores registros anuales se presentaron en la estación San Cristóbal, con el menor registro en el año 2012 con un valor de 13°C y el mayor registro 13,9°C en el año 2020.

Tabla 314. Valores anuales de temperatura media para estaciones base para caracterización.

Año	Carvajal-Sevillana (°C)	Centro de Alto Rendimiento (°C)	Guaymaral (°C)	Kennedy (°C)	Las Ferias (°C)	Móvil Séptima (°C)	Puente Aranda (°C)	San Cristóbal (°C)	Suba (°C)	Usaquén (°C)
2010	15,3	14,8	14,7	14,8	14,2	15,7	14,5	13,4	13,6	15,0
2011	15,4	14,5	14,3	14,4	13,7	15,6	14,0	13,7	14,3	14,4
2012	15,8	14,6	14,3	14,5	13,9	15,0	13,8	13,0	14,0	14,4
2013	15,8	14,8	14,6	14,8	14,2	15,0	13,7	13,1	14,3	14,7

Año	Carvajal-Sevillana (°C)	Centro de Alto Rendimiento (°C)	Guaymaral (°C)	Kennedy (°C)	Las Ferias (°C)	Móvil Séptima (°C)	Puente Aranda (°C)	San Cristóbal (°C)	Suba (°C)	Usaquén (°C)
2014	15,7	14,8	14,6	14,9	14,2	15,4	14,0	13,0	14,3	14,6
2015	15,6	15,2	14,8	15,3	14,4	15,8	14,4	13,3	14,6	14,4
2016	15,5	15,4	15,1	15,3	14,7	16,6	14,9	13,7	14,9	14,2
2017	15,6	14,9	14,6	15,1	14,3	16,2	14,5	13,2	14,6	14,2
2018	15,6	14,7	14,5	15,2	14,2	15,7	14,2	13,1	14,4	14,4
2019	15,6	15,1	14,9	16,6	14,5	15,9	14,2	13,4	14,8	14,6
2020	15,5	15,0	15,0	16,2	14,5	16,2	14,1	13,9	14,9	14,8
2021	15,6	14,8	14,7	15,5	14,2	15,8	14,0	13,5	14,5	14,3

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.1.4.3. Distribución temporal de la temperatura máxima diaria

A partir de los registros de temperatura máxima diaria del período histórico de las estaciones recopiladas, se realizó la distribución temporal de este parámetro, considerando el valor máximo mensual de cada mes. Así mismo, se presenta el promedio de los valores máximos y el máximo de la serie de temperaturas máximas recopiladas durante cada mes. A continuación, se presenta lo descrito para cada una de las estaciones tomadas para la caracterización del parámetro.

- 2120516 LA RAMADA

La estación La Ramada tiene un comportamiento monomodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 20,16°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de enero con un valor de 21,17°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es julio con un valor de 18,89°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a octubre a abril y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de mayo a septiembre (ver Figura 561).



Figura 565. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 20642 PLANTA WIESNER

La estación Planta Wiesner tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 14,75°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de abril con un valor de 15,45°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es agosto con un valor de 14,2°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a febrero a mayo y octubre a noviembre, y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de junio a septiembre y diciembre a enero (ver Figura 562).

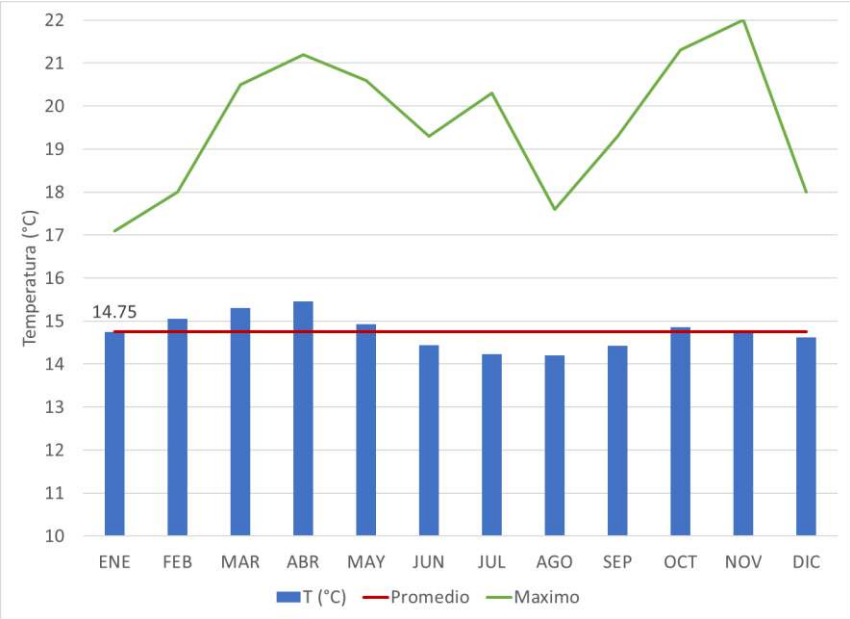


Figura 566. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 21206560 INEM KENNEDY

La estación Inem Kennedy tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 16,49°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de octubre con un valor de 17,28°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es agosto con un valor de 15,91°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a enero, mayo, octubre y noviembre y los demás meses están por debajo del promedio (ver Figura 563).

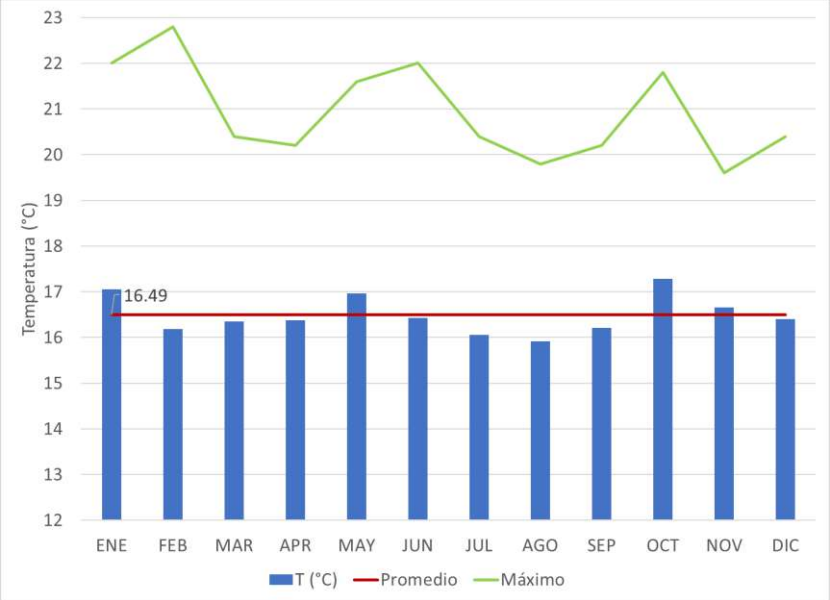


Figura 567. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- CARVAJAL SEVILLANA

La estación Carvajal Sevillana tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 17,24°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de abril con un valor de 17,44°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es septiembre con un valor de 17,05°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a abril, junio a agosto y octubre, mientras que los demás meses están por debajo del promedio (ver Figura 564).

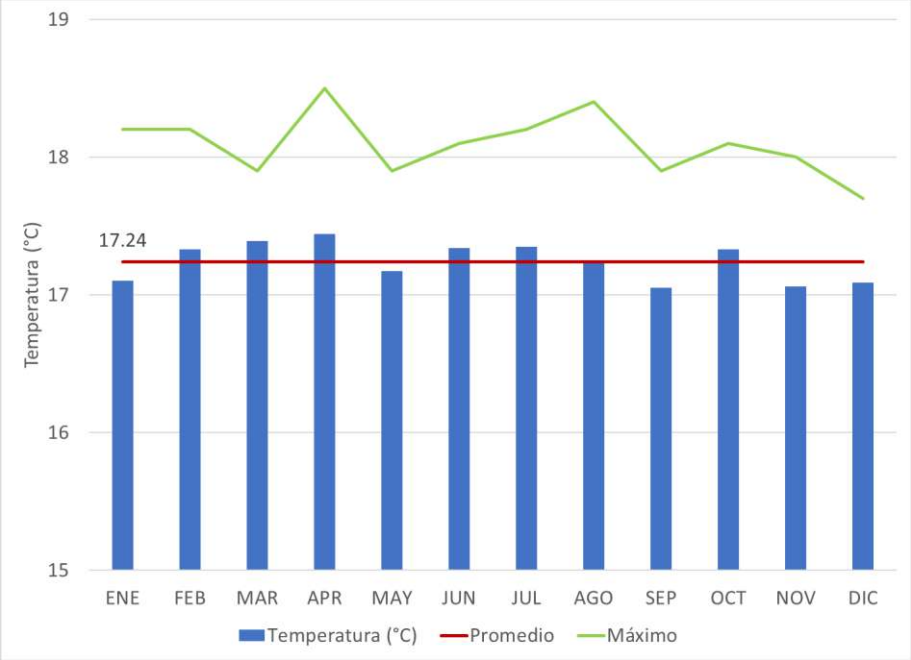


Figura 568. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Carvajal Sevillana. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO

La estación Centro de alto rendimiento tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 16,31°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de mayo con un valor de 16,75°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es julio con un valor de 15,77°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a febrero a mayo y octubre a noviembre y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de junio a septiembre y diciembre a enero (ver Figura 565).

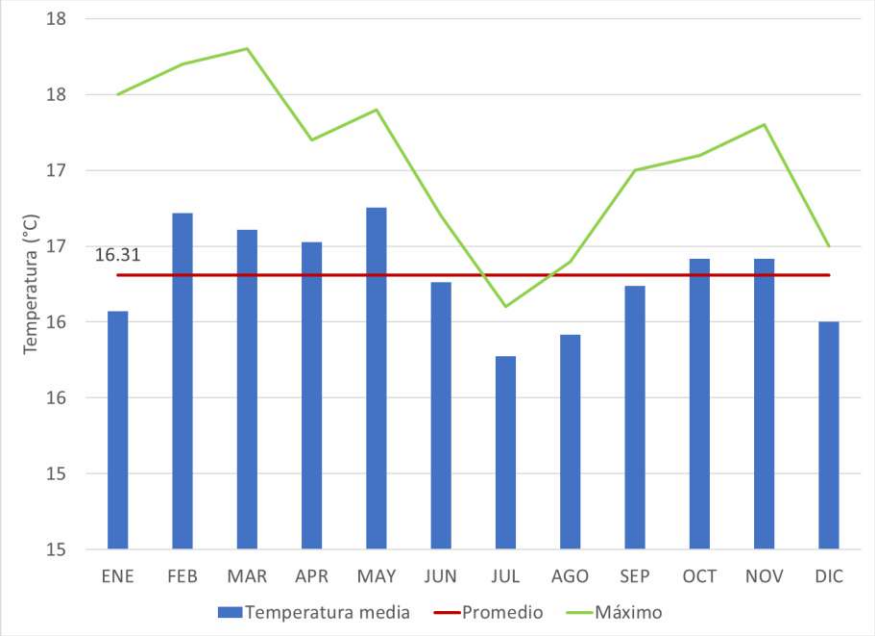


Figura 569. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Centro de alto rendimiento. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- GUAYMARAL

La estación Guaymaral tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 12,99°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,69°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es enero con un valor de 12,52°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a febrero a junio y noviembre, los demás meses tienen temperaturas máximas por debajo del promedio (ver Figura 566).

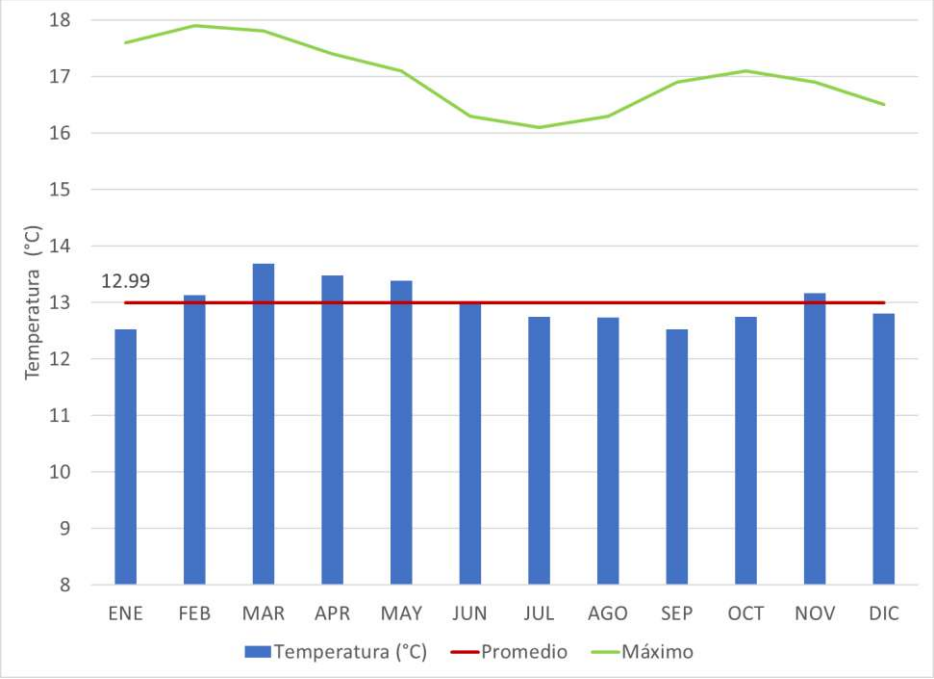


Figura 570. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- KENNEDY

La estación Kennedy tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 16,18°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de septiembre con un valor de 16,78°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es agosto con un valor de 14,55°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a febrero a abril, junio y septiembre a diciembre, los demás meses tienen temperaturas máximas por debajo del promedio (ver Figura 567).



Figura 571. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- MÓVIL SÉPTIMA

La estación Móvil séptima tiene un comportamiento monomodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 16,61°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de mayo con un valor de 17,08°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es julio con un valor de 16,07°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a enero a mayo y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de junio a diciembre (ver Figura 568).

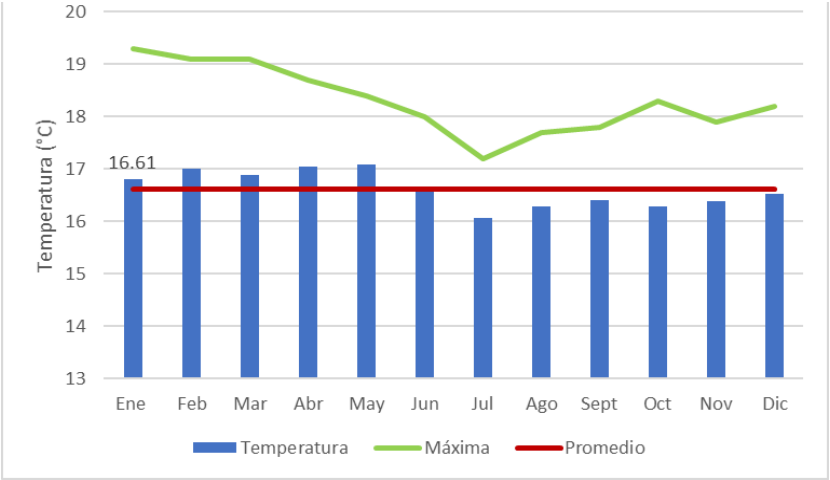


Figura 572. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- PUENTE ARANDA

La estación Puente Aranda tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 15,38°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de mayo con un valor de 15,76°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es julio con un valor de 14,76°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a febrero a mayo y noviembre, los demás meses tienen temperaturas máximas por debajo del promedio (ver Figura 569).

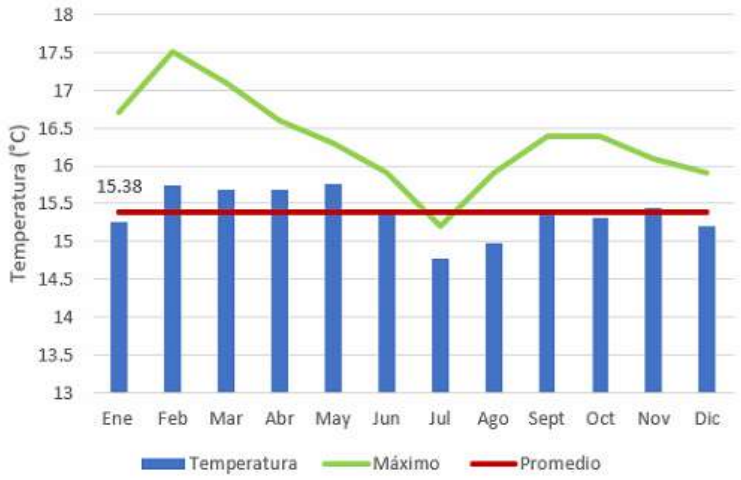


Figura 573. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- SAN CRISTÓBAL

La estación San Cristóbal tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 11,19°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de marzo con un valor de 12,66°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es agosto con un valor de 11,32°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a los meses de enero a mayo y octubre a diciembre, los demás meses tienen temperaturas máximas por debajo del promedio (ver Figura 570).

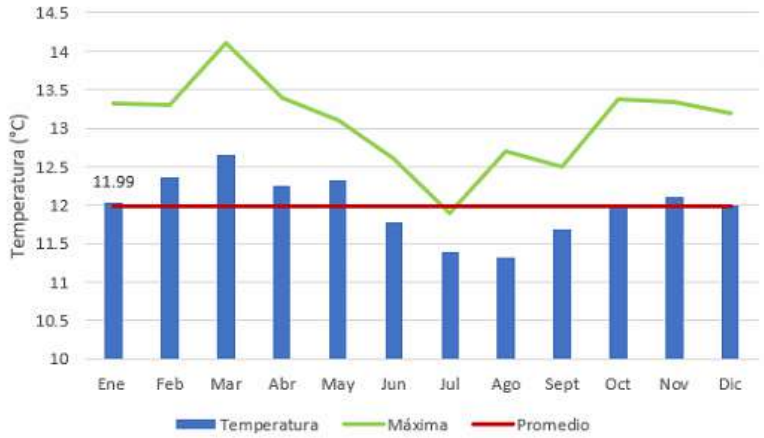


Figura 574. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- SUBA

La estación Suba tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 15,62°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de mayo con un valor de 16,09°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es julio con un valor de 15,07°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a enero a mayo y noviembre, los demás meses tienen temperaturas máximas por debajo del promedio (ver Figura 571).

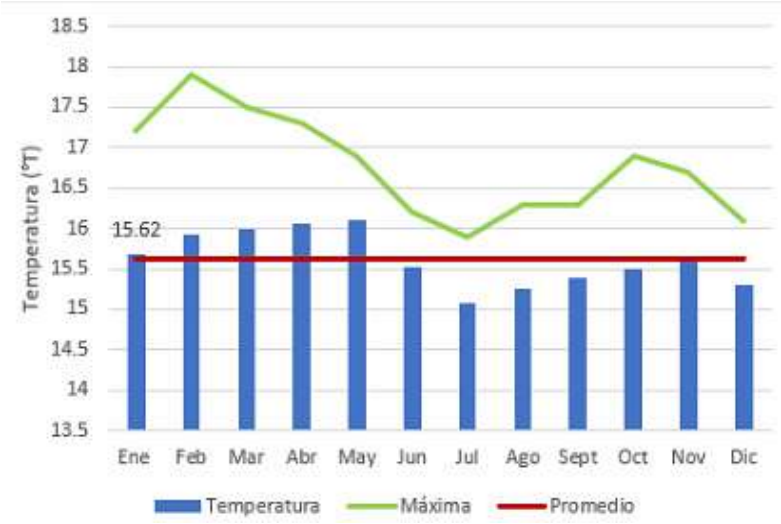


Figura 575. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Suba. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- USAQUÉN

La estación Usaquén tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura máxima, con un valor promedio multianual de 15,41°C. El mes con mayor registro de temperatura máxima corresponde al mes de mayo con un valor de 15,46°C y el mes con menor registro de temperatura máxima es julio con un valor de 14,96°C. Los meses con temperaturas máximas mayores al promedio corresponden a enero a junio y noviembre, los demás meses tienen temperaturas máximas por debajo del promedio (ver Figura 572).

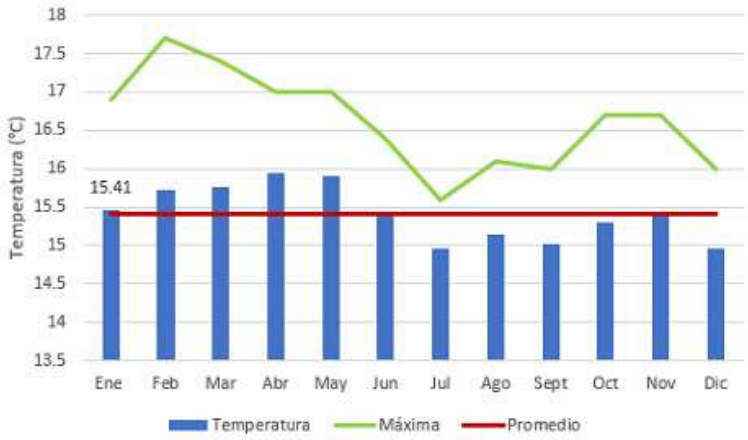
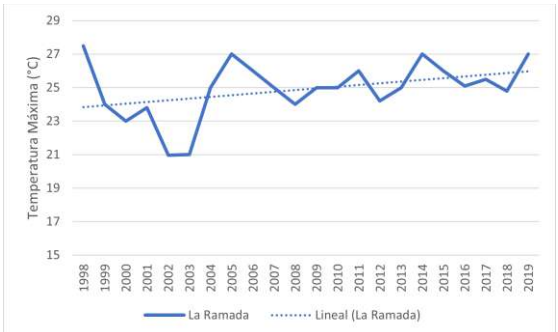
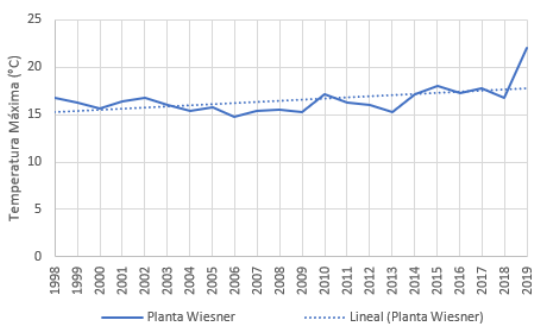


Figura 576. Distribución temporal temperatura máxima diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

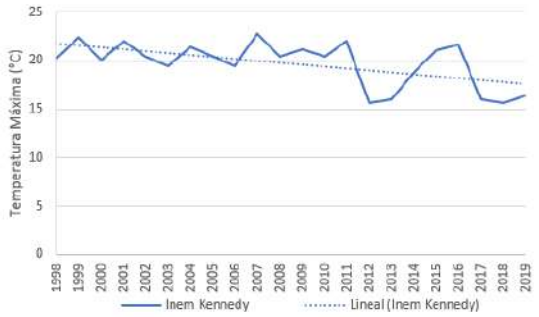
Con los registros del periodo común se definió el comportamiento anual y la tendencia de las series de temperatura máxima de las estaciones base y complementarias evaluadas. De este análisis se identificó una tendencia creciente para las series de temperatura máxima de las estaciones previamente mencionadas (ver Figura 573). Observando las tendencias, la mayoría son crecientes, con la excepción de Inem Kennedy, Puente Aranda y Usaquén.



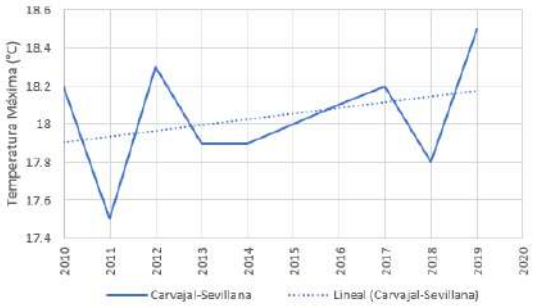
Estación base La Ramada Tendencia: Creciente



Estación base Planta Wiesner Tendencia: Creciente



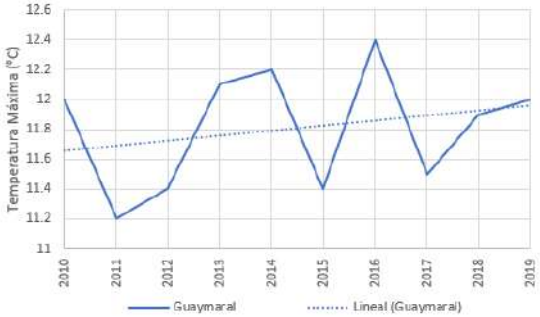
Estación base Inem Kennedy Tendencia: Decreciente



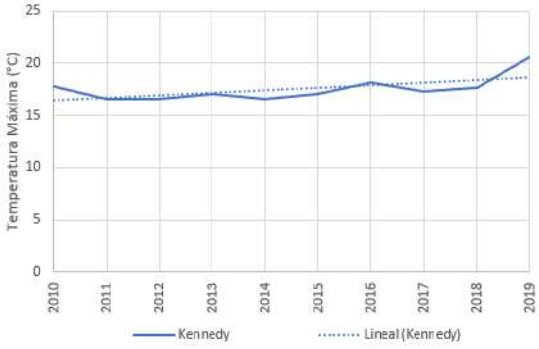
Estación complementaria Carvajal - Sevillana Tendencia: Creciente



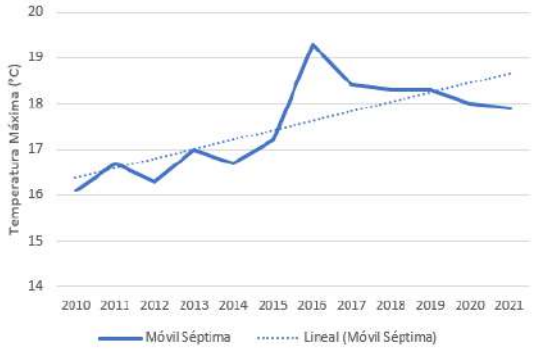
Estación complementaria Centro de alto rendimiento Tendencia: Creciente



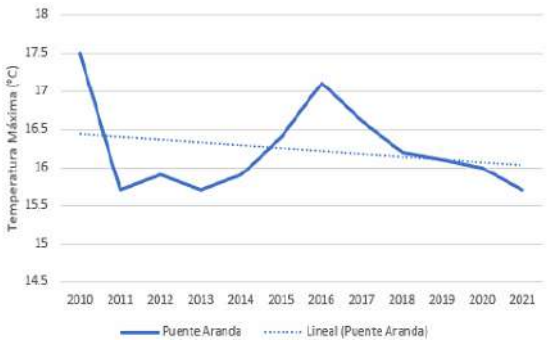
Estación complementaria Guaymaral Tendencia: Creciente



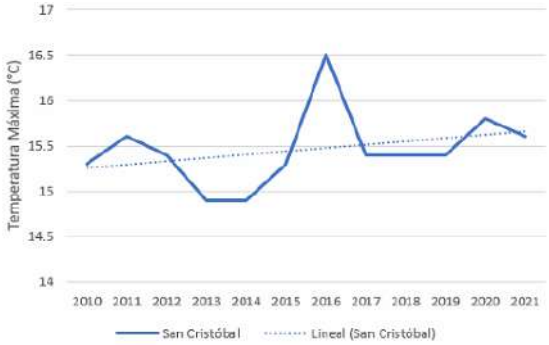
Estación complementaria Kennedy Tendencia: Creciente



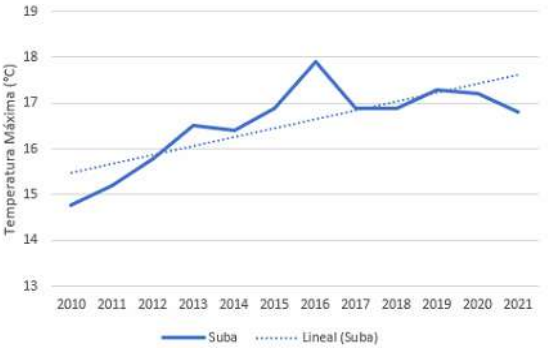
Estación complementaria Móvil séptima Tendencia: Creciente



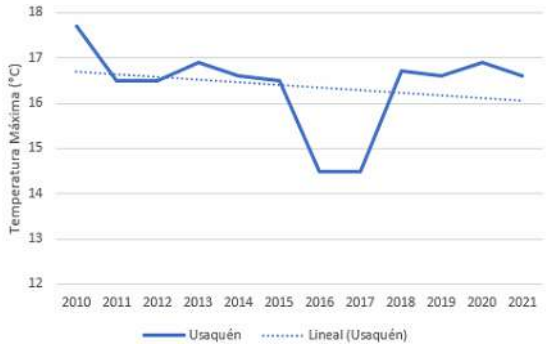
Estación complementaria Puente Aranda Tendencia: Decreciente



Estación complementaria San Cristóbal Tendencia: Creciente



Estación complementaria Suba Tendencia: Creciente



Estación complementaria Usaquén Tendencia: Decreciente

Figura 577. Variación anual y tendencia de la temperatura máxima. Estaciones base (Periodo 1998-2019) y Estaciones complementarias (2010-2021).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.1.4.4. Distribución temporal de la temperatura mínima diaria

A partir de los registros de temperatura diaria del período histórico de las estaciones recopiladas, se realizó la distribución temporal de este parámetro, considerando el valor mínimo mensual de cada mes. Así mismo, se presenta el promedio de los valores mínimos y el máximo de la serie de temperaturas mínimas recopiladas durante cada mes. A continuación, se presentan los resultados de los análisis para cada una de las estaciones base y estaciones complementarias utilizadas para la caracterización del parámetro.

- 2120516 LA RAMADA

La estación La Ramada tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 9,21°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de mayo con un valor de 10,15°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es enero con un valor de 7,81°C. Los meses con temperaturas

mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de marzo a agosto y octubre a noviembre y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de diciembre a febrero y noviembre. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 574.



Figura 578. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación La Ramada. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 20642 PLANTA WIESNER

La estación Planta Wiesner tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 10,51°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de febrero con un valor de 11,12°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es agosto con un valor de 9,83°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y octubre a noviembre y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de junio a septiembre y diciembre a enero. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 575.

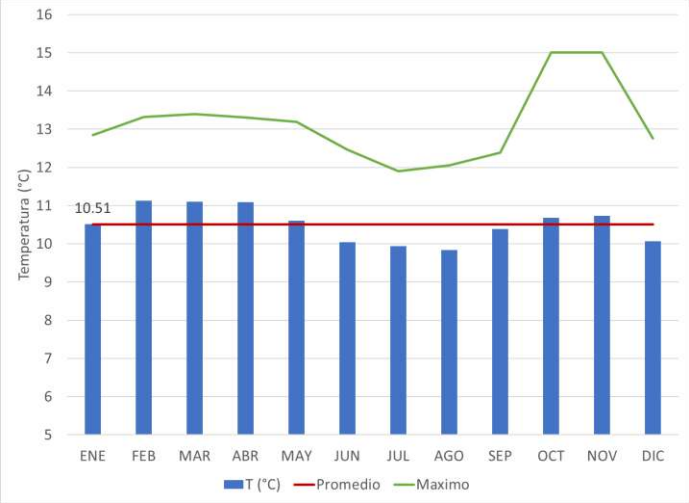


Figura 579. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Planta Wiesner. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- 21206560 INEM KENNEDY

La estación Inem Kennedy tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 10,85°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de mayo con un valor de 10,98°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es enero con un valor de 9,68°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de abril a agosto y noviembre y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de diciembre a marzo y octubre. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 576.



Figura 580. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Inem Kennedy. Periodo 1998-2019. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- CARVAJAL-SEVILLANA

La estación Carvajal - Sevillana tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 13,75°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de noviembre con un valor de 14,04°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es febrero con un valor de 13,44°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de abril a junio, agosto a septiembre y noviembre, los demás meses están por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 577.

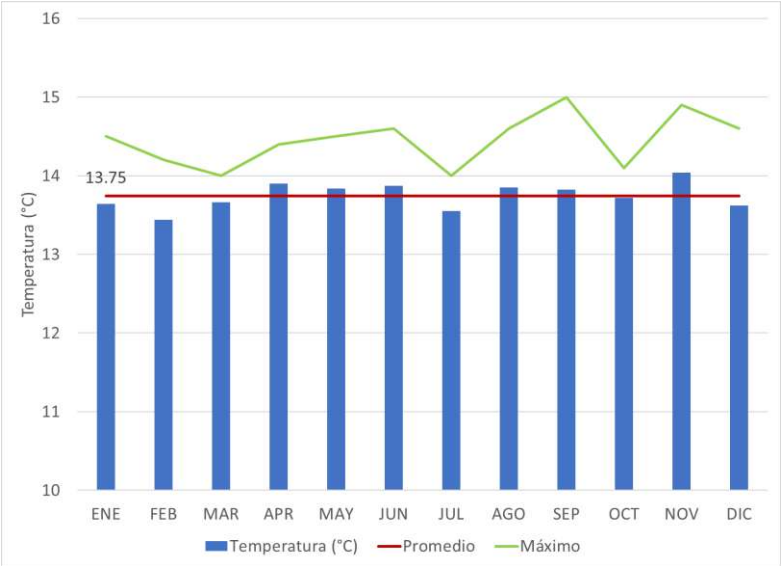


Figura 581. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Carvajal - Sevillana. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO

La estación Centro de alto rendimiento tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 13,17°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,57°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es septiembre con un valor de 12,82°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y noviembre, los demás meses presentan temperaturas por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 578.

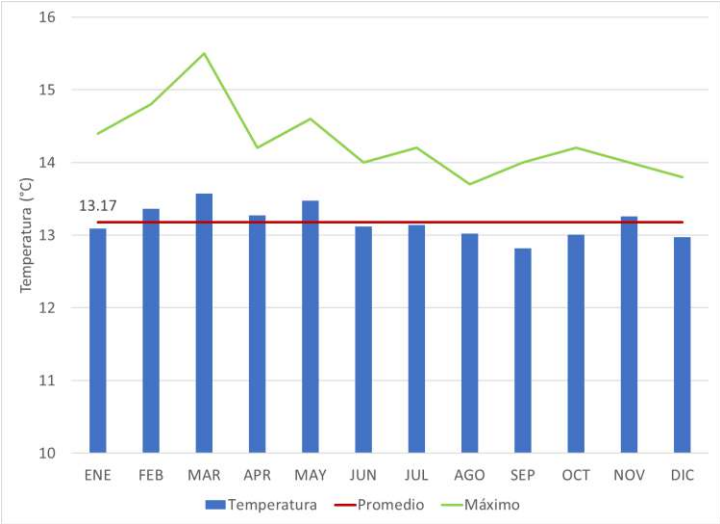


Figura 582. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Centro de Alto Rendimiento. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- GUAYMARAL

La estación Guaymaral tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 12,99°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,69°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es enero con un valor de 12,52°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a junio y noviembre, los demás meses presentan temperaturas por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 579.



Figura 583. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Guaymaral. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- KENNEDY

La estación Kennedy tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 13,39°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,91°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es agosto con un valor de 12,03°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de enero a abril, junio a julio y septiembre a diciembre, los demás meses presentan temperaturas por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 580.

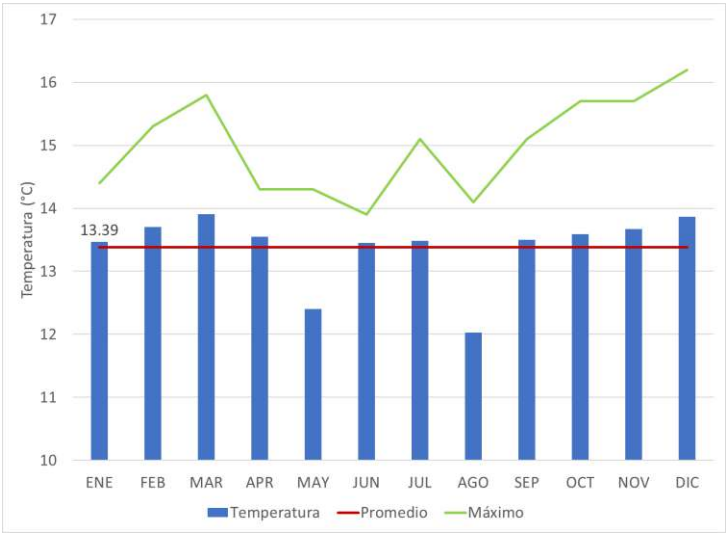


Figura 584. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Kennedy. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- MÓVIL SÉPTIMA

La estación Móvil Séptima tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 14,69°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de diciembre con un valor de 15,02°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es agosto con un valor de 14,26°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de enero a marzo, mayo y diciembre, los demás meses tienen temperaturas mínimas por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 581.

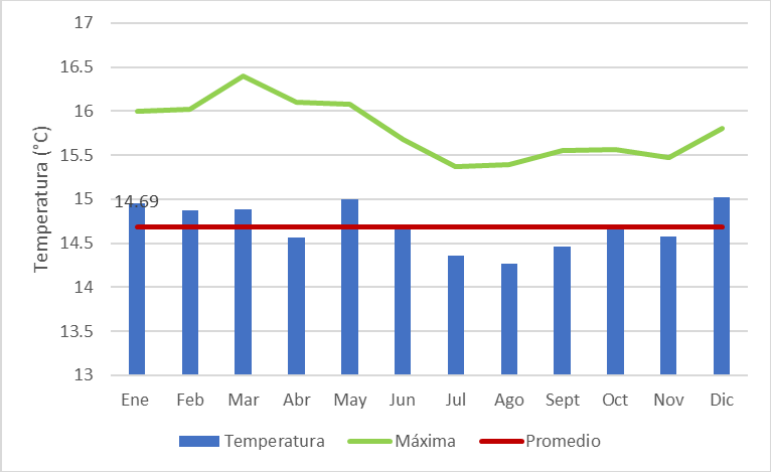


Figura 585. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Móvil Séptima. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- PUENTE ARANDA

La estación Puente Aranda tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 12,84°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,12°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es agosto con un valor de 12,27°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre, los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de junio a septiembre. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 582.

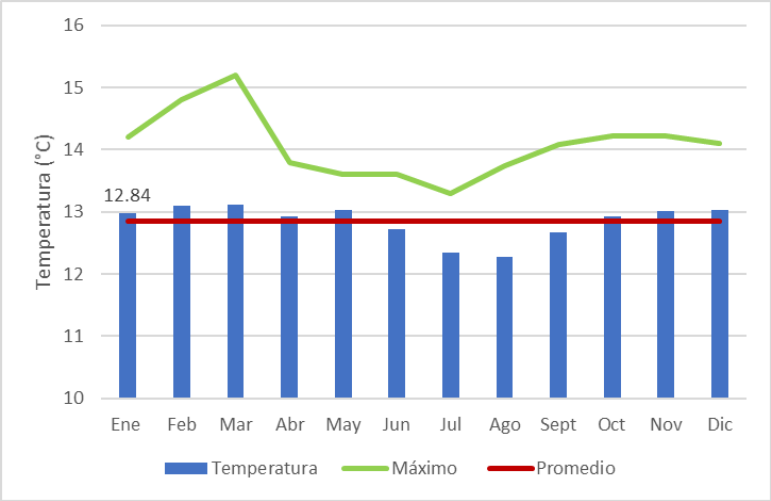


Figura 586. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Puente Aranda. Periodo 2010-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- SAN CRISTÓBAL

La estación San Cristóbal tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 11,99°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 12,66°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es agosto con un valor de 11,32°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de enero a mayo y octubre a diciembre, y los meses con registros menores al promedio corresponden a los meses de junio a septiembre. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 583.

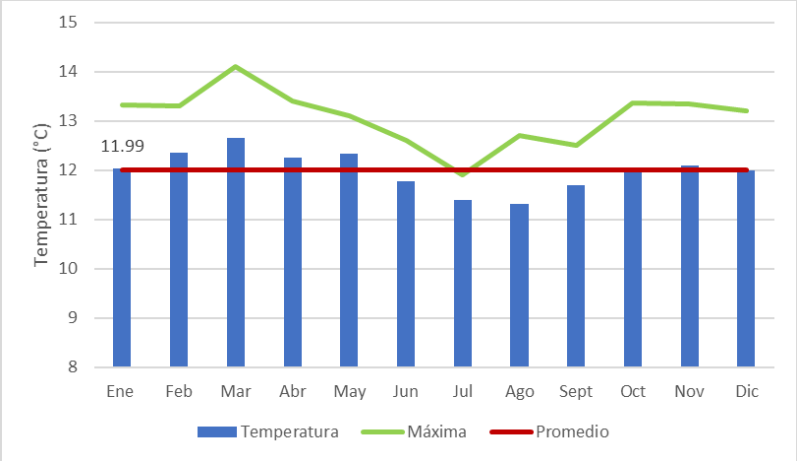


Figura 587. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación San Cristóbal. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- SUBA

La estación Suba tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 13,04°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,59°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es septiembre con un valor de 12,50°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de febrero a mayo y noviembre, los demás meses presentan temperaturas mínimas por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 584.

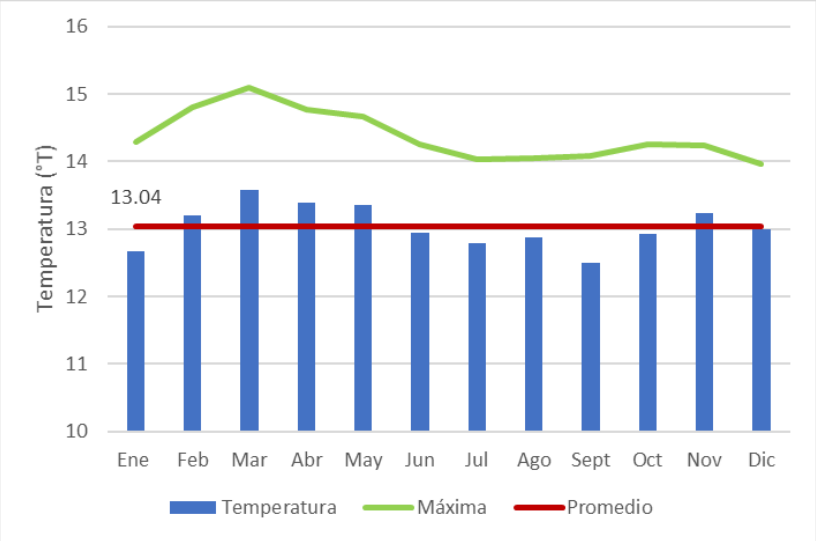


Figura 588. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Suba. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- USAQUÉN

La estación Usaquén tiene un comportamiento bimodal en sus registros de temperatura mínima, con un valor promedio multianual de 13,45°C. El mes con mayor registro de temperatura mínima corresponde al mes de marzo con un valor de 13,87°C y el mes con menor registro de temperatura mínima es julio con un valor de 13,06°C. Los meses con temperaturas mínimas mayores al promedio corresponden a los meses de enero a junio y octubre, los demás meses presentan temperaturas por debajo del promedio. Lo descrito anteriormente se presenta en la Figura 585.

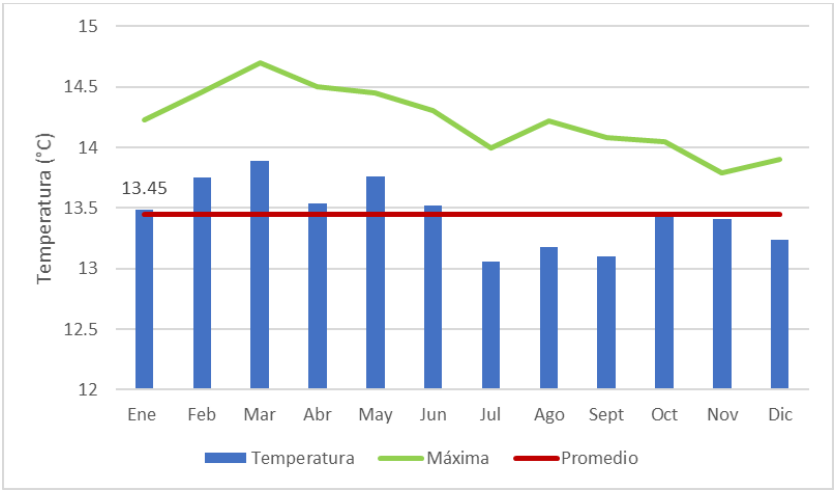
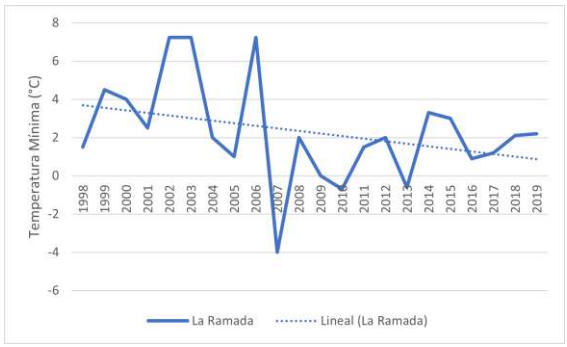
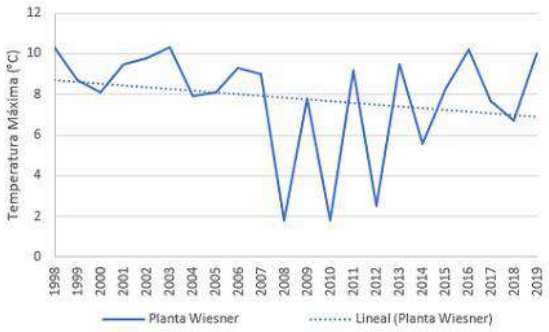


Figura 589. Distribución temporal temperatura mínima diaria estación Usaquén. Periodo 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

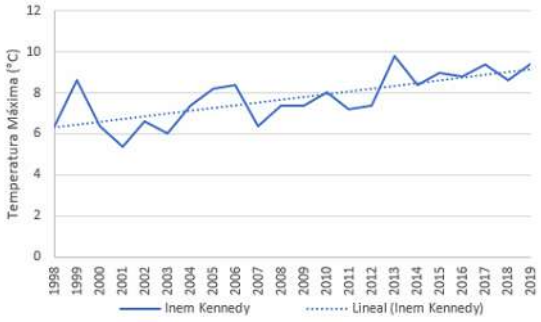
Con los registros del periodo común se definió el comportamiento anual y la tendencia de las series de temperatura mínima de las estaciones base y de las estaciones complementarias evaluadas. De este análisis se identificó que la tendencia en la mayoría de las estaciones es creciente, con la excepción de La Ramada, Planta Wiesner, Carvajal-Sevillana y Móvil Séptima (ver Figura 586).



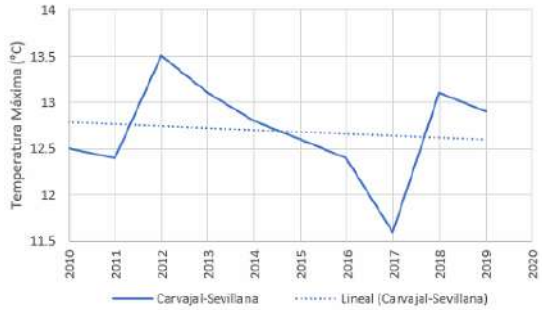
Estación base La Ramada Tendencia: Decreciente



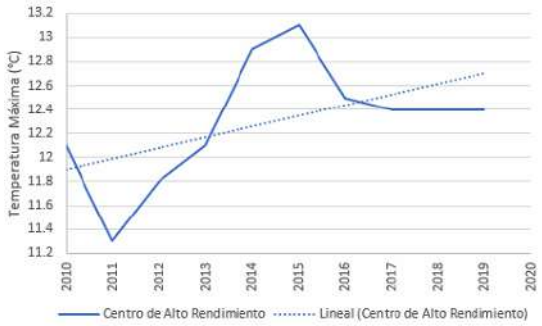
Estación base Wiesner Tendencia: Decreciente



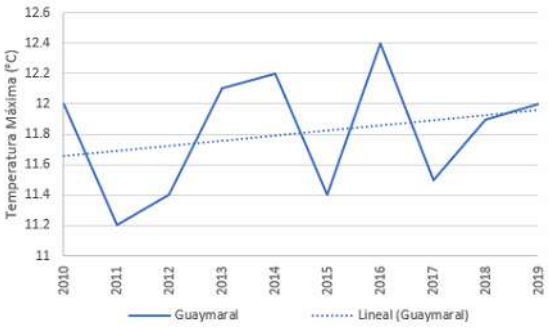
Estación base Inem Kennedy Tendencia: Creciente



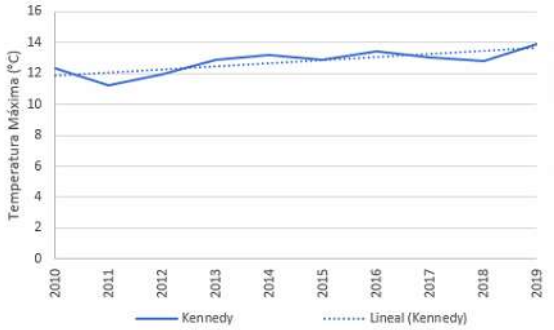
Estación complementaria Carvajal-sevillana Tendencia: Decreciente



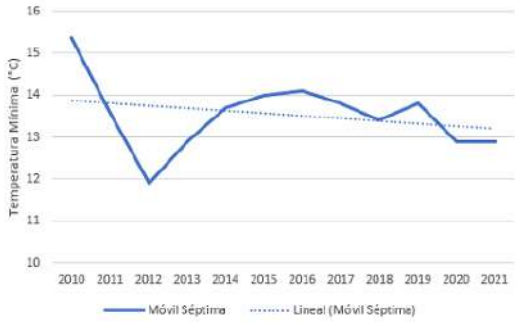
Estación complementaria centro de alto rendimiento Tendencia: Creciente



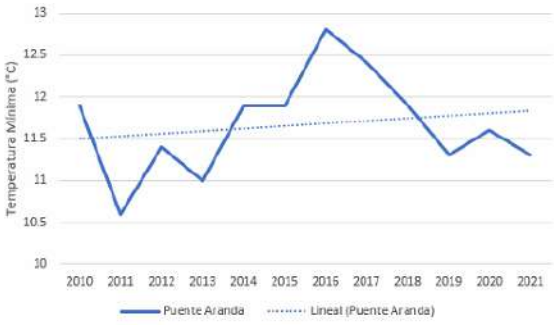
Estación complementaria Guaymaral Tendencia: Creciente



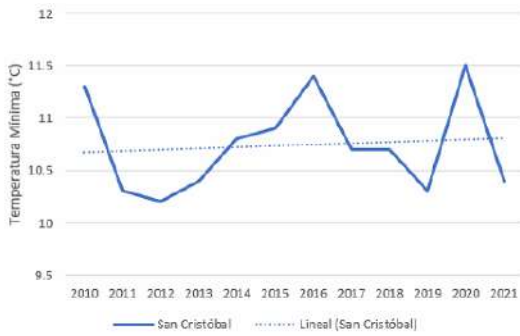
Estación complementaria Kennedy Tendencia: Creciente



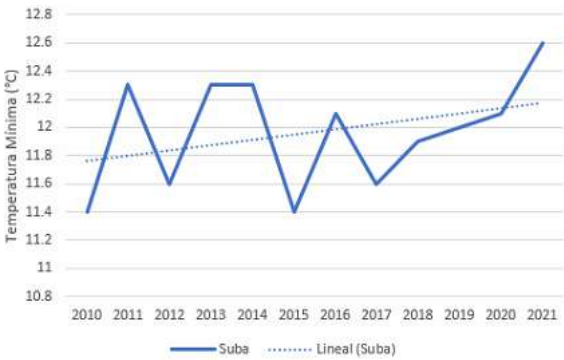
Estación complementaria Móvil Séptima Tendencia: Decreciente



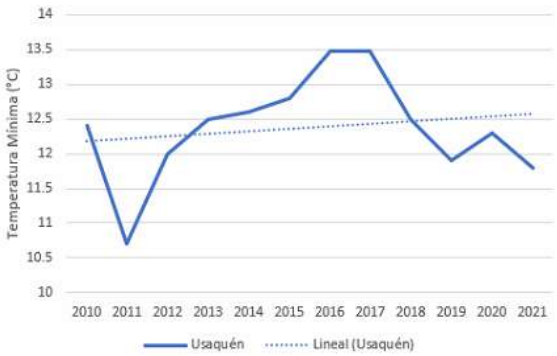
Estación complementaria Puente Aranda Tendencia: Creciente



Estación complementaria San Cristóbal Tendencia: Creciente



Estación complementaria Suba Tendencia: Creciente



Estación complementaria Usaquén Tendencia: Creciente

Figura 590. Variación anual y tendencia de la temperatura mínima. Estaciones base (Periodo 1998-2019) y Estaciones complementarias (2010-2021).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.1.5. Distribución espacial de precipitación

Para conocer la variación espacial de la precipitación en la zona del trazado proyectado para la línea 2 del metro, se analizaron dos escenarios con el fin de considerar tanto la variación histórica de los registros como el cubrimiento espacial del trazado y las cuencas de los cauces que lo cruzan. Los escenarios analizados fueron denominados como: i) Escenario Período común y ii) Escenario período histórico. A continuación, se describen las consideraciones de cada escenario y los resultados obtenidos:

- Variación espacial de la precipitación para el período común

Tomando como base los registros de precipitación complementados para las estaciones base que se presentan en el numeral 5.2.3.1 Meteorologia para el periodo común establecido entre 1987 - 2021, el cual fue seleccionado para poder realizar la caracterización espacial de esta variable en la zona del trazado y en las cuencas de los cauces que cruzan con el mismo, se generaron las isoyetas de precipitación total media mensual con la ayuda del software Surfer7, el cual aplica el método de interpolación de Kriging.

Como resultado del análisis se puede evidenciar en la Figura 587 que la precipitación total media multianual en la zona de Bogotá al inicio del trazado proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá, presenta valores de precipitación de 1150 mm en la zona de la iglesia de La Porciúncula que disminuyen a lo largo del eje del metro hasta llegar a valores de 850 mm en la zona cercana al humedal La Conejera. Las representación espacial de la precipitación mensual en la zona del proyecto se presenta en el Anexo 5.2 -5.1 - Hidrología.

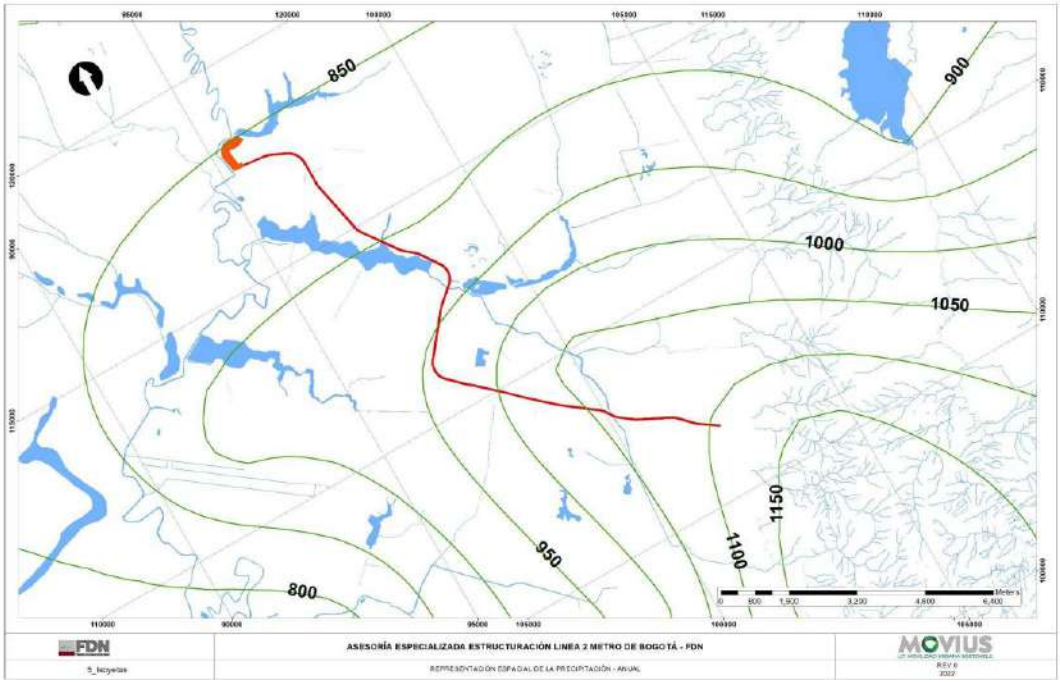


Figura 591. Comportamiento espacial de la precipitación total media multianual (mm) - Periodo común 1987-2021 . Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Variación espacial de la precipitación para el período histórico de las estaciones

Posterior al análisis realizado para el periodo común, se evaluó el comportamiento espacial de la precipitación para el periodo histórico, esta vez utilizando las registros de estaciones de la EAAB (San Diego, Cerro de Suba,El Granizo, y San Luis), las cuales cuentan con datos desde el año 1947 hasta 2021, esto se realizó con el fin de evidenciar posibles cambios en la distribución mensual de la precipitación entre uno y otro periodo de análisis. Además de que es muy inusual tener registros con tantos años, que puedan ayudar a evidenciar la variabilidad climática y los cambios de las tendencias a lo largo del tiempo.

En la Figura 588 se presenta la distribución espacial de la precipitación total media multianual realizada a partir de la precipitación promedio multianual, esta presenta un valor de 1 020 mm al inicio del trazado en el sector de la iglesia de La Porciúncula y descienden hasta 880 mm en el sector del humedal La Conejera. Las representación espacial de la precipitación mensual en la zona del proyecto utilizando solo las estaciones operadas por la EAAB se presenta en el Anexo 5.2 -5.1 - Hidrología.

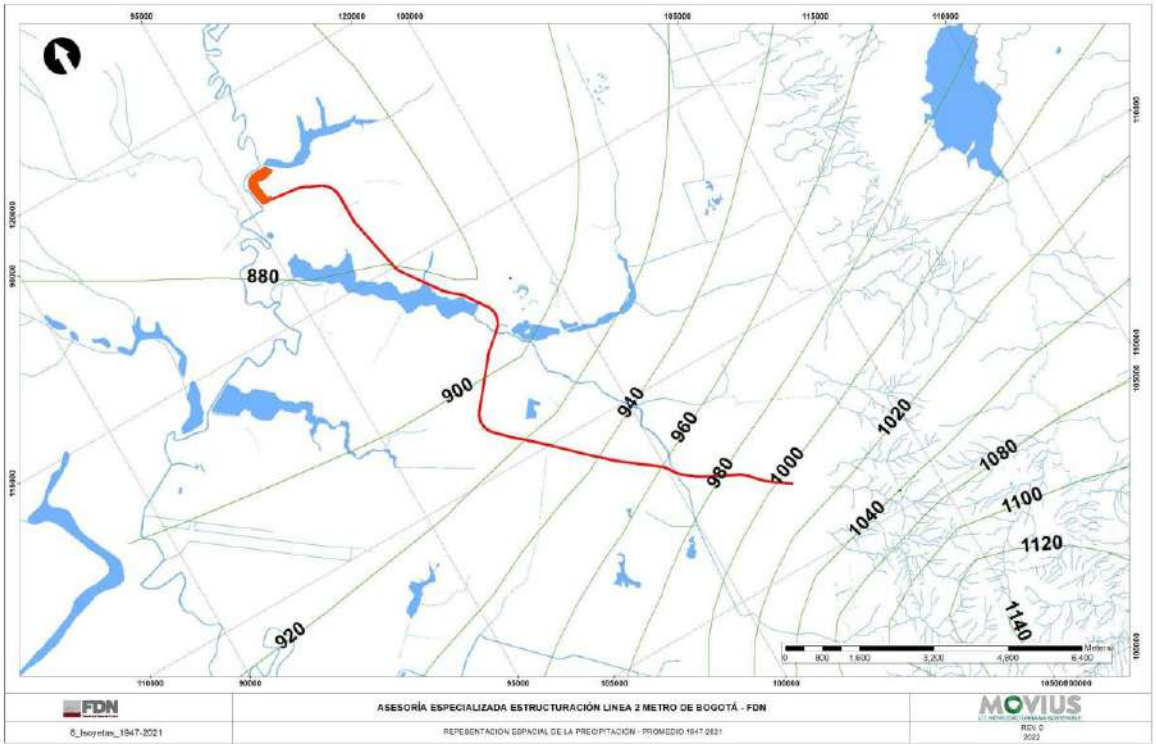


Figura 592. Comportamiento espacial de la precipitación total media multianual (mm) - Periodo histórico 1947-2021. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.1.6. Representación espacial de la temperatura

A partir de los valores mínimos, medios y máximos diarios de temperatura de las estaciones base para la caracterización INEM Kennedy, La Ramada y Planta Wiesner para el periodo (1998-2019), y las estaciones tomadas como

complementarias para el periodo (2010-2021) con sus respectivas elevaciones, se determinó la relación existente para definir el comportamiento espacial de las tres temperaturas para cada grupo de estaciones. En la Figura 589 y en la Figura 593 se presenta el comportamiento de los registros de temperatura mínima, media y máxima para las estaciones base y para las estaciones complementarias respectivamente.

A partir de las curvas de nivel y las relaciones obtenidas para cada temperatura, se obtuvo un raster con la herramienta "Map Algebra/Raster Calculator" del software ArcMap 10 para cada una de las variables mencionadas, los resultados de este análisis se presentan en la Figura 590 para la temperatura mínima, en la Figura 591 para la temperatura media y en la Figura 592 para la temperatura máxima para las estaciones base de la caracterización, y para las estaciones complementarias se presentan en la Figura 56 para la temperatura mínima, en la Figura 57 para la temperatura media y en la Figura 58 para la temperatura máxima .

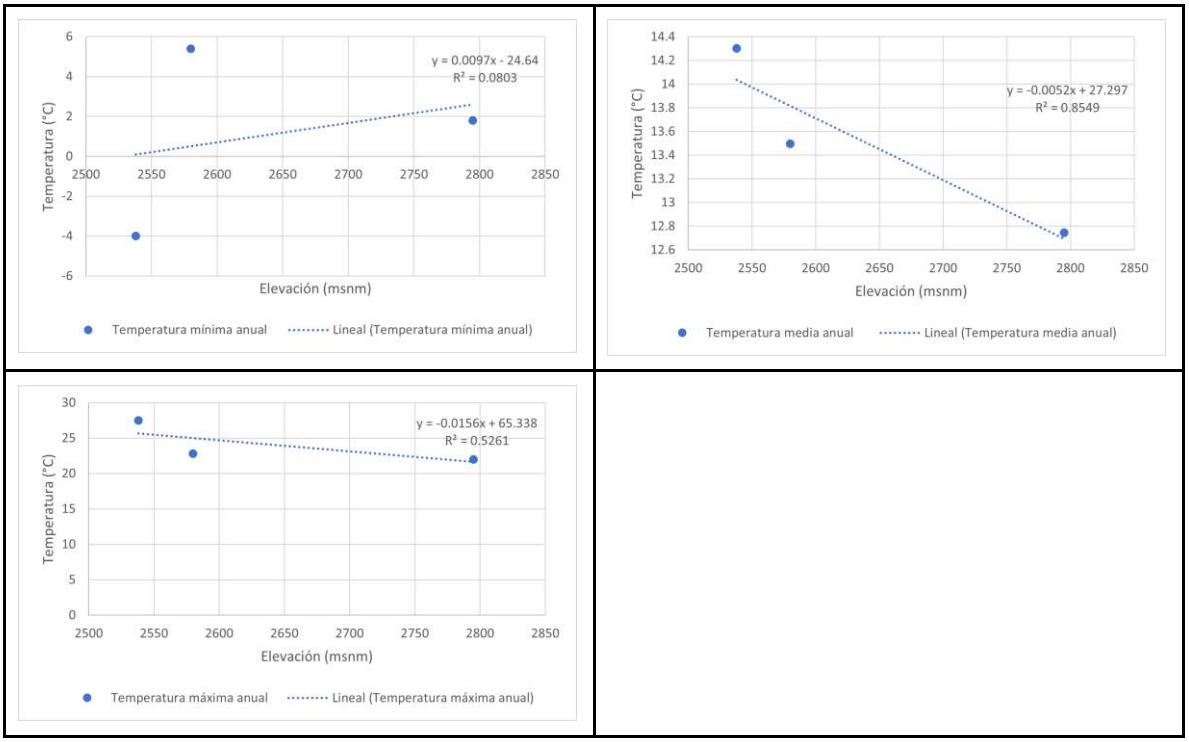


Figura 593. Relaciones Elevación - Temperatura mínima, media y máxima anual para estaciones base.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 52 se presenta el comportamiento espacial de la temperatura mínima, en esta se evidencia que la temperatura mínima anual a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá varía en el rango de -0,1 ºC a 10,9ºC.

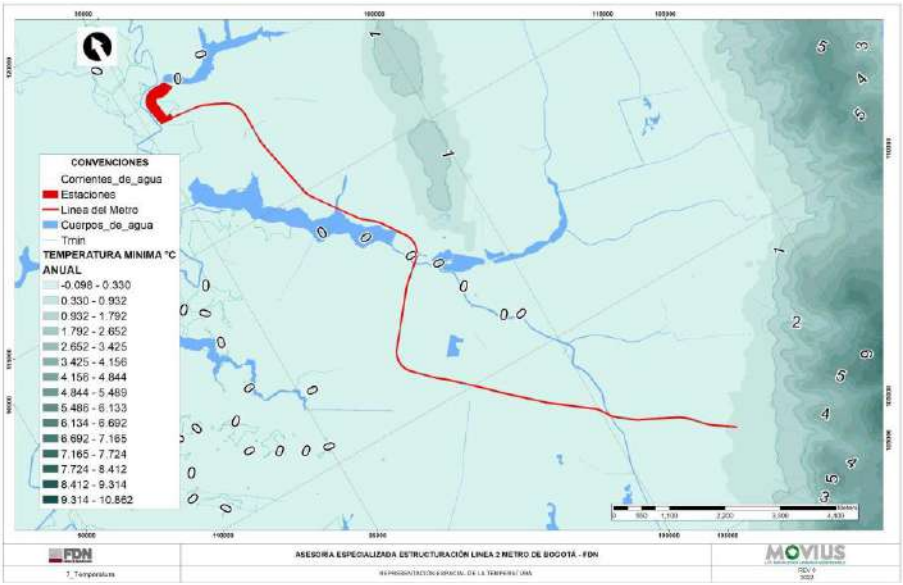


Figura 594. Comportamiento espacial de la temperatura mínima anual para estaciones base (°C).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 591 se presenta el comportamiento espacial de la temperatura media, en esta se evidencia que la temperatura media anual a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá varía en el rango de 8,3 ºC a 14,1 ºC.

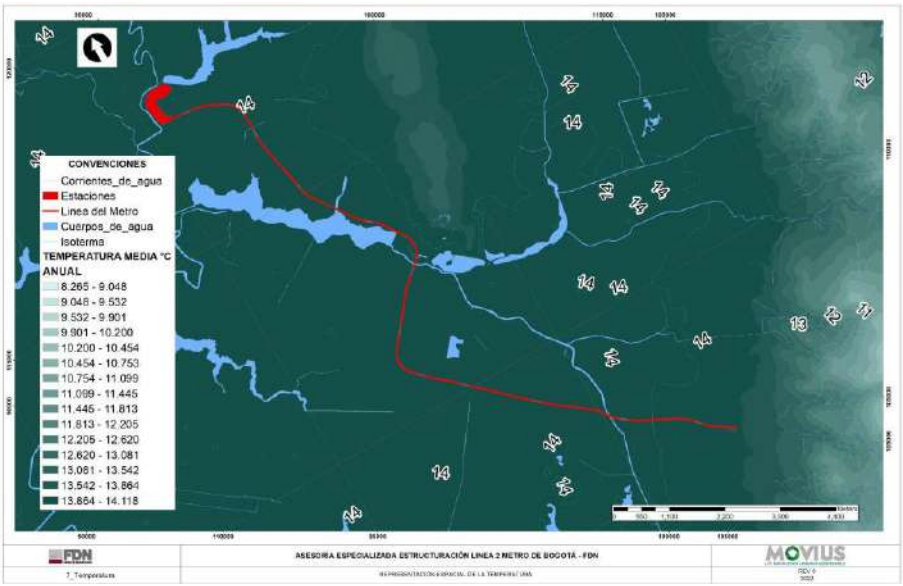


Figura 595. Comportamiento espacial de la temperatura media anual para estaciones base (°C).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 592 se presenta el comportamiento espacial de la temperatura máxima anual, en esta se evidencia que la temperatura máxima anual a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá varía en un rango de 8,2 ºC a 25,9 ºC.

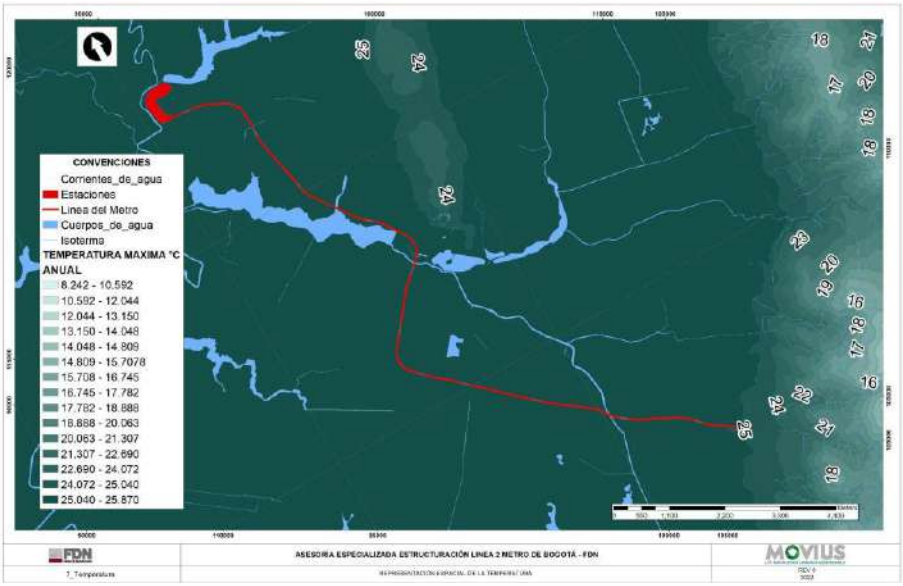
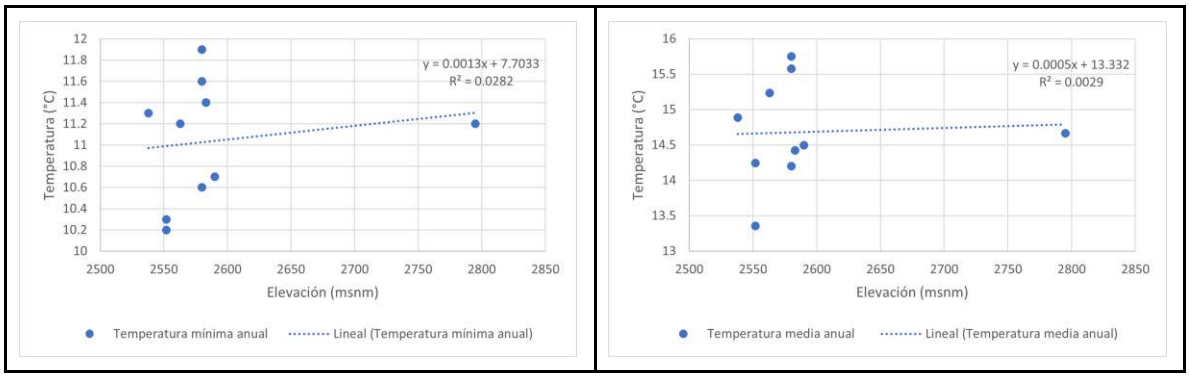


Figura 596. Comportamiento espacial de la temperatura máxima anual para estaciones base (°C).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se indicó anteriormente, las estaciones complementarias también se analizaron de la misma manera que las estaciones base, los resultados de dicho análisis se presentan a continuación.



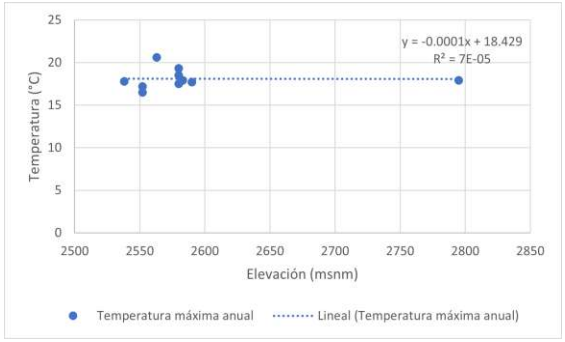


Figura 597. Relaciones Elevación - Temperatura mínima, media y máxima anual para estaciones complementarias. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 594 se presenta el comportamiento espacial de la temperatura mínima anual, en esta se evidencia que la temperatura mínima anual a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá varía en un rango de 11 ºC a 12,5 ºC.

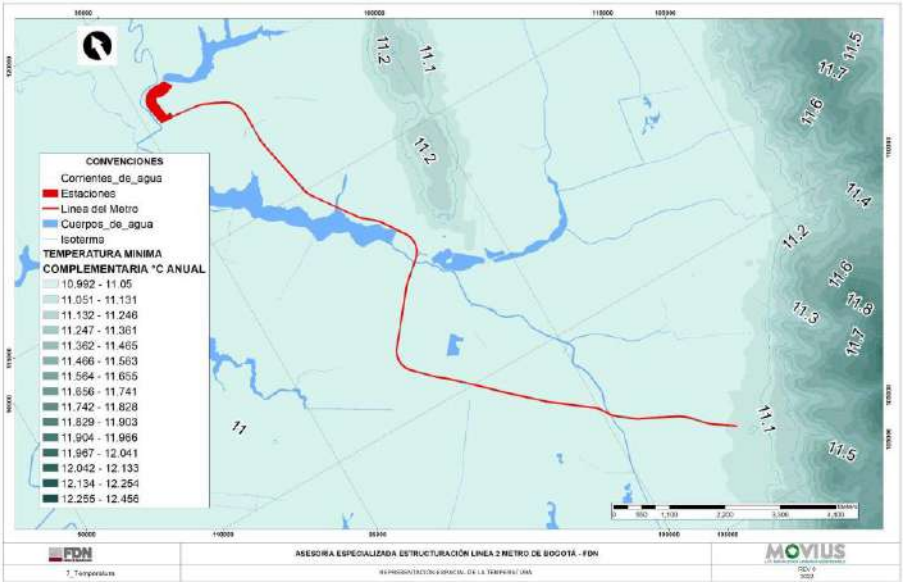


Figura 598. Comportamiento espacial de la temperatura mínima anual (°C) - Estaciones complementarias. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 595 se presenta el comportamiento espacial de la temperatura media anual, en esta se evidencia que la temperatura media anual a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá varía en un rango de 14,6 ºC a 15,2 ºC.

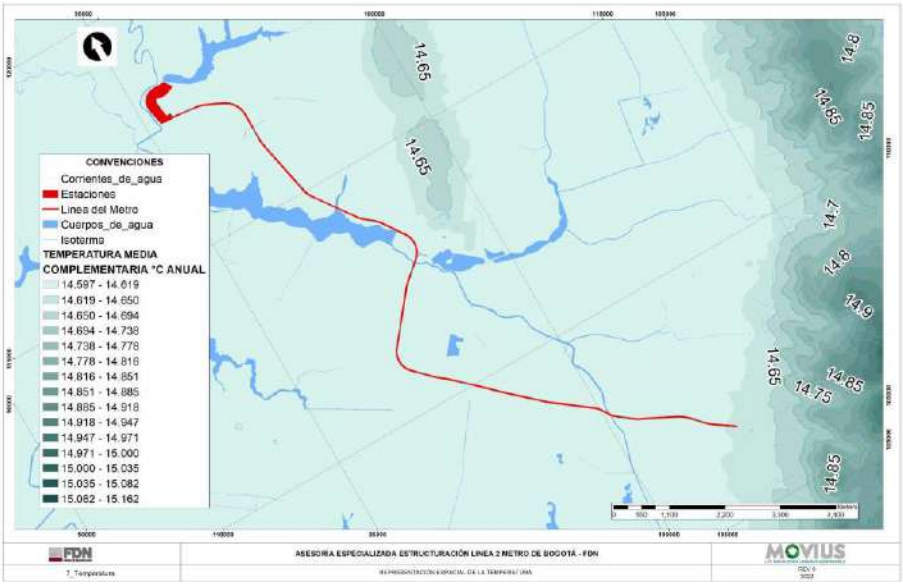


Figura 599. Comportamiento espacial de la temperatura media anual (°C) - Estaciones complementarias.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 596 se presenta el comportamiento espacial de la temperatura máxima anual, en esta se evidencia que la temperatura máxima anual a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá varía en un rango de 18 ºC a 18,2 ºC.

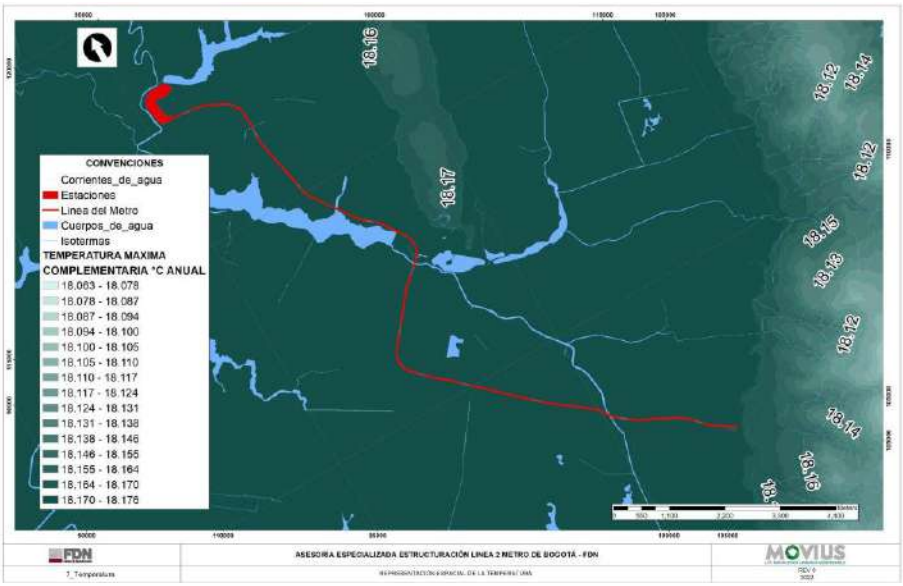


Figura 600. Comportamiento espacial de la temperatura máxima anual (°C) - Estaciones complementarias.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Sin embargo, analizando la relación entre elevación y temperatura de las estaciones se nota que no hay una correlación estadística, no obstante, se presenta Figura 594, Figura 595 y Figura 596 de carácter informativo.

5.2.3.1.7. Representación espacial de la evaporación

A partir de la relación entre la elevación de las estaciones La Ramada y Planta Wiesner y los valores medios anuales multianuales de evaporación, se realizó el análisis de comportamiento espacial a nivel anual. Con la relación estimada se obtuvo un raster con la herramienta "Map Algebra/Raster Calculator" del software ArcMap 10, a continuación en la Figura 597 se presenta la relación identificada:

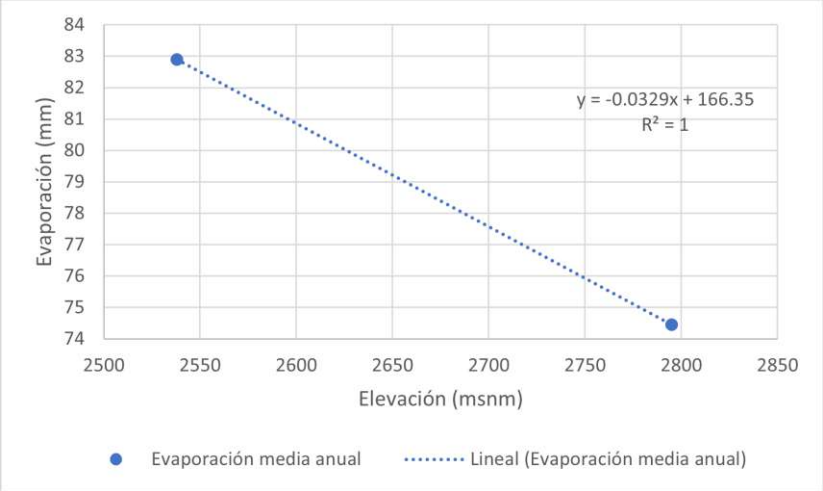


Figura 601. Relación Elevación - Evaporación.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 598 se presenta el comportamiento espacial de la evaporación anual, en esta se evidencia que la evaporación a lo largo del tramo de estudio proyectado para la Línea 2 del Metro de Bogotá se ubica en un rango de 45 mm a 84 mm.

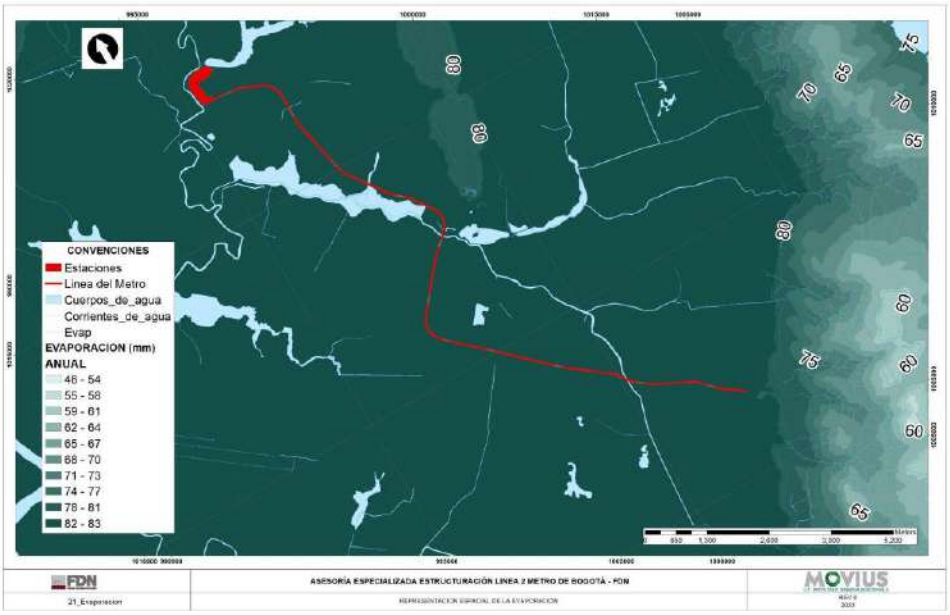


Figura 602. Comportamiento espacial de la evaporación anual (mm).
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.1.8. Distribución temporal del brillo solar

La distribución temporal del brillo solar se obtuvo a partir de los registros de la estación Planta Wiesner, con la información recopilada se definió el periodo común que corresponde a 1987-2021, en la Figura 599 se presenta la localización espacial de la estación. En la Figura 599 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

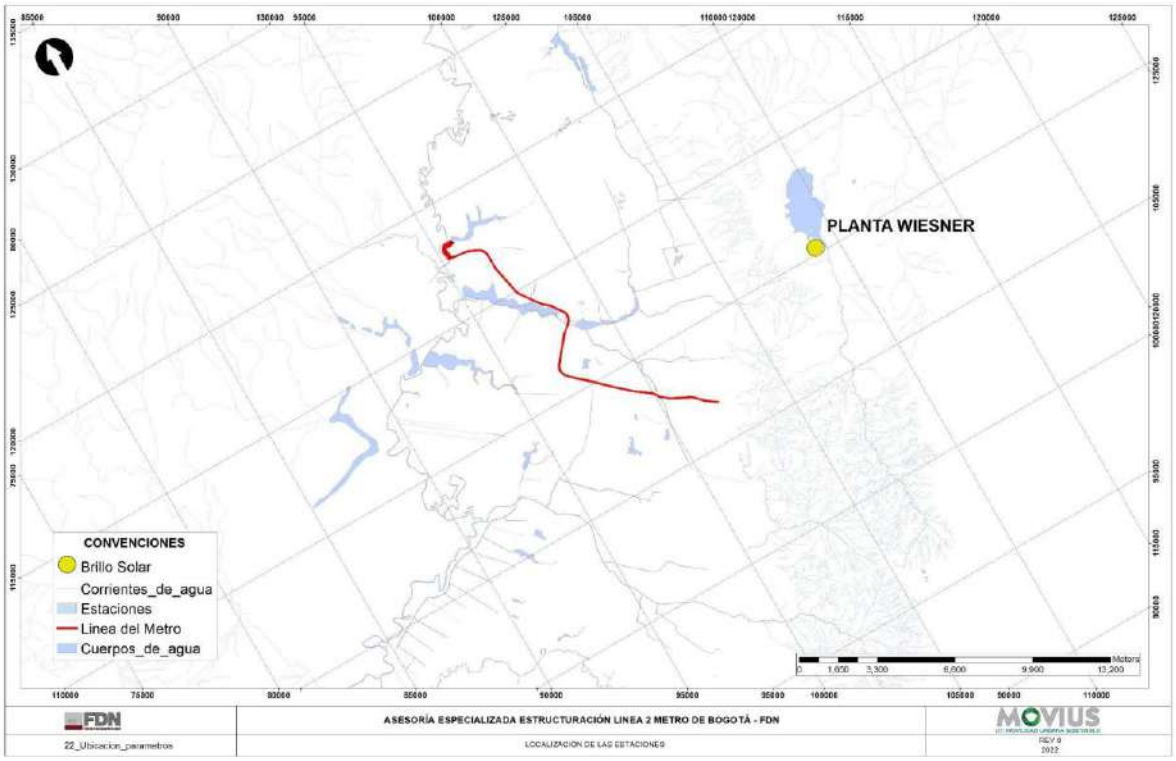


Figura 603. Localización de las estaciones de brillo solar.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- 20642 PLANTA WIESNER

El brillo solar en la estación Planta Wiesner (20642) tiene un comportamiento bimodal, donde el valor promedio multianual es de 1,26 horas. En los meses de enero a febrero, agosto y noviembre los registros superan el promedio, mientras que en los meses de marzo a julio, septiembre a noviembre y diciembre los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 0,95 horas en el mes de septiembre; el máximo registro se presentó en el mes febrero con 1,67 horas. En la Figura 600 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

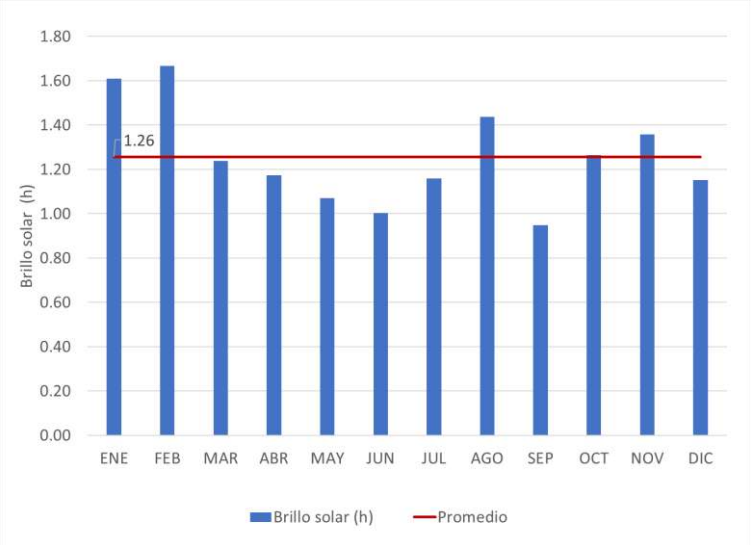


Figura 604. Distribución temporal brillo solar estación 20642 Planta Wiesner. El Periodo 1987 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.1.9. Distribución temporal de la radiación solar

Para conocer la distribución temporal de la radiación solar se tomaron como base los registros de las estaciones Centro de alto rendimiento, Guaymaral, Kennedy, Móvil séptima, San Cristóbal, y Tunal, a partir de los registros recopilados se definió el periodo común que corresponde a 2010-2021. En la Figura 225 se presenta la localización espacial de las estaciones mencionadas.

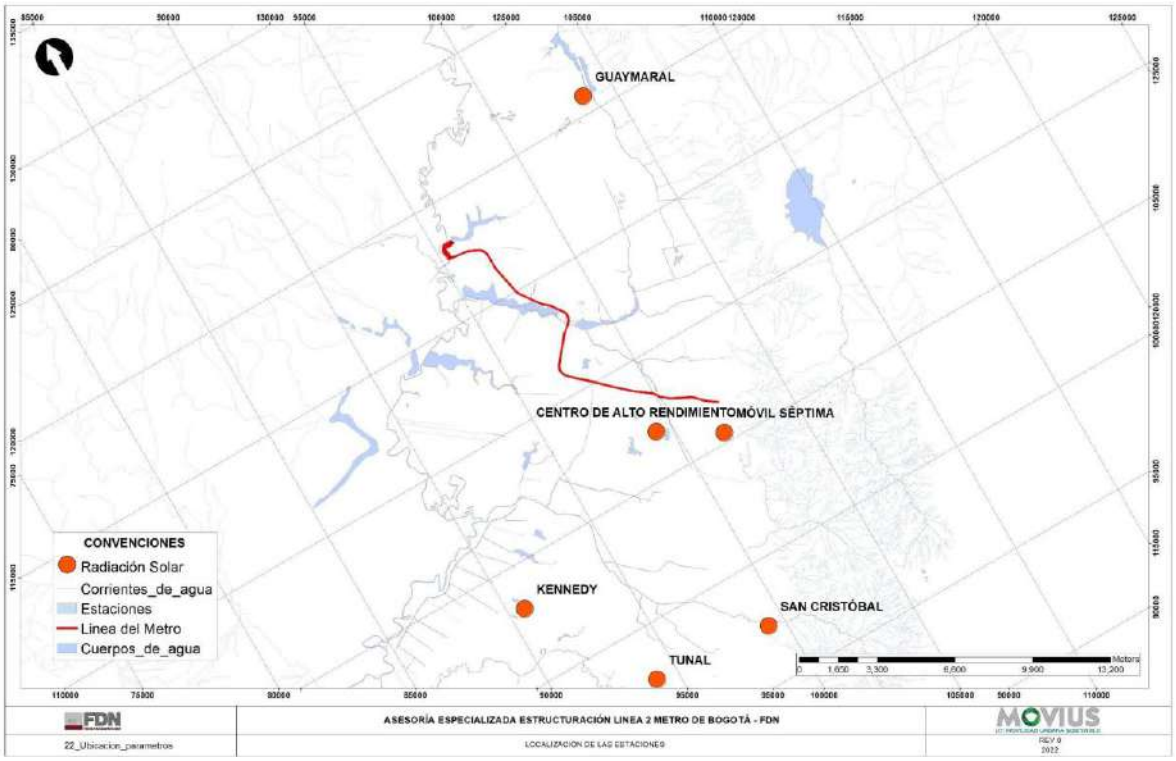


Figura 605. Localización de las estaciones de radiación solar.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO

La radiación solar en la estación Centro de alto rendimiento tiene un comportamiento bimodal, donde el valor promedio multianual es de 163,15 W/M². En los meses de enero a febrero, de julio a septiembre y diciembre los registros superan el promedio, mientras que en los meses de marzo a junio y octubre a noviembre los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 147,97 W/M² en abril y el máximo registro se presentó en el mes enero con 188,56 W/M². En la Figura 602 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

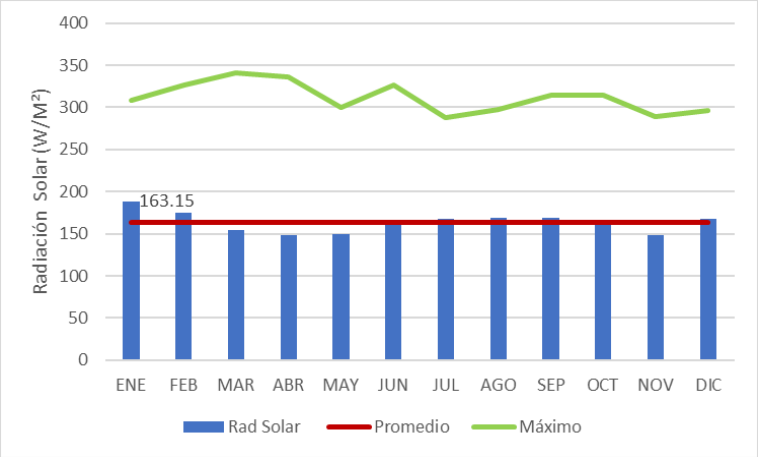


Figura 606. Distribución temporal radiación solar estación Centro de Alto Rendimiento. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- GUAYMARAL

La radiación solar en la estación Guaymaral tiene un comportamiento bimodal, donde el valor promedio multianual es de 184,52 W/M². En los meses de enero a marzo, septiembre y diciembre los registros superan el promedio, mientras que en los meses de abril a agosto y octubre a noviembre, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 163,08 W/M² en mayo y el máximo registro se presentó en el mes enero con 221,46 W/M². En la Figura 603 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

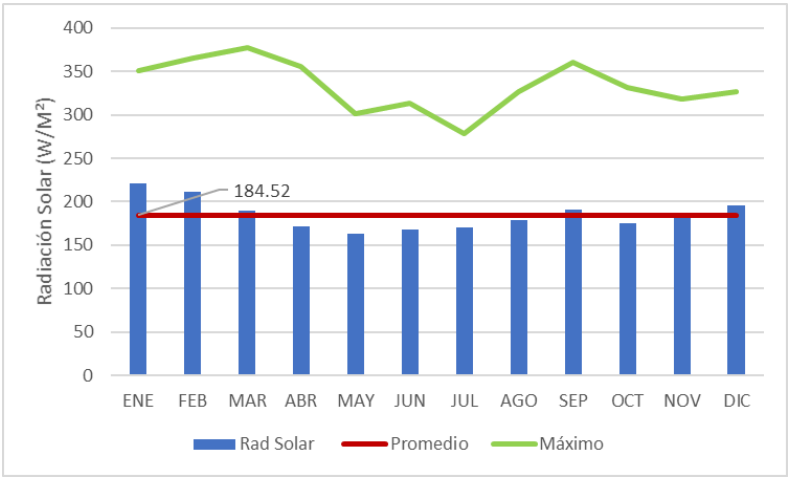


Figura 607. Distribución temporal radiación solar estación Guaymaral. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- KENNEDY

La radiación solar en la estación Kennedy tiene un comportamiento bimodal, donde el valor promedio multianual es de 162,64 W/M². En los meses de enero a febrero y septiembre los registros superan el promedio, mientras que en los meses de marzo a agosto y octubre a diciembre, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 140,37 W/M² en mayo y el máximo registro se presentó en el mes enero con 188,29 W/M². En la Figura 604 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

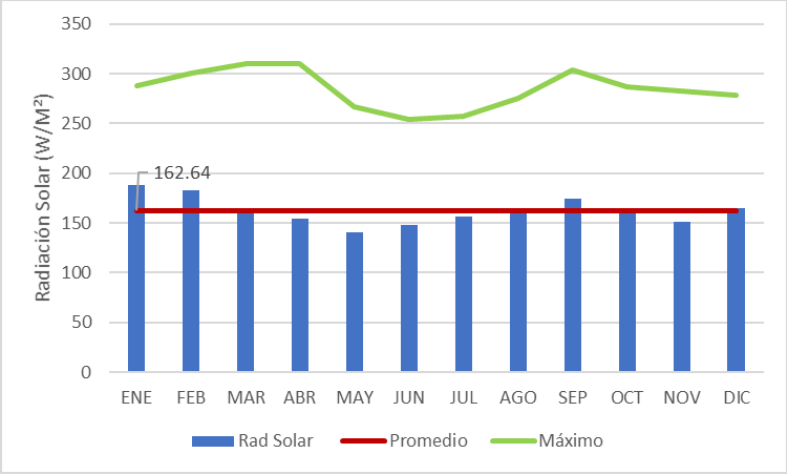


Figura 608. Distribución temporal radiación solar estación Kennedy. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- MÓVIL SÉPTIMA

La radiación solar en la estación Móvil Séptima tiene un comportamiento bimodal, donde el valor promedio multianual es de 142,35 W/M². En los meses de enero a febrero y de julio a septiembre los registros superan el promedio, mientras que en los meses restantes, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 124,42 W/M² en mayo y el máximo registro se presentó en el mes julio con 163,27 W/M². En la Figura 605 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

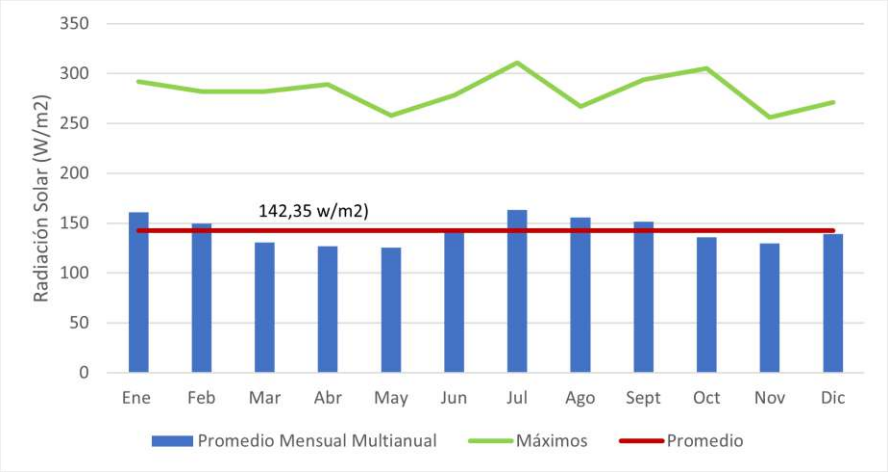


Figura 609. Distribución temporal radiación solar estación Móvil 7ma. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- SAN CRISTÓBAL

La radiación solar en la estación San Cristóbal tiene un comportamiento bimodal, donde el valor promedio multianual es de 196,49 W/M². En los meses de enero a febrero, de julio a septiembre, octubre y diciembre los registros superan el promedio, mientras que en los demás meses los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 178,57 W/M² en mayo y el máximo registro se presentó en el mes septiembre con 216,92 W/M². En la Figura 606 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

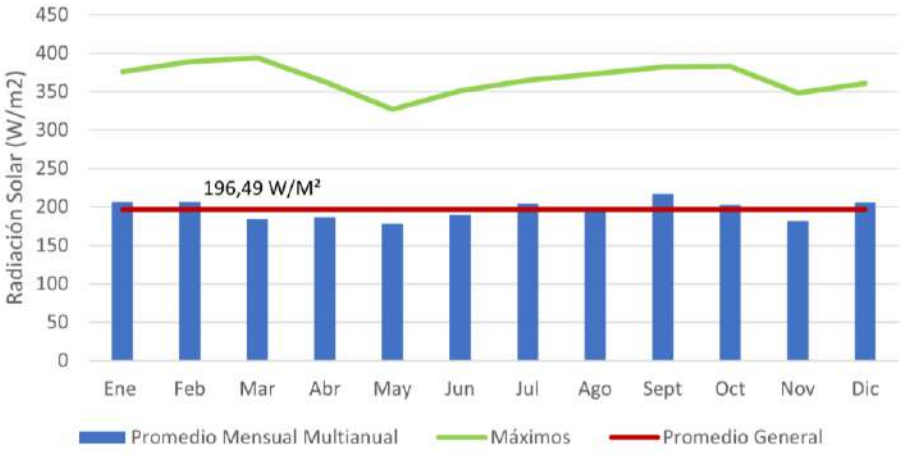


Figura 610. Distribución temporal radiación solar estación San Cristóbal. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- TUNAL

La radiación solar en la estación Tunal tiene un comportamiento bimodal donde el valor promedio multianual es de 166,19 W/M². En los meses de enero a febrero y de julio a septiembre los registros superan el promedio, mientras que en los demás meses, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 143,94 W/M² en noviembre y el máximo registro se presentó en el mes de enero con 189,06 W/M². En la Figura 607 se presenta la distribución temporal de este parámetro.



Figura 611. Distribución temporal radiación solar estación Tunal. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.1.10. Distribución temporal de la humedad relativa media diaria

De las estaciones seleccionadas para realizar la caracterización climática doce de ellas cuentan con registros de humedad relativa: Planta Wiesner, La Ramada, Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, Kennedy, Las Ferias, Móvil Séptima, San Cristóbal, Tunal, Universidad Nacional e IDEAM Bogotá, se definió el periodo común entre estas estaciones, el cual corresponde a 2010-2021. En la Figura 608 se presenta la localización espacial de las estaciones caracterizadas.

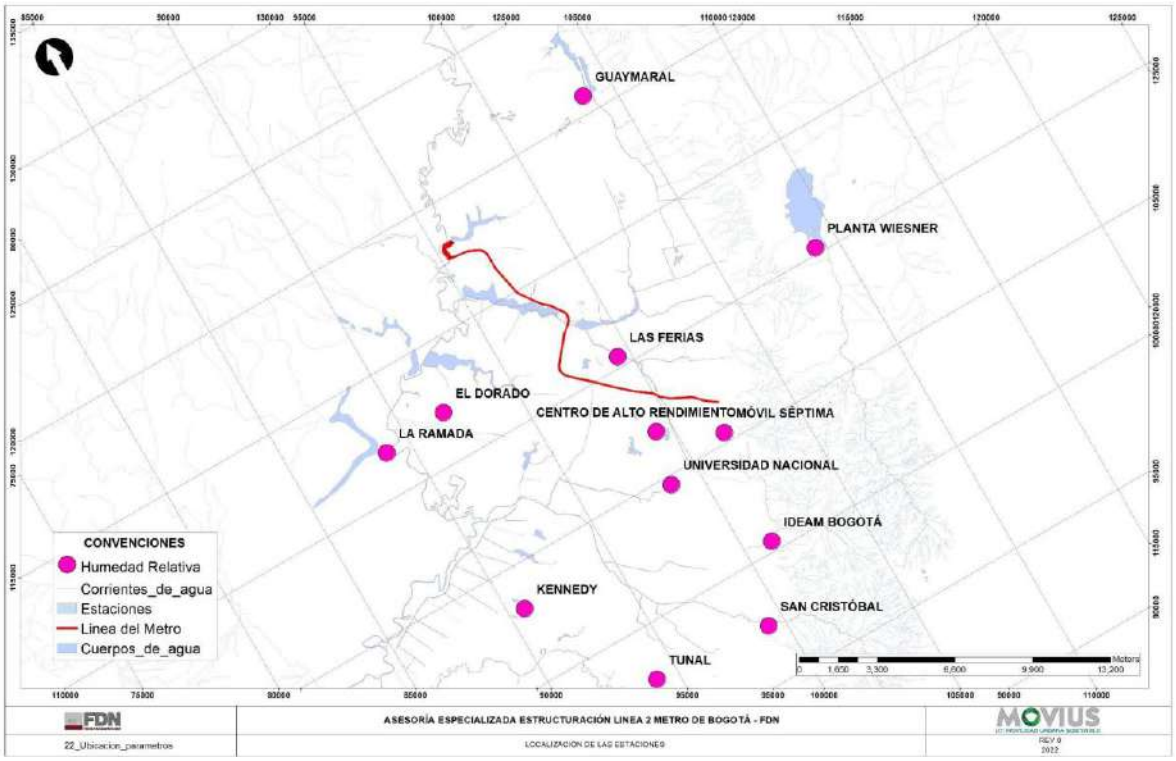


Figura 612. Localización de las estaciones de humedad relativa.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- 20642 PLANTA WIESNER

Se observa que la estación Planta Wiesner tiene un comportamiento monomodal, con períodos de humedad relativa mayores al promedio en mayo a noviembre, y con períodos inferiores al promedio de diciembre a abril. La humedad relativa alcanza su máximo valor promedio en julio (79,71%). El mínimo valor promedio ocurre en enero (73,38%). La humedad relativa promedio mensual multianual es del 77,45%. En la Figura 609 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

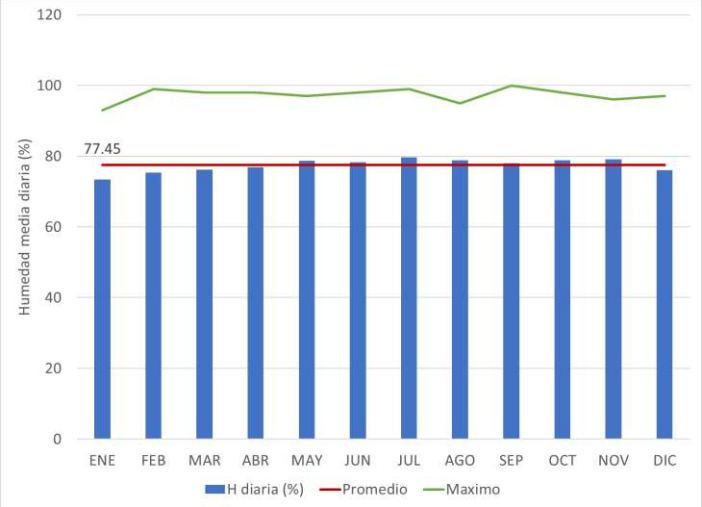


Figura 613. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación 20642 Planta Wiesner. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- 2120516 RAMADA LA

Se observa que la estación La Ramada tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa mayores al promedio de abril a junio y de octubre a diciembre, y con períodos inferiores al promedio de enero a marzo y de julio a septiembre. La humedad alcanza su máximo valor en noviembre (83,97%). El mínimo valor ocurre en enero (76,96%). La humedad relativa promedio mensual multianual es del 79,31%. En la Figura 610 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

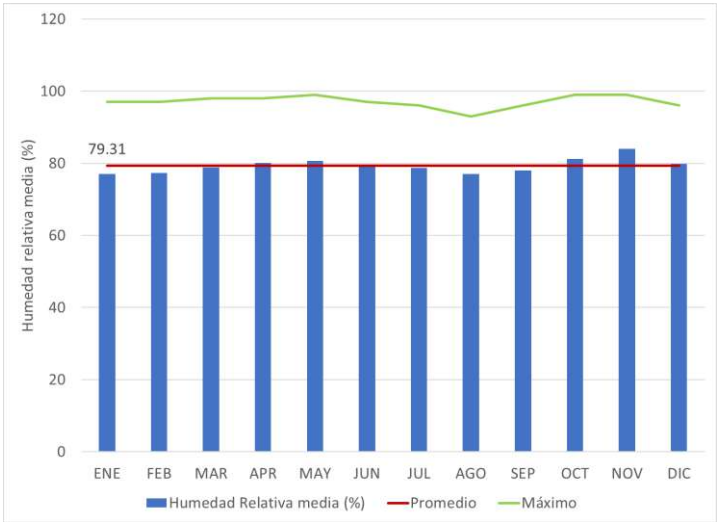


Figura 614. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación 2120516 La Ramada. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- 21205791 ELDORADO CATAM - AUT

Se observa que la estación El Dorado Catam (21205791) tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa mayores al promedio de marzo a mayo y de octubre a diciembre, y con períodos inferiores al promedio entre enero y febrero y de junio a septiembre. La humedad alcanza su máximo valor promedio en noviembre (83,75%). El mínimo valor promedio ocurre en agosto (76,78%). La humedad relativa promedio mensual multianual es del 78,90%. En la Figura 611 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

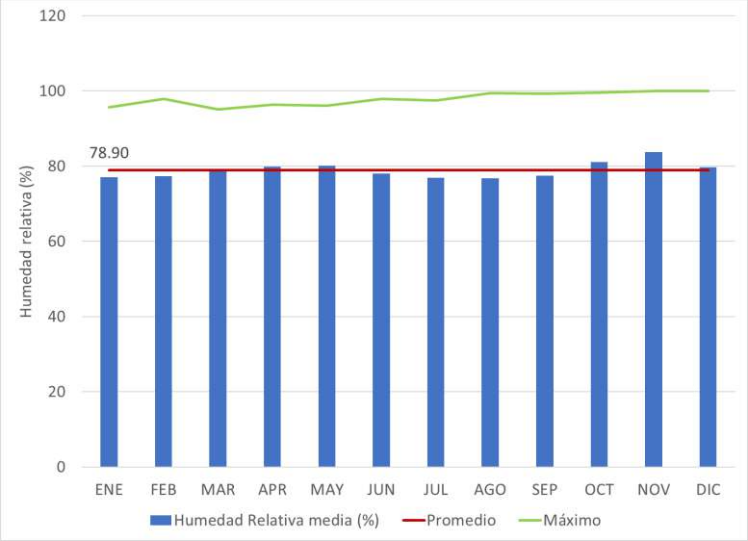


Figura 615. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación 21205791 El Dorado Catam. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO

Se observa que la estación Centro de alto rendimiento tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa mayores al promedio de marzo a junio y de octubre a noviembre, y con períodos inferiores al promedio entre enero y febrero, de julio a septiembre y diciembre. La humedad alcanza su máximo valor promedio en noviembre (71,67%). El mínimo valor promedio se presenta en agosto (64,64%). La humedad relativa promedio mensual multianual es del 67,31%. En la Figura 612 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

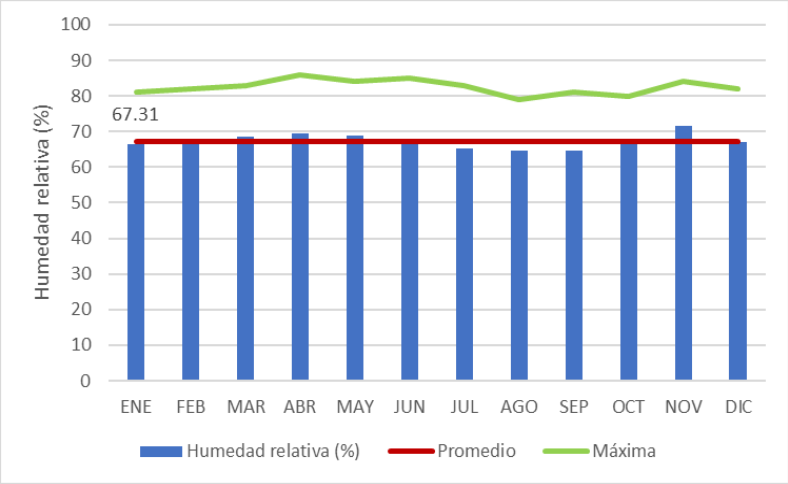


Figura 616. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Centro de Alto Rendimiento. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- GUAYMARAL

Se observa que la estación Guaymaral tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa mayores al promedio de marzo a julio y de octubre a noviembre, y con períodos inferiores al promedio entre enero y febrero, agosto a septiembre y diciembre. La humedad alcanza su máximo valor promedio en noviembre (69,37%). El mínimo valor promedio ocurre en enero (65,11%). La humedad relativa promedio mensual multianual es del 66,62%. En la Figura 613 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

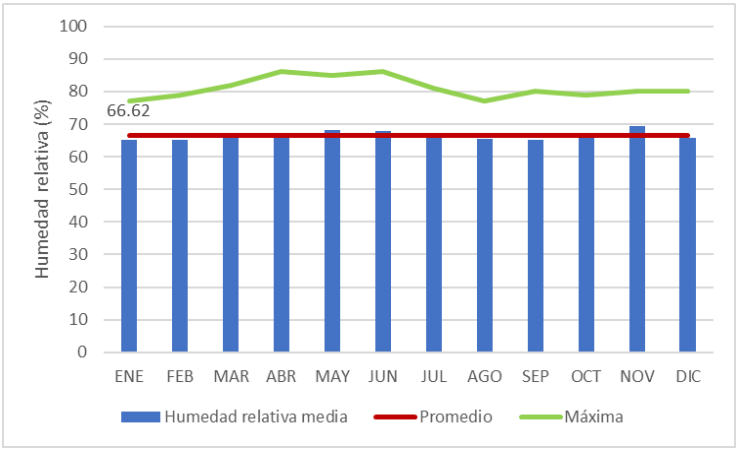


Figura 617. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Guaymaral. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- KENNEDY

Se observa que la estación Kennedy tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa mayores al promedio de febrero a junio y de octubre a noviembre, y con períodos inferiores al promedio entre julio a septiembre y en enero. La humedad alcanza su máximo valor promedio en noviembre (69,45%). El mínimo valor promedio ocurre en septiembre (61,14%). La humedad relativa promedio mensual multianual es del 64,59%. En la Figura 614 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

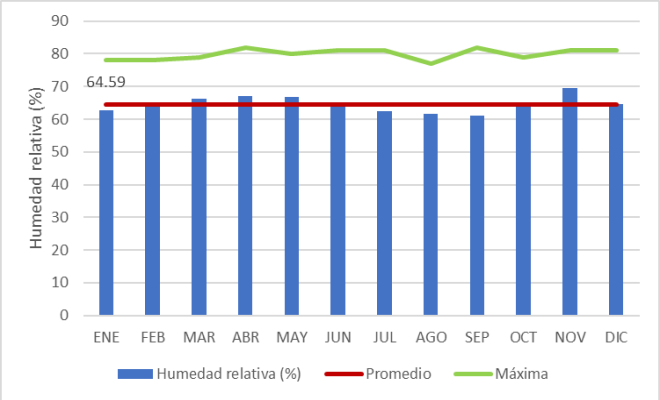


Figura 618. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Kennedy. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- LAS FERIAS

Se observa que la estación Las Ferias tiene un comportamiento bimodal con períodos de humedad relativa mayores al promedio de marzo a junio y de octubre a noviembre, y con períodos inferiores al promedio en los demás meses. La humedad alcanza su máximo valor promedio en noviembre (64,33%). El mínimo valor promedio ocurre en agosto (57,87%). La humedad relativa promedio mensual multianual es del 60,57%. En la Figura 615 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

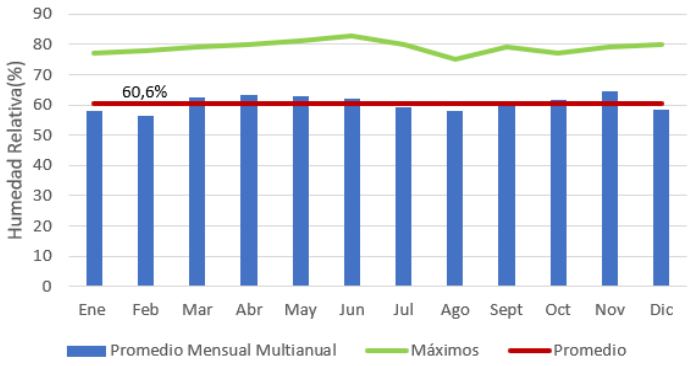


Figura 619. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Las Ferias. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- MÓVIL SÉPTIMA

Se observa que la estación Móvil Séptima tiene un comportamiento bimodal con períodos de humedad relativa mayores al promedio de marzo a mayo y en noviembre y con períodos inferiores al promedio en los demás meses. La humedad alcanza su máximo valor promedio en noviembre (64,4%). El mínimo valor promedio ocurre en septiembre (56,8%). La humedad relativa promedio mensual multianual es del 59,8%. En la Figura 616 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

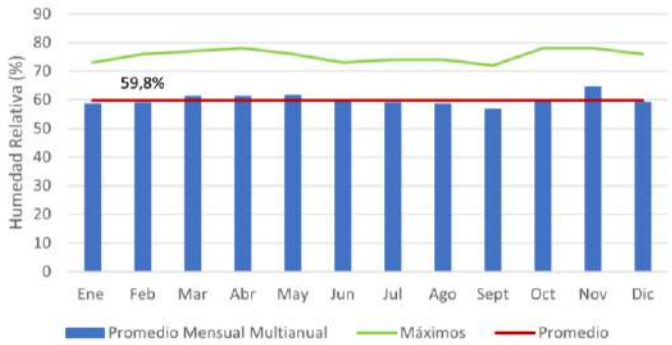


Figura 620. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Móvil Séptima. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- SAN CRISTÓBAL

Se observa que la estación San Cristóbal tiene un comportamiento bimodal con períodos de humedad relativa mayores al promedio de marzo a julio y de noviembre a diciembre y con períodos inferiores al promedio en el resto de los meses.La humedad alcanza su máximo valor en noviembre (67,72%). El mínimo valor promedio ocurre en enero (60,17%). La humedad relativa promedio mensual multianual es de 63,6%. En la Figura 617 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

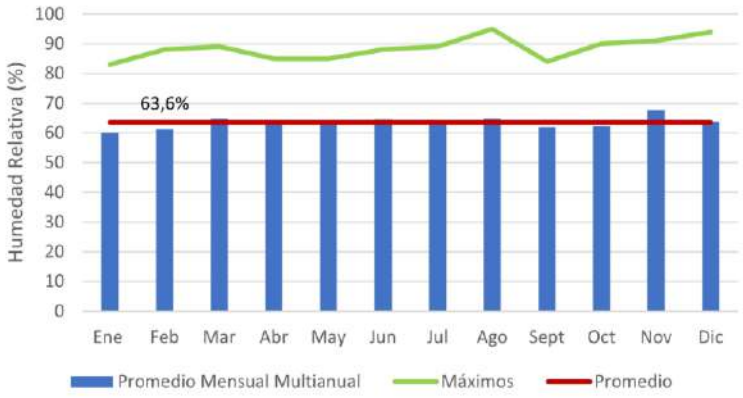


Figura 621. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación San Cristóbal. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- TUNAL

Se observa que la estación Tunal tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa mayores al promedio de marzo a junio y de noviembre a diciembre, y con períodos inferiores al promedio en el resto de los meses. La humedad alcanza su máximo valor promedio en noviembre (67,3%). El mínimo valor promedio ocurre en febrero (61,44%). La humedad relativa promedio mensual multianual es del 63,5%. En la Figura 618 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

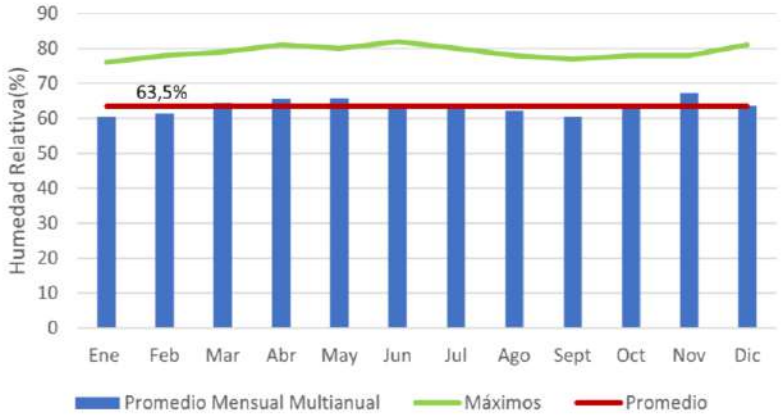


Figura 622. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Tunal . El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- UNIVERSIDAD NACIONAL

Se observa que la estación Universidad Nacional tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa mayores al promedio de marzo a mayo y de octubre a noviembre, y con períodos inferiores al promedio en los demás meses. La humedad alcanza su máximo valor promedio en noviembre (79,41%). El mínimo valor promedio ocurre en agosto (71,12%). La humedad relativa promedio mensual multianual es del 74,3%. En la Figura 619 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

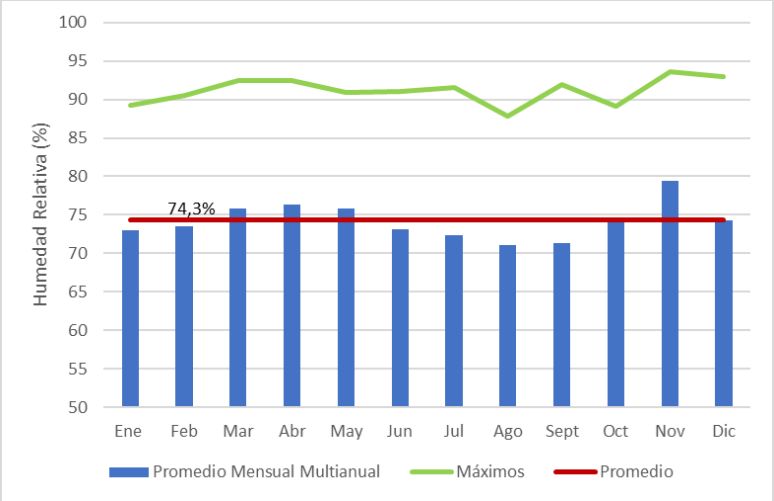


Figura 623. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación Universidad Nacional . El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- IDEAM BOGOTÁ

Se observa que la estación IDEAM Bogotá tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa mayores al promedio de abril a julio y de octubre a diciembre, y con períodos inferiores al promedio en el resto de los meses. La humedad alcanza su máximo valor promedio en noviembre (72,85%). El mínimo valor promedio ocurre en agosto (61,85%). La humedad relativa promedio mensual multianual es del 67%. En la Figura 620 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

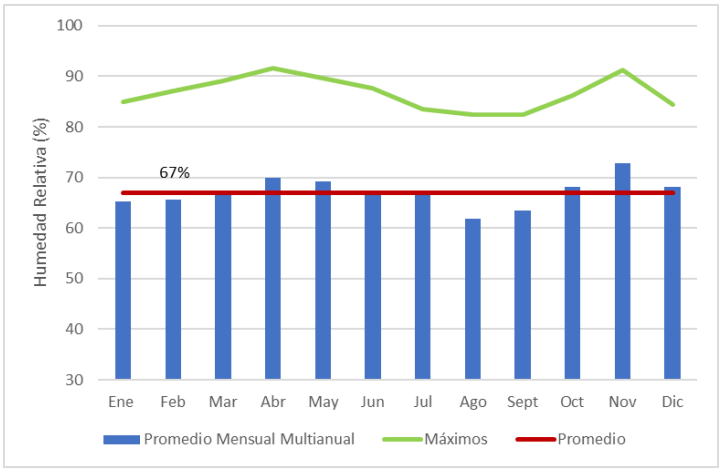


Figura 624. Distribución temporal humedad relativa media diaria estación IDEAM Bogotá . El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.1.11. Distribución temporal de la humedad relativa mínima diaria

- 2120516 RAMADA LA

Se observa que la estación La Ramada (2120516) tiene un comportamiento monomodal, con períodos de humedad relativa mínimos mayores al promedio de abril a julio, y con períodos inferiores al promedio en el resto de los meses. La humedad alcanza su máximo valor promedio en junio (46,49%). El mínimo valor promedio ocurre en enero (37,9%). La humedad relativa mínima promedio mensual multianual es del 43,25%. En la Figura 621 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

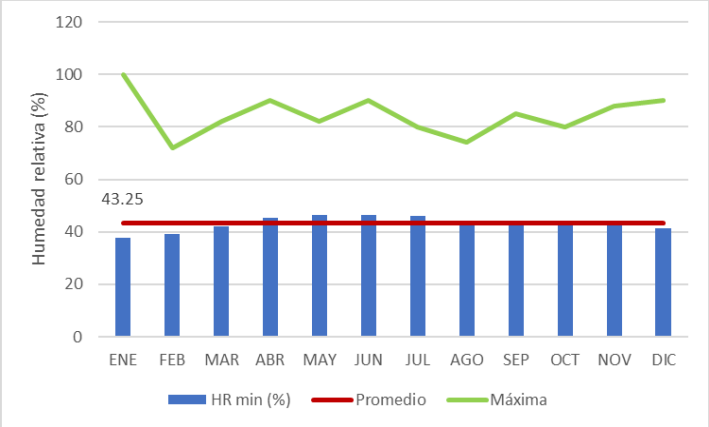


Figura 625. Distribución temporal humedad relativa mínima diaria estación La Ramada . El Periodo 1991-2019.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.1.12. Distribución temporal de la humedad relativa máxima diaria

- 20642 PLANTA WIESNER

Se observa que la estación Planta Wiesner (20642) tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa máximos mayores al promedio en marzo y de mayo a septiembre, y con períodos inferiores al promedio en el resto de los meses. La humedad alcanza su máximo valor en junio (92,67%). El mínimo valor ocurre en enero (86,13%). La humedad relativa máxima promedio mensual multianual es del 89,82%. En la Figura 622 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

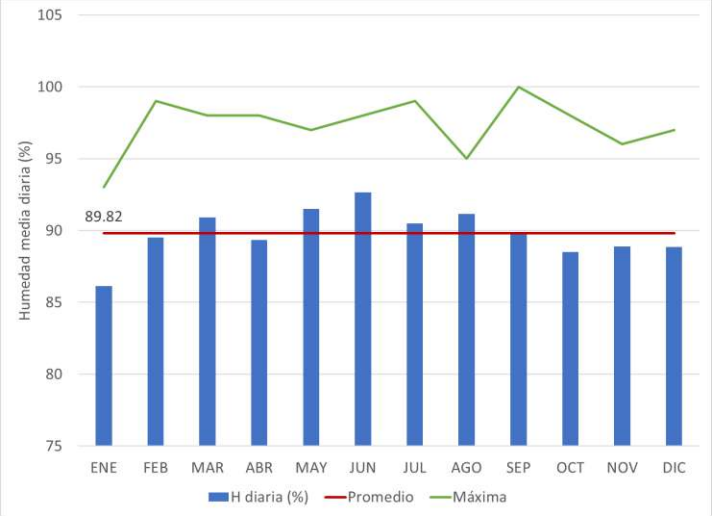


Figura 626. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación Planta Wiesner. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- 2120516 RAMADA LA

Se observa que la estación La Ramada tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa máximos mayores al promedio de abril a junio y de octubre a noviembre, y con períodos inferiores al promedio en el resto de los meses. La humedad alcanza su máximo valor en noviembre (95,42%). El mínimo valor ocurre en agosto (87,39%). La humedad relativa máxima promedio mensual multianual es del 90,03%. En la Figura 623 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

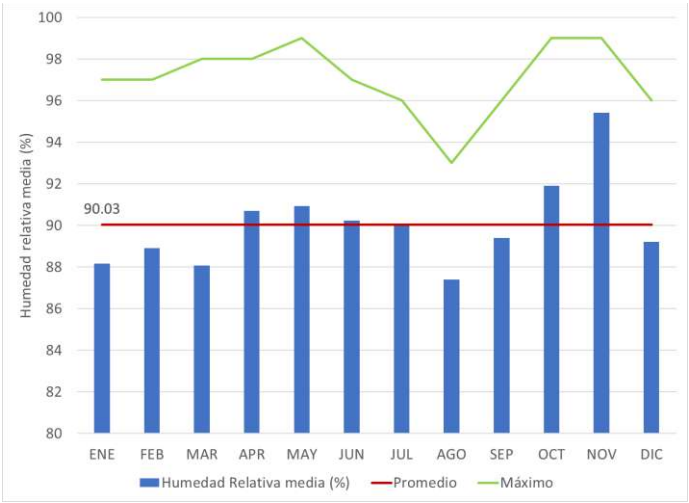


Figura 627. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación La Ramada. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- 21205791 ELDORADO CATAM - AUT

Se observa que la estación El Dorado Catam tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa máximos mayores al promedio de abril a mayo y octubre a diciembre, y con períodos inferiores al promedio en el resto de los meses. La humedad alcanza su máximo valor en noviembre (89,12%). El mínimo valor ocurre en enero (83,13%). La humedad relativa máxima promedio mensual multianual es del 84,98%. En la Figura 624 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

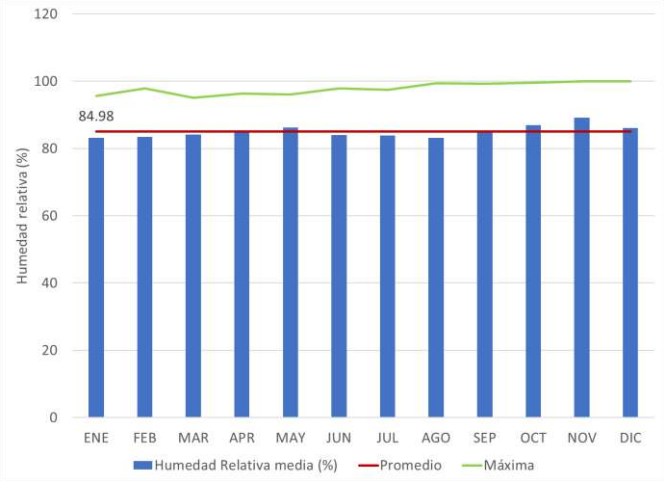


Figura 628. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación El Dorado Catam. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO

Se observa que la estación Centro de Alto Rendimiento tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa máximos mayores al promedio de febrero a mayo y en noviembre, y con períodos inferiores al promedio en el resto de los meses. La humedad alcanza su máximo valor en abril (80,58%). El mínimo valor ocurre en agosto (75,5%). La humedad relativa máxima promedio mensual multianual es del 77,68%. En la Figura 625 se presenta la distribución temporal de este parámetro.



Figura 629. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación Centro de Alto Rendimiento. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- GUAYMARAL

Se observa que la estación Guaymaral tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa máximos mayores al promedio de marzo a julio y en noviembre, y con períodos inferiores al promedio en el resto de los meses. La humedad alcanza su máximo valor en abril (77,33%). El mínimo valor ocurre en octubre (73,16%). La humedad relativa máxima promedio mensual multianual es del 74,63%. En la Figura 626 se presenta la distribución temporal de este parámetro.



Figura 630. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación Guaymaral. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- KENNEDY

Se observa que la estación Kennedy tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa máximos mayores al promedio de marzo a junio y noviembre, y con períodos inferiores al promedio en el resto de los meses. La humedad alcanza su máximo valor en abril (77,67%). El mínimo valor ocurre en agosto (70,89%). La humedad relativa máxima promedio mensual multianual es del 74,37%. En la Figura 627 se presenta la distribución temporal de este parámetro.



Figura 631. Distribución temporal humedad relativa máxima diaria estación Kennedy. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.1.13. Distribución temporal de la presión atmosférica

La presión atmosférica para el trazado se estimó a partir de la relación que existe entre la temperatura media de las estaciones que registran dicho parámetro según lo presentado en la sección 5.1.2.1.5. (Distribución temporal de la temperatura) y su respectiva elevación. Los valores de presión atmosférica se calcularon utilizando la Ecuación 57.

$$P = P_o \cdot e^{\left(\frac{-g \cdot z}{R_{da} \cdot T_m}\right)}$$

Ecuación 57. Presión atmosférica

Donde:
P es la presión atmosférica en el sitio de interés, mm Hg
Po es la presión atmosférica al nivel del mar, 760 mm Hg (1013 mbar)
g = aceleración de la gravedad, 9,81m/s2
z = altitud estación de referencia (Ver Tabla 178)
Rda = constante de gas del aire seco, 289 J/Kg-K
Tm = temperatura media estación de referencia, K

Los resultados de presión atmosférica estimada se presentan a continuación:

- INEM KENNEDY

En la estación INEM Kennedy la presión atmosférica tiene un valor promedio anual de 559,92 mmHg, los valores oscilan en un rango de 559,60 mmHg para el mes de enero a 560,27 mmHg para el mes de mayo, ver Tabla 314.

Tabla 315. Presión atmosférica mensual. Estación INEM Kennedy.

Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
(mmHg)	559,60	559,64	559,85	560,13	560,27	560,10	559,95	559,80	559,86	560,01	560,12	559,72	559,92
mbar	745,94	746,01	746,28	746,65	746,84	746,61	746,41	746,21	746,29	746,50	746,64	746,11	746,37

Fuente: UT MOVIUS 2022

- LA RAMADA

En la estación La Ramada la presión atmosférica tiene un valor promedio anual de 563,19 mmHg, los valores oscilan en un rango de 562,99 mmHg para el mes de julio a 563,37 mmHg para el mes de abril, ver Tabla 315.

Tabla 316. Presión atmosférica mensual. Estación La Ramada.

Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
(mmHg)	563,32	563,23	563,28	563,37	563,34	563,13	562,99	563,12	563,07	563,14	563,20	563,06	563,19
mbar	750,90	750,79	750,85	750,97	750,93	750,65	750,46	750,64	750,58	750,66	750,75	750,56	750,73

Fuente: UT MOVIUS 2022

- PLANTA WIESNER

En la estación Planta Wiesner la presión atmosférica tiene un valor promedio anual de 545,37 mmHg, los valores oscilan en un rango de 544,92 mmHg para el mes de agosto a 545,81 mmHg para el mes de abril, ver Tabla 316.

Tabla 317. Presión atmosférica mensual. Estación Planta Wiesner.

Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
(mmHg)	545,33	545,67	545,71	545,81	545,58	545,14	544,94	544,92	545,17	545,44	545,45	545,31	545,37
mbar	726,92	727,38	727,43	727,56	727,26	726,68	726,40	726,38	726,71	727,07	727,08	726,90	726,98

Fuente: UT MOVIUS 2022

- CARVAJAL - SEVILLANA

En la estación Carvajal - Sevillana la presión atmosférica tiene un valor promedio anual de 562,28 mmHg, los valores oscilan en un rango de 562,22 mmHg para el mes de septiembre a 562,32 mmHg para los meses de marzo y abril, ver Tabla 317.

Tabla 318. Presión atmosférica mensual. Estación Carvajal - Sevillana.

Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
(mmHg)	562,24	562,24	562,32	562,32	562,28	562,28	562,29	562,29	562,22	562,29	562,30	562,26	562,28
mbar	749,47	749,46	749,57	749,57	749,51	749,52	749,53	749,54	749,44	749,53	749,55	749,49	749,52

Fuente: UT MOVIUS 2022

- CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO

En la estación Centro de Alto Rendimiento la presión atmosférica tiene un valor promedio anual de 562,60 mmHg, los valores oscilan en un rango de 562,44 mmHg para el mes de diciembre a 562,83 mmHg para el mes de mayo, ver Tabla 318.

Tabla 319. Presión atmosférica mensual. Estación Centro de Alto Rendimiento.

Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
(mmHg)	562,46	562,71	562,76	562,79	562,83	562,63	562,49	562,48	562,48	562,56	562,56	562,44	562,60
mbar	749,76	750,09	750,16	750,20	750,25	749,99	749,81	749,79	749,78	749,89	749,90	749,74	749,95

Fuente: UT MOVIUS 2022

- GUAYMARAL

En la estación Guaymaral la presión atmosférica tiene un valor promedio anual de 560,62 mmHg, los valores oscilan en un rango de 560,36 mmHg para el mes de julio a 560,91 mmHg para el mes de marzo, ver Tabla 319.

Tabla 320. Presión atmosférica mensual. Estación Guaymaral.

Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
(mmHg)	560,47	560,79	560,91	560,90	560,88	560,56	560,36	560,42	560,45	560,58	560,67	560,42	560,62
mbar	747,11	747,53	747,70	747,68	747,65	747,23	746,96	747,04	747,08	747,25	747,38	747,04	747,30

Fuente: UT MOVIUS 2022

- KENNEDY

En la estación Kennedy la presión atmosférica tiene un valor promedio anual de 560,95 mmHg, los valores oscilan en un rango de 560,84 mmHg para el mes de noviembre a 561,06 mmHg para el mes de febrero, ver Tabla 320.

Tabla 321. Presión atmosférica mensual. Estación Kennedy.

Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
(mmHg)	560,86	561,06	561,03	561,04	561,05	560,89	560,88	560,93	561,03	560,96	560,84	560,86	560,95
mbar	747,62	747,90	747,86	747,87	747,88	747,66	747,65	747,72	747,85	747,76	747,59	747,63	747,75

Fuente: UT MOVIUS 2022

- LAS FERIAS

En la estación Las Ferias la presión atmosférica tiene un valor promedio anual de 562,22 mmHg, los valores oscilan en un rango de 562,02 mmHg para el mes de julio a 562,40 mmHg para el mes de febrero, ver Tabla 321.

Tabla 322. Presión atmosférica mensual. Estación Las Ferias.

Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
(mmHg)	562,22	562,40	562,39	562,37	562,39	562,18	562,02	562,09	562,15	562,18	562,19	562,09	562,22
mbar	749,44	749,68	749,66	749,64	749,67	749,39	749,17	749,26	749,35	749,38	749,40	749,27	749,44

Fuente: UT MOVIUS 2022

- MÓVIL SÉPTIMA

En la estación Móvil Séptima la presión atmosférica tiene un valor promedio anual de 561,05 mmHg, los valores oscilan en un rango de 560,83 mmHg para el mes de julio a 561,27 mmHg para el mes de abril, ver Tabla 322.

Tabla 323. Presión atmosférica mensual. Estación Móvil Séptima.

Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
(mmHg)	561,13	561,22	561,20	561,27	561,25	561,02	560,83	560,84	560,94	560,95	560,90	561,09	561,05
mbar	747,98	748,10	748,08	748,17	748,15	747,84	747,59	747,61	747,73	747,75	747,68	747,93	747,88

Fuente: UT MOVIUS 2022

- PUENTE ARANDA

En la estación Puente Aranda la presión atmosférica tiene un valor promedio anual de 559,68 mmHg, los valores oscilan en un rango de 559,37 mmHg para el mes de julio a 559,89 mmHg para el mes de febrero, ver Tabla 323.

Tabla 324. Presión atmosférica mensual. Estación Puente Aranda.

Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
(mmHg)	559,66	559,89	559,86	559,88	559,84	559,62	559,37	559,40	559,61	559,69	559,69	559,62	559,68
mbar	746,03	746,33	746,30	746,32	746,26	745,97	745,64	745,68	745,96	746,06	746,06	745,97	746,05

Fuente: UT MOVIUS 2022

- SAN CRISTÓBAL

En la estación San Cristóbal la presión atmosférica tiene un valor promedio anual de 552,72 mmHg, los valores oscilan en un rango de 552,36 mmHg para el mes de julio a 553,01 mmHg para el mes de Marzo, ver Tabla 324.

Tabla 325. Presión atmosférica mensual. Estación San Cristóbal.

Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
(mmHg)	552,7	553,01	553,01	552,96	552,97	552,63	552,36	552,39	552,61	552,73	552,71	552,62	552,72
mbar	736,75	737,17	737,16	737,1	737,1	736,65	736,3	736,33	736,63	736,78	736,76	736,64	736,78

Fuente: UT MOVIUS 2022

- SUBA

En la estación Suba la presión atmosférica tiene un valor promedio anual de 561,02 mmHg, los valores oscilan en un rango de 560,8 mmHg para el mes de diciembre a 561,27 mmHg para el mes de abril, ver Tabla 325.

Tabla 326. Presión atmosférica mensual. Estación Suba.

Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
(mmHg)	560,99	561,19	561,26	561,27	561,22	560,97	560,84	560,85	560,87	560,97	560,96	560,8	561,02
mbar	747,79	748,07	748,16	748,17	748,1	747,77	747,6	747,62	747,63	747,77	747,76	747,54	747,83

Fuente: UT MOVIUS 2022

- USAQUÉN

En la estación Usaquén la presión atmosférica tiene un valor promedio anual de 560,98 mmHg, los valores oscilan en un rango de 560,58 mmHg para el mes de diciembre a 561,18 mmHg para el mes de abril, ver Tabla 326.

Tabla 327. Presión atmosférica mensual. Estación Usaquén.

Unidades	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
(mmHg)	561,02	561,16	561,17	561,18	561,15	561,06	560,88	561,01	560,93	560,91	560,76	560,58	560,98
mbar	747,84	748,02	748,04	748,05	748,01	747,9	747,66	747,83	747,72	747,69	747,49	747,25	747,79

Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.1.14. Distribución temporal de la nubosidad

La distribución temporal de la nubosidad se obtuvo a partir de los registros de las estaciones El Dorado e INEM Kennedy, a partir de los datos recopilados se definió el periodo común que corresponde a 1998-2016. En la Figura 227 se presenta la localización espacial de las estaciones.

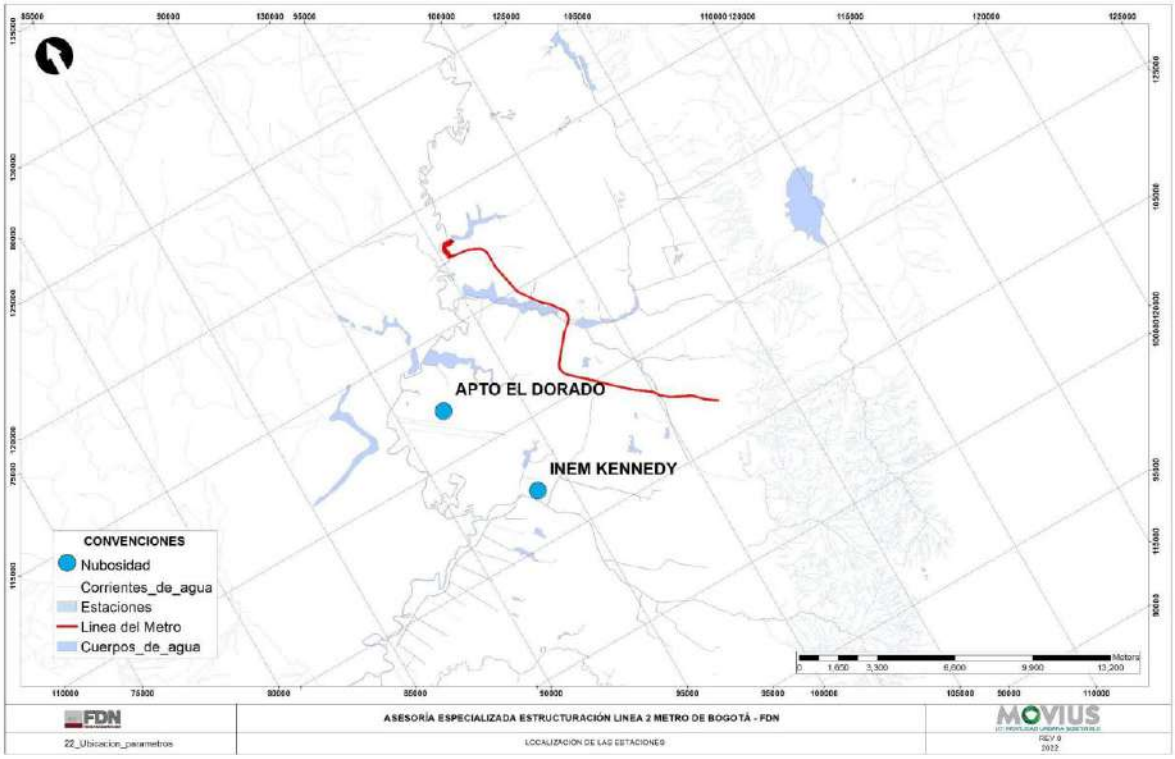


Figura 632. Localización de las estaciones de nubosidad.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- EL DORADO

La nubosidad en la estación El Dorado tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 2,6 octas. En los meses de marzo a noviembre, los registros superan el promedio, mientras que en los meses de enero, febrero y diciembre, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 2,3 octas y se presentó en el mes enero; el máximo registro se presentó en el mes de octubre y corresponde a 2,72 octas. En la Figura 629 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

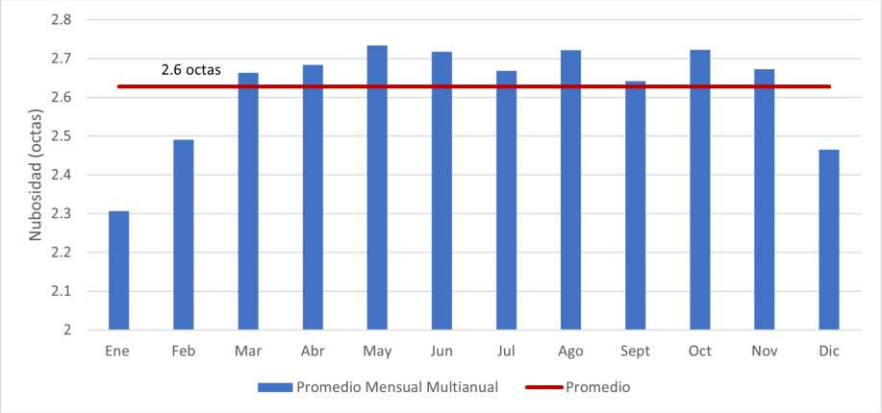


Figura 633. Distribución temporal de la nubosidad estación El Dorado. El Periodo 1998-2016.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- INEM KENNEDY

La nubosidad en la estación INEM Kennedy tiene un comportamiento bimodal, donde el valor promedio multianual es de 2,15 octas. En los meses de marzo a agosto y noviembre, los registros superan el promedio, mientras que en los meses de enero, febrero, septiembre, octubre y diciembre, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 1,73 octas y se presentó en el mes enero; el máximo registro se presentó en el mes de junio y corresponde a 2,35 octas. En la Figura 630 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

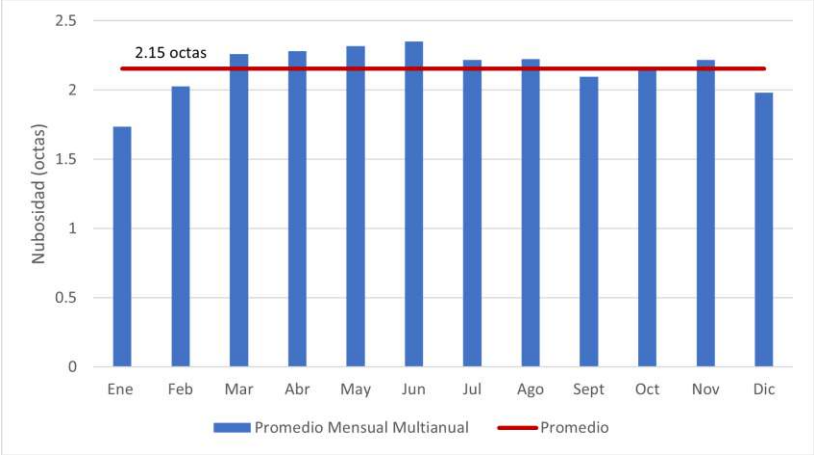


Figura 634. Distribución temporal de la nubosidad estación INEM Kennedy. El Periodo 1998-2016.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.1.15. Distribución temporal de la velocidad del viento

Para conocer la distribución temporal de la velocidad del viento se tomaron como base los registros de las estaciones Carvajal - Sevillana, Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, Kennedy, El Dorado, Las Ferias, Secretaría Distrital De Ambiente, Móvil Séptima, Puente Aranda, San Cristóbal, Suba, Tunal y Usaquén, a partir de los registros recopilados se definió el periodo común que corresponde a 2010-2021, en la Figura 631 se presenta la localización espacial de las estaciones caracterizadas.

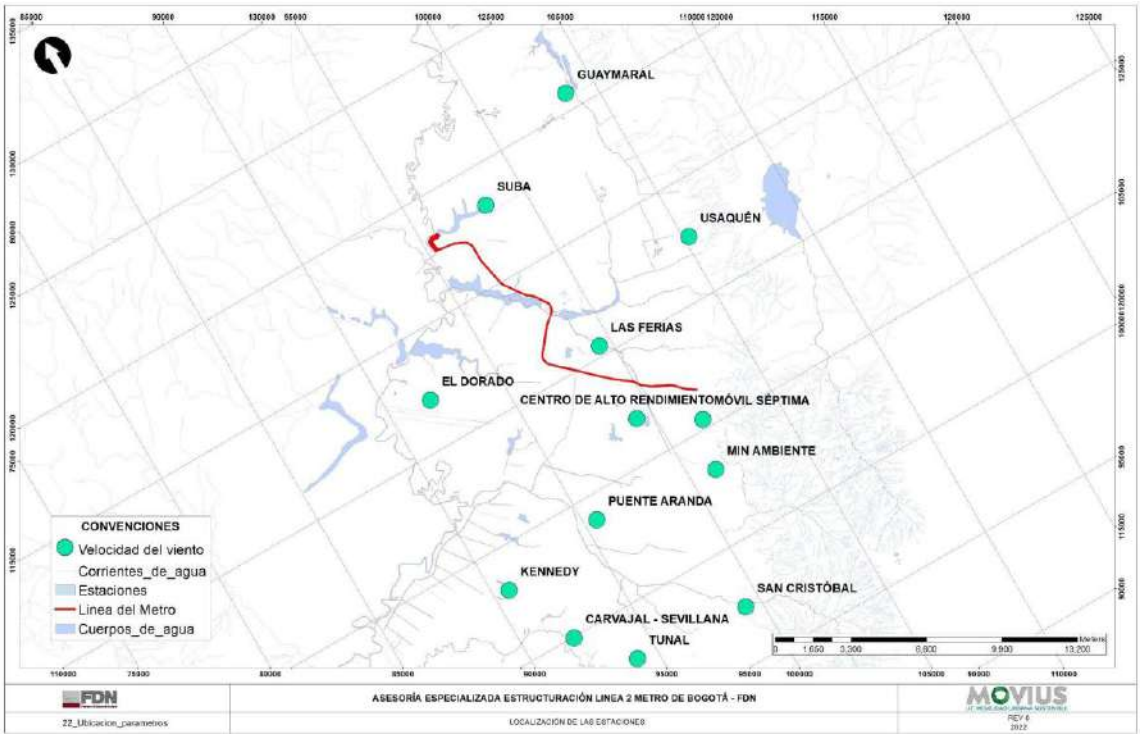


Figura 635. Localización de las estaciones de velocidad del viento.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- CARVAJAL - SEVILLANA

La velocidad del viento en la estación Carvajal - Sevillana tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 2,04 m/s. En los meses de junio a septiembre los registros superan el promedio, mientras que en los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 1,64 m/s del mes de noviembre y el máximo registro se presentó en el mes julio que corresponde a 2,37 m/s. En la Figura 632 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

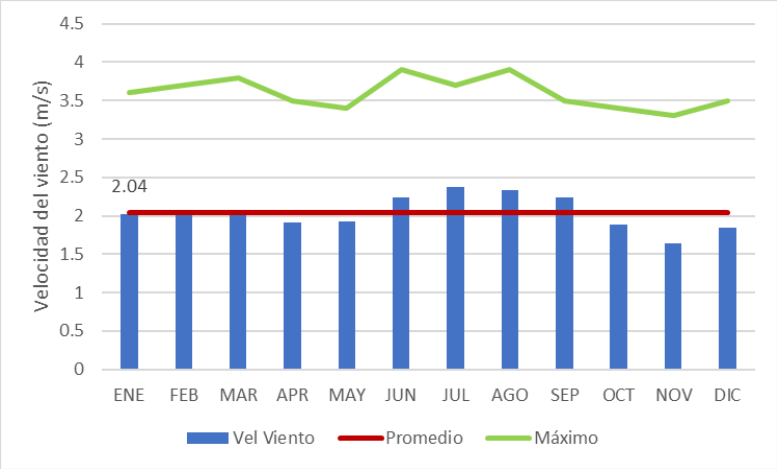


Figura 636. Distribución temporal precipitación total estación Carvajal - Sevillana. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO

La velocidad del viento en la estación Centro de Alto Rendimiento tiene un comportamiento bimodal, donde el valor promedio multianual es de 1,31 m/s. En los meses de enero a marzo y de junio a agosto los registros superan el promedio, mientras que en los meses de abril a mayo y de septiembre a diciembre los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 1,24 m/s y se presentó en el mes de noviembre y el máximo registro se presentó en el mes julio y corresponde a 1,42 m/s. En la Figura 633 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

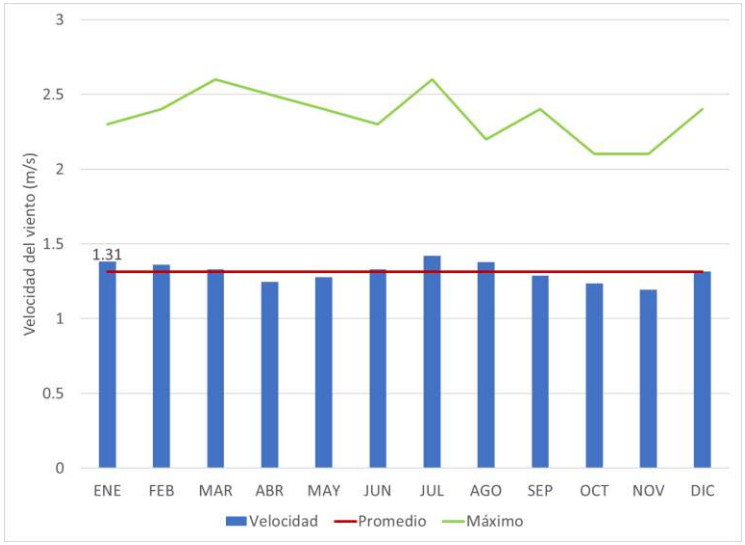


Figura 637. Distribución temporal precipitación total estación Centro de Alto Rendimiento. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- GUAYMARAL

La velocidad del viento en la estación Guaymaral tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 1,11 m/s. En los meses de junio a septiembre los registros superan el promedio, mientras que en los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 0,86 m/s en noviembre y el máximo registro se presentó en el mes agosto con 1,33 m/s. En la Figura 634 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

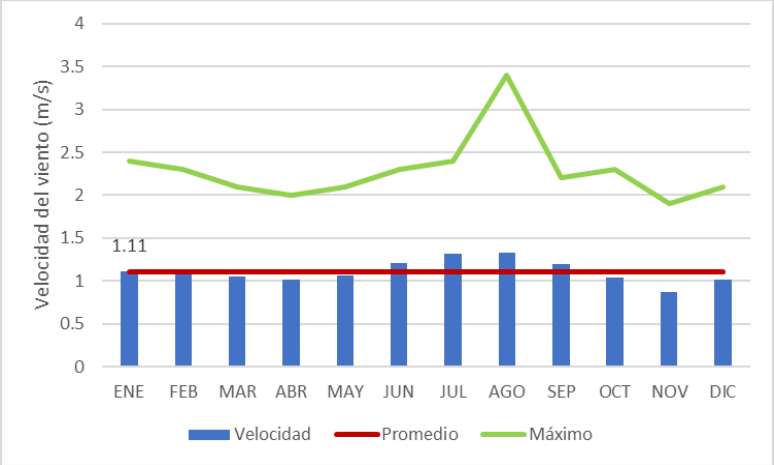


Figura 638. Distribución temporal precipitación total estación Guaymaral. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- KENNEDY

La velocidad del viento en la estación Kennedy tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 2,43 m/s. En los meses de junio a septiembre los registros superan el promedio, mientras que en los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 2,08 m/s y se presentó en el mes de noviembre y el máximo registro se presentó en el mes julio y corresponde a 2,74 m/s. En la Figura 635 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

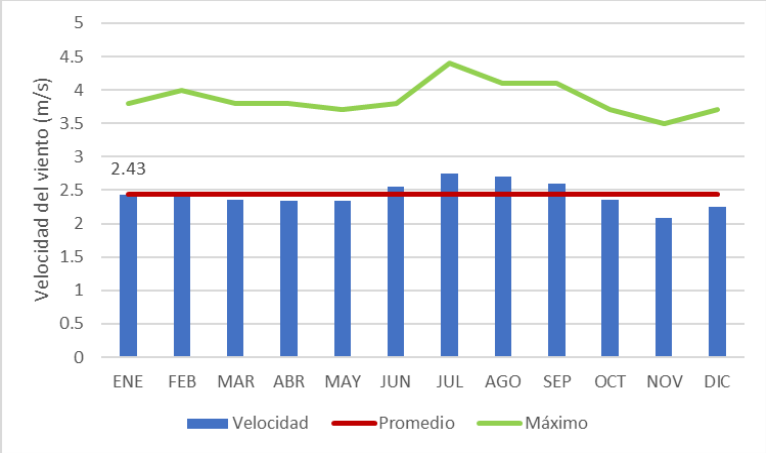


Figura 639. Distribución temporal precipitación total estación Kennedy. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- 21205791 ELDORADO CATAM - AUT

La velocidad del viento en la estación El Dorado Catam tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 2,05 m/s. En los meses de mayo a agosto los registros superan el promedio, mientras que en los meses de enero a abril y de septiembre a diciembre los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 1,71 m/s y se presentó en el mes de noviembre y el máximo registro se presentó en el mes julio y corresponde a 2,36 m/s. En la Figura 636 se presenta la distribución temporal de este parámetro.



Figura 640. Distribución temporal precipitación total estación 21205791 El Dorado Catam. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- LAS FERIAS

La velocidad del viento en la estación Las Ferias tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 1,8 m/s. En los meses de enero y de junio a agosto, los registros superan el promedio, mientras que en los demás meses, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 1,54 m/s y se presentó en el mes de noviembre y el máximo registro se presentó en el mes julio y corresponde a 1,98 m/s. En la Figura 637 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

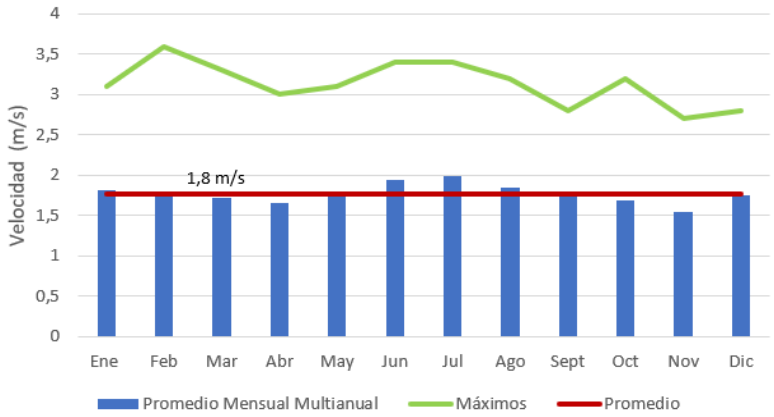


Figura 641. Distribución temporal velocidad estación Las Ferias. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

La velocidad del viento en la estación Secretaría Distrital De Ambiente tiene un comportamiento bimodal, donde el valor promedio multianual es de 1,44 m/s. En los meses de enero a febrero, de junio a septiembre y diciembre, los registros superan el promedio, mientras que en los demás meses, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 1,21 m/s y se presentó en el mes de noviembre, y el máximo registro se presentó en el mes de julio y corresponde a 1,56 m/s. En la Figura 638 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

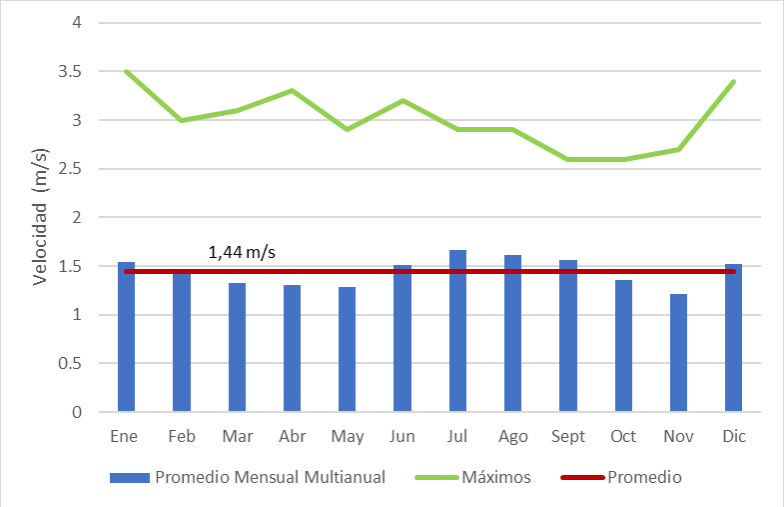


Figura 642. Distribución temporal velocidad estación Secretaría Distrital De Ambiente. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- MÓVIL SÉPTIMA

La velocidad del viento en la estación Móvil Séptima tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 1,48 m/s. En los meses de junio, julio, agosto y septiembre, los registros superan el promedio, mientras que en los demás meses, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 1,24m/s en el mes de diciembre y el máximo registro se presentó en el mes de julio y corresponde a 1,87 m/s. Ver Figura 639.



Figura 643. Distribución temporal velocidad estación Móvil Séptima. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- PUENTE ARANDA

La velocidad del viento en la estación Puente Aranda tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 2,21 m/s. En los meses de enero y de junio a septiembre, los registros superan el promedio, mientras que en los demás meses los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 1,86 m/s y se presentó en el mes de noviembre y el máximo registro se presentó en el mes de agosto y corresponde a 2,61 m/s. En la Figura 640 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

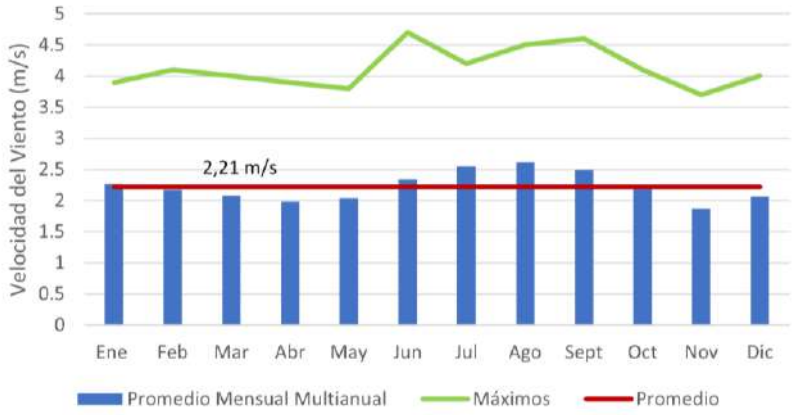


Figura 644. Distribución temporal velocidad estación Puente Aranda. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- SAN CRISTÓBAL

La velocidad del viento en la estación San Cristóbal tiene un comportamiento bimodal, donde el valor promedio multianual es de 1,57 m/s. En los meses de enero a febrero, de septiembre a octubre y diciembre, los registros superan el promedio, mientras que en los demás meses, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 1,38 m/s y se presentó en el mes de noviembre y el máximo registro se presentó en el mes enero y corresponde a 1,81 m/s. En la Figura 641 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

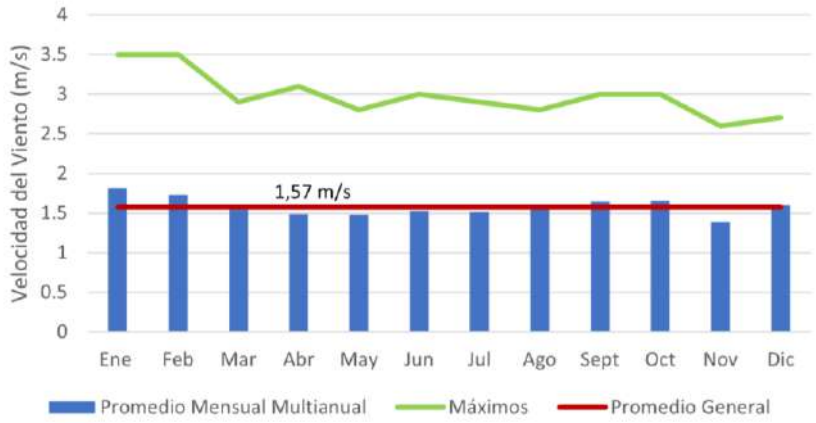


Figura 645. Distribución temporal velocidad estación San Cristóbal. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- SUBA

La velocidad del viento en la estación Suba tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 1,52 m/s. En los meses de junio a septiembre, los registros superan el promedio, mientras que en los meses de enero a mayo y octubre a diciembre, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 1,17 m/s y se presentó en el mes de noviembre y el máximo registro se presentó en el mes julio y corresponde a 1,95 m/s. En la Figura 642 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

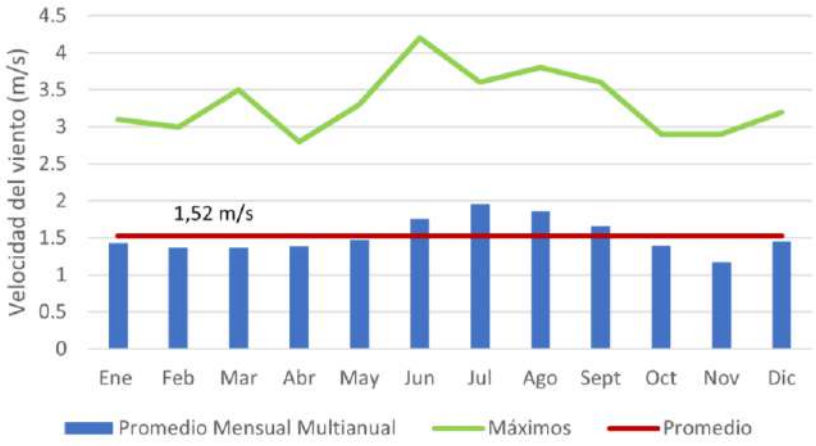


Figura 646. Distribución temporal velocidad estación Suba. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- TUNAL

La velocidad del viento en la estación Tunal tiene un comportamiento bimodal, donde el valor promedio multianual es de 1,2 m/s. En los meses de enero a marzo y julio a agosto, los registros superan el promedio, mientras que en los meses de abril a junio y de septiembre a diciembre, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 1,09 m/s y se presentó en el mes de noviembre y el máximo registro se presentó en el mes de febrero y corresponde a 1,32 m/s. En la Figura 643 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

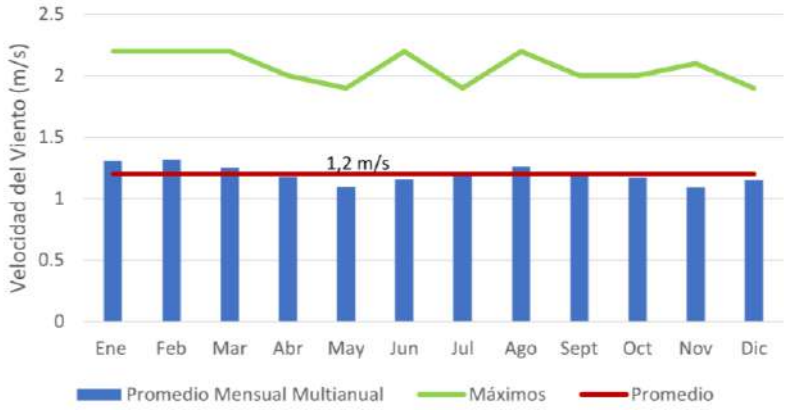


Figura 647. Distribución temporal velocidad estación Tunal. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- USAQUÉN

La velocidad del viento en la estación Usaquén tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 1,53 m/s. En los meses de junio a septiembre, los registros superan el promedio, mientras que en los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre, los registros son inferiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 1,12 m/s y se presentó en el mes de noviembre y el máximo registro se presentó en el mes de agosto y corresponde a 1,92 m/s. En la Figura 644 se presenta la distribución temporal de este parámetro.

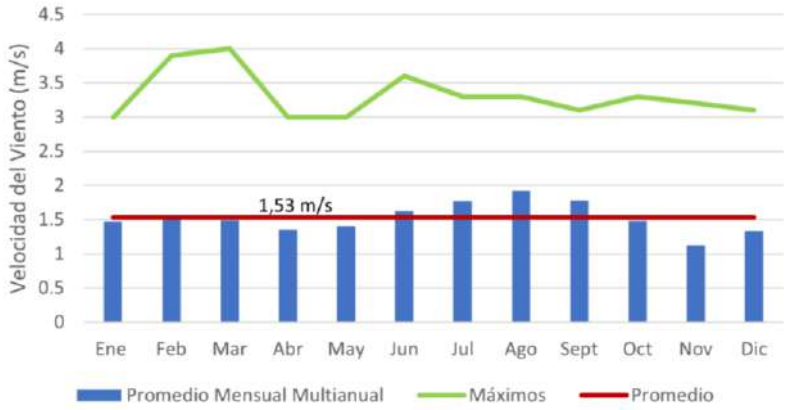


Figura 648. Distribución temporal velocidad estación Usaquén. El Periodo 2010 - 2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.1.16. Rosa de vientos

Se definieron la rosa de vientos diurno anual para la estación El Dorado Catam (21205791), las estaciones del Secretaría Distrital De Ambiente; Carvajal - Sevillana, Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, Kennedy, Las Ferias, Puente Aranda, Suba, Tunal y Usaquén. La selección de las estaciones de la secretaría se hizo en base a que el porcentaje de vacíos fuera menor al 10%.

En la Figura 646, se presentan las rosas de vientos diurno anual y direcciones predominantes para la estación Apto El Dorado, de allí puede identificarse que la dirección predominante es Noreste y Sureste. En la Figura 645 se presentan las rosas de vientos mensuales de la estación. En la Tabla 327 se observa la variabilidad del viento de acuerdo a su dirección y velocidad, según la tabla se distingue que es más frecuente una velocidad de 1,5 - 2,0 m/s. Se pueden ver los resultados de las demás estaciones en el Anexo 5.2 - 13.4.

Tabla 328. Variabilidad de la velocidad del viento diurno anual.

V (m/s)	E	N	NE	NW	S	SE	SW	W	Total
0-0.5	0,00%	0,03%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,01%	0,00%	0,06%
0.5-1	0,08%	0,81%	0,39%	0,78%	0,11%	0,09%	0,17%	0,41%	3,00%
1-1.5	0,58%	3,27%	1,88%	1,98%	0,42%	0,37%	0,54%	1,03%	10,62%
1.5-2	1,13%	3,90%	3,26%	1,73%	0,59%	0,82%	0,82%	1,05%	14,02%
2-2.5	1,43%	2,03%	3,74%	1,11%	0,67%	1,47%	1,07%	1,38%	13,58%
2.5-3	1,81%	1,07%	3,34%	0,81%	0,73%	1,86%	1,27%	1,91%	13,49%
3-3.5	2,13%	0,45%	2,25%	0,58%	0,84%	2,81%	1,14%	1,91%	12,78%
3.5-4	2,35%	0,15%	1,30%	0,47%	0,78%	3,03%	0,96%	1,64%	11,29%
4-4.5	2,37%	0,05%	0,77%	0,34%	0,54%	2,88%	0,61%	1,47%	9,54%
4.5-5	1,72%	0,02%	0,31%	0,19%	0,36%	1,80%	0,25%	0,99%	5,95%
5-5.5	1,09%	0,00%	0,14%	0,11%	0,12%	1,07%	0,05%	0,65%	3,42%
5.5-6	0,51%	0,00%	0,07%	0,02%	0,03%	0,48%	0,01%	0,18%	1,38%
>6	0,45%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,32%	0,00%	0,04%	0,87%

Fuente: UT MOVIUS 2022

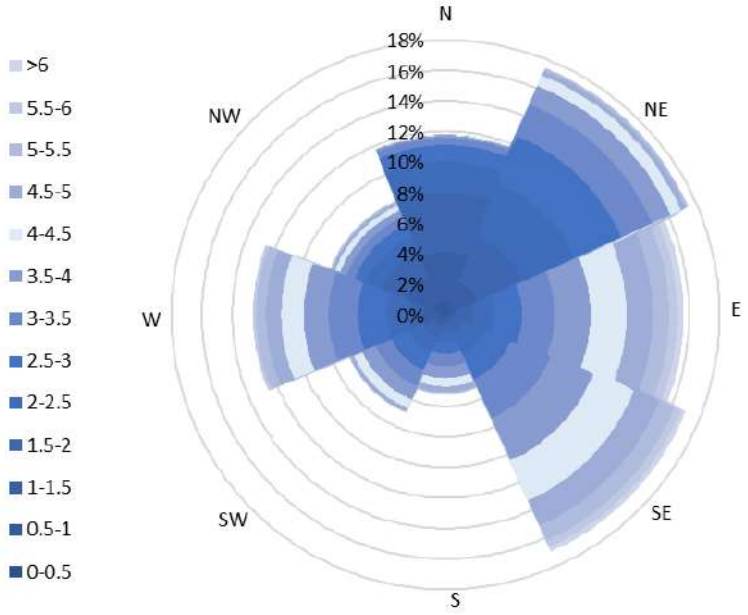
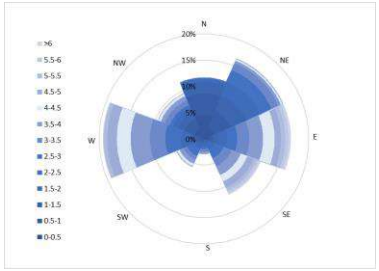
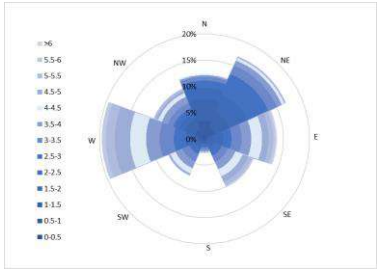
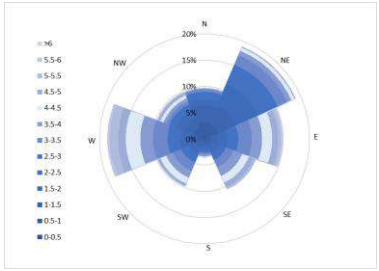
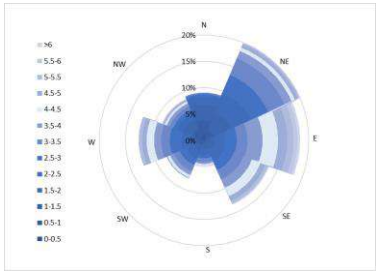
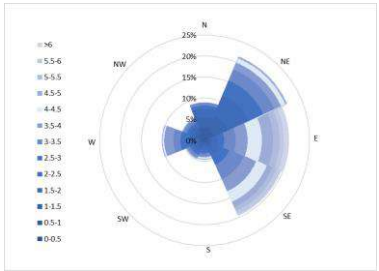
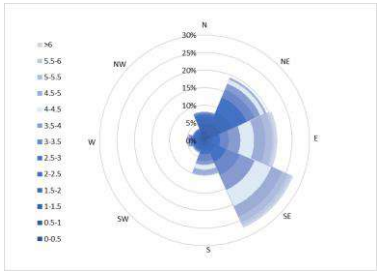


Figura 649. Rosa de vientos diurno anual de la estación 21205791 El Dorado Catam, 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

ENERO	FEBRERO	MARZO
		
ABRIL	MAYO	JUNIO
		
JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE

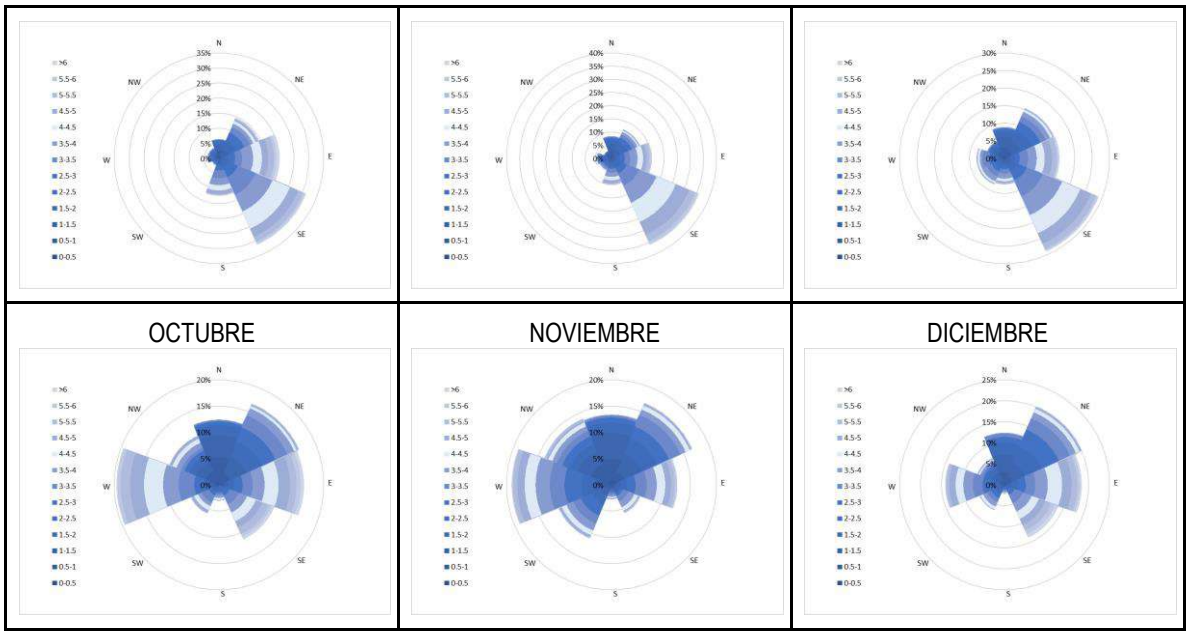


Figura 650. Rosa de vientos diurna mensual de la estación 21205791 El Dorado Catam, 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Figura 647, está la rosa de vientos nocturnos anual, en él se ve una dirección predominante al Noreste y Norte. En la Figura 648, se encuentran las rosas de vientos mensuales. En la Tabla 328 se observa la variabilidad del viento de acuerdo a su dirección y velocidad, según la tabla se distingue que es más frecuente una velocidad de 1 - 1,5 m/s.

Tabla 329. Variabilidad de la velocidad del viento nocturno anual

V (m/s)	E	N	NE	NW	S	SE	SW	W	Total
0-0.5	0,01%	0,06%	0,02%	0,05%	0,01%	0,00%	0,03%	0,06%	0,25%
0.5-1	0,18%	3,29%	0,86%	4,04%	0,25%	0,12%	0,89%	2,59%	13,49%
1-1.5	0,57%	10,00%	3,31%	7,51%	0,45%	0,34%	1,38%	4,35%	30,83%
1.5-2	0,83%	6,57%	5,80%	2,91%	0,44%	0,54%	0,71%	2,14%	22,02%
2-2.5	1,13%	2,62%	6,24%	0,65%	0,28%	0,63%	0,30%	0,83%	14,00%
2.5-3	1,62%	0,91%	4,77%	0,19%	0,20%	0,72%	0,07%	0,26%	9,66%
3-3.5	1,72%	0,21%	2,22%	0,03%	0,07%	0,65%	0,01%	0,04%	5,48%
3.5-4	1,12%	0,02%	0,70%	0,00%	0,03%	0,51%	0,00%	0,01%	2,63%
4-4.5	0,59%	0,01%	0,21%	0,00%	0,01%	0,29%	0,00%	0,00%	1,23%
4.5-5	0,18%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,11%	0,00%	0,00%	0,34%
5-5.5	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,05%

V (m/s)	E	N	NE	NW	S	SE	SW	W	Total
5.5-6	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,01%
>6	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Fuente: UT MOVIUS 2022

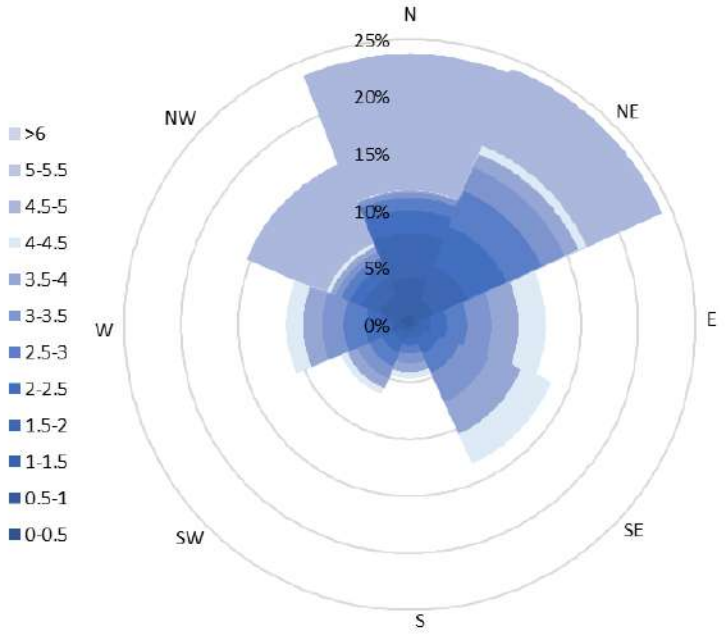


Figura 651. Rosa de vientos nocturno anual de la estación 21205791 El Dorado Catam, 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

ENERO	FEBRERO	MARZO

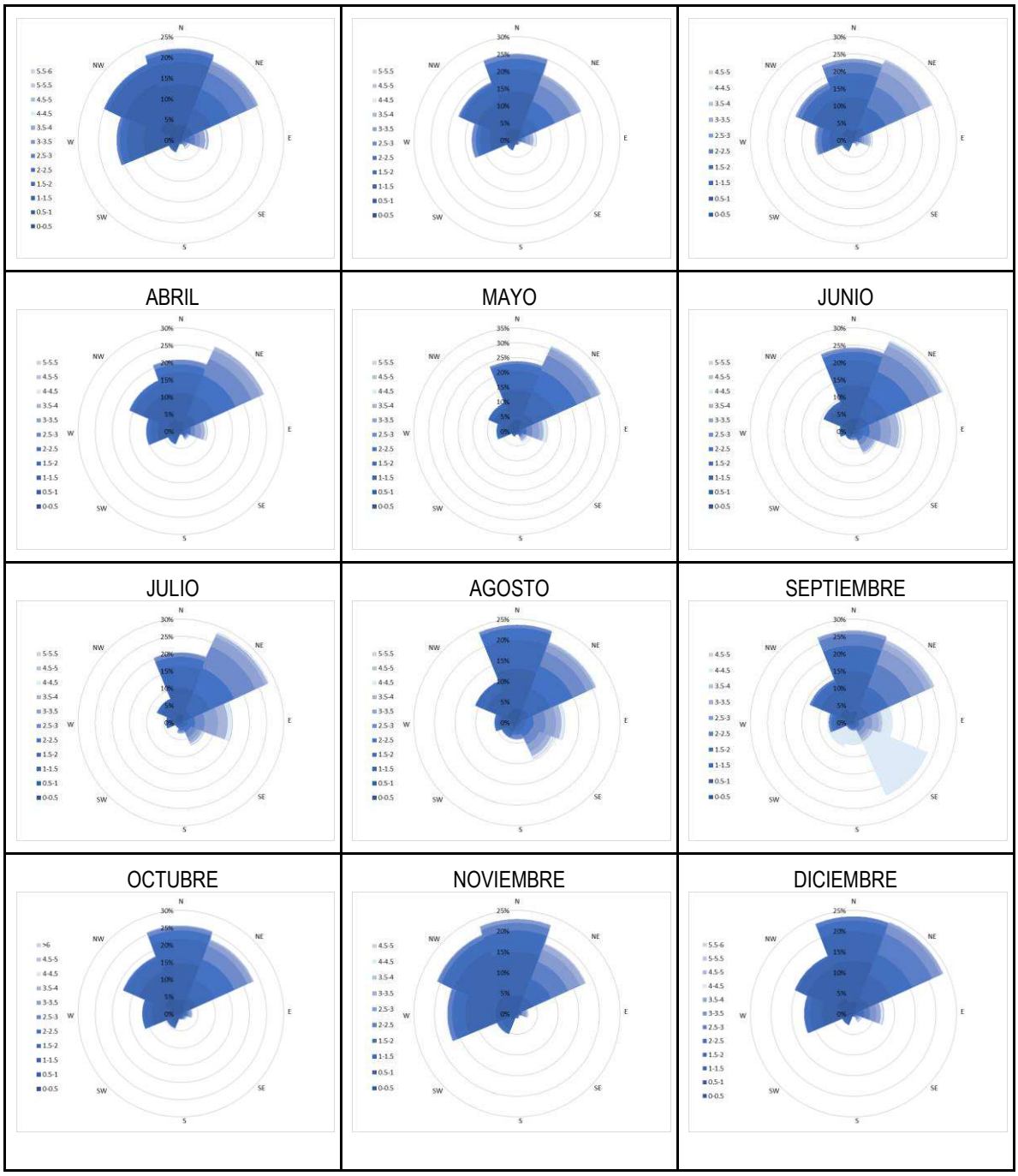


Figura 652. Rosa de vientos nocturna mensual de la estación 21205791 El Dorado Catam, 2010-2021.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.1.17. Clasificación climática

La clasificación climática de la zona de estudio se determinó a partir de la información disponible en el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), que cuenta con la clasificación climática Caldas-Lang para el territorio colombiano. Para establecer la clasificación climática de la zona de estudio, se utilizó la clasificación de Caldas-Lang, la cual determina 25 tipos de clima en función de la temperatura y pisos térmicos y del cociente entre la precipitación y la temperatura (ver Tabla 329).

Tabla 330. Zonas climáticas de acuerdo con clasificación de Caldas – Lang

Clasificación	P/T	Elevación (msnm)
Cálido Superhúmedo	> 160	0-1000
Cálido Húmedo	100-160	0-1000
Cálido Semihúmedo	60-100	0-1000
Cálido Semiárido	40-60	0-1000
Cálido Árido	20,1-40	0-1000
Cálido Desértico	0-20	0-1000
Templado Superhúmedo	> 160	1000-2000
Templado Húmedo	100-160	1000-2000
Templado Semihúmedo	60-100	1000-2000
Templado Semiárido	40-60	1000-2000
Templado Árido	20,1-40	1000-2000
Templado Desértico	0-20	1000-2000
Frío Superhúmedo	> 160	2000-3000
Frío Húmedo	100-160	2000-3000
Frío Semihúmedo	60-100	2000-3000
Frío Semiárido	40-60	2000-3000
Frío Árido	20,1-40	2000-3000
Frío Desértico	0-20	2000-3000
Páramo bajo Superhúmedo	> 160	3000-3700
Páramo bajo Húmedo	60-100	3000-3700
Páramo bajo Semihúmedo	40-60	3000-3700
Páramo bajo Semiárido	20,1-40	3000-3700
Páramo alto Superhúmedo	> 160	3700-4200
Páramo alto Húmedo	60-100	3700-4200
Nieves perpetuas		> 4200

Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Figura 649 se presenta la clasificación climática para la zona de estudio, en esta se evidencia que el trazado proyectado para la línea 2 del metro pasa por una sola zona climática cuya clasificación se establece como clima frío semihúmedo.



Figura 653. Clasificación climática en la zona de estudio
Fuente: SIAC, Clasificación climática de Caldas - Lang (2014)

5.2.3.2. Identificación de fuentes de emisiones

Un inventario de emisiones es la base de datos de las fuentes de emisiones atmosféricas, las cuales tienen asociadas diferentes variables y características que las clasifican. Esta herramienta permite identificar, georreferenciar, clasificar, consolidar, cuantificar y caracterizar las emisiones atmosféricas existentes en un área de estudio para la toma de decisiones en procesos de regulación, modelación o gestión de calidad del aire.

De acuerdo con los requerimientos de los Términos de Referencia del Proyecto, el inventario debe contener los trazados lineales y fuentes móviles en el área de influencia, potenciales fuentes que puedan impactar la calidad del aire antes y durante la construcción del Proyecto.

En ese orden de ideas, a continuación, se presenta el inventario de fuentes de emisiones atmosféricas que se encuentran dentro del área de estudio del proyecto.

5.2.3.2.1. Inventario de emisiones de entidades oficiales

De acuerdo con la respuesta al radicado 2022ER209235, la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA), como primera autoridad ambiental de la ciudad, contiene dentro de sus repositorios técnicos, información de las principales fuentes de emisiones atmosféricas, detallando de manera general que: "El inventario de emisiones estimados para Bogotá contempla las siguientes fuentes de emisión identificadas hasta el momento: fuentes móviles en carretera (vehículos), fuentes móviles fuera de carretera (maquinaría amarilla, maquinaria agrícola y maquinaria industrial), fuentes fijas industriales, fuentes fijas, resuspensión de material particulado en la malla vial por el paso vehicular, entre otras".

A partir de la respuesta de la SDA, a continuación, se muestran los resultados de las emisiones estimadas para el año 2020 de los contaminantes criterio (CO, NO_X, PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2) y compuestos orgánicos volátiles (VOC) para las localidades de Suba, Barrios Unidos, Usaquén y Chapinero, desagregados espacialmente con una resolución de 1kmx1km, en donde se observa la tabla los resultados de cada uno de los contaminantes para estas localidades.

Tabla 331. Inventario de emisiones atmosféricas de la SDA

Localidad	$PM_{2.5}$ (t/año)	NO_X (t/año)	PM_{10} (t/año)	SO_2 (t/año)	CO (t/año)	VOC (t/año)
Suba	445	5304	2006	133	34459	6306
Barrios Unidos	76	1609	278	45	9906	1716
Chapinero	165	1894	617	45	13438	2760
Engativá	301	3036	1453	68	23048	3225

Fuente: SDA, Respuesta al rad 2022ER209235 información para proyecto L2MB. Comunicación L2MB-MOV-SDA-CE-TEC-020. (2022)

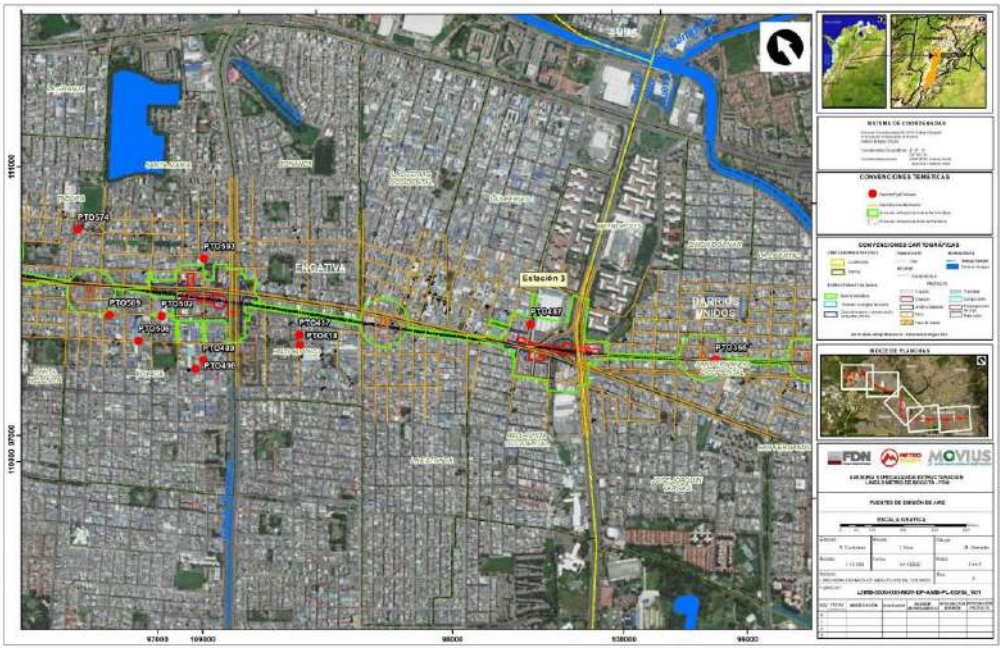
5.2.3.2.2. Inventario de emisiones atmosféricas de la visita técnica

En el recorrido se identificaron 21 fuentes fijas de emisión atmosférica, en su gran mayoría fuentes puntuales. Algunas de las industrias más comunes fueron las procesadoras de alimentos, textiles, metalurgia, transformación de plásticos. Debido al alcance del inventario, se imposibilita obtener datos de producción, dimensionamiento u operación de las diferentes industrias identificadas. Por lo tanto, no fue posible realizar un estimativo de las emisiones atmosféricas asociadas.

En el Anexo 5.2 - 12.1, se presenta el inventario completo con el registro fotográfico, en la Tabla 331 se presentan las fuentes identificadas. En el Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0020a_V01 se ilustra la localización de las fuentes de emisión atmosférica identificadas.



Figura 654. Ubicación de las fuentes de emisión atmosférica. Tramo 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022



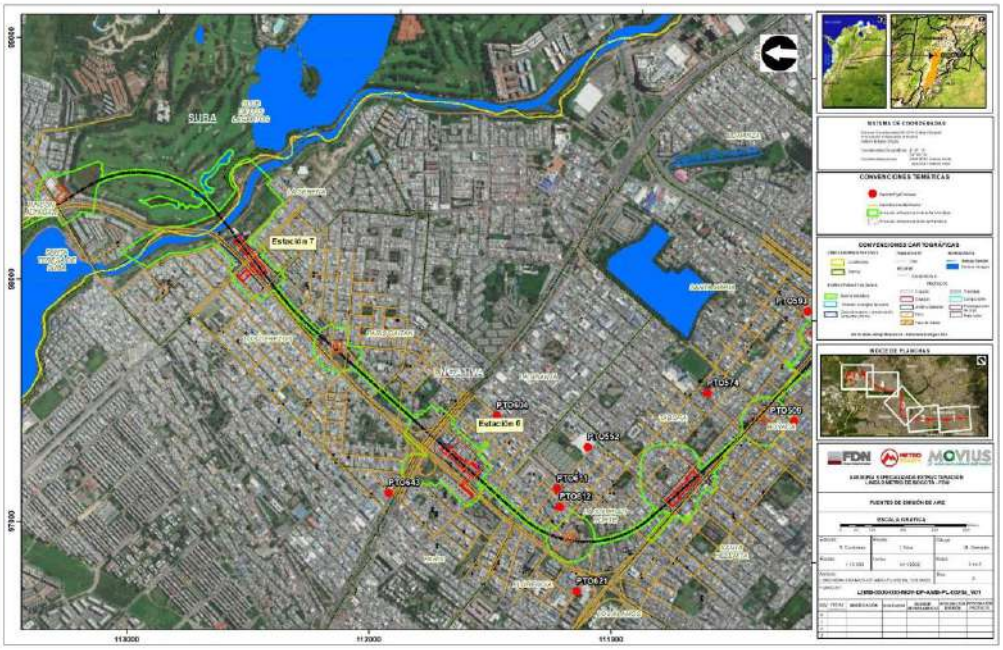


Figura 656. Ubicación de las fuentes de emisión atmosférica. Tramo 3.
Fuente: UT MOVIUS 2022

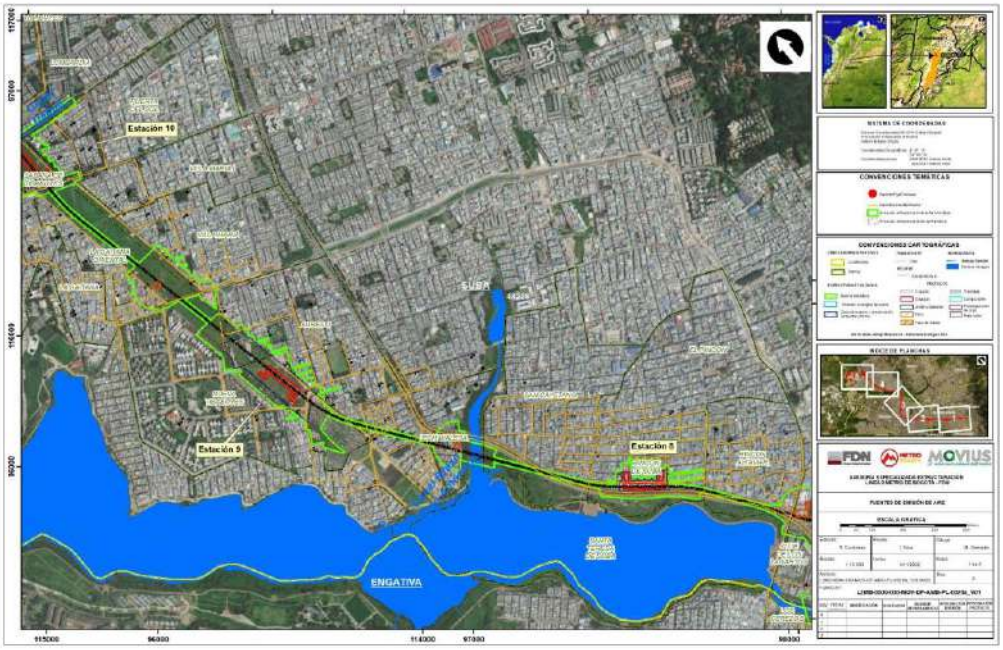


Figura 657. Ubicación de las fuentes de emisión atmosférica. Tramo 4.
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 658. Ubicación de las fuentes de emisión atmosférica. Tramo 5.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 332. Inventario de fuentes de emisión visita técnica

ID	Nombre	Actividad Económica	Cota	Coordenadas MAGNA SIRGAS Ciudad Bogotá	
				Norte	Este
PTO 752	Fuente fija en la carrera 82b con calle 82a	No se tiene información de la actividad económica.	2550,33	116 527,81	96 773,79
PTO 005	Fuente fija Kink SAS.	Elaboración de productos de decoración para Falabella.	2552,45	107 473,18	100 706,29
PTO 011	Fuente fija Cementerio Chapinero la 30.	Hornos crematorios.	2548,70	107 502,99	100 214,24
PTO 366	Fuente fija Calle 72a #63-47.	No se tiene información de la actividad económica.	2553,79	108 698,79	99 533,04
PTO 380	Fuente fija Funeraria para mascotas Funeravet.	Hornos crematorios.	2551,00	107 914,83	100 004,41

ID	Nombre	Actividad Económica	Cota	Coordenadas MAGNA SIRGAS Ciudad Bogotá	
				Norte	Este
PTO 417	Fuente fija Carrera 70g #71-74.	Empresa de muebles.	2556,86	109 771,53	98 180,26
PTO 418	Fuente fija Carrera 70g #71-48.	Hornos crematorios.	2556,13	109 734,91	98 158,28
PTO 487	Fuente fija Plantas Alkosto.	Almacén de cadena.	2551,82	109 258,29	98 989,45
PTO 489	Fuente fija Carrera 72a #70-25.	No se tiene información de la actividad económica.	2551,19	109 913,66	97 793,76
PTO 496	Fuente fija Tiber Calle 70 #72-32.	Diseña y fabrica accesorios metálicos para la industria de la moda en cuero, confección, calzado, accesorios para mascotas y publicidad.	2555,91	109 902,81	97 747,59
PTO 502	Fuente fija Planta eléctrica Calle 71a #73a-53/57.	No se tiene información de la actividad económica.	2555,84	110 160,90	97 758,89
PTO 506	Eaceiplas SAS.	Transformación y comercialización de materiales plásticos.	2554,50	110 132,57	97 622,15
PTO 509	Fuente fija Calle 71 con Carrera 75.	No se tiene información de la actividad económica.	2555,24	110 288,55	97 583,40
PTO 552	Iglesia de Dios Ministerial de Jesucristo InterNacional.	Iglesia cristiana.	2555,01	111 135,27	97 430,95
PTO 574	Clinica infantil Santa María del Lago.	Clínica infantil.	2553,00	110 653,51	97 679,61
PTO 593	Fuente fija Centro de cuidado Renal Davita.	IPS.	2553,01	110 255,51	98 038,26

ID	Nombre	Actividad Económica	Cota	Coordenadas MAGNA SIRGAS Ciudad Bogotá	
				Norte	Este
PTO 604	Fuente fija Carrera 83 #77a-35.	No se tiene información de la actividad económica.	2553,81	111 518,71	97 541,59
PTO 611	Fuente fija Calle 75 #83a-36.	No se tiene información de la actividad económica.	2555,30	111 254,08	97 252,69
PTO 612	Fuente fija Calle 74a #84-13.	No se tiene información de la actividad económica.	2555,63	111 237,70	97 177,77
PTO 621	Fuente fija Calle 72a #86-14.	No se tiene información de la actividad económica.	2552,93	111 150,39	96 835,04
PTO 643	Fuente fija Herrería la 80.	No se tiene información de la actividad económica.	2552,16	111 947,92	97 197,60

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.2.3. Inventario de fuentes móviles (aforos vehiculares)

Para la determinación de las características de tránsito y caracterización física de los tramos viales, inicialmente se realizó una identificación del área de influencia del proyecto para análisis de aire, 16 zonas de estudio para análisis de ruido.

Definidas el área de influencia y zonas de análisis de ruido, se procedió a realizar una identificación y codificación de los tramos viales localizados dentro de estas, con el fin de manejar un base de datos con la información requerida. La codificación y relación de tramos se presenta en tablas posteriores.

Para la caracterización, se partió de la siguiente información:

- Aforos vehiculares tomados para el Estudio de Movilidad, los cuales se localizan en la zona de influencia del proyecto
- Caracterización física de los tramos viales identificados en al área de influencia
- Velocidades de Operación en los tramos viales identificados en al área de influencia

Aforos Vehiculares

A partir de la información primaria de estaciones maestras, intermedias y complementarias tomadas para desarrollo del Estudio de Movilidad, con base en la cual, se procedió al cálculo de volúmenes para vehículos livianos(Autos), pesados (Bus, BRT, C2, C3, C4, C5 y C>5) y motos.

A Continuación se relacionan las estaciones y horario de toma de información:

Tabla 333. Estaciones maestras de aforo para estudio de movilidad L2MB

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos aforados	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
1	AC 72 con Av. Caracas	24 Horas	1, 1T (BRT), 91, 2, 2A, 2T (BRT), 92, 3, 93, 4, 94, 94A 21, 22, 23, 24	17-03-2022	26-03-2022
2	AC 72 con Av. NQS		1, 1A (BRT), 2, 2A (BRT), 3, 4 21, 22, 23, 24 / 41, 42	17-03-2022	02-04-2022
3	AC 72 con Av. Boyacá		1, 1A, 2, 2A, 3, 4 21, 22, 23, 24	17-03-2022	26-03-2022
4	AC 90 con Av. Ciudad de Cali		1, 91, 2, 6, 92, 3, 93, 4, 94 21, 22, 23, 24 / 41, 42	17-03-2022	26-03-2022
5	CL 145 con Carrera 145		1, 5, 91, 2, 6, 92, 8, 94, 7, 93 21, 22, 23, 24	17-03-2022	26-03-2022

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

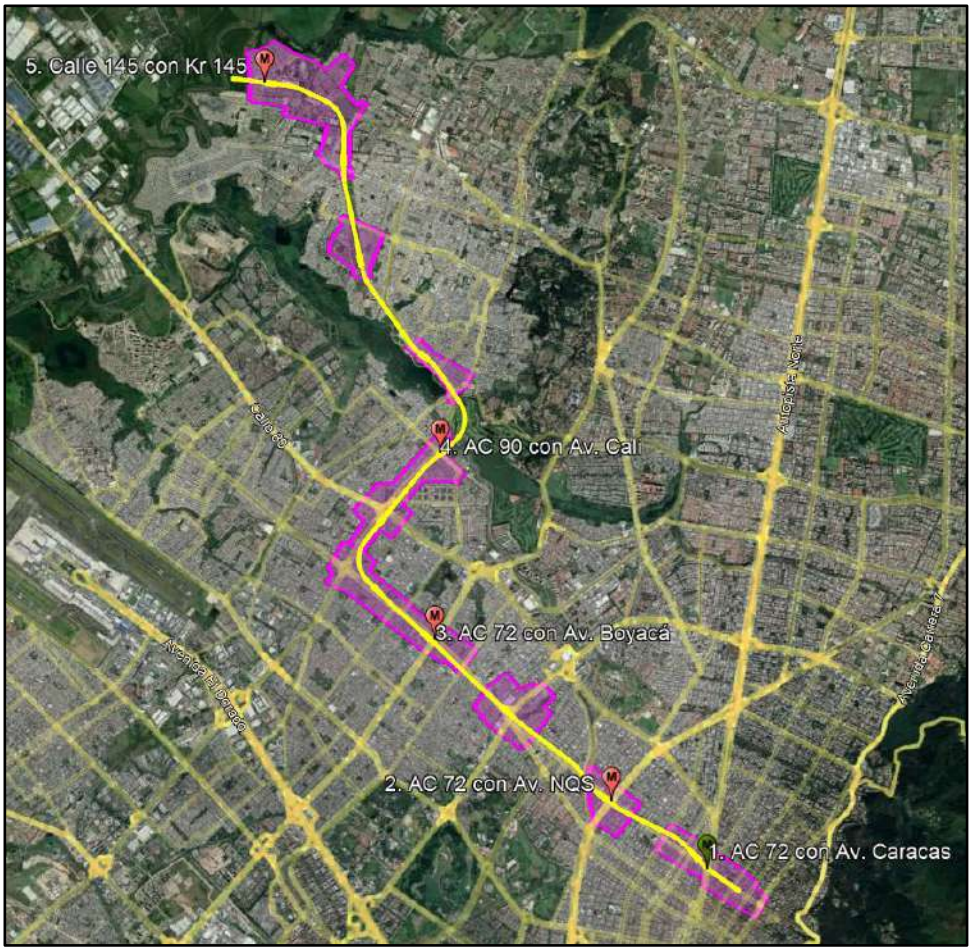


Figura 659. Localización estaciones maestras.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Se tomó de información de 18 estaciones intermedias, las cuales se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 334. Estaciones intermedias de aforo para estudio de movilidad L2MB

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos aforados	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
1	AC 72 con KR 19	5:00 - 21:00	1, 5, 91, 3, 93, 4, 21, 31, 23, 24	17-03-2022	26-03-2022
2	AC 72 con KR 28B		2, 6, 92, 3, 93, 4, 94, 32, 22, 23, 24	23-03-2022	02-04-2022
3	AC 72 con KR 53		1, 91, 2, 92, 3, 93, 4, 94 21, 22, 23, 24	23-03-2022	02-04-2022

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos aforados	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
4	AC 72 con KR 65		2, 6, 92, 3, 4, 94 32, 22, 23, 24	17-03-2022	02-04-2022
5	AC 72 con KR 68H		2, 6, 92, 3, 4, 94 32, 22, 23, 24	17-03-2022	02-04-2022
6	AC 72 con AK 70		1, 91, 2, 6, 92, 3, 93, 4, 94, 21, 22, 23, 24	17-03-2022	02-04-2022
7	AC 72 con KR 76		5, 91, 3, 7, 103, 4, 94, 21, 23, 24	17-03-2022	02-04-2022
8	AC 72 con KR 81A		1, 5, 91, 6, 92, 3, 93, 4, 21, 22, 23, 24	17-03-2022	02-04-2022
9	AC 72 con Av. Cali		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 93, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 24, 41, 42	17-03-2022	02-04-2022
10	Av. Cali con DG 74B y CL 75	5:00 - 21:00	1, 91, 2, 92, 3, 93, 93A, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 33, 34, 24, 41, 42	31-03-2022	02-04-2022
11	AC 80 con Av. Cali		1, 91, 5, 2, 92, 3, 3A, 93, 4, 4A, 94 21, 22, 24, 41, 42, 43, 44	17-03-2022	02-04-2022
12	Av. Cali con KR 91		5, 91, 2, 6, 92, 3, 4, 94, 21, 22, 23, 24, 43, 43A, 44, 44A	17-03-2022	02-04-2022
13	Av. Cali con KR 93		5, 91, 3, 4, 21, 23, 24, 43, 43A, 44, 44A	17-03-2022	23-04-2022
14	KR 119D entre KR 118 y CL 129D		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 24	17-03-2022	09-04-2022
15	CL 132 con KR 118		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 24	17-03-2022	09-04-2022
16	CL 139 con Tv 127		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 24, 43, 44	17-03-2022	09-04-2022
17	KR 115 con Av. Suba		1, 5, 2, 92, 8, 94, 104 21, 22, 24	17-03-2022	23-04-2022

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos aforados	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
18	CL 145 con KR 141B		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 24	17-03-2022	23-04-2022

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

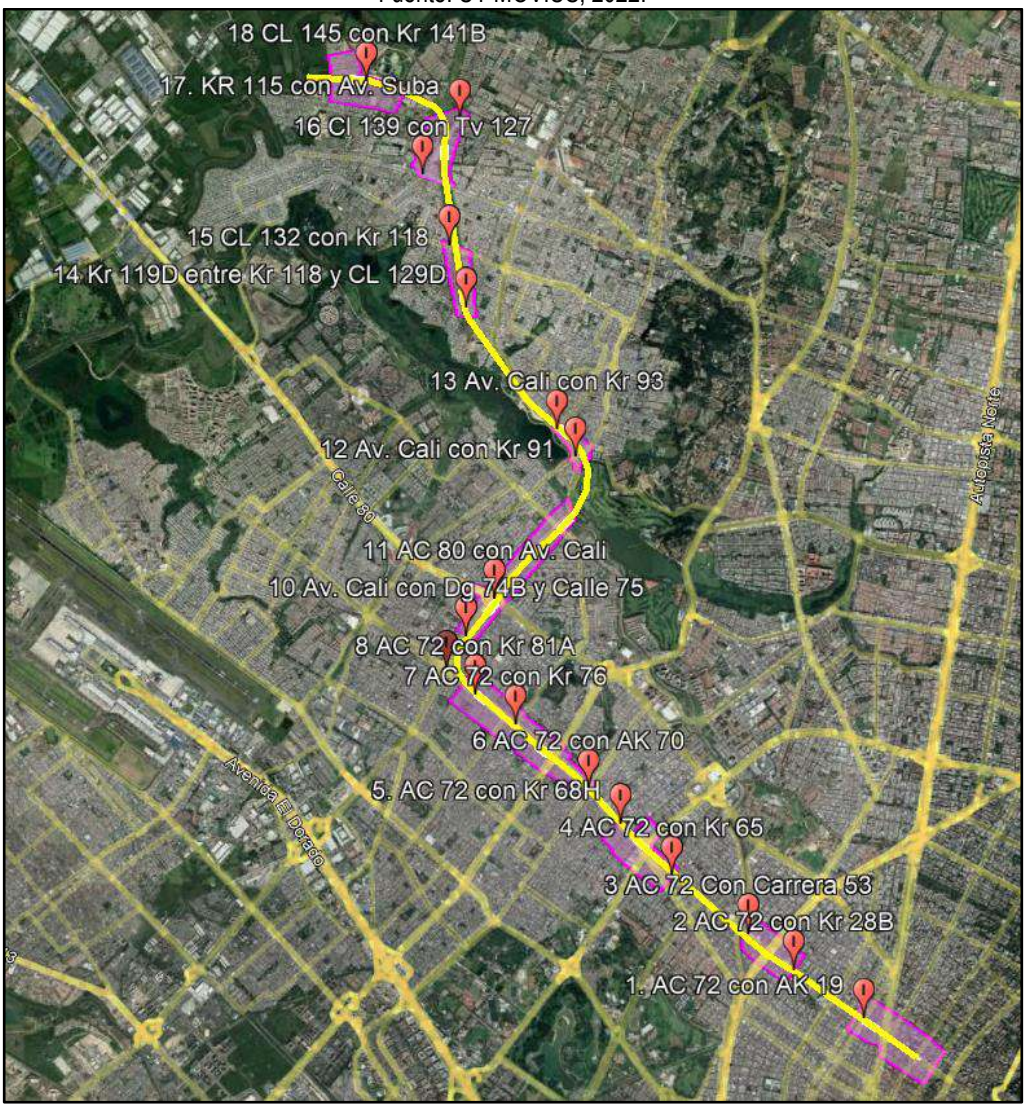


Figura 660. Localización de estaciones intermedias o secundarias.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Se tomó de información en 41 estaciones complementarias, las cuales se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 335. Estaciones complementarias de aforo para estudio de movilidad L2MB

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
1	AK 7 con AC 72	**Día Típico** AM: 7:00 - 10:00 PM: 16:00 - 19:00 **Día Atípico** 9:30 - 15:30	1, 91, 2, 92, 3, 7, 93, 4, 94, 21, 22, 23, 24 (Diagonal), 41, 42	23-03-2022	09-04-2022
2	AC 72 con AK 9		2, 6, 92, 3, 7, 4, 94, 32, 22, 23, 24	23-03-2022	09-04-2022
3	CL 74 con AK 11		1, 5, 3, 93, 21, 31, 23, 33, 41, 42	23-03-2022	09-04-2022
4	CL 70A con AK 11		1, 5, 3, 93, 21, 31, 23, 33	23-03-2022	09-04-2022
5	AC 72 con AK 13		5, 91, 3, 7, 103, 4, 94, 21, 23, 24	23-03-2022	09-04-2022
6	AC 72 con KR 17		2, 6, 92, 3, 4, 94, 32, 22, 23, 24	23-03-2022	09-04-2022
7	CL 71 con KR 19		1, 5, 3, 93, 21, 31, 23, 33	23-03-2022	23-04-2022
8	AC 72 con KR 20		2, 6, 92, 3, 4, 94, 32, 22, 23, 24, 41, 42	23-03-2022	23-04-2022
9	CL 74 con KR 20C		2, 92, 92A, 3, 3A, 7, 94, 32, 22, 23, 24, 41, 42	23-03-2022	23-04-2022
10	KR 24 con AC 72		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 93, 4, 94, 21, 22, 23, 24	23-03-2022	23-04-2022
11	KR 29C con AC 72	**Día Típico** AM 6:15 - 9:15 PM 16:00 - 19:00 **Día Atípico** 10:00 - 16:00	6, 92, 94, 32, 22, 23	23-03-2022	23-04-2022
12	KR 29C con CL 71		2, 6, 92, 3, 7, 4, 94, 32, 22, 23, 24	23-03-2022	23-04-2022
13	CL 73 con KR 50		1,91, 21, 31, 34, 24	23-03-2022	23-04-2022
14	AC 72 con KR 51		3A, 93, 22	31-03-2022	23-04-2022
15	AC 72 con KR 58	**Día Típico** AM: 5:30 - 8:30 PM: 16:00 - 19:00 **Día Atípico**	1, 5, 91, 3, 93, 4 21, 31, 23, 24	23-03-2022	23-04-2022
16	CL 67G con AK 68		1, 1A, 91, 2, 2A, 94, 34, 24, 41, 42	23-03-2022	23-04-2022

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
17	KR 68B con CL 71	AM: 7:00 - 9:00 PM: 12:30 - 16:30	1, 91, 2, 6, 4, 8, 94, 21, 22, 34, 24	23-03-2022	23-04-2022
21	AK 68 con Conectante AC 72		91, 91A, 8, 22	23-03-2022	23-04-2022
19	CL 71A con KR 73A	**Día Típico** AM: 5:15 - 8:15 PM: 16:15 - 19:15 **Día Atípico** AM: 6:15 - 9:15 PM: 11:45 - 14:45	2, 6, 4, 94,32, 22, 34, 24	23-03-2022	23-04-2022
20	KR 80 con AC 72		2, 6, 92, 3, 7, 103, 4, 94 32, 22, 23, 24	23-03-2022	23-04-2022
18	CL 73 con KR 73A		1, 5, 2, 92, 3, 7, 93 21, 22, 23, 33	31-03-2022	23-04-2022
22	KR 83 con AC 72		92, 93, 94,21, 22	31-03-2022	30-04-2022
23	KR 84 con CL 77	**Día Típico** AM: 5:15 - 8:15 PM: 16:15 - 19:15 **Día Atípico** AM: 5:45 - 8:45 PM: 12:00 - 15:00	1, 5, 91, 3, 93, 4, 8, 21, 31, 23, 24	31-03-2022	30-04-2022
24	KR 85A con CL 78		1, 91, 4, 8, 21, 31, 23, 24	31-03-2022	30-04-2022
25	Av. Calle 80 con KR 89A		1, 5, 91, 3, 3A, 93, 4, 4A 21, 31, 23, 24, 43, 44	31-03-2022	30-04-2022
26	AC 80 con KR 76		1, 91, 5, 92, 3, 3A, 93, 4, 4A, 94, 21, 22, 23, 24, 43, 44	31-03-2022	30-04-2022
27	DG 83 con TV 83		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 24	31-03-2022	30-04-2022
28	Av. Cali con DG 85		1, 2, 92, 94 22, 41, 42	31-03-2022	30-04-2022
29	Av. Cali con CL 89 (Accesos E y W)		91, 92, 93, 94 23, 24, 41, 42	31-03-2022	30-04-2022
30	Cl 127 B con KR 91	**Día Típico** AM: 5:00 - 8:00 PM: 16:30 - 19:30 **Día Atípico** AM: 5:45 - 8:45 PM: 11:30 - 14:30	1, 2, 92, 4, 94, 21, 22, 24	31-03-2022	30-04-2022
31	Av. Cali con KR 95A		5, 91, 3, 4, 94, 21, 23, 24, 43, 43A, 44, 44A	31-03-2022	30-04-2022

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
32	CL 129 con Av. Cali	**Día Típico** AM: 5:00 - 08:00 PM: 17:00 - 20:00 **Día Atípico** AM: 10:15 - 13:15 PM: 17:00 - 20:00	1, 5, 91, 2, 92, 3, 7, 93, 94 21, 22, 23, 24 41, 41A, 42, 42A	31-03-2022	30-04-2022
33	Av. Cali con AC 132		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 93, 4, 94, 21, 22, 23, 24, 41, 41A, 42, 42A	31-03-2022	30-04-2022
34	CL 139 con KR 118	**Día Típico** AM: 5:00 - 08:00 PM: 16:45 - 19:45 **Día Atípico** AM: 10:00 - 13:00 (3h) PM: 16:15 - 19:15 (3h)	5, 91, 6, 6A, 92, 92A, 3, 7,, 93, 93A, 4, 8, 8A, 94, 21, 22, 22A, 23, 24, 43, 44	06-04-2022	30-04-2022
35	CL 143 con TV 118		1, 91, 2, 6, 7, 93, 21, 22, 23	06-04-2022	30-04-2022
36	CL 143A con KR 127C		6, 92, 3, 93, 103, 4, 8, 22, 23, 24	06-04-2022	30-04-2022
37	KR 141A con CL 144		1, 5, 91, 91A, 2, 6, 92, 6A, 3, 7, 93, 103, 3A, 7A, 93A, 103A, 4, 8, 94, 4A, 21, 22, 23, 24	06-04-2022	23-04-2022
38	KR 128 con DG 146		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 104, 21, 22, 23, 24	06-04-2022	23-04-2022
39	CL 145 con KR 136A		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 103, 93, 4, 8, 94,, 21, 22, 23, 24, 41, 42	06-04-2022	23-04-2022
40	CL 146 con DG 147		6, 92, 7, 93, 8, 94, 22, 23, 24	06-04-2022	23-04-2022
41	DG 150 con KR 145		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 24	06-04-2022	23-04-2022

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

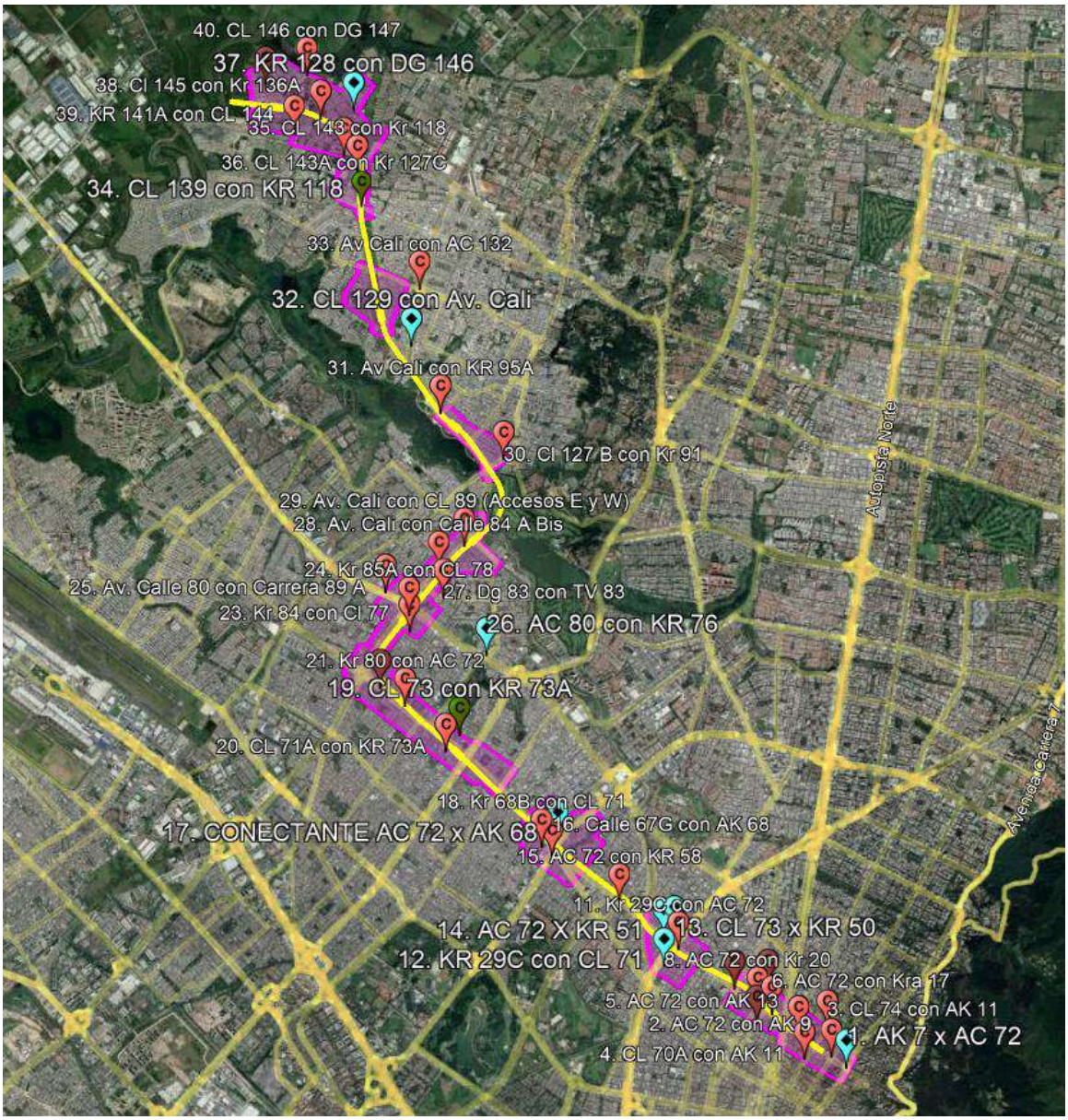


Figura 661. Localización de estaciones complementarias propuestas.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Los aforos de Motorizados incluyeron los siguientes tipos de vehículos:

- Livianos (Autos, colectivos pequeños)
- Buses (buses, busetas, colectivos grandes y SITP)
- BRT
- Camiones (C2 o C2P y C2G, C3, C4, C5 y >C5)
- Motos

Teniendo en cuenta que gran parte de los puntos de toma de información, cubrieron periodos de 16 horas y de 6 horas, a partir de la información recopilada en los puntos de 24 horas, mediante aplicación de factores de expansión de acuerdo al periodo de aforo, se llevaron todos los aforos a 24 hora.

Posteriormente se procedió a sacar el volumen de tránsito para el horario diurno (7:00 - 21:00) y nocturno (21:00 - 7:00) en día típico y atípico de vehículos livianos, pesados y motos, en cada uno de los tramos viales.

Para los segmentos que se disponía información de aforos se definió el 100 % del Tránsito; y para los tramos donde no se tomó información primaria, se adoptó tránsito de tramos aledaños de la cual se disponía información, afectándolo por un factor de ajuste, según variación de volúmenes diarios en estaciones de aforo aledañas .

La información de Tránsito se presenta para Día Típico, que corresponde a un día de entre semana(martes o miércoles o jueves) , para el Día sábado y para un Día Festivo. Este último estimado, a partir de un porcentaje de reducción de transito Zonal en día festivo Vs. un día hábil.

Para las proyecciones de tránsito, el factor de crecimiento anual, se estima en función de análisis de subárea en la zona de influencia del proyecto, que tiene en cuenta el efecto de la implementación del proyecto L2MB.

Caracterización física

Para esta caracterización se recopiló la información utilizando Google Earth y archivo Malla_Vial_Integral_Bogota_D_C.kmz. A continuación se relacionan la información extraída para cada tramo vial identificado.

- Inicio y fin.
- Longitud.
- Ancho de calzada.
- Número de Carriles.
- Ancho de Carril.
- Tipo de pavimento (Flexible, Rígido, Adoquín o Afirmado).
- Pendiente longitudinal.

Velocidades de Operación

La información de velocidades de los tramos viales se obtuvo a través de información de API para recolección de información de Google Maps, para un día típico (día hábil) y día atípico (No hábil) entre los horarios de 7:00 a 21:00 (diurno) y 21:00-7:00 (nocturno).

En el Anexo 5.2 - 12.2 se presentan la información de caracterización vial y de tránsito actual y futuro (2022 a 2032) de todos los tramos viales considerados dentro de la Zona de influencia para Aire y Ruido

5.2.3.2.4. Inventario de receptores sensibles

Durante la ejecución del inventario de fuentes de emisión, se realizó paralelamente el inventario de receptores sensibles dentro del área de influencia del componente atmosférico. Los receptores sensibles se entienden como los sitios de interés social o ambiental que son altamente vulnerables ante la presencia de un impacto por contaminación atmosférica, bien sea por ruido o calidad del aire, dadas sus condiciones de salud, importancia ecológica o social.

En el inventario se resalta un número importante de institutos educativos, unidades hospitalarias, centros de recreación y deporte y bibliotecas, para un total de 639 receptores sensibles identificados. En el Anexo 5.2 - 12.1 se presenta el inventario completo con el registro fotográfico, en la tabla a continuación se presentan los receptores sensibles identificados.

Tabla 336. Inventario de receptores sensibles

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
1	Hotel Hilton	31	Universidad Central	61	Fundación Universitaria del Área Andina - AREANDINA	91	Corporación Universitaria UNITEC
2	Hotel JW Marriot	32	Universidad Central	62	Colegio Integral	92	Corporación Universitaria UNITEC
3	Universidad santo tomás	33	Universidad Sergio Arboleda	63	Institución Universitaria Corporación Escuela de Artes y Letras	93	Jardín Infantil Pequeñas Personitas
4	Colegio gimnasio moderno	34	Universidad Sergio Arboleda	64	IPS Laboratorio Clínico Medical Protection	94	IPS Unimsalud
5	Universidad EAN Laboratorios	35	Universidad Sergio Arboleda	65	Institución Universitaria Corporación Escuela de Artes y Letras	95	Instituto Poliandino
6	Universidad politécnico interNacional	36	Universidad Sergio Arboleda	66	IPS Centro Auditivo Medinistros	96	Hotel INN72
7	Universidad santo tomás sede abierta y a distancia	37	Centro Educativo Kuepa	67	Parque	97	Clínica Veterinaria Can Center
8	Centro comercial avenida Chile	38	Instituto Confucio UTADEO	68	Cruz Roja Colombiana	98	Escuela de Estética Facial y Corporal El Nogal

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
9	Iglesia Porciuncula	39	Unidad Médica Integral	69	Escuela de Vigilancia Privada ECOLVIP Ltda	99	Escuela Británica de Idiomas Experiencia Idiomas
10	Universidad pedagógica Nacional	40	Escuela de Gastronomía Mariano Moreno	70	Centro de Evaluacion E Investigacion Psicologica SAS	100	Colegio Centro de Promoción San José
11	Centro de idiomas interNacional house	41	Instituciones Educativas Maaruf - Centro Educativo Turco	71	La Iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos Días	101	Hotel INN72
12	Metrotel Bogotá Radisson	42	Holiday Inn Express & Suites	72	Corporación Universitaria Institución Universitaria CAT. Educación Técnica Laboral CENSA	102	Hotel Fénix Real
13	Universidad Sergio Arboleda	43	Academia Nacional de Medicina	73	Parque San Felipe Localidad Barrios Unidos	103	Corporación Educativa del Cuerpo, La Salud y La Belleza - Corpobella
14	Universidad Sergio Arboleda	44	Corpoeducación	74	IPS Lacorsalud	104	IPS Tu Salud y Bienestar
15	Iglesia cristo rey	45	Clínica de Traumatología y Ortopedia	75	Corporación Universitaria Iberoamericana	105	IPS Cumbre
16	Academia charlot	46	Teatro Nacional	76	Hogar Infantil Mis Pequeños Genios ICBF	106	Clínica Cuanal
17	Universidad Sergio Arboleda	47	Universidad EAN	77	Universidad Edulpol	107	Gimnasio Bolivar
18	Universidad Sergio Arboleda	48	Charlot Teatro	78	Iglesia Cristiana Igleco	108	Fundación Universitaria del Área Andina - AREANDINA

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
19	Universidad UNICIENCIA	49	Jardín Infantil El Arca de Noe	79	Centro Médico Veterinário Zoogar	109	Gimnasio Americano
20	Centro de gastronomía y sommelier	50	Instituto UNICAP	80	Academia y Estética Profesional Canina Cesar Salamanca	110	Instituto SantaFé de Bogotá
21	Corporación Universitaria UNITEC	51	Instituto Colegio Heisenberg	81	Fundación Tecnológica Alberto Merani	111	Fundación Universitaria del Área Andina - AREANDINA
22	Corporación Universitaria UNITEC	52	Fundación Universitaria del Área Andina - AREANDINA	82	Academia Colombiana de Taekwon Do	112	Fundación Universitaria Patricia symes - unisymes
23	IPS IDIME	53	IPS Medical Protection	83	Jardín Infantil Angeles del Saber	113	Academia de Vigilancia Ceforvig
24	IPS AUDIOCOM	54	Centro Cultural Colombo Chino	84	IPS Tu Salud Laboral	114	Parque Zonal Alcázares
25	Universidad Sergio Arboleda	55	Escuela Microschool ANEEKA	85	Colegio Kajuyali School	115	Academia de Formación Actoral
26	Universidad Sergio Arboleda	56	Parque El Huevo	86	Academia de Capacitación en Seguridad El Pentágono	116	Liceo Los Alcázares
27	Universidad Central	57	Institución Universitaria Corporación Escuela de Artes y Letras	87	Escuela Maternal de la Universidad Pedagógica Nacional	117	Parque Infantil Los Alcázares
28	Escuela de la Marina Mercante	58	Institución Universitaria Corporación Escuela de Artes y Letras	88	Iglesia Internacional Ríos de Agua de Vida	118	Asociación Hogar Nuevo Amanecer - Bienestar Familiar
29	Clínica Nueva el Lago	59	Academia Arte y Hobby	89	Universidad INFORTEC	119	Apartahotel Los Alcázares

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
30	Clínica Oftalmológica Colsubsidio	60	IPS Fisiorad	90	Corporación Universitaria UNITEC	120	Guardería y Preescolar Camino a la Imaginación

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
121	kink SAS productos de decoración fuente fija	151	Jardín Infantil El Nogal de La Esperanza	181	Funeraria para Mascotas Funeravet - Fuente fija	211	Academia de Belleza Julieth
122	Colegio San Felipe Neri	152	Parque Público 12 de Octubre	182	Academia Tao Qi	212	Colegio República de Colombia I.E.D. sede C
123	Hotel - Moll Colonia 72	153	Iglesia Cristiana Pentecostés de Colombia. Movimiento Misionero Mundial	183	Jardín Infantil La Ciudad que Soñamos	213	Parque Urbanización La Estrada
124	Hospital Veterinario GB6B	154	Academia y Tienda de Música Pick	184	Casa de Juventud Nasqua	214	Liceo Gulliver
125	Colegio Santa Rosa de Lima	155	Río Arzobispo	185	Iglesia Cristiana Misión Cristiana de Restauración y de Conciliación a las Naciones	215	Colegio Real de Bogotá
126	Eficiencia Ocupacional - Exámenes Salud Ocupacional	156	Parroquia San Fernando Rey	186	Parque Público Vecinal San Fernando	216	Parque Urbanización Acapulco
127	Hornos Crematorios Cementerio Chapinero la 30 Fuente Fija	157	Gimnasio del Corazón de María	187	Colegio Alexander Humboldt	217	Comité Cívico Barrio Acapulco - Sede Social
128	Colegio Francisco Primero Sede C	158	Colegio República de Panamá	188	Asociación Casa de Ancianos - ASHOCAR	218	Fuente Fija Cra 70g # 71 - 74 Empresa de Muebles

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
129	Laboratorio Clínico Especializado Ultigen	159	Salón Comunal Barrios Unidos	189	Instituto Santa Inés Transición y Primaria	219	Fuente Fija Cra 70g # 71-48 Fabrica de Muebles
130	Iglesia Siervas de María	160	Iglesia Cruzada Evangélica Mundial de San Fernando	190	Centro de la Odontología	220	Iglesia Adventista del Séptimo Día
131	Iglesia Cristiana Amor Fraternal Filadelfia	161	Hogar Comunitario Globito de Paz - ICBF	191	Alcohólicos Anónimos Grupo Modelo Norte	221	Templo Adventista del Séptimo Día
132	Centro Hospitalario San Nicolás	162	Clínica Veterinaria C&M Mascotas	192	Institución Educativa Distrital Jorge Eliécer Gaitán Sede B	222	Colegio Adventista del Norte
133	Parque Público Vecinal 11 de Noviembre Localidad Barrios Unidos	163	Iglesia de Dios La Casa de Yahweh	193	Hogar Infantil Angeles de Amor - ICBF	223	Colegio Adventista del Norte
134	Desarrollo Infantil en Medio Familiar - DIMF. Bienestar familiar	164	Jardín Infantil Kanguritos Traviesos	194	Colegio Panamá sedes B y C	224	Colegio Néstor Forero Alcalá IED sede A
135	Estudio Integral de Arte	165	Iglesia Adventista del Séptimo Día	195	Veterinaria Tila Begleiter	225	Hogar Infantil Angel de la Guarda
136	EPS Capital salud - Punto de atención al usuario	166	Laboratorio Clínico ReviSalud	196	Veterinaria Royal Canin	226	Parque Urbanización Palo Blanco
137	Escuela de Instrucción Aeronáutica	167	Colegio Distrital Tomás Carrasquilla Sede A	197	Fundación Universitaria UNIMONSERRATE	227	Asamblea de Iglesias Cristianas
138	Clínica Veterinaria Medical Pets	168	Fuente Fija Calle 72a# 63-47	198	IPS Health & Life	228	Iglesia Cristiana Sin Límites
139	Parque Santa Mónica Localidad Barrios Unidos	169	Veterinaria Tila	199	Iglesia Salón del Reino de los Testigos de	229	Colegio Néstor Forero Alcalá IED sede B

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
					Jehová		
140	Junta de Acción Comunal Barrio La Aurora Norte	170	Centro de Desarrollo Familiar - IBF	200	Iglesia Centro Cristiano Nueva Generación	230	Colegio Instituto INSCAP
141	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia - sede Chapinero	171	Veterinaria Colombia Vet Co	201	Parque J J Vargas	231	Instituto Tecnisistemas
142	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	172	Parque Público Vecinal Urbanización Metrópolis	202	Clínica Veterinaria Mascotas y + Cosas	232	Parque Urbanización La Estrada
143	Centro Veterinario y Laboratorio Panavet	173	Iglesia Cristiana La Libertad	203	Jardín Infantil Jugando con Yaya	233	Iglesia Cristiana Sol de Justicia
144	Servicios Odontológicos Integrales Dental Health	174	Iglesia Local Bíblico. Hermanos en Cristo San Fernando	204	Jardín Infantil Gaviotas	234	Odontología de Nury Puentes / Juan Mateus
145	Iglesia Amazing Grace	175	Parque Público Vecinal Urbanización Metrópolis	205	Parqueadero Bellavista 68 . Fuente de Ruido	235	Clínicas Odontológicas
146	Centro Abrazar. Atención Transitoria a niños, niñas y adolescentes	176	Pequeños Dinosaurios - ICBF	206	Parque Barrio Bellavista	236	Centro Educación Global
147	Plaza de Mercado 12 de Octubre	177	Odontología General y Especializada Amily Smile	207	Bellsalud Odontología Integral y Especializada	237	Gimnasio Juvenil Santa Catalina
148	Parque 12 de Octubre	178	Río Arzobispo	208	Iglesia Cristiana Manantial	238	Parque Público Vecinal Bonanza
149	Salon Comunal Barrio 12 de Octubre	179	Liceo VAL - Vida, Amor, Luz	209	Clínica Odontológica Odontofam	239	IPS Corsanemos

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
150	Parroquia Nuestra Señora de Monguí	180	Iglesia Liceo VAL	210	IPS Sana Consulta	240	Academia Colombiana de Seguridad y Vigilancia Privada CosecaD

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
241	Iglesia Asambleas de Dios. Casa de Oración Apostólica ICOAP	271	Motel Manhattan	301	Parque Boyacá Real	331	Parque Barrio La Clarita
242	Academia de Baile Abanico Ritmico	272	Consultorio Médico Dr. Gustavo Briceño	302	Iglesia Nueva Apostólica	332	Centro Superior de Estudios Financieros e Informáticos Cenpefi
243	Parque Bonanza Las Brisas	273	Motel El Porvenir Suites	303	Iglesia Comunidad de Renovación Cristiana	333	Liceo Mi Nuevo Horizonte del Tabora
244	Iglesia Santa Iglesia Gnóstica Cristiana Universal Samael Aun Weor de Colombia	274	Motel El Encanto	304	Fuente Fija Calle 71 # 73a - 53	334	Colegio José Martínez Ruiz
245	Odontología Integral Ortodents Pluss	275	Motel Pelikanos	305	Hogar Infantil ICBF	335	Parque La Clarita
246	Instituto Henao y Arrubla	276	Motel Fenix	306	Hotel Palacio Real	336	Parroquia Cristo Luz de las Gentes
247	Instituto Henao y Arrubla	277	Motel Suite Manantial	307	Centro de Gestión Industrial SENA	337	Colegio Gimnasio Villa Lorena
248	Parque Bonanza	278	Motel Waka Waka	308	Fuente Fija eaceiplas SAS - Transformación y Comercialización de Materiales Plásticos	338	Iglesia Cristiana Confraternidad

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
249	Pro Acrilic Dental	279	Motel Pelikanos	309	I.E.D. Manuela Ayala de Gaitán	339	Colegio Gimnasio Villa Lorena
250	Hogar Grupal Angelitos del Saber - ICBF	280	Iglesia Universal Jesucristo es el Señor	310	Iglesia Bautista Reformada El Redentor	340	Colegio Gimnasio La Clarita
251	Escuela de Bellas Artes Luz de Vela	281	Motel Ensueño	311	Fuente Fija Calle 71 Cra 75	341	CADE Santa Helenita
252	Parque Público Urbanización La Bonanza I Sector	282	Veterinaria Animal Station	312	Healthy Dent	342	Odontología Estética DentiVital
253	Odonto Family	283	Clínica Odontológica Idanis Paez	313	Dibadent Radiología Oral	343	Centro Médico Healthy Skin
254	Plaza Distrital de Mercado Las Ferias	284	Iglesia de Dios Ministerial de Jesucristo Internacional	314	Laboratorios Dentales Unidos	344	Jardín Infantil Pequeñas Travesuras Kids
255	Instituto Tecnisistemas	285	Cancha Ferias	315	Cancha de Fútbol y Parque Santa Helenita	345	Clínicas Odontológicas Oralmedic
256	Jardín Infantil Las Ferias y Jardín Infantil Nocturno Rayito de Luna	286	Escuela de Belleza Constelación 2000	316	Clínicas Odontológicas Oral Boutique	346	Liceo Comercial Las Américas Sede A
257	Colegio Distrital Naciones Unidas Sede B	287	Institución Educativa Distrital Naciones Unidas Sede A	317	Laboratorio Dental María Helena	347	Liceo Comercial Las Américas
258	Biblioteca Pública Las Ferias	288	Fuente Fija Plantas Alkosto	318	Centro Odontológico San Jorge	348	Jardín Infantil Lewis Therman
259	Jardín Infantil Las Ferias	289	Alkosto (Marcarlo nuevamente desde Google Earth)	319	Escuela de Seguridad Privada Los Especialistas Ltda	349	Parque Público Quinta de La 80
260	Cancha Las Ferias	290	Iglesia Fe y Esperanza (gps)	320	Academia de Belleza Cedeca	350	Parque Urbanización

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
							Aguas Claras
261	Parque CAI Las Ferias	291	Fuente Fija Cra 72a # 70-25	321	Centro de Educación Laboral El Conocimiento Eficaz	351	Junta de Acción Comunal Barrio Aguas Claras
262	Escuela OdontoMedica	292	Fundación Phenix	322	Iglesia de las Asambleas de Dios El Nazareno	352	Colegio Distrital San José Norte Sede B
263	Motel Crucero	293	Iglesia Ministerio Internacional C.D.O. Puerta del Cielo	323	Consultorio Odontológico Dra. Reyes	353	Colegio Mayor Primeros Maestros
264	Motel El Porvenir	294	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia Sede Boyacá Real	324	Liceo Psicopedagógico San Buenaventura	354	Iglesia de Dios Ministerial de Jesucristo InterNacional (con fuente Fija)
265	Motel	295	Fuente Fija Calle 71a # 72-46 Fabrica de Madera - MadeCentro	325	Clínica Veterinaria DogMar	355	Veterinaria & Estética Canina Profesional Farmavet
266	Motel Mar Azul	296	Cancha de Fútbol Barrio Boyacá Real	326	Academia de Baile Salsa Sin Límite	356	Odontología Especializada Obandent
267	Motel El Encanto VIP	297	Canchas Sintéticas de Fútbol 5 - La Bombonera	327	Centro de Estimulación Adecuada Acuarelas	357	Parque Barrio Tabora
268	Motel Ventura Suite	298	Tiber Calle 70 # 72-32 Fuente Fija	328	Hogar Infantil Aprendiendo Chiquilladas - ICBF	358	Parque Barrio Tabora
269	Motel Marazzi Suite	299	Parroquia Nuestra Señora de la Consolación	329	Hogar Comunitario de Bienestar La Casita del Saber - ICBF	359	Academia de Baile Feel Dance
270	Motel	300	Centro de Atención Prioritaria en Salud	330	Odontología Estética Fast Dent	360	Escuela de Karate

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
			Boyacá Real				

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
361	Parque Barrio Tabora	391	Iglesia Cristiana Misión Vida Asambleas de Dios	421	Parque	451	IPS Todo en Salud
362	Denti Center	392	Parque Santa María del Lago	422	Escuela de Formación Musical FESPA	452	Parque La Española
363	Colegio Tabora I.E.D. Sede A	393	Iglesia Bíblica Misionera La Gracia	423	Fuente Fija Calle 72a No. 86-14	453	Liceo Moderno Británico
364	Parroquia San Juan de Mata	394	Centro de Cuidado Renal Davita	424	Parque Infantil	454	Mi Can Veterinaria
365	Clínica Veterinaria Agro Peluditos	395	Fuente Fija Centro de Cuidado Renal Davita	425	Parque Vecinal Urbanización Pentagrama	455	Polideportivo Barrio Los Cerezos
366	Parque Desarrollo Urbanístico Residencial Tabora	396	Salón del Reino de los Testigos de Jehová	426	Junta de Acción Comunal Barrio Los Pinos	456	Parroquia Cristo Sacerdote
367	Veterinaria Laurel Vet	397	Protectorado de San José. Monasterio Santa Trinidad	427	Jardín Infantil	457	Colegio Centro Lestonnac
368	Odontología Integral Smile Plus	398	Hogar Infantil de Bienestar Boyacá - ICBF	428	Parque Público Urbanización Mandarino	458	Fundación Hogar Gerontológico Mis Años Dorados
369	Corporación Tecnología Empresarial	399	IPS Corporación Nuestra	429	Gimnasio Académico Cervantes	459	I.E.D. Jorge Gaitán Cortés Sede A
370	Junta de Acción Comunal Tabora	400	Fundación Amar	430	Salón Comunal Florencia	460	Jardín Infantil Anthony Brownie
371	Estadio del Tabora	401	Veterinaria SaniMals	431	Parroquia La Encarnación	461	Liceo Huellas de Triunfo

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
372	Clínica Infantil Santa María del Lago	402	Parque Almería	432	Parque Público Estadio Barrio Florencia	462	Modalidad Desarrollo Infantil en Medio Familiar
373	IPS Viva 1A	403	Iglesia Nuestra Señora de la Soledad	433	Hogar Infantil Florencia ICBF	463	Centro Día Los Cerezos
374	Clínica Infantil Santa María del Lago	404	Colegio San José Norte I.E.D.	434	Instituto Técnico Angeli	464	Uniminuto
375	Clínica Infantil Santa María del Lago	405	Liceo Integral La Granja	435	Parque Principal Florencia	465	Iglesia Cristiana Casa de Fé
376	Fuente Fija Clínica Infantil Santa María del Lago	406	Fuente Fija Cra 83 No. 77a - 35	436	Hogar Comunitario de Bienestar Carrusel de los Niños ICBF	466	Parque Los Cerezos
377	Clínica Odontológica Oral Stetic	407	Fundación Jema. Jesus y María - ICBF	437	Hogar Comunitario Semillas de Paz	467	Parque Urbanización San Jorge Norte
378	Alta Estética Dental Dr. Jonatan Solano	408	Iglesia Cristiana Fundamento de Vida	438	Casa Hogar Mi Segunda Familia	468	Fuente de Ruido - Aspirador de Partículas madera
379	Odonto Family	409	Clínica Odontológica Gran Sonrisa	439	Parque Zona Verde Barrio San Cayetano	469	Hogar Comunitario Semillas de Amor
380	Sonría	410	Iglesia Filadelfia Piedras Vivas	440	Hogar Comunitario de Bienestar Mis Primeras Creaciones	470	Iglesia Proezas
381	Odonto Family	411	Consultorio Odontológico	441	Jardín Infantil Mentes Creativas	471	Jardín Infantil Cofinanciado Mamá Canguro
382	Oral Stetic Soluciones Odontológicas	412	Fuente Fija Calle 75 No. 83a - 36	442	Parque San Cayetano	472	Veterinaria Dr. Pets
383	Academia Francesa de Belleza	413	Fuente Fija Calle 74a No. 84 - 13	443	Iglesia de Dios Ministerial de Jesucristo Internacional	473	Unidad de Servicios de Salud Quirigua

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
384	Odontología Integral Os Sanum	414	Centro de Formación en Alturas Cubik	444	Jardín Infantil Los Cerezos	474	Junta de Acción Comunal Quirigua Sector F
385	Colegio Gimnasio El Lago	415	Hogar Comunitario Castillo Mágico - ICBF	445	Fuente Fija Herrería La 80	475	Cancha Múltiple Quirigua
386	Colegio Liceo San Rafael de Alicante	416	Junta de Acción Comunal Soledad San José Norte	446	Iglesia de Compañerismo Cristiano Bogotá	476	Parque Sidauto
387	Colegio Liceo San Rafael de Alicante	417	Salon Comunal La Almería	447	Parque La Española III	477	Iglesia del Carmen
388	Parque Urb Santa María I y II Sector	418	Centro Veterinario Mi Mascota Punto 72	448	Iglesia Salón del Reino de los Testigos de Jehová	478	Parque Infantil
389	Hogar Britta Modalidad Internado ICBF	419	Parque Urbanización Zarzamora Cafam	449	Hogar Comunitario de Bienestar Jugando Aprendemos	479	Centro Veterinario y Peluquería Mi Amigo y Yo
390	Veterinaria Pet's Hero	420	Studio Dental	450	Iglesia Cristiana Fuente de Agua Viva	480	Clínica Odontológica Laura Alexandra

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
481	Parque La Serena	511	Iglesia Dios es Amor	541	Consultório Odontológico Odonto Class	571	Parque Albear
482	Odontología Integral R&C Dental Care	512	Polideportivo La Gaitana	542	Clínica Odontológica m&m	572	Parque
483	Río Salitre	513	Jardín Infantil Nuevos Timanquitos	543	Academia Colombiana de Profesionales en Seguridad	573	Centro Recreativo, Deportivo y Cultural Fontanar
484	Salón Comunal Barrio Jaime Bermeo	514	Parque Zonal La Gaitana	544	Centro Odontológico Dr Diego Trujillo	574	Centro Felicidad Fontanar del Río

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
485	Humedal Juan Amarillo	515	Colegio Distrital La Gaitana	545	Hogar Comunitario Mis Pequeños Genios 2 ICBF	575	Parque Fontanar del Río B-II
486	Río Arzobispo	516	Parroquia San Anselmo	546	Iglesia Cristiana Real Mundial de Adoración	576	Jardín Taller Creativo San Nicolás
487	Parque Público Corinto	517	Junta de Acción Comunal Barrio La Gaitana	547	Consultorio Odontológico Smile Dent	577	Parque Público Fontanar del Río B- II Etapa
488	Parque Nuevo Corinto	518	Colegio Distrital La Gaitana Sede B	548	Consultorio Odontológico BluDent	578	Parroquia San Dionisio
489	Cancha de Fútbol Nuevo Corinto	519	Colegio San Anselmo	549	Hogar Comunitario La Casita Roja ICBF	579	Fuente de Ruido Parqueadero SITP
490	Jardín Infantil San Miguel	520	Junta de Acción Comunal Barrio Villa María Primer Sector	550	Hogar Comunitario Los Conejitos	580	Parque Barrio Bilbao
491	Hogar Comunitario Los Bulliciosos	521	Parque Villa María	551	Laboratorio Clínico El Alfa y La Omega	581	Colegio Gimnasio Latinoamericano
492	Parque Público Vecinal Nuevo Corinto	522	Iglesia Cristiana Evangélica CREA	552	Veterinaria Suba	582	Clínica Veterinaria Cat&Perry
493	Jardín Centro de Estimulación Sensorial María Montessori	523	Colegio Santiago de Compostella	553	Parque Puerta del Sol 2	583	Odontología Exident
494	Fuente de Ruido Parqueadero SITP	524	Iglesia Cristiana La Buena Semilla	554	Parque Infantil Puerta del Sol 2	584	Jardín Infantil Niños de Paz
495	Junta de Acción Comunal Barrio Carolina III	525	Laboratorio Dental Paula Florez	555	Parque Infantil Puerta del Sol 2	585	Asesorías de Tareas
496	Parque Desarrollo La Carolina III Sector	526	Cancha de Múltiple Barrio Villa María Segundo Sector	556	Parque Puerta del Sol 2	586	ICBF caritas Alegres Calle 144 No. 141A- 50 Int 70

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
497	Colegio Gimnasio Moderno Jhon Enders	527	Hogar Comunitario Jugando Aprendo ICBF	557	Parque Gimnasio Puerta del Sol 2	587	Colegio Reina de Gales
498	Parque Atenas	528	Instituto Cencosistemas	558	Parque Puerta del Sol 2	588	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia Bilbao
499	Jardín Infantil Jardines de Tibabuyes	529	Institución Educativa Liceo Federico García Lorca	559	Parque Zonal Tibabuyes	589	Centro de Desarrollo Infantil Angeles de Sabiduría ICBF
500	Parque Público Tibabuyes	530	Cursos para Seguridad Bermat Ltda	560	Escuela de Música Angel	590	Colegio La Fantasía del Conocimiento
501	Fuente de Ruido - Mecánica Carros Pesados	531	Veterinaria y Peluquería Pets Funny	561	Colegio Dulce María	591	Consultorio Odontológico
502	Jardín ICBF	532	Fundación Villa María	562	Parque Público Urbanizacional Sábana de Tibabuyes	592	Jardín Infantil Doradito Lagunero
503	Parque Aures II	533	Academia de Arte Artes Plásticas	563	Parque Urbanización La Sábana de Tibabuyes	593	Jardín Infantil Nocturno Curricutú
504	Veterinaria Can&Cat	534	Laboratorio Clínico	564	Gimnasio Académico San Nicolás de Bari	594	Casa de Integración Familiar Botoncillo de Agua
505	Parque Central Nueva Ciudadela Tibabuyes	535	Hogar Comunitario Enanitos Verdes ICBF	565	Gimnasio Los Pequeñines	595	Colegio Delia Zapata Olivella I.E.D.
506	Centro Comercial Laguna	536	Acádemia Lenguaje Vancouver	566	Jardín Infantil Arco Iris	596	Jardín Infantil María Montessori Kids
507	Colegio República Dominicana	537	Hogar Comunitario Semillas del Futuro	567	Gimnasio Infantil Da Vinci	597	Urbanización Fontanar del Río B Primera Etapa

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
508	Parroquia Jesucristo Camino, Verdad y Vida	538	Hogar Comunitario de Bienestar Mickey	568	Liceo Moderno Mi Mundo Ideal	598	Cancha Multiple Bilbao
509	Jardín Infantil Grandes Genios	539	Hogar Comunitario de Bienestar Los Cachifitos	569	Colegio Centro Educativo Distrital Bilbao Parques del Campo	599	Jardín Infantil Kindergarten John Dewey
510	Iglesia Comunidad de Renovación Cristiana Nueva Vida	540	Hogar Comunitario Amiguito de San Miguel Arcángel ICBF	570	Parque Público	600	Liceo Infantil San Marcos Kids

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
601	Parque Infantil	611	Parque Zonas Verdes Fontanar	621	Parque Compartir Suba Gato Chico	631	Canal de Aguas
602	Hogar Comunitario Mickey ICBF	612	Gimnasio Cristiano Tic Toc	622	Hogar Infantil Compartir Suba II	632	Parque Barrio Puerta del Sol
603	Cancha Voleibol	613	Veterinaria Firulais	623	Institución Educativa Compartir Suba	633	ICBF UDS Lulu y Tobi
604	Parque Infantil	614	Jardín Infantil Maisan Garden	624	Cancha Baloncesto	634	Hogar Comunitario Garfield
605	Parque Público	615	Parque Público Fontanar del Río Etapa V	625	Cancha Baloncesto	635	Laboratorio Clínico Salud Medicina
606	Liceo Empresarial del Campo	616	Parque Urbanización Rodesia I Etapa	626	Hogar Infantil Asociación Compartir Suba III	636	Centro de Estética y Rehabilitación Oral CERO
607	Hogar Comunitario Nidito de Crianza	617	Jardín Infantil Maisan Garden	627	Junta de Acción Comunal Barrio Rincón de Santa Inés V Etapa	637	Consultorio Odontológico Dental Health
608	Veterinaria Masco Hogar	618	Jardín Infantil Leoncitos Creativos	628	Parque La Fontana	638	Veterinaria

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
609	Odontología Especializada en Rehabilitación Orofacial	619	Veterinaria Mr. Bigotes	629	Parque Ciudadela Cafam	639	Canal de Aguas
610	Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo ICBF	620	Centro de Odontología Especializada	630	Colegio Hogar de Nazareth		

Fuente:UT MOVIUS, 2022

5.2.3.2.5. Gases Efecto Invernadero (GEI)

Un aspecto fundamental que debe destacarse, y que va directamente ligado al tema de la contaminación, y sobre todo al cambio climático, es el tema de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI). Los principales GEI en la atmósfera son el Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O), Ozono (O_3), compuestos clorofluorocarbonados (CFCs) y vapor de agua (H_2O). Los GEI provienen entre otros de la combustión de combustibles fósiles, actividades de producción de combustibles y fugas en la manipulación de los mismos, siendo en el sector transporte, las actividades de quema de combustibles correspondientes a los combustibles usados (Diesel, gasolina, alcohol carburante y Gas Natural Vehicular (GNV)). El proyecto ferroviario funcionará en su totalidad con energía eléctrica, por lo que se generará una reducción de GEI, principalmente del CO_2, y una reducción en el consumo de combustibles fósiles.

Con lo anterior se considera que la L2MB, está integrada a los pilares del desarrollo sostenible pues propone una solución al problema de movilidad de la ciudad de Bogotá, sin comprometer recursos naturales, reduciendo la emisión de GEI en el contexto del cambio climático, proporcionando planes de manejo y gestión eficaz para el manejo de residuos y material sobrante y garantizando la inclusión social pues mejora la calidad de vida de millones de habitantes.

Con la puesta en marcha de la Línea 2 Metro de Bogotá se espera una reducción de los gases contaminantes emitidos por el parque automotor en Bogotá, entre los que se encuentran los gases efecto invernadero (GEI). Estos gases actualmente son generados por los diversos tipos de vehículos que utilizan los ciudadanos para su desplazamiento dentro de la ciudad en sus actividades cotidianas.

En el año 2017, la SDA público el informe de "Inventario de Emisiones de GEI de Bogotá"[2] donde se determinó que la actividad que más generaba gases de efecto invernadero (GEI) en la ciudad era el transporte carretero con 48 % correspondiente a 5.419.433 toneladas de CO_2e como se puede observar en la Figura 658, Tabla 336 y Figura 659. En la Tabla 336 se presentan los tres primeros subsectores disgregados que más generan GEI en la ciudad.

[2] Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) de Bogotá (2017); Inventario de Emisiones GEI de Bogotá; Bogotá, Colombia

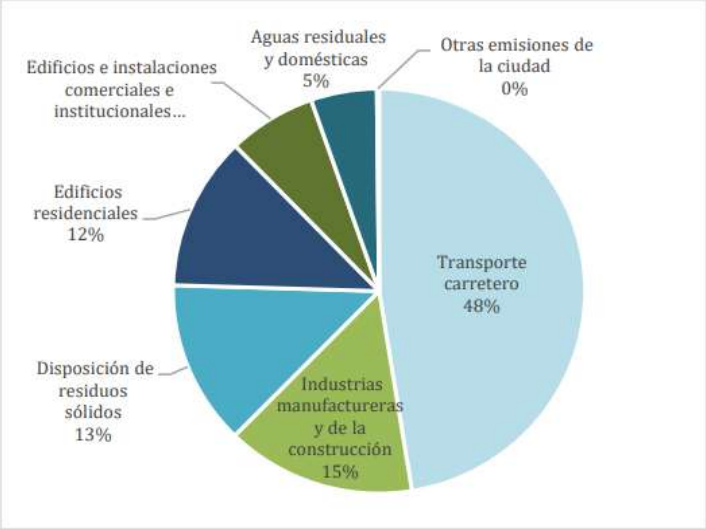


Figura 662. Distribución porcentual de las emisiones GEI por subsector
Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), 2017

Tabla 337. Emisiones GEI por sector y subsector

No. de referencia del GPC*	Fuente de emisión de GEI (por sector y subsector)	Emisiones GEI totales (toneladas CO2e)			
		Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	Total
I	**ENERGÍA ESTACIONARIA**				
I.1	Edificios residenciales	985.472	415.103	NE**	1.400.575
I.2	Edificios e instalaciones comerciales e institucionales	418.464	372.437	NE	790.901
I.3	Industrias manufactureras y de la construcción	1.470.567	231.587	NE	1.702.154
I.4.1/2/3	Industrias de energía	NO**	NO	NE	-
I.4.4	Generación de energía suministrada a la red	NO	NA**	NA	-
I.5	Agricultura, silvicultura y actividades pesqueras	IE**	31	NE	31
I.6	Fuentes no-especificadas	IE	NO	NE	-
I.7	Emisiones fugitivas del carbón	NO	NA	NA	-
I.8	Emisiones fugitivas de la distribución	18.009	NA	NA	18.009

No. de referencia del GPC*	Fuente de emisión de GEI (por sector y subsector)	Emisiones GEI totales (toneladas CO2e)			
		Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	Total
	de gas natural				
SUB-TOTAL	**ENERGÍA ESTACIONARIA**	**2.892.512**	**1.019.157**	**-**	**3.911.669**
II	**TRANSPORTE**				
II.1.	Transporte carretero	5.418.632	130	NE	5.418.762
II.2	Ferroviario	671	NO	NE	671
II.3	Navegación marítima	NO	NO	NO	-
II.4	Aviación	NO	NO	NE	-
II.5	Fuera de carretera	IE	IE	NE	-
SUB-TOTAL	**TRANSPORTE**	**5.419.303**	**130**	**0**	**5.419.433**
III	**RESIDUOS**				
III.1	Disposición de residuos sólidos	1.498.520	NA	NO	1.498.520
III.2	Tratamiento biológico de residuos	129	NA	NO	129
III.3	Incineración de residuos	NO	NA	1	1
III.4	Aguas residuales y domésticas	591.972	NA	NO	591.972
SUB-TOTAL	**RESIDUOS**	**2.090.621**	**0**	**1**	**2.090.622**
TOTAL	**TOTAL**	**10.402.437**	**1.019.287**	**1**	**11.421.724**

*GPC: Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria (GPC, por sus siglas en inglés)
**NA: No aplica; NE: No estimadas (emisiones no requeridas para el reporte básico); NO: No ocurren en la ciudad; IE: Incluidas en otro subsector

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), 2017

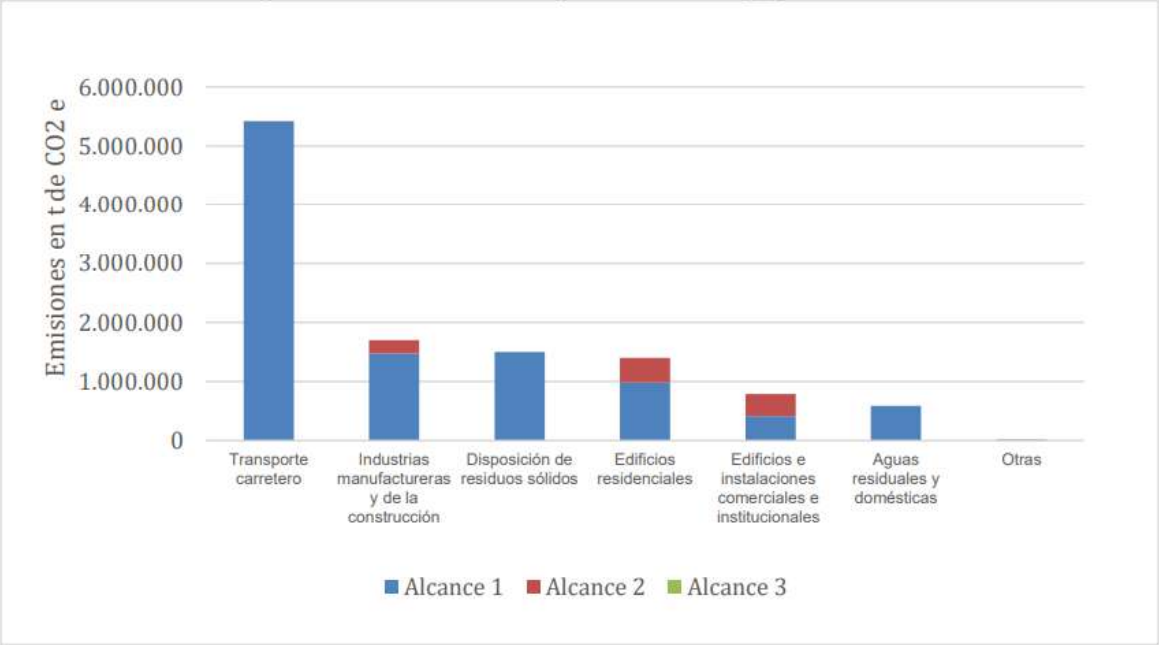


Figura 663. Emisiones por subsector y por alcance
Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), 2017

En el 2018, la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) de Bogotá realizó la actualización de los inventarios de emisiones atmosféricas de las fuentes contaminantes más relevantes de la ciudad, los cuales publicó en el "Inventario de Emisiones de Bogotá - Contaminantes Atmosféricos"[3]. A continuación en la Figura 660 se presenta el porcentaje de emisiones de las fuentes móviles en Bogotá, y de la Figura 661 a la Figura 666 su distribución espacial en la ciudad.

[3] Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) de Bogotá (2018); Inventario de Emisiones de Bogotá; Contaminantes Atmosféricos; Bogotá, Colombia

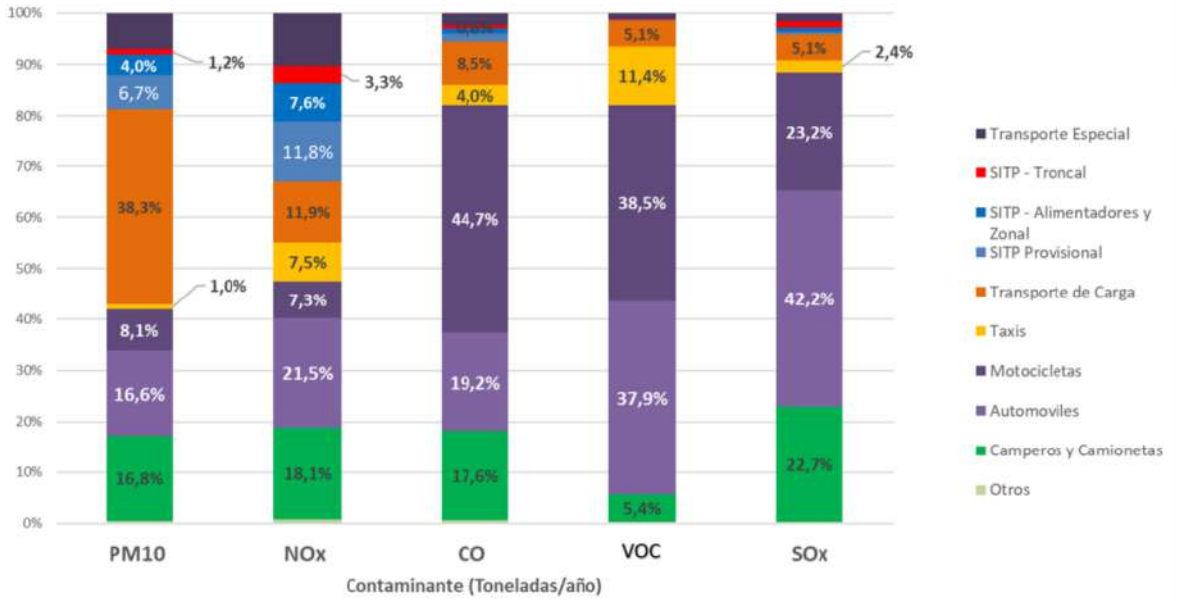


Figura 664. Participación en emisión de combustión de contaminantes criterio por categoría vehicular
Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), 2018

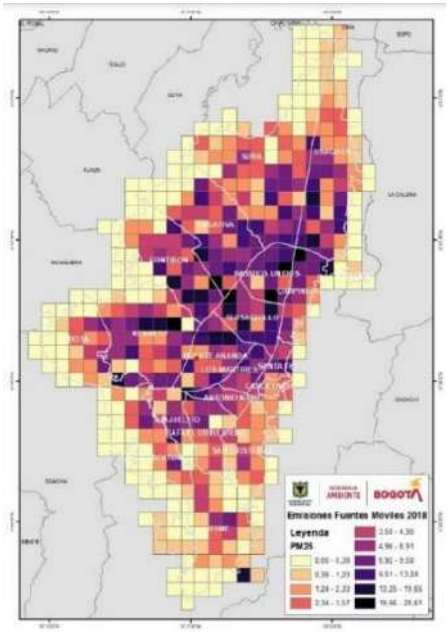


Figura 665. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de PM2.5 para Fuentes Móviles.

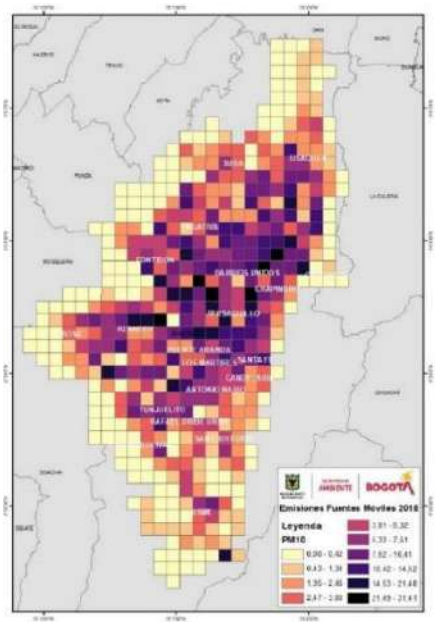


Figura 666. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de PM10 para Fuentes Móviles.

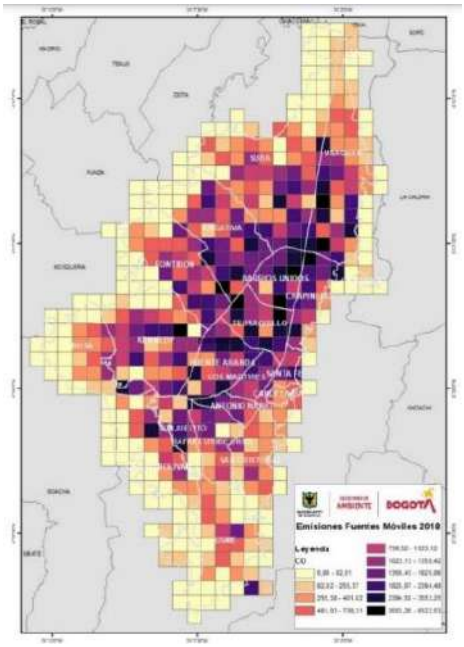


Figura 667. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de CO para Fuentes Móviles.

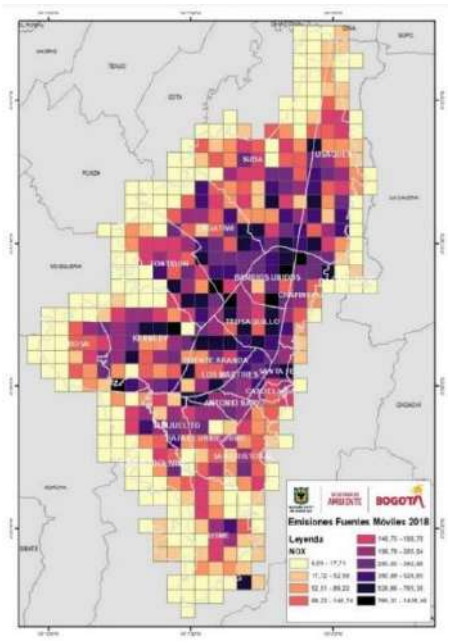


Figura 668. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de NOX para Fuentes Móviles.

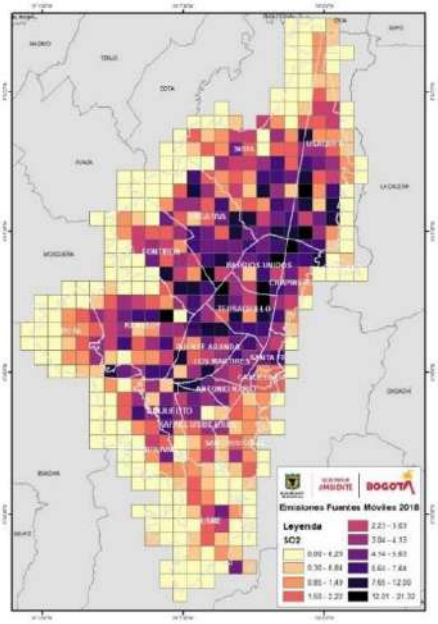


Figura 669. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de SO2 para Fuentes Móviles.

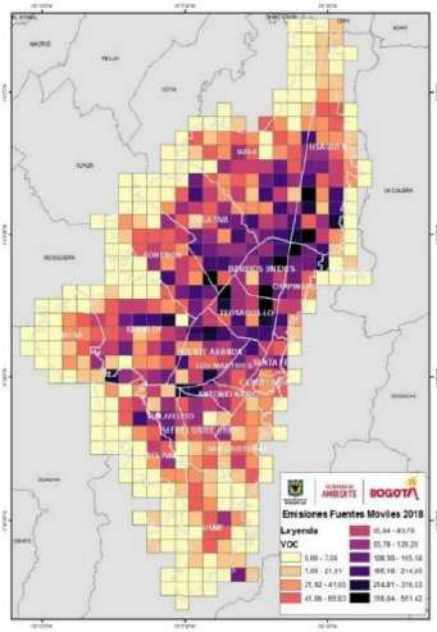


Figura 670. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de COV para Fuentes Móviles.

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), 2018

Como se observa en las figuras, las emisiones de los contaminantes se encuentran concentradas mayoritariamente en la zona centro de la ciudad. En cuanto a las emisiones por localidad en el informe "Inventario de Emisiones de Bogotá - Contaminantes Atmosféricos" elaborado por la SDA, se identificaron como principales aportantes de emisiones, las localidades de Kennedy, Fontibón, Suba, Usaquén y Engativá, donde se encuentran ubicadas las principales vías de la ciudad (Ver Figura 667).

La Línea 2 Metro de Bogotá (L2MB) se desarrollará en la ciudad de Bogotá, en las localidades de Chapinero, Barrios Unidos, Engativá y Suba. De éstas, las localidades de Suba y de Engativá son las que presentan mayores emisiones de gases contaminantes como se observa en la Figura 667. Con la entrada en funcionamiento de la Línea 2 Metro de Bogotá, la cual operará por electricidad, se espera una reducción de los gases contaminantes, entre los que se encuentran gases de efecto invernadero, emitidos por las fuentes móviles, ya que este sistema movilizará una gran cantidad de personas que cambiarán sus medios de transporte actuales (carro, moto, bus, biarticulado, etc) dentro de la ciudad por este sistema que no emite gases contaminantes a la atmósfera.

LOCALIDAD	Participación en emisiones					
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	NOX	CO	SO_2	VOC
KENNEDY	11%	11%	10%	10%	10%	9%
FONTIBON	11%	11%	9%	9%	9%	9%
SUBA	11%	11%	12%	12%	13%	13%
USAQUEN	9%	9%	8%	9%	10%	10%
ENGATIVA	9%	9%	9%	9%	10%	9%
TEUSAQUILLO	7%	7%	7%	8%	8%	8%
BARRIOS UNIDOS	6%	6%	7%	7%	6%	7%
PUENTE ARANDA	6%	6%	6%	6%	5%	6%
CHAPINERO	5%	5%	5%	6%	6%	6%
BOSA	4%	4%	4%	3%	3%	3%
USME	4%	4%	4%	3%	3%	3%
CIUDAD BOLIVAR	4%	4%	4%	4%	4%	4%
LOS MARTIRES	3%	3%	3%	3%	2%	2%
TUNJUELITO	2%	2%	2%	3%	3%	3%
SANTA FE	2%	2%	3%	2%	2%	2%
RAFAEL URIBE URIBE	2%	2%	2%	2%	2%	2%
SAN CRISTOBAL	2%	2%	2%	2%	2%	2%
ANTONIO NARI O	2%	2%	2%	2%	2%	2%
CANDELARIA	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SUMAPAZ	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Figura 671. Participación por localidad en las emisiones de fuentes móviles en carretera
Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), 2018

Para la estimación de los GEI que se generarán durante la etapa de construcción y operación del proyecto se utilizó la herramienta "Greenhouse Gas Inventory Tool for IDB Operational Portfolio" desarrollada y suministrada por el Banco

Interamericano de Desarrollo. En esta se incluyeron datos que solicita la herramienta como: localización del proyecto, país donde se va a ejecutar, tipo de cobertura de suelo que se va a intervenir y su área, área de vías a pavimentar, área de construcción, materias primas a usar que no sean utilizadas para la construcción de edificaciones, desarrollo de edificios nuevos relacionados con el proyecto, y la distancia de viaje de los vehículos que participarán en el proyecto. Algunos de los datos que solicita la calculadora no se introdujeron debido a que en esta etapa del proyecto es difícil su cuantificación o no se tienen. Cabe aclarar que los datos introducidos en la calculadora son aproximados por lo que a medida que se vaya avanzando el proyecto en su etapa de construcción y operación deben ser actualizados para recalcular las emisiones de GEI que se generarán.

Una vez llenadas las casillas con los datos se obtuvo que el proyecto va a generar una emisión aproximada de 322.758 Ton CO2e durante la etapa de construcción y 701 Ton CO2e durante la etapa de operación. En el Anexo 5.2-13.10 “Herramienta Estimación Huella de Carbono (GEI)” se presenta la herramienta utilizada y los resultados. Estos datos son un estimativo preliminar y deben ser ajustados durante el desarrollo del proyecto a medida que la obra avance y se tengan mayor certeza de los datos que solicita la herramienta para la estimación de los GEI.

La herramienta de estimación de emisiones de GEI del BID calcula las emisiones con base en los diferentes componentes y actividades que se requerirán y ejecutarán durante las etapas de construcción y operación del proyecto. Comparando el resultado obtenido de emisión de GEI durante la etapa operación con los datos del documento “Beneficios Ambientales para la Primera Línea del Metro de Bogotá - Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero” del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) publicado en el 2016, se observa que el resultado obtenido está muy por debajo de las emisiones de GEI estimadas para la primera línea del metro (Ver Figura 1001). Por ejemplo para el año 2028, año en que entraría en operación la segunda línea del metro, se tienen emisiones aproximadas de GEI de 220.000 ton CO2e con proyecto para la primera línea del metro, muy por encima de las 701 Ton CO2e obtenidas para la segunda línea del metro. Igualmente, para el año línea base de ese documento que fue el 2021, las emisiones de GEI fueron de aproximadamente de 190.000 Ton CO2e también muy por encima de las emisiones de GEI obtenidas.

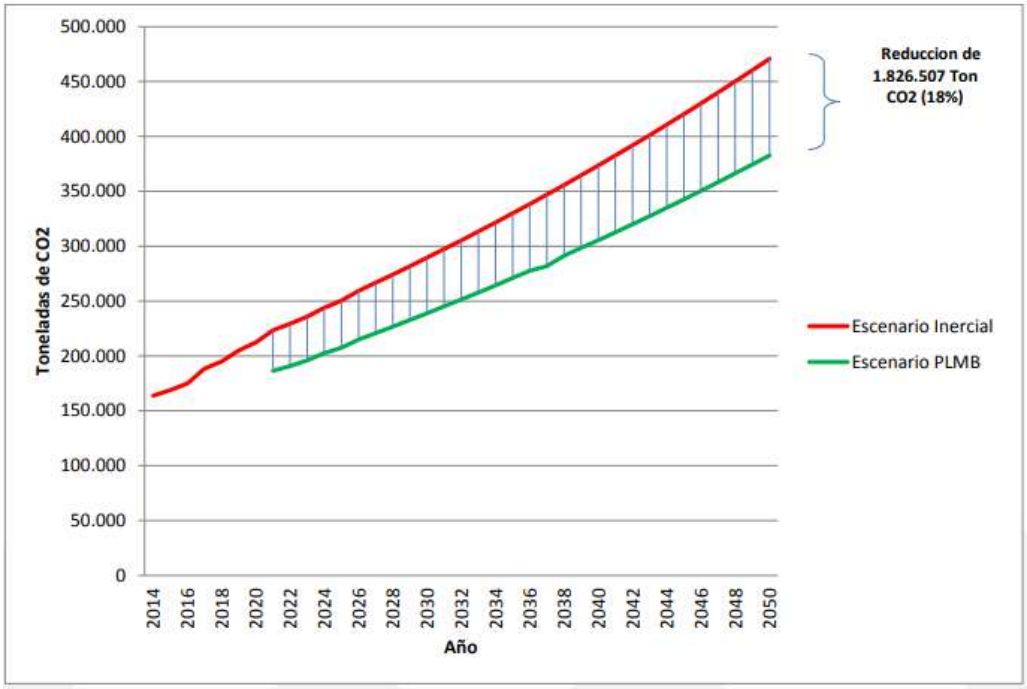


Figura 672. Tendencia de emisiones de GEI estimadas para la primera línea del metro de Bogotá con y sin proyecto
Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), 2016

Cabe resaltar que las estimaciones de GEI de la primera línea del metro se utilizaron otras variables de entrada y se utilizó otra herramienta. Las variables utilizadas fueron: categoría de vehículos relevantes en los que se desplazan las personas dentro de la ciudad, cantidad de vehículos por categoría, promedio de ocupación por categoría vehicular, consumo de combustibles por categoría vehícular, factor de emisión por km para cada categoría vehicular, y factor de emisión por pasajero-km. En cuanto a la herramienta de estimación de emisiones de GEI se utilizó la cuarta versión de la Herramienta Metodológica "Large-Scale Consolidated Methodology. Mass Rapid Transit Project (MRTP) V4.0" - normatividad ACM0016, propuesta por Grütter Consulting AG, en Suiza y estandarizada para Mecanismos de Desarrollo Limpio.

Debido a lo anterior se recomienda realizar la estimación de emisiones de GEI con diferentes herramientas de cálculo certificadas para tener una aproximación de las emisiones que se generarán dependiendo de la etapa del proyecto que se quiera estimar. Del mismo modo, para la estimación de los GEI que se generarán durante la etapa de construcción y operación se recomienda guiarse por las directrices del 2006 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) y la actualización de algunos capítulos del 2019, la guía del GHG Protocol para inventarios de emisiones de GEI y el documento "Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero" tercera versión del IDEAM.

La estimación de los GEI en la etapa de construcción deberá ser realizada por el CONCESIONARIO y en la etapa de operación deberá ser realizada por el OPERADOR del sistema metro.

Contrato interadministrativo 136 de 2021
Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legales, de riesgos, técnico y financiero

Capítulo 5.2 Línea Base
Medio Abiótico
Parte 5

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-IN-001-VD

Elaborado por:

Financiera de Desarrollo Nacional

U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

Bogotá D.C.
2022

5.2.3.3. Calidad del Aire

En este numeral se presenta la caracterización de la calidad del aire en el área de influencia del proyecto. Para esto, se consultó la información secundaria disponible en la materia ante la autoridad ambiental competente (SDA).

5.2.3.3.1. Marco Normativo

La Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) es la norma que establece los límites máximos permisibles de contaminantes atmosféricos en el territorio nacional. Esta norma derogó la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), implementando valores más exigentes para los diferentes contaminantes atmosféricos y suprimiendo las Partículas Suspendidas Totales (PST) del grupo de contaminantes criterio. Los contaminantes criterios son los estandarizados para evaluar la calidad del aire en el territorio nacional, los cuales son monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO2), dióxido de nitrógeno (NO2), ozono (O3) y material particulado con diámetro aerodinámico igual o inferior a 10 micras (PM10) e igual e inferior a 2,5 micras (PM2.5). En la Tabla 337 se presentan los límites máximos permisibles decretados:

Tabla 338. Marco normativo calidad del aire

Contaminante	Límite máximo permisible (µg/m³)	Período exposición
PM_{10}	50	Anual
	75	24 h
$PM_{2.5}$	25	Anual
	37	24 h
SO_2	50	24 h
	100	1 h
NO_2	60	Anual
	200	1 h
CO	5.000	8 h
	35.000	1 h

Fuente: Resolución 2254 de 2017 del MADS.

Además de la anterior normatividad, y como ya se había mencionado, los monitoreos se ejecutaron siguiendo los lineamientos del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del IDEAM.

Del mismo modo, de acuerdo con los estándares asociados a los límites máximos permisibles establecidos en las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad (GUÍAS GENERALES: MEDIO AMBIENTE RUIDO) - GRUPO DEL BANCO MUNDIAL Tabla 1.1.1: Guías de calidad del aire ambiente de la OMS, a continuación, se presentan los valores de concentraciones máximas para cada contaminante criterio y tiempo de exposición estipulados en la tabla anteriormente mencionada.

Tabla 339. Guías de calidad del aire ambiente de la OMS

Contaminante	Período promedio de exposición	Valor guía (µg/m^3)
Dióxido de azufre SO_2	24 horas	125 (objetivo intermedio 1) 50 (objetivo intermedio 2) 20 (valor guía)
	10 minutos	500 (valor guía)
Dióxido de nitrógeno NO_2	1 año	40 (valor guía)
	1 hora	200 (valor guía)
Material Particulado PM_{10}	1 año	70 (objetivo intermedio 1) 50 (objetivo intermedio 2) 30 (objetivo intermedio 3) 20 (valor guía)
	24 horas	150 (objetivo intermedio 1) 100 (objetivo intermedio 2) 75 (objetivo intermedio 2) 50 (valor guía)
Material Particulado $PM_{2.5}$	1 año	35 (objetivo intermedio 1) 25 (objetivo intermedio 2) 15 (objetivo intermedio 3) 10 (valor guía)
	24 horas	75 (objetivo intermedio 1) 50 (objetivo intermedio 2) 37,5 (objetivo intermedio 2) 25 (valor guía)
Ozono	8 horas (máximo diario)	160 (objetivo intermedio 1) 100 (valor guía)

Fuente: GUÍAS GENERALES MEDIO AMBIENTE SALUD Y SEGURIDAD - Corporación Financiera Internacional, Grupo del Banco Mundial.

5.2.3.3.2. Análisis calidad del aire - Información secundaria

Se encontraron 6 estaciones del SVCA en la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB), las cuales se describen a continuación:

Tabla 340. Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire RMCAB

ID	Nombre	Autoridad Ambiental	Contaminantes medidos	Altitud	Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá	
					Este	Norte
CA1-R	7ma MÓVIL	SDA	PM10, PM 2.5, NO2 y CO	2583	101.773,94	105.417,36
CA2-R	CDAR	SDA	PM10	2552	99.286,17	106.885,35
CA3-R	Las Ferias.	SDA	PM10	2552	99.450,49	110.451,21
CA4-R	Suba	SDA	PM10, PM 2.5, SO2, NO2, O3, CO.	2571	98.231,43	118.255,47
CA5-R	Bolivia	SDA	PM10, PM 2.5, SO2, NO2, O3, CO.	2574	94.632,6	115.440,77
CA6-R	Colina	SDA	PM10	2555	100.894,07	115.594,86

Fuente: UT MOVIUS, 2022. Elaborado con información consultada en RMCAB.

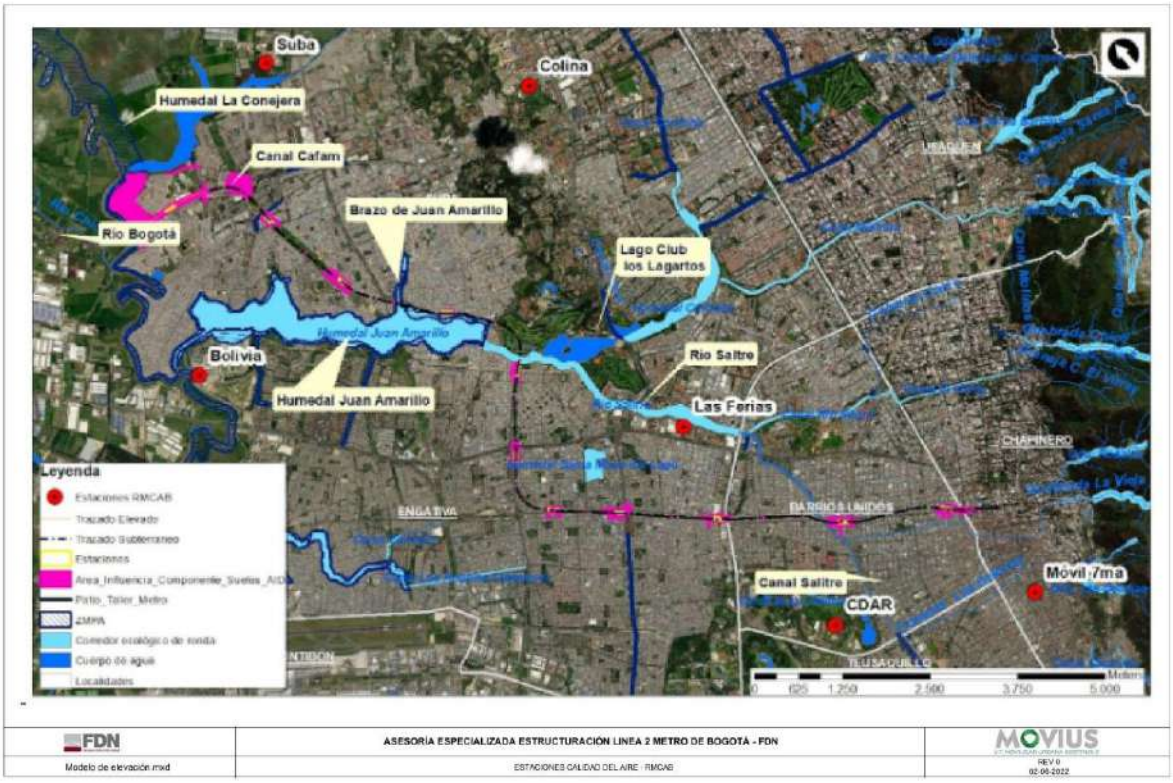


Figura 673. Localización de las estaciones de monitoreo de Calidad del Aire de la RMCAB.

Fuente:UT MOVIUS, 2022

De acuerdo con el Manual de operaciones del "Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire" expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), el porcentaje de datos válidos empleados en la estimación de los correspondientes promedios aritméticos no debe ser inferior al 75%. Sin embargo, en algunos meses algunas estaciones no cumplen con la representatividad temporal mínima necesaria para comparar con la norma. Por consiguiente, para el siguiente análisis se presenta la información reportada por todas las estaciones del SVCA, de tal manera que las estaciones con una representatividad inferior al 75% se muestran a modo indicativo de la condición de calidad del aire del área de estudio.

A continuación se presenta el análisis del comportamiento anual y mensual de los contaminantes atmosféricos monitoreados por las estaciones seleccionadas, para los años 2020 y 2021, de acuerdo a la información disponible para cada estación. Así mismo, se muestra el número de excedencias a la norma, las concentraciones máximas alcanzadas.

5.2.3.3.2.1. Material con tamaño inferior o igual a 10 micras PM10

- ***Estación 7ma Móvil***

En la Tabla 340 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación 7ma móvil durante el 2020.

Tabla 341. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM_{10} mensuales, Estación 7ma móvil. Año 2020.

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	48,00	58,19	62,99	31,06	23,42	32,60	26,08	29,64	34,17	38,46	49,61	45,13
Máximo	79,70	90,20	100,80	48,20	45,20	124,50	42,90	59,90	62,90	70,20	75,30	83,70
Mínimo	21,30	27,00	32,90	15,30	10,20	10,90	9,90	14,60	17,00	18,30	20,00	25,40
# Datos	31	29	31	26	30	29	31	31	30	31	30	29
Rep. Temporal	100%	100%	100%	87%	97%	97%	100%	100%	100%	100%	100%	94%
Límite 24h	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
# Datos Superan Límite 24h	2	3	4	0	0	1	0	0	0	0	1	1

Fuente:UT MOVIUS, 2022

Durante el año 2020 se presentaron 12 excedencias al límite 24h. El 33.33% del número total se registró en el mes de marzo y el 0,25% en el mes de febrero. La concentración máxima registrada fue de 124.5 µg/m3 el 24 de junio, la cual supera el límite máximo permitido en un 66%.

En la Figura 669 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en marzo con 62,99 µg/m3, valor que corresponde al 83.99% del límite permisible de 24 horas; y supera en un 25,97% el límite permisible anual.

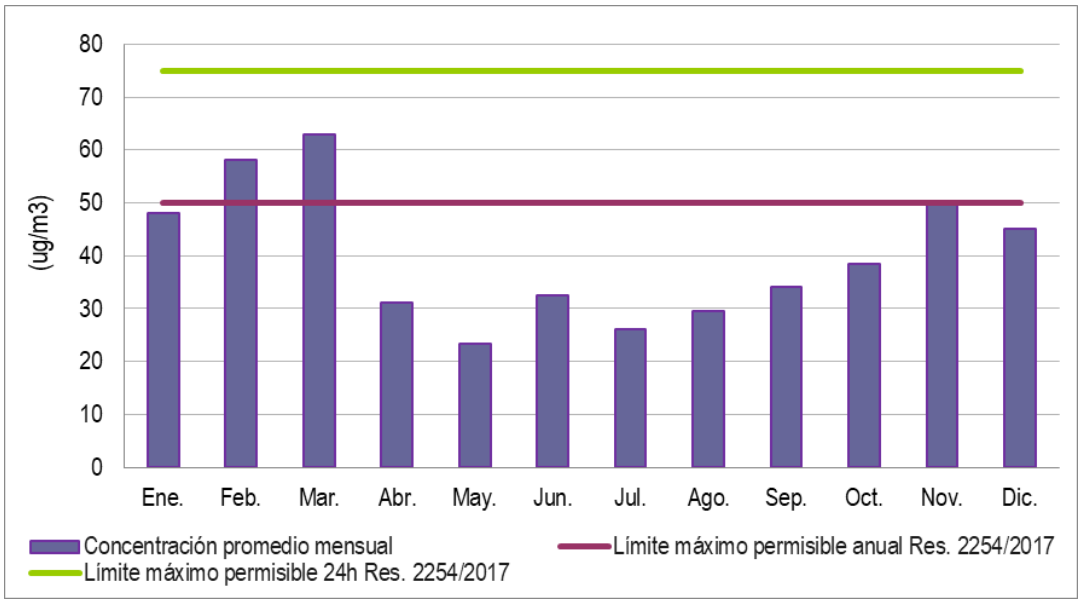


Figura 674. Concentraciones promedio mensuales de PM_{10}. Estación 7ma móvil. Año 2020
Fuente:UT MOVIUS, 2022

En la Tabla 341 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación 7ma móvil durante el 2021.

Tabla 342. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM_{10} mensuales, Estación 7ma móvil. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	35,30	45,41	46,62	23,88	32,26	36,72	29,29	29	28,15	33,12	38,99	38,77
Máximo	63,00	69,00	75,10	46,70	52,80	67,10	54,40	39,70	43,70	61,30	55,60	53,60
Mínimo	14,50	30,20	13,50	8,90	16,70	16,30	17,90	16,20	14,00	13,20	16,80	16,30
# Datos	25	27	30	25	28	26	28	24	28	24	29	29
Rep. Temporal	81%	96%	97%	83%	90%	87%	90%	77%	93%	77%	97%	94%
Límite 24h	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
# Datos Superan Límite 24h	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022

Durante el año 2021 se presentó 1 excedencia al límite 24h en el mes de marzo. La concentración máxima registrada fue de 75,10 µg/m3 el 23 de marzo, la cual supera el límite máximo permitido en un 0.13%.

En la Figura 670 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en febrero con 46.62 µg/m3, valor que corresponde al 62.16 % del límite permisible de 24 horas.

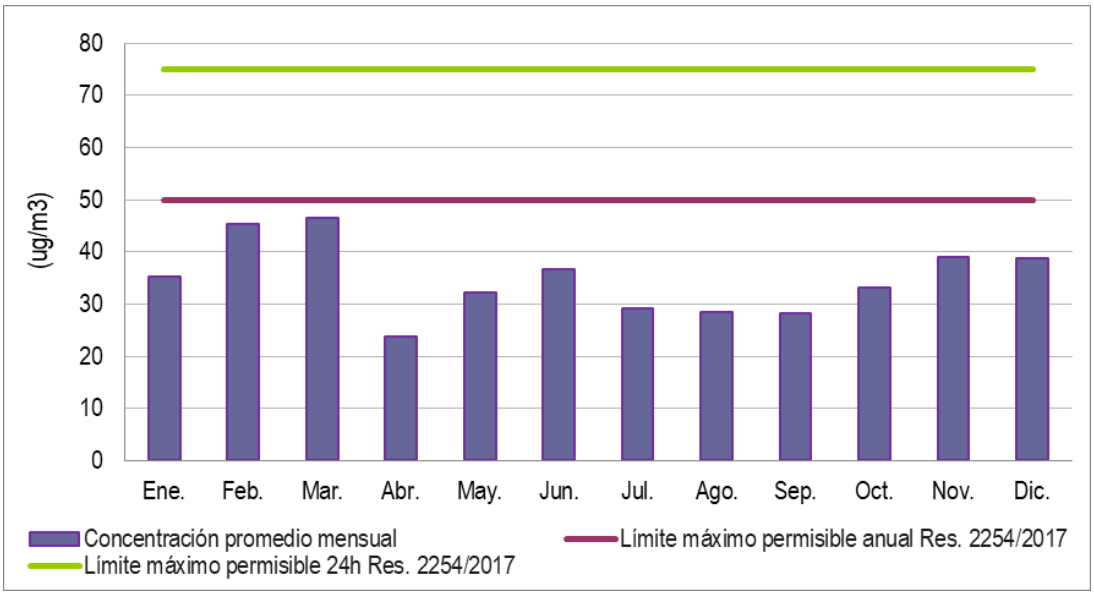


Figura 675. Concentraciones promedio mensuales de PM_{10}. Estación 7ma Móvil. Año 2021
Fuente: MOVIUS, 2022

- ***Estación CDAR***.

En la Tabla 342 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación CDAR durante el 2020.

Tabla 343. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales. Estación CDAR. Año 2020.

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	21,29	32,26	41,00	18,69	10,93	15,52	12,48	15,27	17,74	19,08	26,09	26,29
Máximo	42,90	59,80	68,40	38,60	22,90	56,60	24,40	34,30	36,40	43,20	50,50	51,90
Mínimo	4,90	13,10	20,40	5,60	4,10	3,00	3,80	5,50	5,20	5,70	12,00	12,60
# Datos	30	29	31	30	28	27	31	31	29	30	29	24
Rep. Temporal	97%	100%	100%	100%	90%	90%	100%	100%	97%	97%	97%	77%
Límite 24h	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2020 no se presentan excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada fue de 68,40 µg/m3 el 6 de marzo, la cual está por debajo del límite máximo permitido.

En la Figura 671 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en marzo con 41 µg/m3, valor que corresponde al 54,66% del límite permisible de 24 horas.

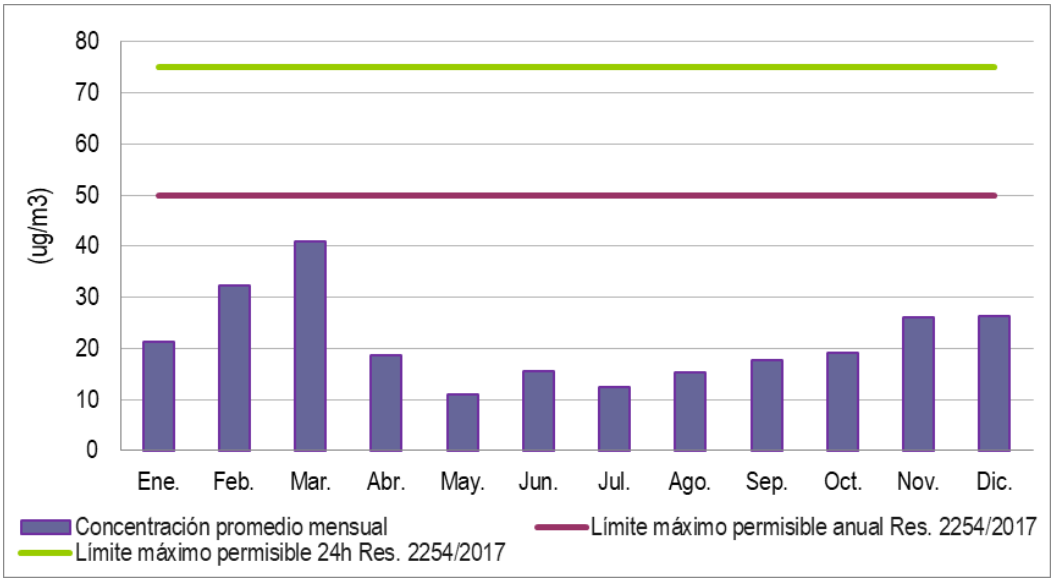


Figura 676. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación CDAR. Año 2020.
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 343 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación CDAR durante el 2021.

Tabla 344. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación CDAR. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	28,51	25,74	27,47	19,14	16,06	18,32	12,07	19	18,41	23,02	28,21	28,11
Máximo	46,20	38,50	52,30	38,70	31,10	36,80	31,60	36,90	35,80	44,90	39,60	43,10
Mínimo	2,90	13,10	5,90	6,10	3,70	3,50	3,60	2,60	6,20	8,00	10,40	11,50
# Datos	21	21	30	27	21	27	26	29	30	31	28	31
Rep. Temporal	68%	75%	97%	90%	68%	90%	84%	94%	100%	100%	93%	100%
Límite 24h	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada fue de 52,30 µg/m3 el 6 de marzo, la cual está por debajo del límite máximo permitido.

En la Figura 672 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en marzo con 28,51 µg/m3, valor que corresponde al 38,01% del límite permisible de 24 horas.

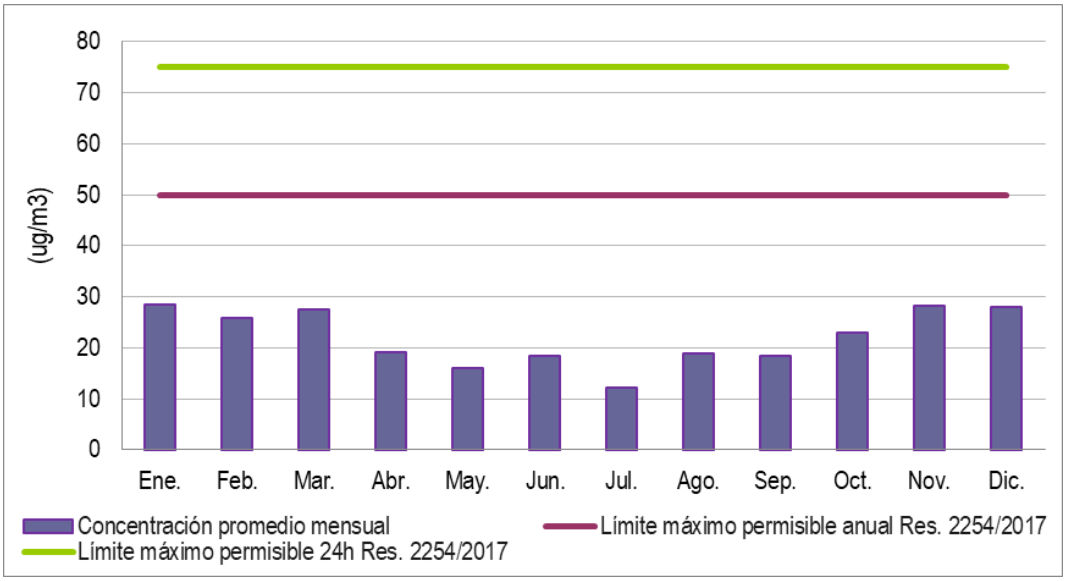


Figura 677. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación CDAR. Año 2021
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación Las Ferias***

En la Tabla 344 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Las Ferias durante el 2020.

Tabla 345. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Las Ferias. Año 2020.

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	25,06	40,15	45,45	23,08	12,14	19,70	13,13	15,79	18,07	20,27	27,75	25,01
Máximo	45,30	71,00	79,00	41,40	25,40	86,70	25,50	39,20	35,10	44,60	52,30	44,60
Mínimo	8,10	16,60	22,60	6,50	3,60	3,50	5,30	5,70	7,20	8,90	8,80	10,60
# Datos	25	24	28	20	31	29	29	31	30	30	29	28
Rep. Temporal	81%	83%	90%	67%	100%	97%	94%	100%	100%	97%	97%	90%
Límite 24h	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
# Datos Superan Límite 24h	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2020 se presentaron 2 excedencias al límite 24h. Una se presentó en marzo y la otra en junio. La concentración máxima registrada fue de 86,70 µg/m3 el 24 de junio, la cual supera el límite máximo permitido en un 15,6%.

En la Figura 673 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en marzo con 45,45 µg/m3, valor que corresponde al 60,6% del límite permisible de 24 horas y al 90,9 % del límite permisible anual.

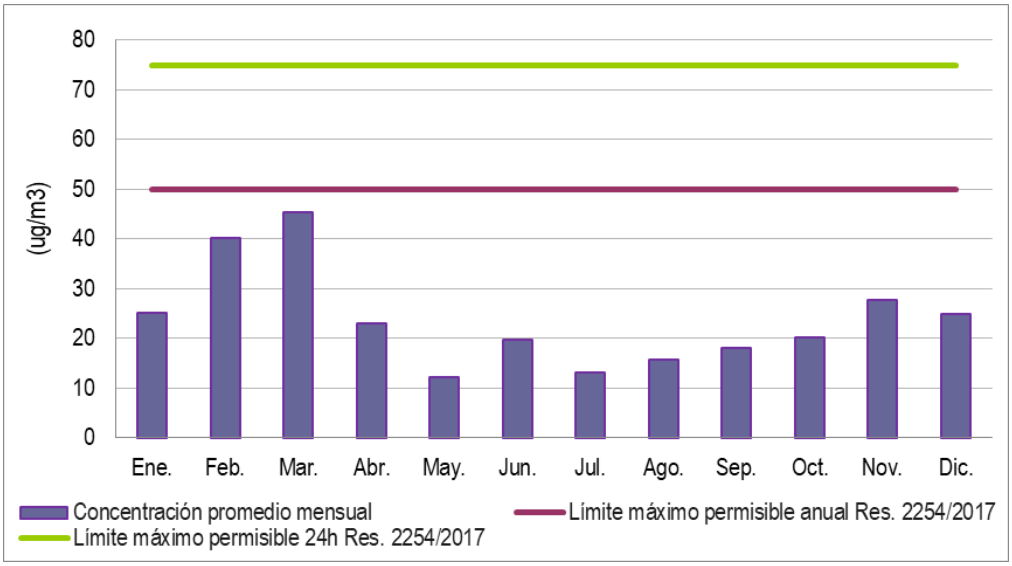


Figura 678. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Las Ferias. Año 2020
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 345 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Las Ferias durante el 2021.

Tabla 346. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Las Ferias. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	26,38	25,05	24,38	19,79	14,47	17,85	11,85	20	20,59	24,80	29,40	29,63
Máximo	47,80	40,20	46,10	38,30	33,60	35,90	30,90	33,70	39,00	43,30	42,50	42,40
Mínimo	9,20	12,40	5,80	6,00	5,10	5,10	4,80	5,50	7,70	10,60	12,80	14,00
# Datos	21	25	20	28	29	27	31	30	30	29	29	30
Rep. Temporal	68%	89%	65%	93%	94%	90%	100%	97%	100%	94%	97%	97%
Límite 24h	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada fue de 47,80 µg/m3 el 28 de enero, la cual está por debajo del límite máximo permitido.

En la Figura 674 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en marzo con 29,40 µg/m3, valor que corresponde al 39,2% del límite permisible de 24 horas.

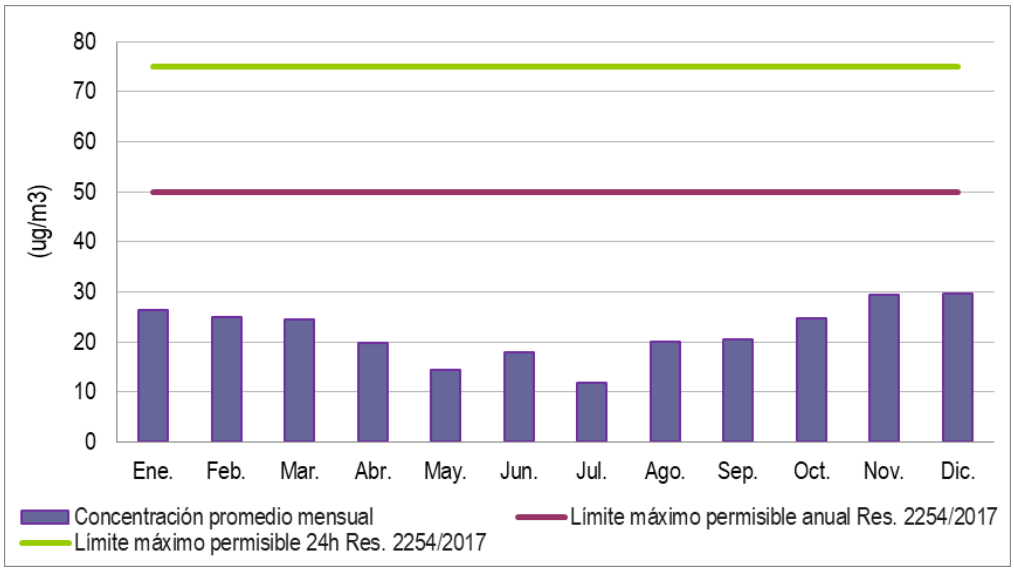


Figura 679. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Las Ferias. Año 2021
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación Suba***

En la Tabla 346 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Suba durante el 2020.

Tabla 347. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Suba. Año 2020.

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	52,46	61,33	60,72	34,86	22,35	23,56	20,73	21,46	23,89	28,13	31,19	33,25
Máximo	79,30	91,00	87,20	51,30	43,50	94,90	38,10	37,80	39,50	42,40	56,50	49,60
Mínimo	36,10	40,30	40,30	21,50	7,70	5,50	11,10	12,20	9,50	15,30	13,50	17,10
# Datos	30	29	31	30	31	30	31	31	26	31	30	26
Rep. Temporal	97%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	87%	100%	100%	84%
Límite 24h	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
# Datos Superan Límite 24h	1	3	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2020 se presentaron 10 excedencias al límite 24h. El 40 % del número total se registró en el mes de marzo y el 30% en febrero. La concentración máxima registrada es de 91,00 µg/m3 el 7 de febrero la cual supera el límite máximo permitido en un 21,33%.

En la Figura 675 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en febrero con 61,33 µg/m3, valor que corresponde al 81,77 % del límite permisible de 24 horas; y supera en un 18,23% el límite permisible anual.

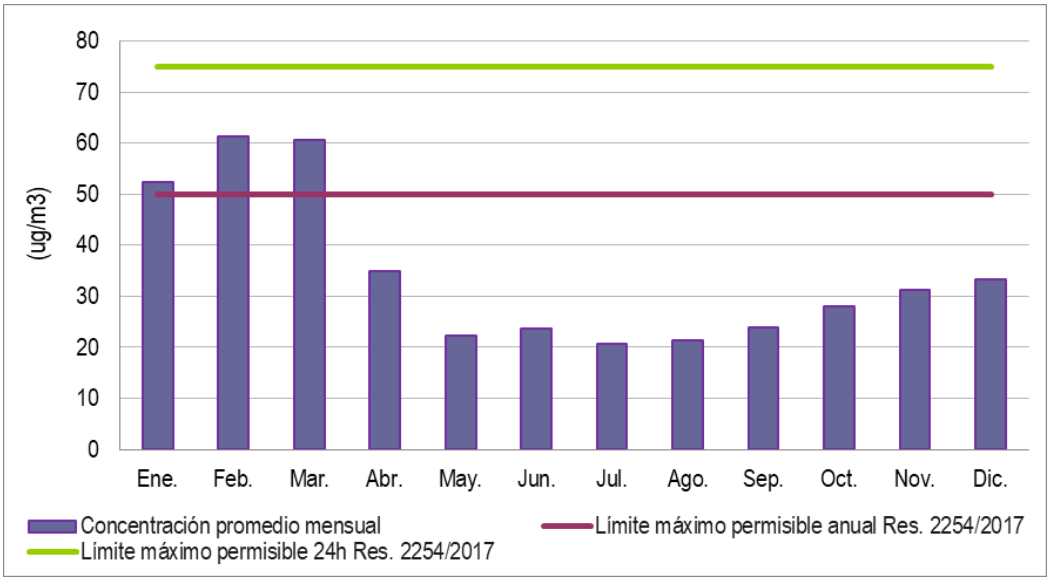


Figura 680. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Suba. Año 2020
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 347 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Suba durante el 2021.

Tabla 348. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Suba. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	34,38	33,63	30,27	27,72	23,46	24,25	22,96	26	30,89	27,74	36,42	39,35
Máximo	62,80	46,60	52,30	55,50	42,70	40,90	41,00	44,80	45,20	47,90	66,00	57,00
Mínimo	9,00	15,70	13,30	11,10	9,80	11,00	11,60	10,90	11,00	12,00	18,10	13,30
# Datos	24	27	24	30	30	15	31	30	30	31	25	30
Rep. Temporal	77%	96%	77%	100%	97%	50%	100%	97%	100%	100%	83%	97%
Límite 24h	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada fue de 66 µg/m3 el 6 de noviembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido.

En la Figura 676 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en marzo con 39,35 µg/m3, valor que corresponde al 52,47% del límite permisible de 24 horas.

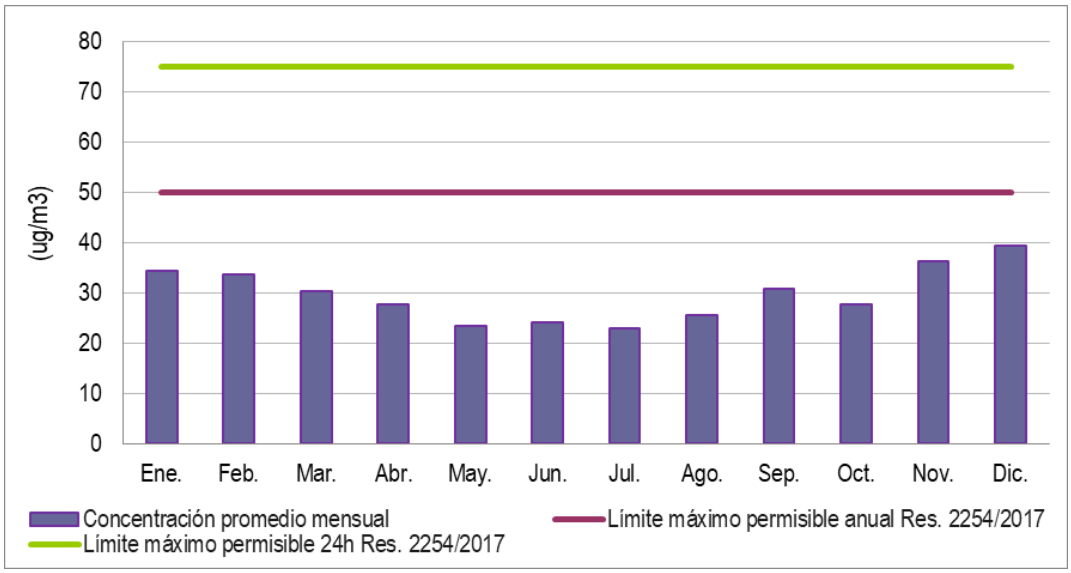


Figura 681. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Suba. Año 2021
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

- ***Estacion Bolivia***

En la Tabla 348 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Bolivia durante el 2020.

Tabla 349. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Bolivia. Año 2020.

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58,03	51,07	58,16
Máximo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80,30	86,90	94,60
Mínimo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38,10	20,10	22,10
# Datos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	27	26
Rep. Temporal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52%	90%	84%
Límite 24h	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
# Datos Superan Límite 24h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	5	7

Fuente:UT MOVIUS, 2022

Durante el año 2020 se presentaron 13 excedencias al límite 24h. El 53,85 % del número total se registró en el mes de diciembre. La concentración máxima registrada es de 94,60 µg/m3 el 15 de diciembre, la cual supera el límite máximo permitido en un 20.8%.

En la Figura 677 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. Entre los meses de enero a septiembre no se registraron datos. La concentración promedio más alta se registró en diciembre con 58,16 µg/m3, valor que corresponde al 77,55 % del límite permisible de 24 horas; y supera en un 16,32% el límite permisible anual.

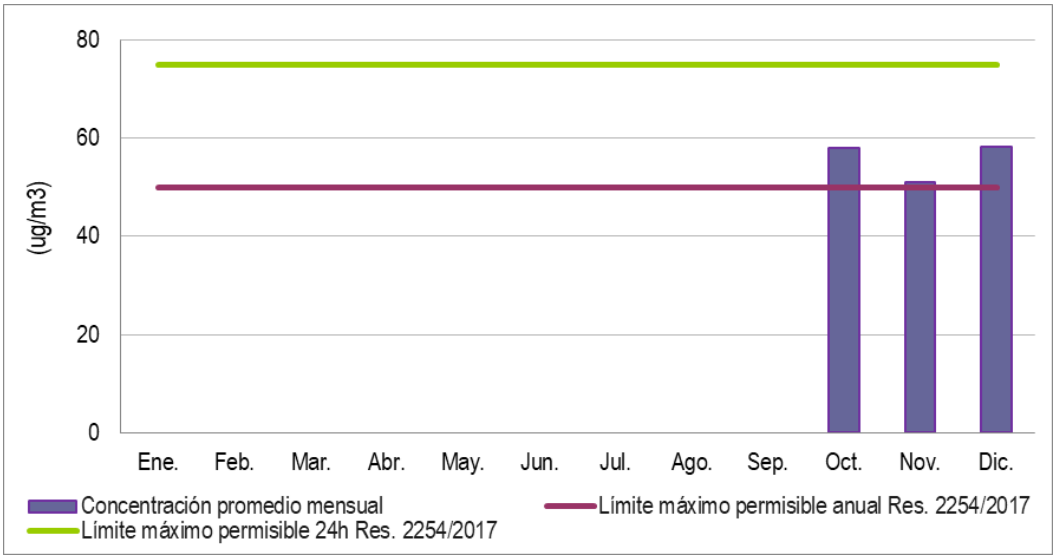


Figura 682. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Bolivia. Año 2020
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 349 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Bolivia durante el 2021.

Tabla 350. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Bolivia. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	44,74	39,24	32,97	29,11	21,80	26,78	20,15	31	33,52	30,19	42,94	46,18
Máximo	84,30	62,20	67,80	56,70	47,60	48,40	39,20	51,20	49,70	48,50	80,80	66,40
Mínimo	7,80	19,10	11,10	13,40	10,50	9,70	7,50	10,20	13,10	10,80	21,10	18,20
# Datos	31	28	31	28	31	29	31	31	29	31	29	31
Rep. Temporal	100%	100%	100%	93%	100%	97%	100%	100%	97%	100%	97%	100%
Límite 24h	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
# Datos Superan Límite 24h	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022

Durante el año 2021 se presentaron 4 excedencias al límite 24h. El 75% del número total se registró en el mes de enero. La concentración máxima registrada fue de 84,30 µg/m3 el 20 de enero, la cual supera el límite máximo permitido en un 12,4%.

En la Figura 678 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en marzo con 46,18 µg/m3, valor que corresponde al 61,57% del límite permisible de 24 horas y al 92.36 % del límite permisible anual.

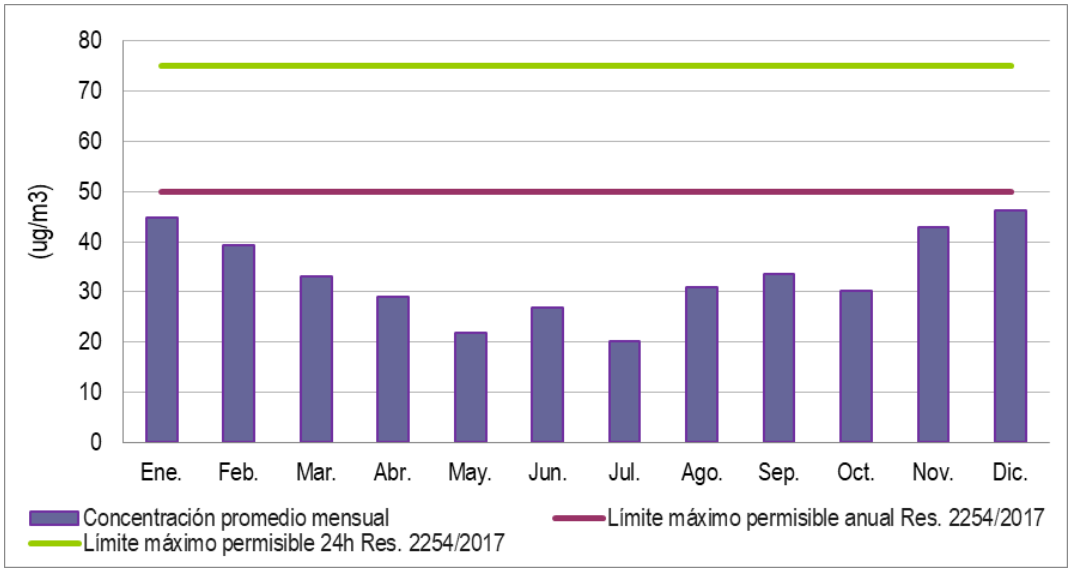


Figura 683. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Bolivia Año 2021
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación Colina.***

En la Tabla 350 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Colina durante el 2021.

Tabla 351. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM10 mensuales, Estación Colina. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	22,97	19,15	14,53	11,87	13,16	14,94	11,52	16	17,44	14,80	24,57	23,61
Máximo	42,50	30,10	17,50	18,30	23,20	26,20	23,90	26,90	24,10	22,80	35,60	34,70
Mínimo	9,60	11,90	12,40	9,80	5,00	6,20	5,90	3,70	8,50	7,70	15,00	8,80
# Datos	9	15	3	6	31	29	26	30	16	22	19	31
Rep. Temporal	29%	54%	10%	20%	100%	97%	84%	97%	53%	71%	63%	100%
Límite 24h	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada fue de 42,50 µg/m3 el 19 de enero, la cual está por debajo del límite máximo permitido.

En la Figura 679 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en marzo con 35,60 µg/m3, valor que corresponde al 47,47% del límite permisible de 24 horas.

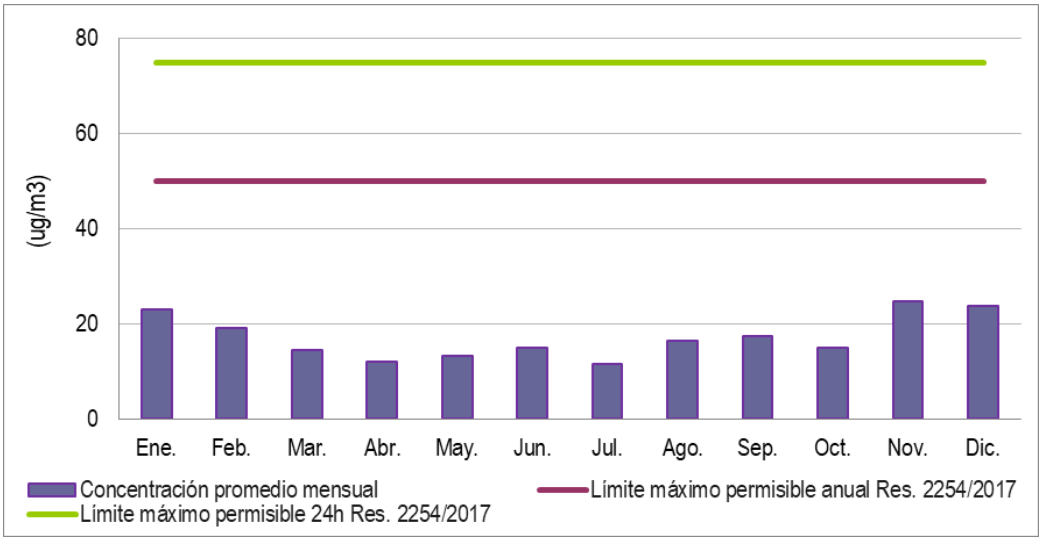


Figura 684. Concentraciones promedio mensuales de PM10. Estación Colina. Año 2021
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

- ***Resumen***

En la Tabla 351 y Figura 680 presentan los promedios anuales para las estaciones que presentaron porcentajes de representatividad superiores al 75%. Se evidencia que la estación Colina no cumple con la representatividad temporal mínima requerida para los años 2020 y 2021, las cuales alcanzan el 0 % y el 65% respectivamente, por consiguiente los registros no pueden compararse con los límites máximos permisibles anuales; la información presentada para esta estación se muestran a modo indicativo de la condición de calidad del aire presente en el área de estudio.

Para el caso de la estación de Bolivia en el año 2020, no cumple con la representatividad temporal la cual alcanza un 19%, en el año 2021 registra concentraciones de 33,22 ug/m3, las cuales se encuentran por debajo del límite máximo permisible anual.

Las demás estaciones registran concentraciones que oscilan entre 21,39 ug/m3 y 39,94 ug/m3. Siendo la estación CDAR con los valores más bajos y la 7ma MÓVIL con los más altos.Todas por debajo del límite máximo permisible anual.

Tabla 352. Representatividad temporal, concentraciones promedio anuales y número de excedencias a la norma de PM_{10}.

Estaciones	Representatividad Temporal (%)		Promedio anual [µg/m³]		Excedencias de la norma 24 h (75 µg/m³)	
	Año 2020	Año 2021	Año 2020	Año 2021	Año 2020	Año 2021
7ma MÓVIL	98	88	39,94	34,76	12	1

Estaciones	Representatividad Temporal (%)		Promedio anual [µg/m³]		Excedencias de la norma 24 h (75 µg/m³)	
	Año 2020	Año 2021	Año 2020	Año 2021	Año 2020	Año 2021
CDAR	95	88	21,39	21,98	0	0
Las Ferias.	91	90	23,80	22,02	2	0
Suba	97	90	34,49	29,73	10	0
Bolivia	19	90	-	33,22	13	4
Colina	0	65	-	-	-	0

Fuente: UT MOVIUS, 2022. Tomado y adaptado de RMCAB, 2020

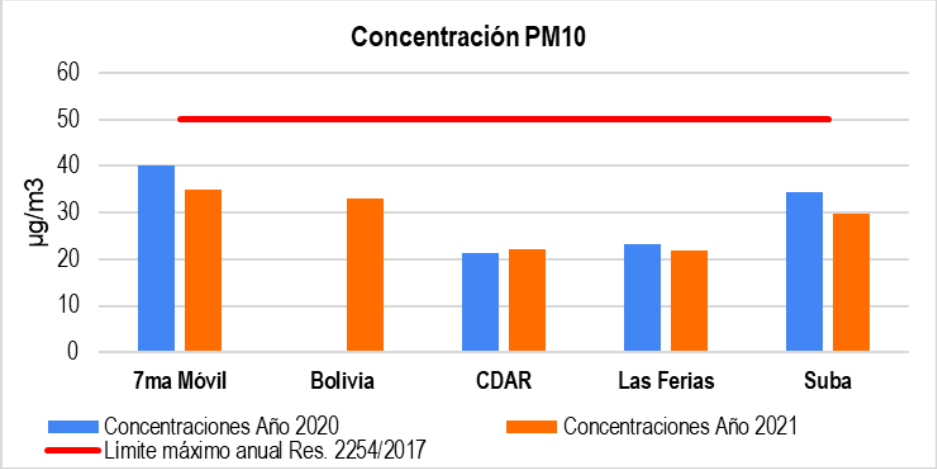


Figura 685. Promedio anual PM10
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.3.2.2. Material particulado PM2.5

- ***Estación 7ma Móvil***

En la Tabla 352 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación 7ma móvil durante el 2020.

Tabla 353. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación 7ma Móvil. Año 2020.

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	26,19	32,59	42,96	18,64	13,15	14,88	11,95	14	17,88	17,56	25,81	24,41
Máximo	44,00	48,10	66,00	36,80	24,00	39,90	19,90	33,20	34,70	37,00	39,80	47,00
Mínimo	12,00	12,50	21,40	7,30	5,00	4,50	4,50	6,60	7,50	7,60	6,40	11,50

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
# Datos	31	29	31	30	30	30	31	31	30	31	30	29
Rep. Temporal	100%	100%	100%	100%	97%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	94%
Límite 24h	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
# Datos Superan Límite 24h	5	9	24	0	0	1	0	0	0	0	1	1

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2020 se presentaron 41 excedencias al límite 24h. El 58,54% del número total se registró en el mes de marzo. La concentración máxima registrada fue de 66 µg/m3 el 19 de marzo, la cual supera el límite máximo permitido en un 78,37%.

En la Figura 681 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en marzo con 42,96 µg/m3, valor que supera en un 16,11% del límite permisible de 24 horas y un 71.84% el límite permisible anual.

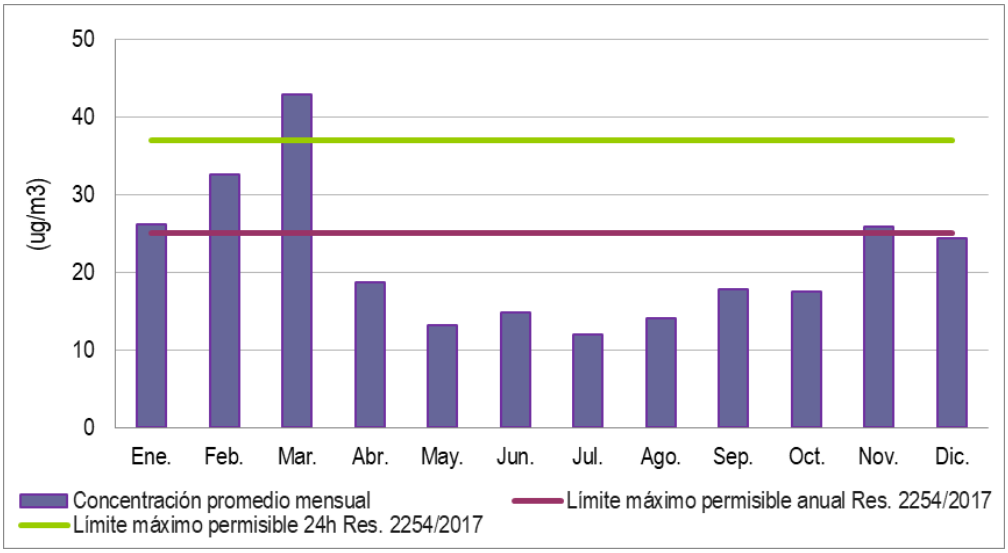


Figura 686. Concentraciones promedio mensuales de PM2.5. Estación 7ma Móvil. Año 2020
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 353 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación 7ma móvil durante el 2021.

Tabla 354. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación 7ma Móvil. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	17,73	22,74	26,16	12,25	11,35	13,31	10,65	15	15,64	21,04	22,20	21,55
Máximo	34,50	36,30	44,50	22,90	23,80	33,70	20,10	29,80	25,40	37,90	34,80	38,90
Mínimo	6,20	13,50	6,30	3,90	3,30	2,50	5,70	8,00	7,40	8,00	8,10	7,60

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
# Datos	27	27	31	30	31	27	28	28	30	31	29	31
Rep. Temporal	87%	96%	100%	100%	100%	90%	90%	90%	100%	100%	97%	100%
Límite 24h	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
# Datos Superan Límite 24h	0	0	5	0	0	0	0	0	0	1	0	1

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 se presentaron 7 excedencias al límite 24h. El 71,43% del número total se registró en el mes de marzo. La concentración máxima registrada fue de 44,50 µg/m3 el 6 de marzo, la cual supera el límite máximo permitido en un 20,27%.

En la Figura 682 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en marzo con 26,16 µg/m3, valor que corresponde al 70,70% del límite permisible de 24 horas y supera en un 4,64% el límite permisible anual.

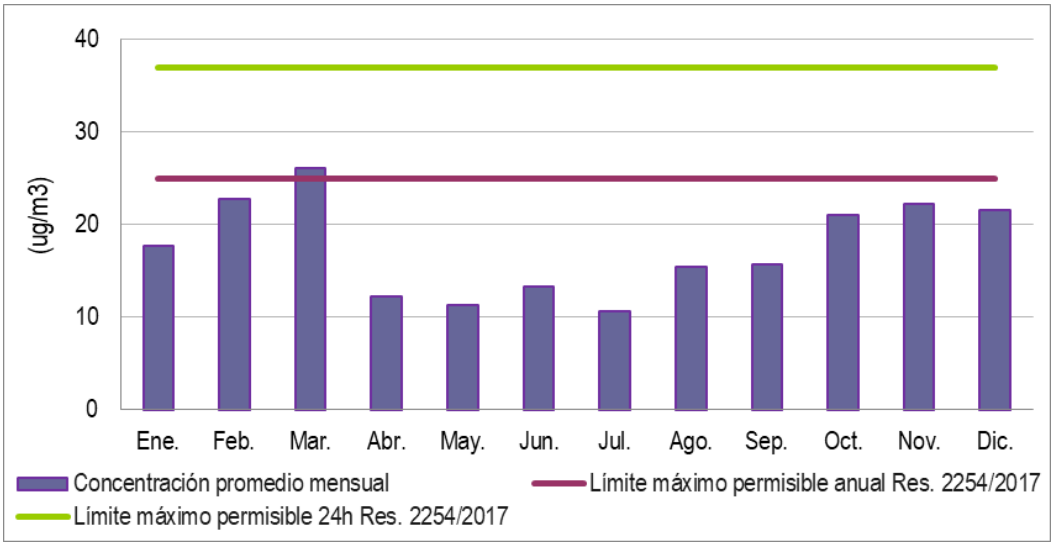


Figura 687. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación 7ma Móvil. Año 2021
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación Bolivia***

En la Tabla 354 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Bolivia durante el 2020.

Tabla 355. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Bolivia. Año 2020.

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,19	18,53	17,61

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Máximo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,30	25,40	28,30
Mínimo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,40	8,90	5,50
# Datos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	27	27
Rep. Temporal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52%	90%	87%
Límite 24h	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
# Datos Superan Límite 24h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2020 no se presentaron excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada es de 28,30 µg/m3 el 31 de diciembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido.

En la Figura 683 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. Entre los meses de enero a septiembre no se registraron datos. La concentración promedio más alta se registró en noviembre con 18,53 µg/m3, valor que corresponde al 50,08 % del límite permisible de 24 horas y al 74,12% del límite permisible anual.

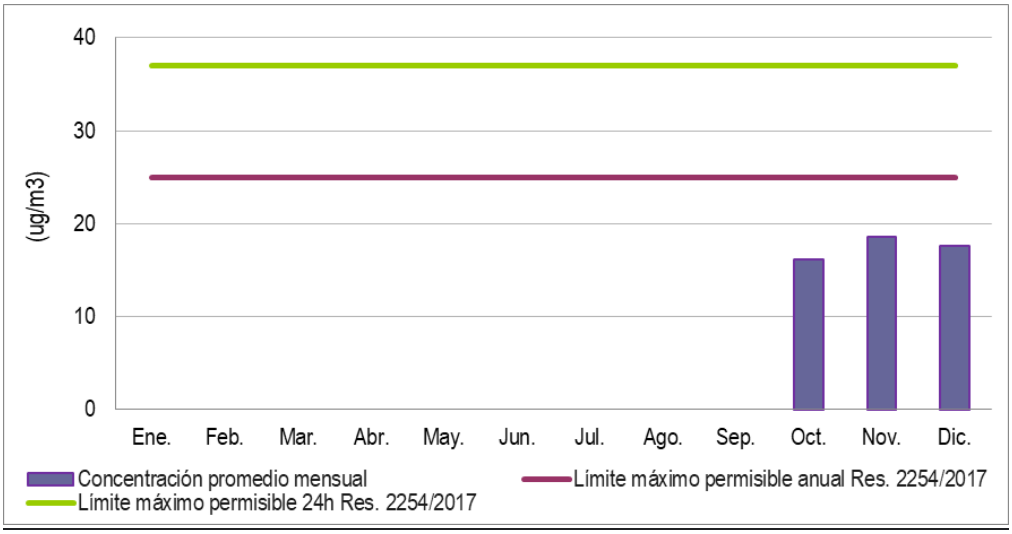


Figura 688. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Bolivia. Año 2020.
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 355 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Bolivia durante el 2021.

Tabla 356. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Bolivia. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	17,25	18,02	17,89	12,31	9,72	11,90	7,36	12	13,63	14,17	17,56	19,13
Máximo	34,10	30,50	34,70	24,50	18,30	26,30	16,30	19,30	22,50	26,20	24,50	33,00
Mínimo	3,20	8,50	4,90	4,60	4,30	3,00	2,80	3,20	3,20	6,10	11,90	8,20

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
# Datos	31	28	31	30	31	30	31	31	29	31	28	31
Rep. Temporal	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	100%	93%	100%
Límite 24h	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentaron excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada es de 34,70 µg/m3 el 4 de marzo, la cual está por debajo del límite máximo permitido.

En la Figura 684 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en diciembre con 19,13 µg/m3, valor que corresponde al 51,70% del límite permisible de 24 horas y al 76,52% del límite permisible anual.

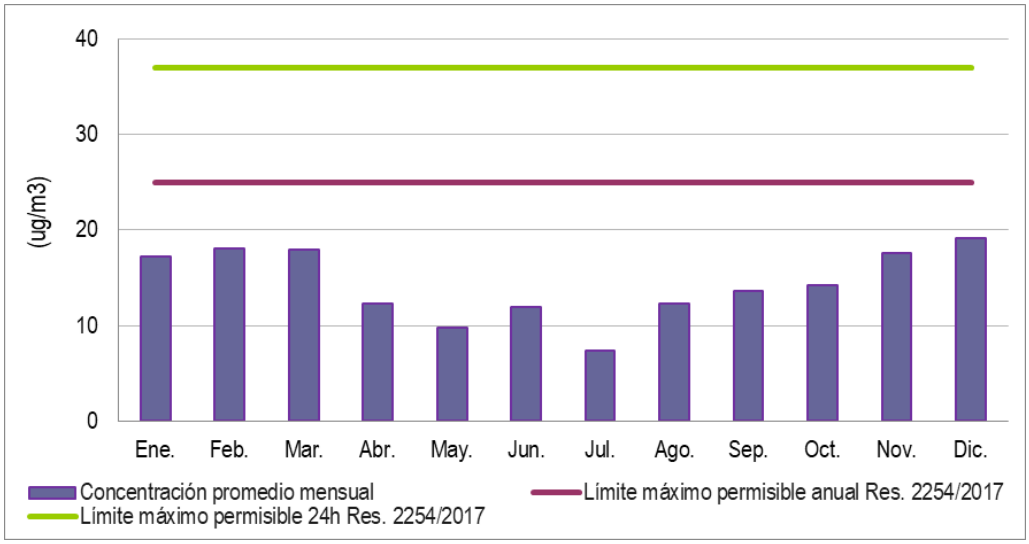


Figura 689. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Bolivia. Año 2021.
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación CDAR***

En la Tabla 356 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación CDAR durante el 2020.

Tabla 357. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación CDAR. Año 2020.

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	13,44	19,55	32,56	13,58	6,17	6,78	5,96	8	10,20	10,27	17,30	14,39
Máximo	24,80	32,50	53,50	31,50	14,70	17,10	10,70	22,60	26,80	26,70	31,30	31,50

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Mínimo	2,50	8,00	15,90	3,70	1,10	1,20	1,10	2,30	2,30	2,70	6,50	4,50
# Datos	30	27	29	30	28	26	31	31	30	31	29	31
Rep. Temporal	97%	93%	94%	100%	90%	87%	100%	100%	100%	100%	97%	100%
Límite 24h	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
# Datos Superan Límite 24h	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 se presentaron 10 excedencias al límite 24h. El 100% del número total se registró en el mes de marzo. La concentración máxima registrada es de 53,50 µg/m3 el 24 de marzo, la cual supera el límite máximo permitido en un 44,59%.

En la Figura 685 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en marzo con 32,56 µg/m3, valor que corresponde al 88% del límite permisible de 24 horas y supera en un 30,24% el límite permisible anual.

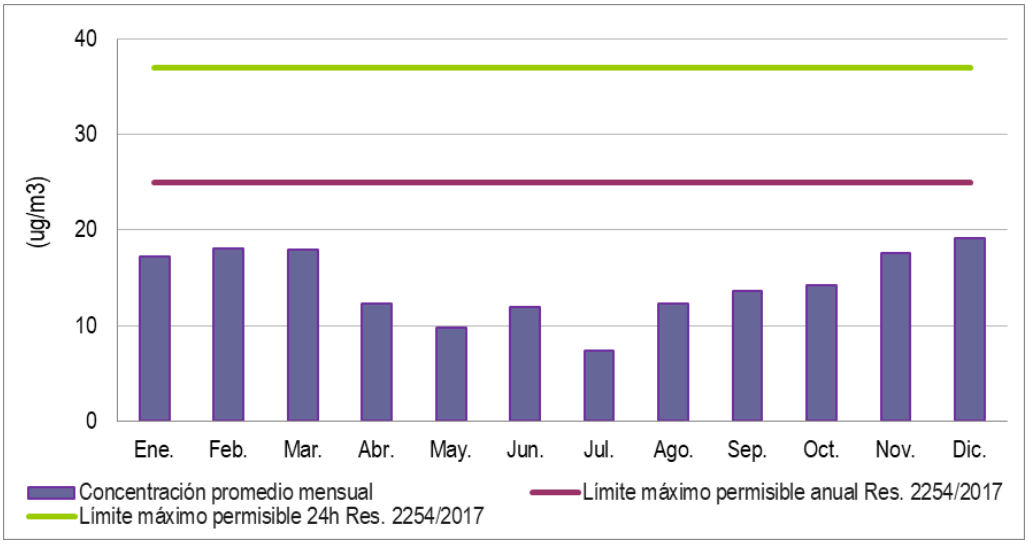


Figura 690. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación CDAR. Año 2020.
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 357 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación CDAR durante el 2021.

Tabla 358. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación CDAR. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	13,35	14,21	15,95	10,26	8,28	8,08	5,94	10	10,11	23,02	17,51	17,97
Máximo	26,80	23,50	36,00	21,60	19,00	21,50	16,00	21,70	19,40	44,90	24,50	28,30
Mínimo	2,40	5,80	3,50	2,80	2,10	0,70	1,00	1,40	4,00	8,00	6,30	7,00

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
# Datos	30	25	26	30	31	28	31	31	30	31	27	30
Rep. Temporal	97%	89%	84%	100%	100%	93%	100%	100%	100%	100%	90%	97%
Límite 24h	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 se presentaron 3 excedencias al límite 24h. El 100% del número total se registró en el mes de octubre. La concentración máxima registrada es de 44,90 µg/m3 el 22 de octubre, la cual está por debajo del límite máximo permitido.

En la Figura 686 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en octubre con 23,02 µg/m3, valor que corresponde al 62,22% del límite permisible de 24 horas y al 92,08% del límite permisible anual.

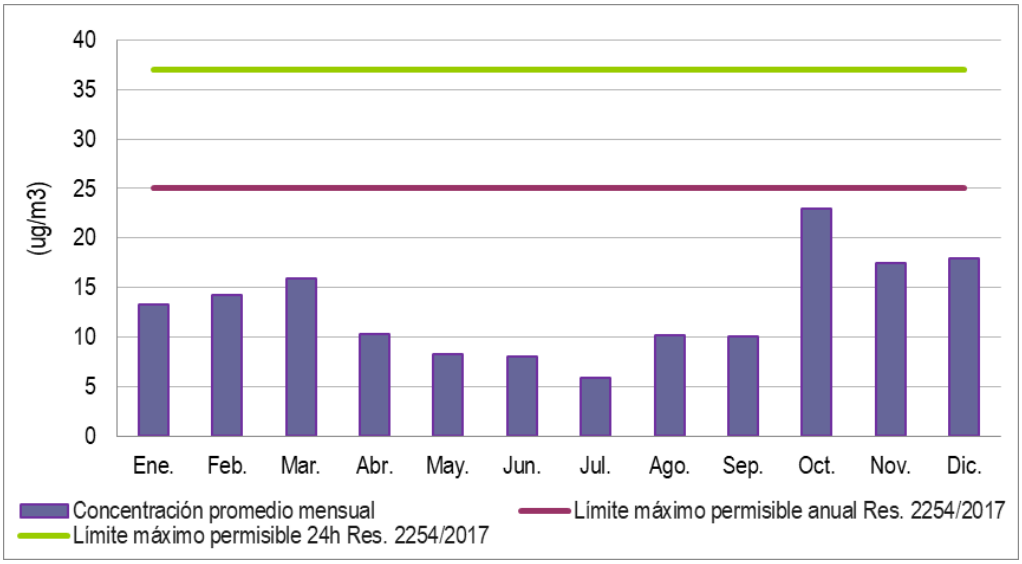


Figura 691. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación CDAR. Año 2021.
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación Colina***

En la Tabla 358 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Colina durante el 2021.

Tabla 359. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Colina. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	8,63	7,88	3,17	3,86	5,58	4,96	2,68	5	6,77	10,93	13,52	13,40
Máximo	16,30	14,50	3,90	6,60	10,70	13,20	6,00	10,70	17,00	24,10	19,20	24,20
Mínimo	3,00	3,80	2,50	2,00	1,00	2,30	1,80	1,60	3,10	3,80	3,20	5,10
# Datos	9	15	3	7	16	29	31	31	26	29	19	31
Rep. Temporal	29%	54%	10%	23%	52%	97%	100%	100%	87%	94%	63%	100%
Límite 24h	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentaron excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada es de 24,20 µg/m3 el 08 de diciembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido.

En la Figura 687 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en noviembre con 13,52 µg/m3, valor que corresponde al 36,54% del límite permisible de 24 horas y al 54,08% del límite permisible anual.

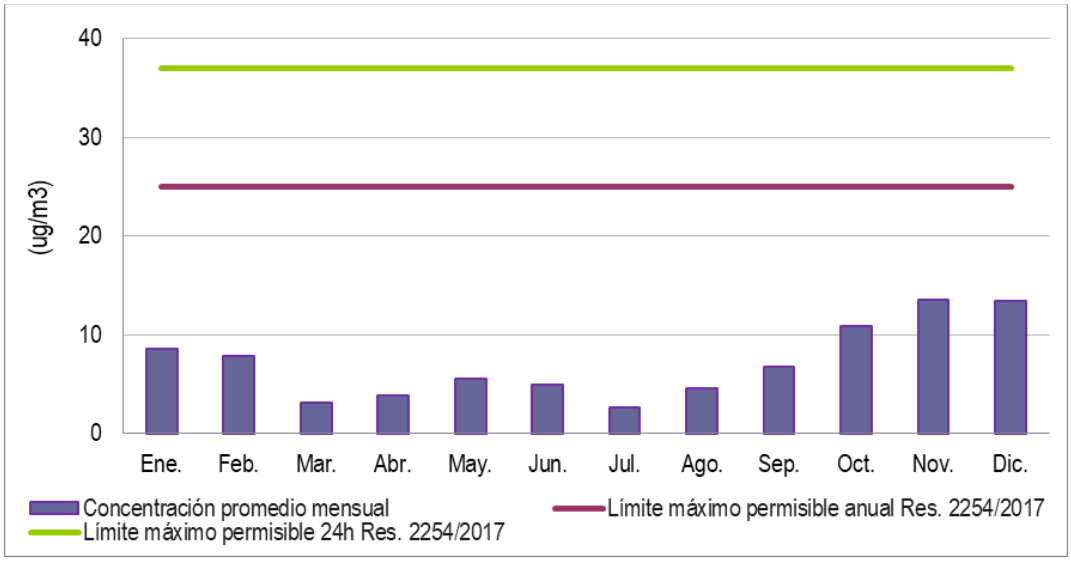


Figura 692. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Colina. Año 2021.
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación Las Ferias***

En la Tabla 359 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Las Ferias durante el 2020.

Tabla 360. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Las Ferias. Año 2020

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	17,04	18,50	34,27	12,56	7,00	8,27	6,14	9	10,37	9,43	14,31	14,38
Máximo	29,10	33,40	57,00	30,60	13,90	23,60	10,80	20,60	26,20	20,10	23,50	27,80
Mínimo	5,30	6,10	15,60	2,30	1,60	2,40	1,90	3,70	3,10	3,40	3,90	3,90
# Datos	31	23	31	21	21	28	30	31	30	31	30	26
Rep. Temporal	100%	79%	100%	70%	68%	93%	97%	100%	100%	100%	100%	84%
Límite 24h	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
# Datos Superan Límite 24h	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2020 se presentaron 10 excedencias al límite 24h. El 100% del número total se registró en el mes de marzo. La concentración máxima registrada es de 57 µg/m3 el 19 de marzo, la cual supera el límite máximo permitido en un 54,05%.

En la Figura 688 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en marzo con 34,27 µg/m3, valor que corresponde al 92,62% del límite permisible de 24 horas y supera en un 37,08% el límite permisible anual.

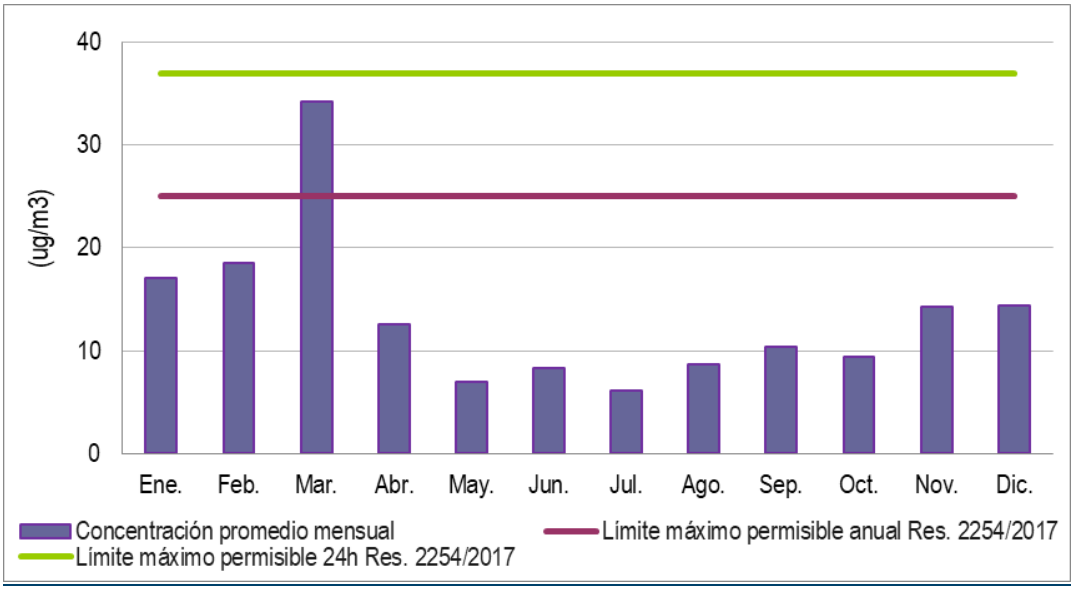


Figura 693. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Las Ferias. Año 2020.
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 360 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Las Ferias durante el 2021.

Tabla 361. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Las Ferias. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	15,03	14,81	16,84	10,55	6,39	9,89	6,97	12	12,17	15,86	19,57	18,84
Máximo	27,40	25,20	34,60	21,80	16,60	22,30	16,50	24,50	23,00	32,90	27,40	28,50
Mínimo	6,10	7,60	3,90	4,60	1,00	3,00	2,30	2,30	5,00	5,90	8,30	8,50
# Datos	24	28	31	30	31	29	30	31	30	31	30	30
Rep. Temporal	77%	100%	100%	100%	100%	97%	97%	100%	100%	100%	100%	97%
Límite 24h	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentaron excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada es de 34,60 µg/m3 el 23 de marzo, la cual está por debajo del límite máximo permitido.

En la Figura 689 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en noviembre con 19,57 µg/m3, valor que corresponde al 52,89% del límite permisible de 24 horas y al 78,28% del límite permisible anual.

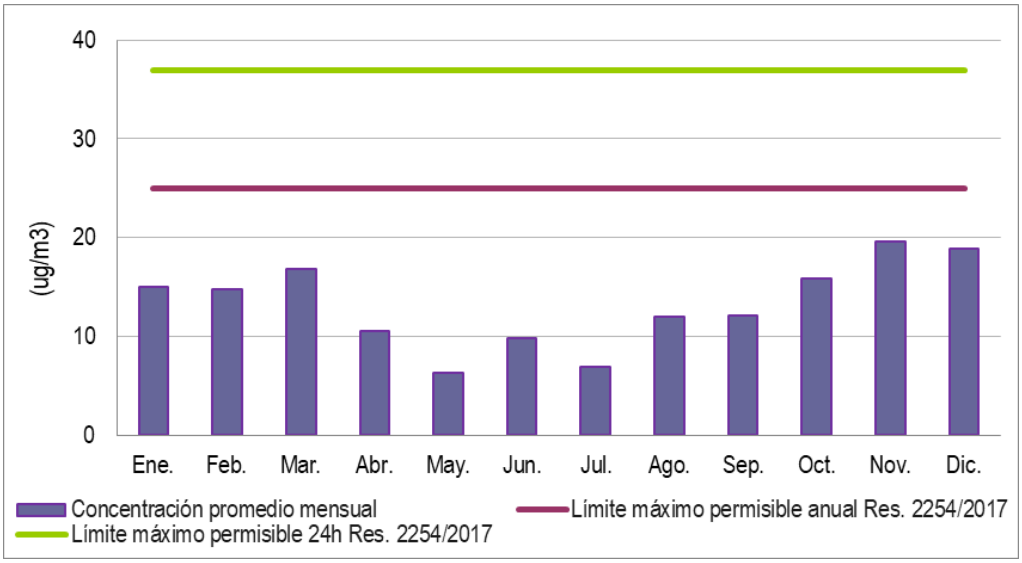


Figura 694. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Las Ferias. Año 2021.
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación Suba***

En la Tabla 361 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Suba durante el 2020.

Tabla 362. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Suba. Año 2020.

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	16,55	22,93	33,45	15,86	8,41	9,22	7,63	9	11,22	10,62	15,76	15,03
Máximo	26,20	33,90	56,50	35,00	15,90	31,50	14,70	16,00	21,20	17,60	24,40	24,10
Mínimo	7,50	15,30	16,50	5,10	2,50	2,00	2,30	4,40	4,20	4,90	8,30	7,80
# Datos	30	29	31	30	31	28	28	31	29	31	29	26
Rep. Temporal	97%	100%	100%	100%	100%	93%	90%	100%	97%	100%	97%	84%
Límite 24h	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
# Datos Superan Límite 24h	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2020 se presentaron 10 excedencias al límite 24h. El 100% del número total se registró en el mes de marzo. La concentración máxima registrada es de 56,50 µg/m3 el 19 de marzo, la cual supera el límite máximo permitido en un 52,70%.

En la Figura 690 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en marzo con 33,45 µg/m3, valor que corresponde al 90,40% del límite permisible de 24 horas y supera en un 33,80% el límite permisible anual.

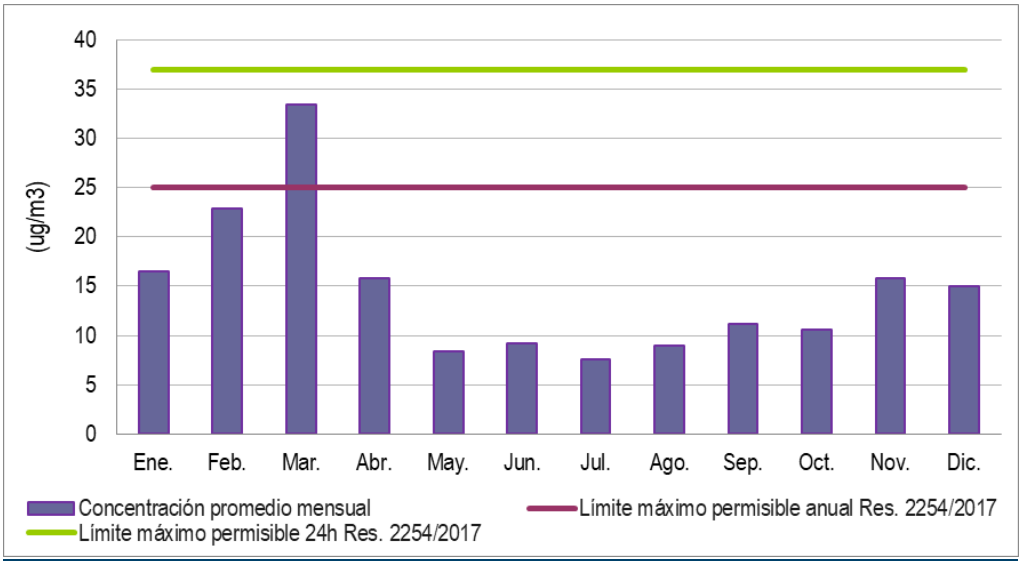


Figura 695. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Suba. Año 2020.
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 362 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Estación Suba durante el 2021.

Tabla 363. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para PM2.5 mensuales, Estación Suba. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	15,22	16,24	16,46	11,20	8,38	10,25	6,57	9	10,89	13,06	17,06	18,13
Máximo	25,70	23,60	32,80	23,50	14,90	22,30	12,50	15,70	17,10	25,20	23,70	27,70
Mínimo	4,80	7,30	4,40	5,70	3,90	3,30	3,50	1,80	5,50	7,00	9,50	6,80
# Datos	24	28	30	30	31	24	29	31	30	31	25	28
Rep. Temporal	77%	100%	97%	100%	100%	80%	94%	100%	100%	100%	83%	90%
Límite 24h	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente:UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentaron excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada es de 32,80 µg/m3 el 06 de marzo, la cual está por debajo del límite máximo permitido.

En la Figura 691 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en diciembre con 18,13 µg/m3, valor que corresponde al 49% del límite permisible de 24 horas y al 72,52% del límite permisible anual.

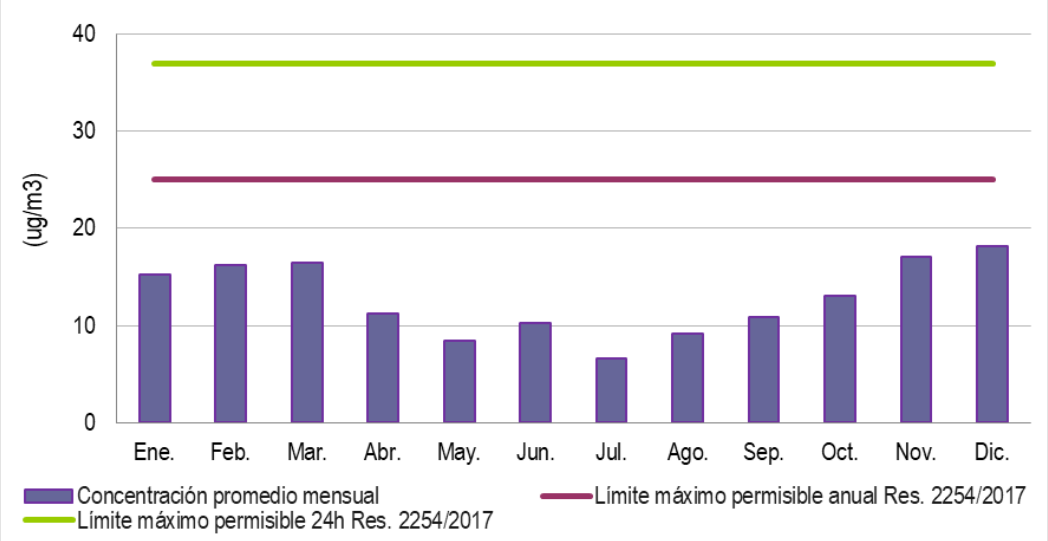


Figura 696. Concentraciones promedio mensuales de PM 2.5. Estación Suba. Año 2021.
Fuente:UT MOVIUS, 2022.

- ***Resumen***

En la Tabla 363 y Figura 692 presentan los promedios anuales para las estaciones que presentaron porcentajes de representatividad superiores al 75%. Se evidencia que la estación Colina no cumple con la representatividad temporal mínima requerida para los años 2020 y 2021, las cuales alcanzan el 0 % y el 67% respectivamente, por consiguiente los registros no pueden compararse con los límites máximos permisibles anuales; la información presentada para esta estación se muestran a modo indicativo de la condición de calidad del aire presente en el área de estudio.

Para el caso de la estación de Bolivia en el año 2020, no cumple con la representatividad temporal la cual alcanza un 19%, en el año 2021 registra concentraciones de 14,23 ug/m3, las cuales se encuentran por debajo del límite máximo permisible anual.

Las demás estaciones registran concentraciones que oscilan entre 21,65 ug/m3 y 12,59 ug/m3. Siendo la estación CDAR con los valores más bajos y la 7ma MÓVIL con los más altos.Todas por debajo del límite máximo permisible anual.

Tabla 364. Representatividad temporal, concentraciones promedio anuales y número de excedencias a la norma de $PM_{2.5}$.

Estaciones	Representatividad Temporal (%)		Promedio anual [µg/m³]		Excedencias de la norma 24 h (25 µg/m³)	
	Año 2020	Año 2021	Año 2020	Año 2021	Año 2020	Año 2021
7ma MÓVIL	99	96	21,65	17,56	41	7
CDAR	96	96	13,16	12,83	10	3
Las Ferias.	91	97	13,57	13,21	10	0
Suba	96	93	14,69	12,59	10	0
Bolivia	19	99	-	14,23	0	0
Colina	0	67	-	-	0	0

Fuente: UT MOVIUS, 2022. Tomado y adaptado de RMCAB, 2020

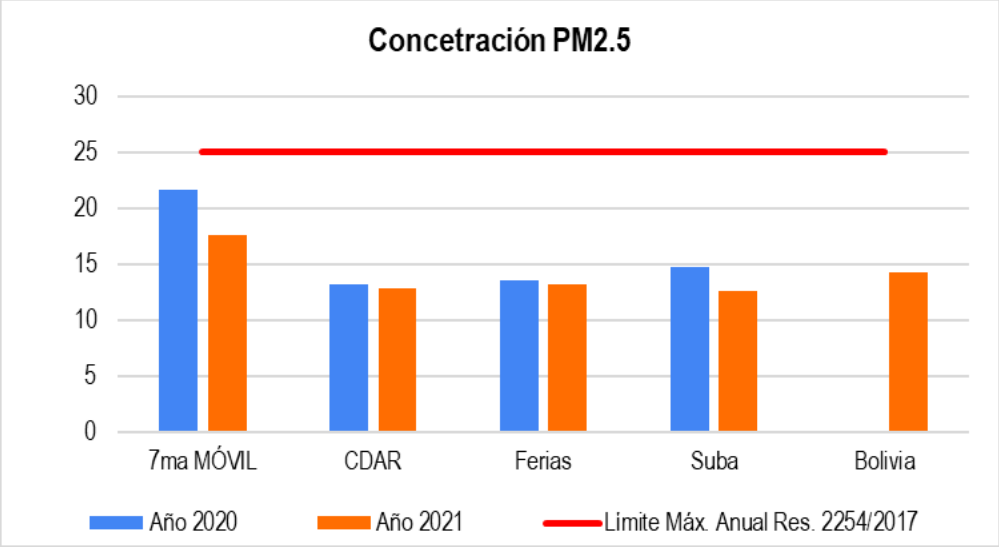


Figura 697. Promedio anual PM2.5
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.3.2.3. Dióxido de nitrógeno NO2

- ***Estación 7ma Móvil***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 115, 23 µg/m3 el 6 de noviembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 693 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año 2020.

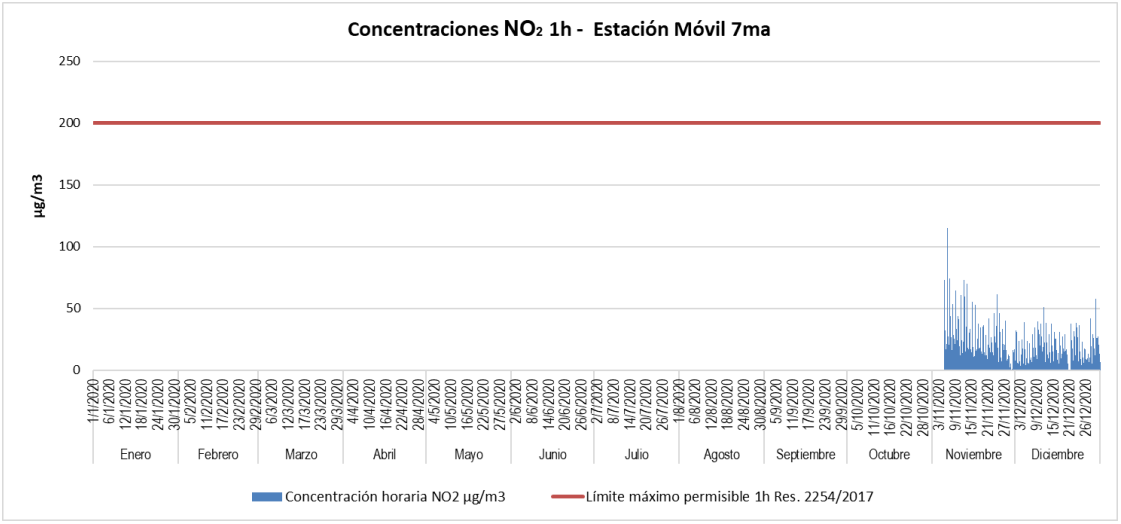


Figura 698. Concentración horaria para NO_2. Estación 7ma Móvil. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 129,02 µg/m3 el 18 de marzo, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 694 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año 2021.

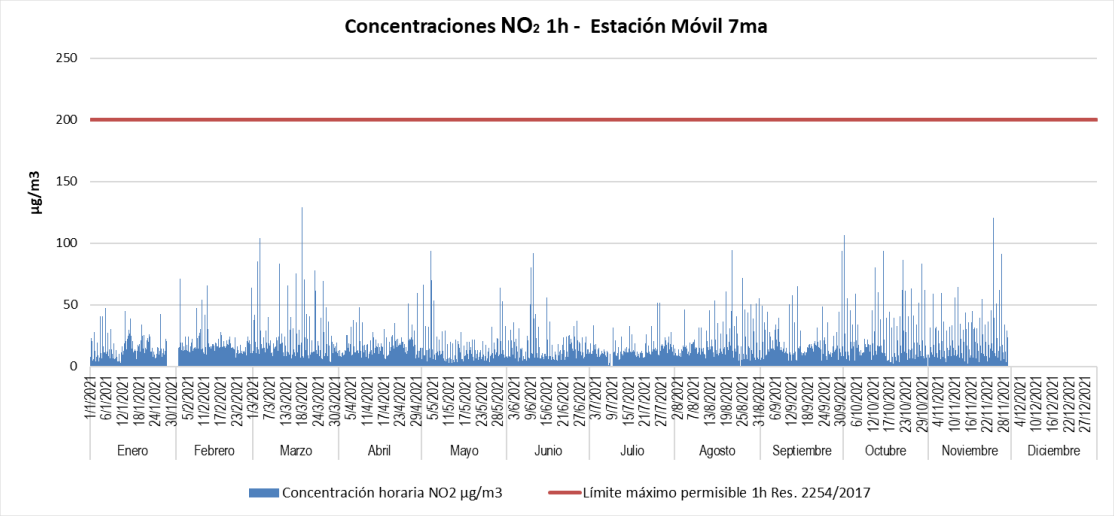


Figura 699. Concentración horaria para NO_2. Estación 7ma Móvil. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación CDAR***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 126,62 µg/m3 el 12 de febrero, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 695 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año 2020.

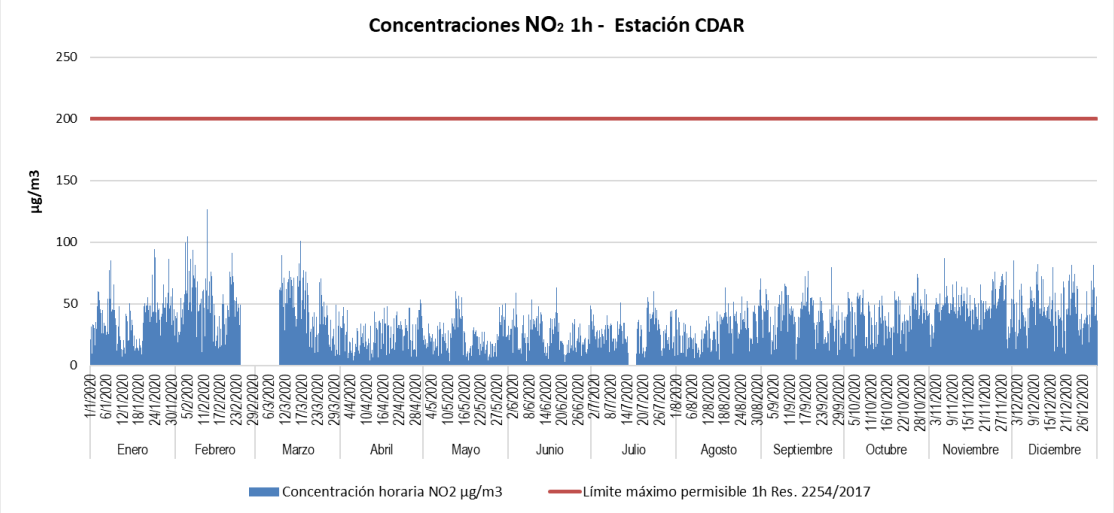


Figura 700. Concentración horaria para NO_2. Estación CDAR. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 100,78 µg/m3 el 14 de octubre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 696 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año 2021.

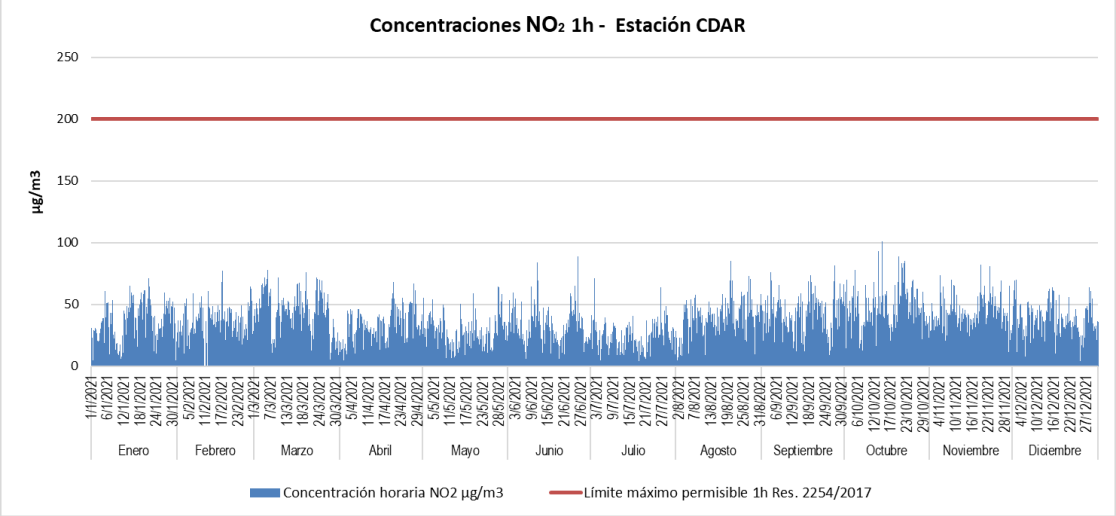


Figura 701. Concentración horaria para NO_2. Estación CDAR. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación Las Ferias***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 130,87 µg/m3 el 11 de febrero, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 697 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año 2020.

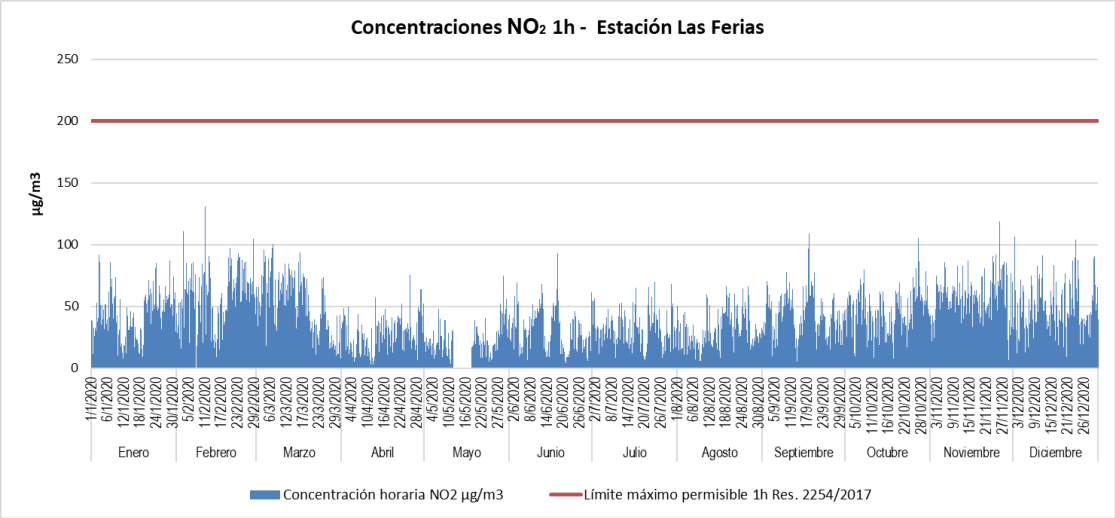


Figura 702. Concentración horaria para NO_2. Estación Las Ferias. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 122,14 µg/m3 el 14 de octubre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 698 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año 2021.

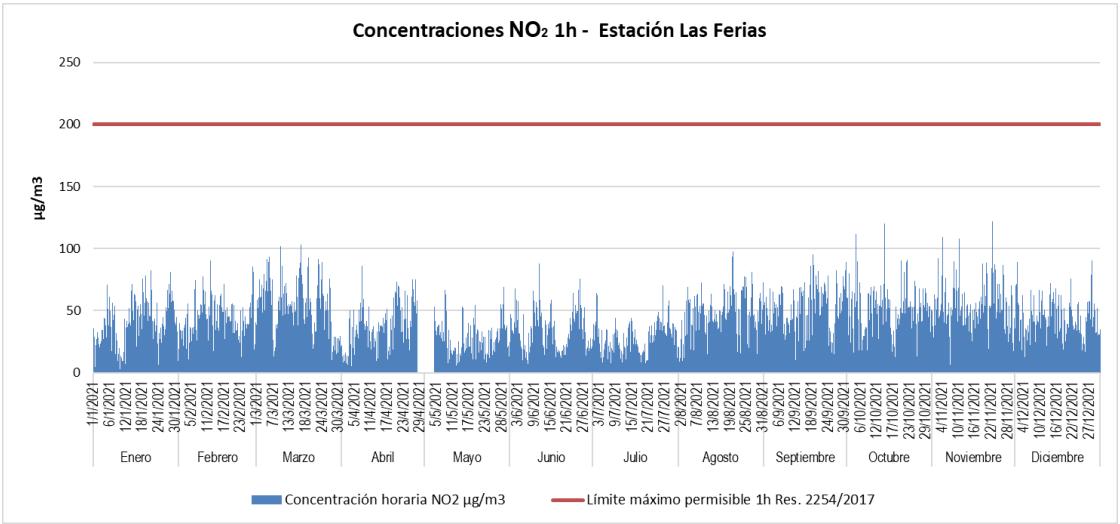


Figura 703. Concentración horaria para NO_2. Estación Las Ferias. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación Suba***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 74,43 µg/m3 el 27 de octubre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 699 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año 2020.

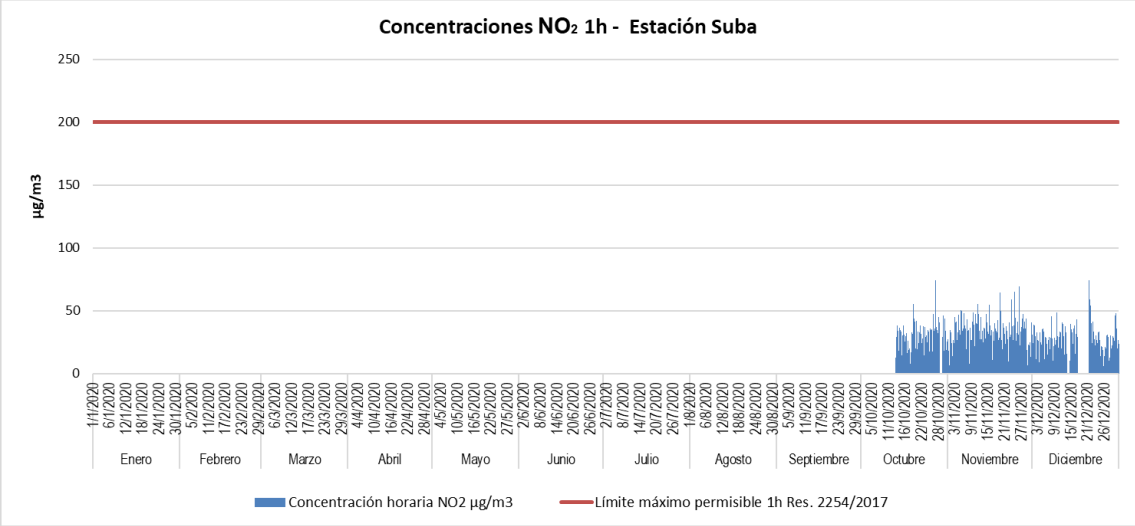


Figura 704. Concentración horaria para NO_2. Estación Suba. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 84,97 µg/m3 el 14 de octubre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 700 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año 2021.

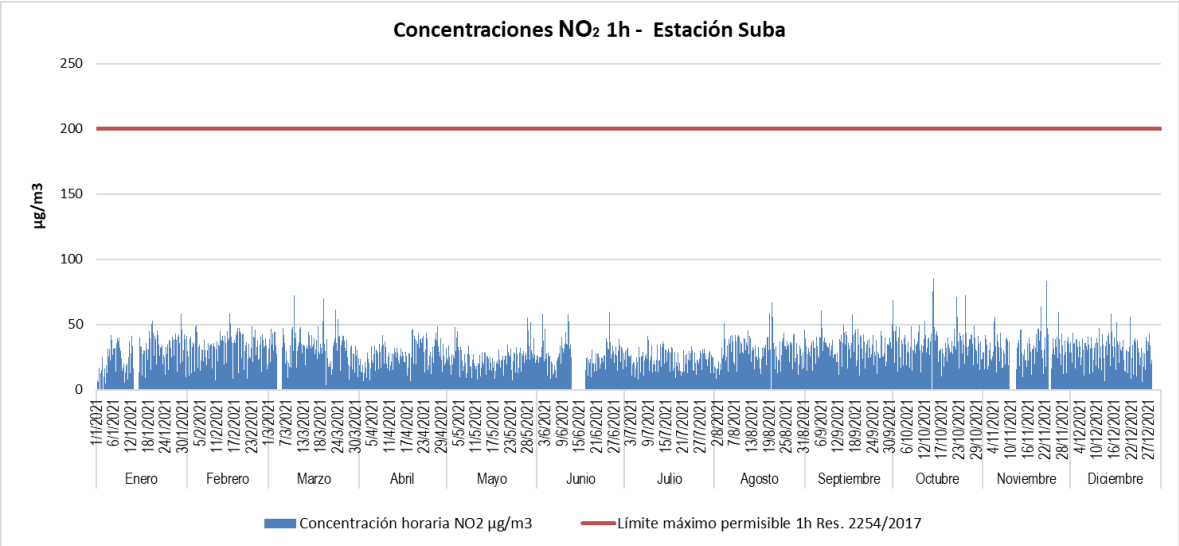


Figura 705. Concentración horaria para NO_2. Estación Suba. Año 2021.

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación Bolivia***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 85,80 µg/m3 el 11 de diciembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 701 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año 2020.

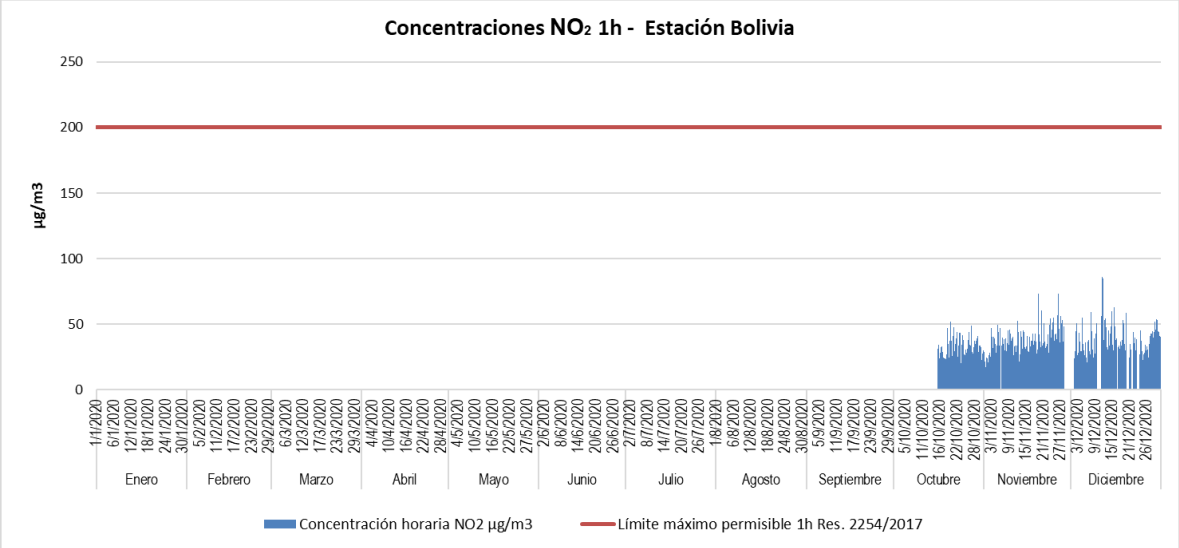


Figura 706. Concentración horaria para NO_2. Estación Bolivia. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 82,36 µg/m3 el 22 de noviembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 702 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año 2021.

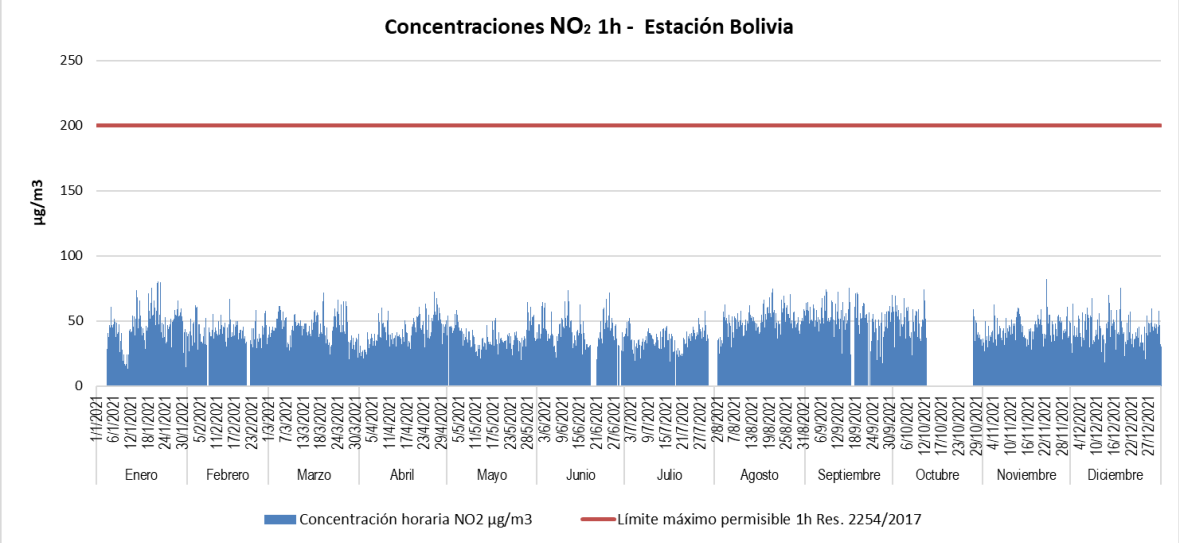


Figura 707. Concentración horaria para NO_2. Estación Bolivia. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación Colina***

En el año 2020, la estación Colina no presenta registros para este contaminante. Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 116,55 µg/m3 el 11 de octubre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 703 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año 2021.

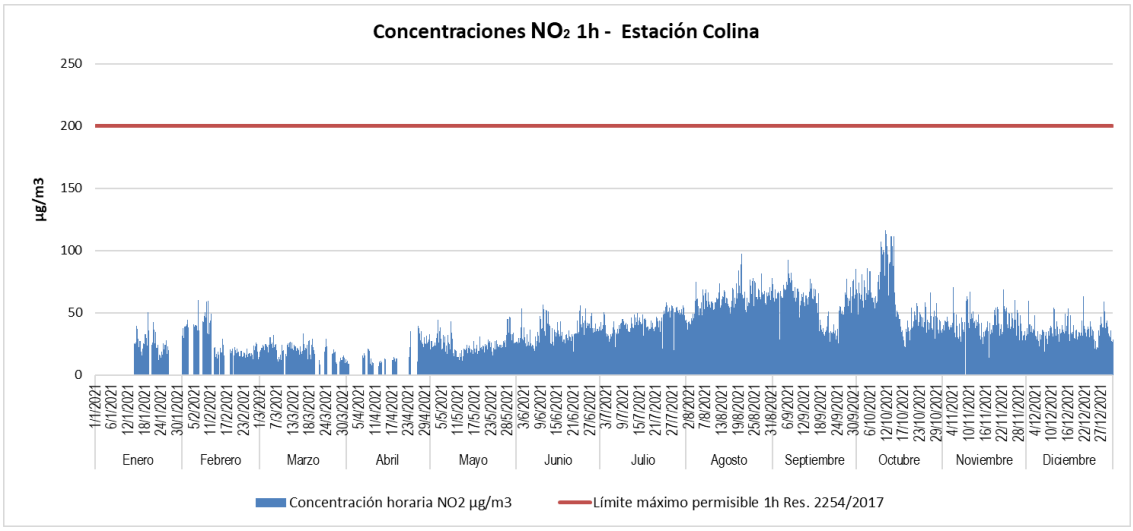


Figura 708. Concentración horaria para NO_2. Estación Colina. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- ***Resumen***

En la Tabla 364 y Figura 704 se presentan los promedios anuales para las estaciones que presentaron porcentajes de representatividad superiores al 75%. Se evidencia que las estaciones 7ma Móvil, Suba, Bolivia y Colina no cumplen con la representatividad temporal mínima requerida para el año 2020, las cuales alcanzan el 14,89%, 19, 66%, 17,69% y 0%, respectivamente, por consiguiente los registros no pueden compararse con los límites máximos permisibles anuales; la información presentada para esta estación se muestra a modo indicativo de la condición de calidad del aire presente en el área de estudio.

Con respecto a las demás estaciones, estas registran concentraciones que oscilan entre 11,12 ug/m3 y 37,12 ug/m3. Siendo la estación Bolivia con el valores más alto, sin embargo están por debajo del límite máximo permisible anual.

Tabla 365. Representatividad temporal, concentraciones promedio anuales y número de excedencias a la norma de NO2.

Estaciones	Representatividad Temporal (%)		Promedio anual [µg/m³]		Excedencias de la norma 1 h (200 µg/m³)	
	Año 2020	Año 2021	Año 2020	Año 2021	Año 2020	Año 2021
7ma MÓVIL	14,89	88,49	13,50	11,12	0	0
CDAR	94,42	98,47	24,71	26,35	0	0
Las Ferias	96, 60	96,63	29,11	30,64	0	0
Suba	19,66	89,88	22,24	21,21	0	0
Bolivia	17,69	84,19	30,75	37,12	0	0
Colina	0,00	97,04	-	34,8	0	0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

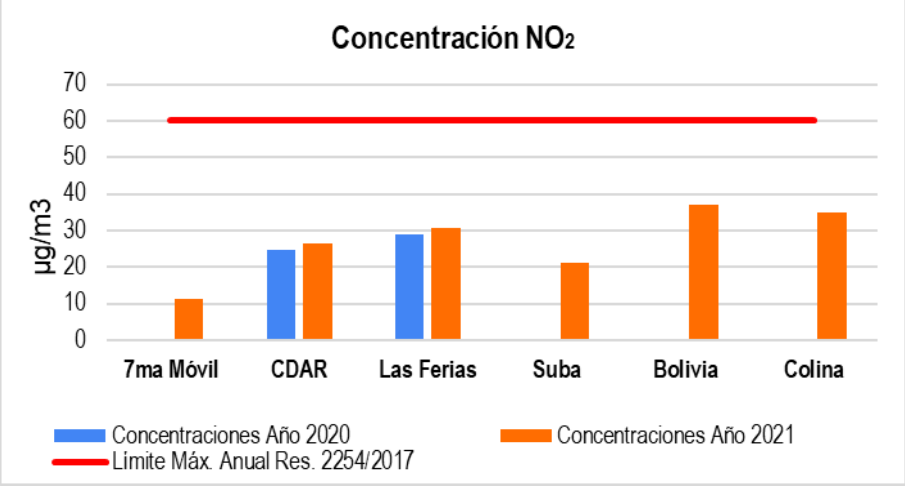


Figura 709. Promedio anual NO_2
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.3.2.4. Dióxido de azufre SO2

- ***Bolivia***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 53,96 µg/m3 el 6 de febrero, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 705 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año.

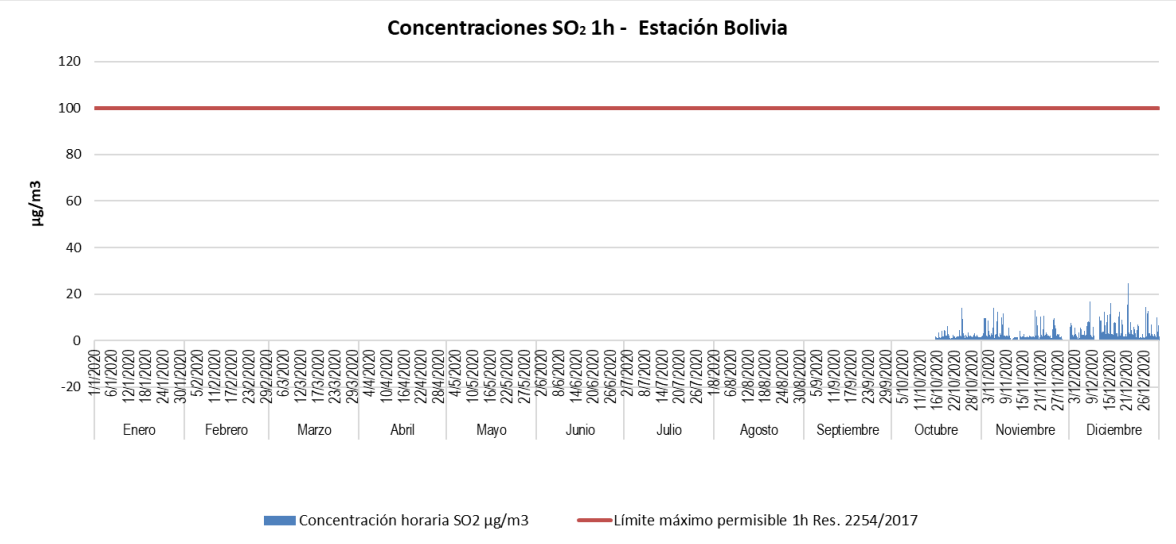


Figura 710. Concentración horaria para SO_2.. Estación Bolivia. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 365 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Bolivia durante el 2020.

Tabla 366. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para SO_2. mensuales, Estación Bolivia. Año 2020.

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,72	2,27	3,04
Máximo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,15	5,15	6,67
Mínimo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,71	0,41	1,05
# Datos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	26	27
Rep. Temporal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52%	87%	87%
Límite 24h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	50	50
# Datos Superan Límite 24h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2020 no se presentan excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada fue de 6,67 µg/m3 el 21 de diciembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 706 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en diciembre con 3,04 µg/m3, valor que corresponde al 6,08 % del límite permisible de 24 horas.

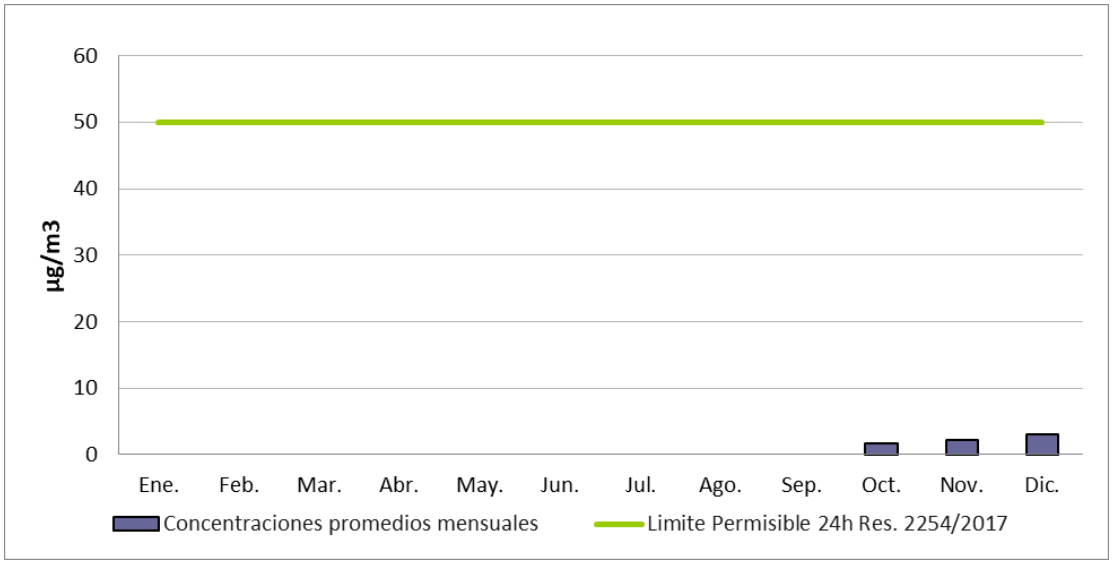


Figura 711. Concentración promedio de 24 horas para SO_2. mensuales, Estación Bolivia. Año 2020. Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 48,10 µg/m3 el 14 de diciembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 707 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año.

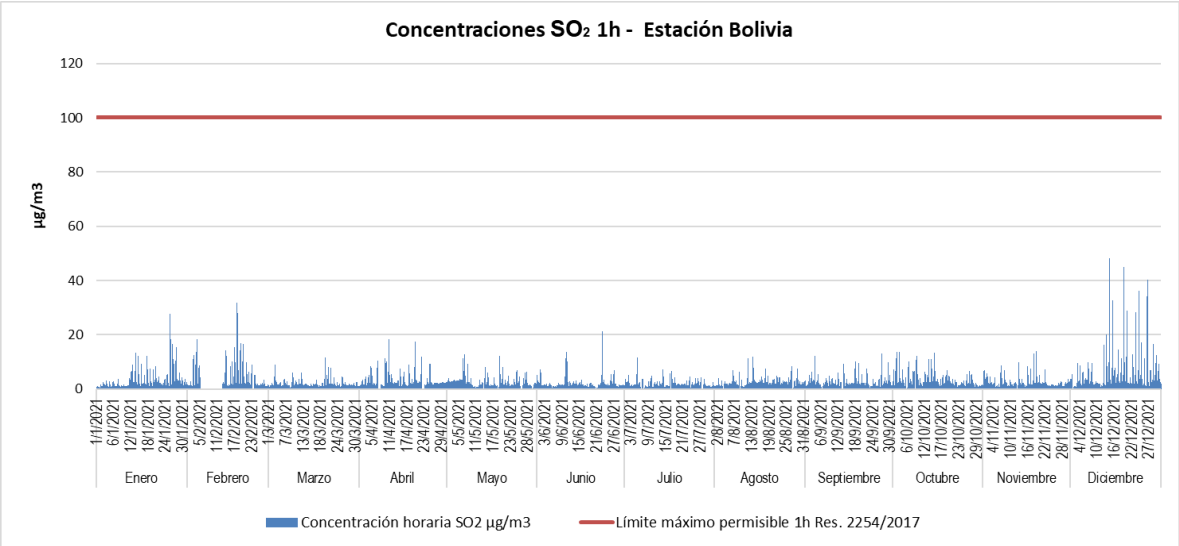


Figura 712. Concentración horaria para SO_2. Estación Bolivia. Año 2021

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 366 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Bolivia durante el 2021.

Tabla 367. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para SO_2. mensuales, Estación Bolivia. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	3,16	4,39	0,82	3,43	3,29	2,21	2,02	2,79	2,86	3,15	2,51	5,51
Máximo	8,77	12,53	1,70	7,31	11,76	5,88	3,83	6,06	5,62	6,60	4,62	12,75
Mínimo	1,03	1,45	0,33	1,68	0,28	0,46	0,75	1,27	0,99	1,08	1,05	0,86
# Datos	31	19	31	26	30	29	28	28	28	30	28	30
Rep. Temporal	100%	68%	100%	87%	97%	97%	90%	90%	93%	97%	93%	97%
Límite 24h	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada fue de 12,75 µg/m3 el 19 de diciembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 708 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en diciembre con 5,51 µg/m3, valor que corresponde al 11,02 % del límite permisible de 24 horas.

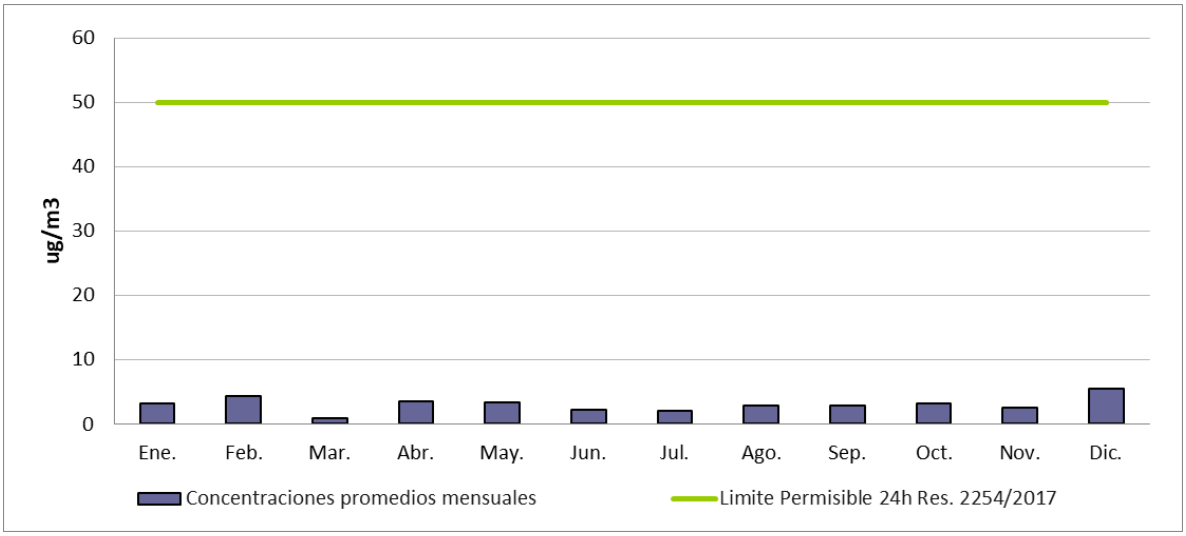


Figura 713. Concentración promedio de 24 horas para SO_2. mensuales, Estación Bolivia. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- ***Estación CDAR***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 53,96 µg/m3 el 6 de febrero, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 709 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año 2020.

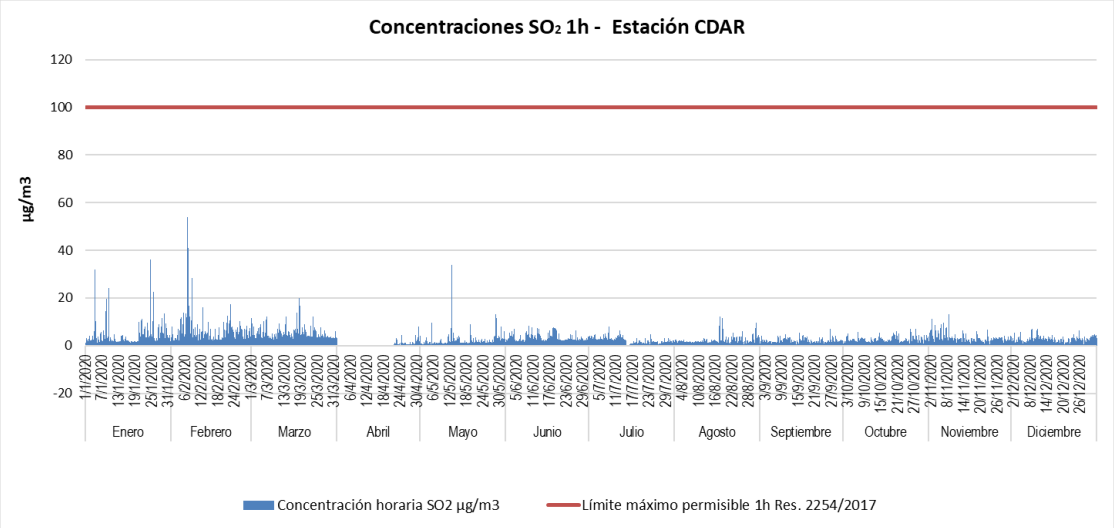


Figura 714. Concentración horaria para SO_2. Estación CDAR. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 367 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación CDAR durante el 2020.

Tabla 368. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para SO_2 mensuales, Estación CDAR. Año 2020.

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	3,20	4,38	4,10	0,82	1,67	2,71	2,87	1,70	1,59	2,01	2,29	2,01
Máximo	7,50	8,88	7,13	1,74	5,21	5,13	3,87	3,40	2,31	3,21	3,53	3,72
Mínimo	1,38	2,16	2,92	0,21	0,65	1,65	2,39	0,96	1,06	0,90	1,24	0,99
# Datos	31	29	31	9	31	29	13	28	29	31	29	31
Rep. Temporal	100%	100%	100%	30%	100%	97%	42%	90%	97%	100%	97%	100%
Límite 24h	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2020 no se presentan excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada fue de 8,88 µg/m3 el 6 de febrero, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 710 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en febrero con 4,38 µg/m3, valor que corresponde al 8,76% del límite permisible de 24 horas.

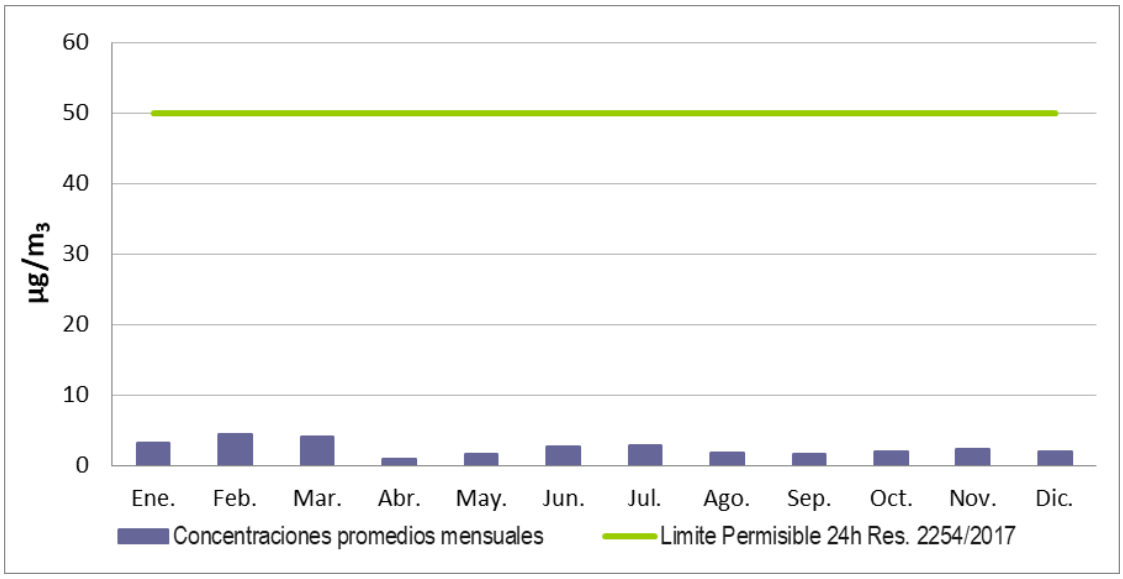


Figura 715. Concentración promedio de 24 horas para SO_2. mensuales. Estación CDAR. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 20,27 µg/m3 el 24 de diciembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 711 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año.

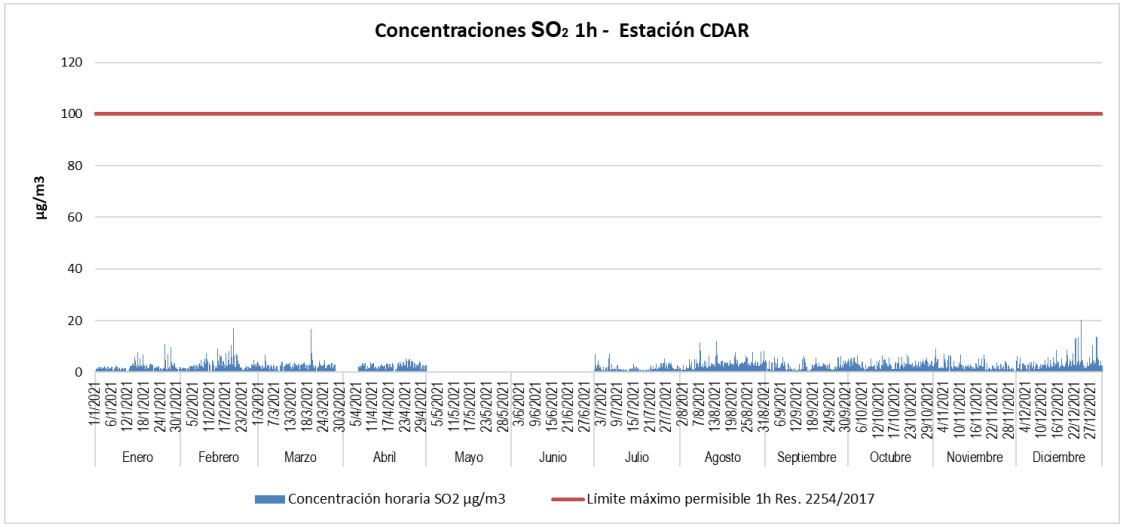


Figura 716. Concentración horaria para SO_2.. Estación CDAR. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 368 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación CDAR durante el 2021.

Tabla 369. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para SO_2. mensuales, Estación CDAR. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	1,95	2,90	2,68	2,66	-	-	1,58	3,47	2,13	3,08	2,24	3,38
Máximo	3,99	5,59	5,67	3,97	-	-	3,40	5,58	3,87	4,76	5,40	6,57
Mínimo	0,33	0,90	0,51	0,38	-	-	0,71	1,04	0,51	1,36	1,09	1,81
# Datos	31	25	28	24	-	-	31	31	30	31	27	30
Rep. Temporal	100%	89%	90%	80%	-	-	100%	100%	100%	100%	90%	97%
Límite 24h	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada fue de 6,57 µg/m3 el 22 de diciembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 712 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en diciembre con 3,38 µg/m3, valor que corresponde al 3,38% del límite permisible de 1 hora.

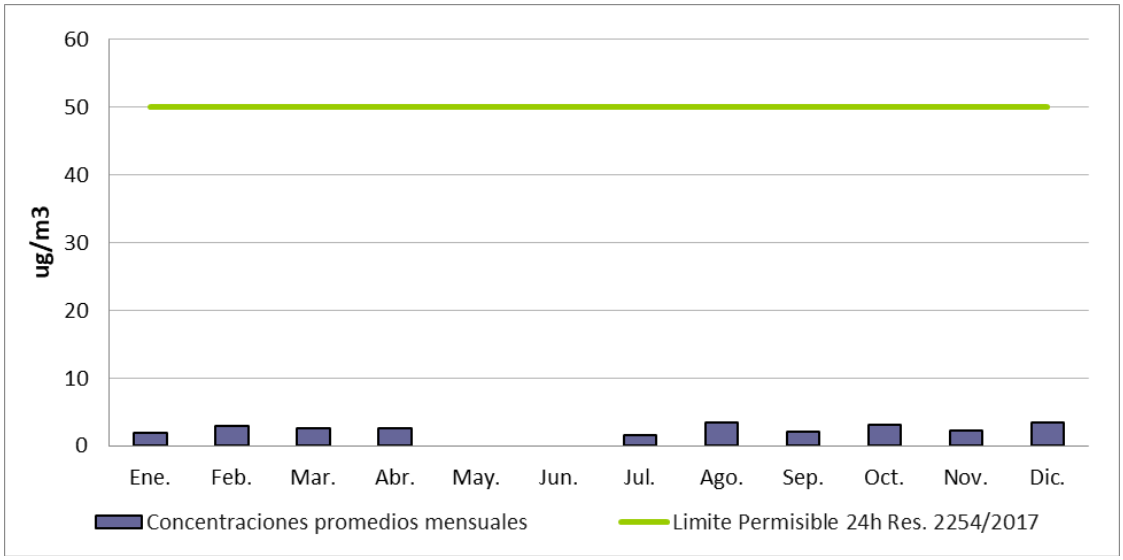


Figura 717. Concentración promedio de 24 horas para SO_2. mensuales. Estación CDAR. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- ***Suba***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 81,04 µg/m3 el 9 de febrero, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 713 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año.

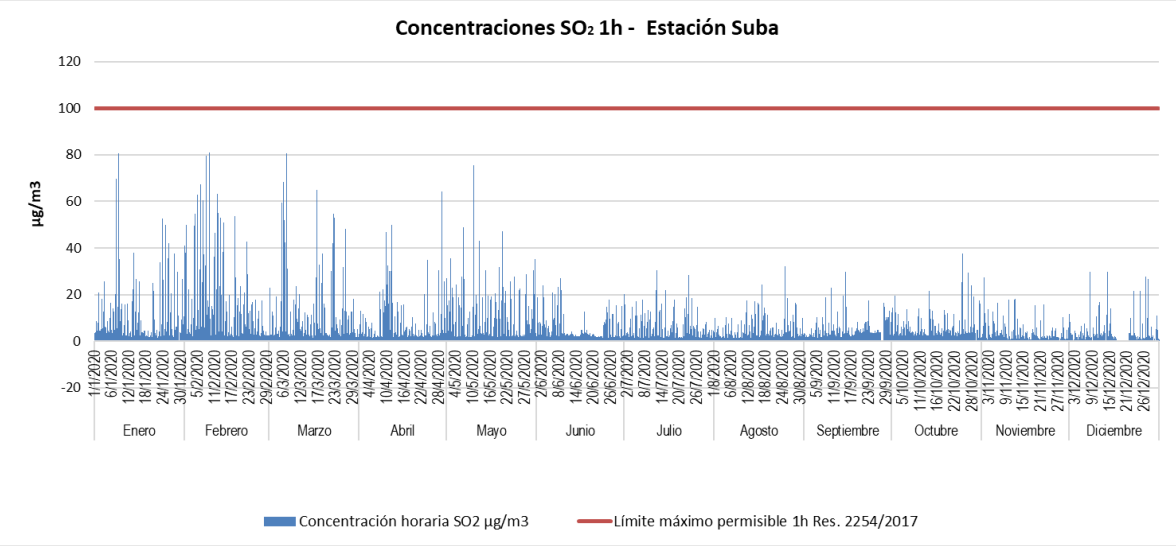


Figura 718. Concentración horaria para SO_2. Estación Suba. Año 2020
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 369 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Suba durante el 2020.

Tabla 370. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para SO_2 mensuales, Estación Suba. Año 2020.

2020	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	5,97	8,68	6,29	4,67	6,23	3,58	3,77	3,39	3,61	4,20	2,31	2,48
Máximo	14,93	18,11	16,94	13,35	11,97	8,73	7,95	6,83	7,88	9,07	6,21	7,63
Mínimo	1,78	1,87	1,94	1,99	1,94	1,77	1,31	1,88	1,70	2,53	0,50	0,29
# Datos	30	29	31	29	31	30	31	31	28	30	29	25
Rep. Temporal	97%	100%	100%	97%	100%	100%	100%	100%	93%	97%	97%	81%
Límite 24h	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2020 no se presentan excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada fue de 18,11 µg/m3 el 7 de febrero, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 714 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en diciembre con 8,68 µg/m3, valor que corresponde al 17,36% del límite permisible de 24 horas.

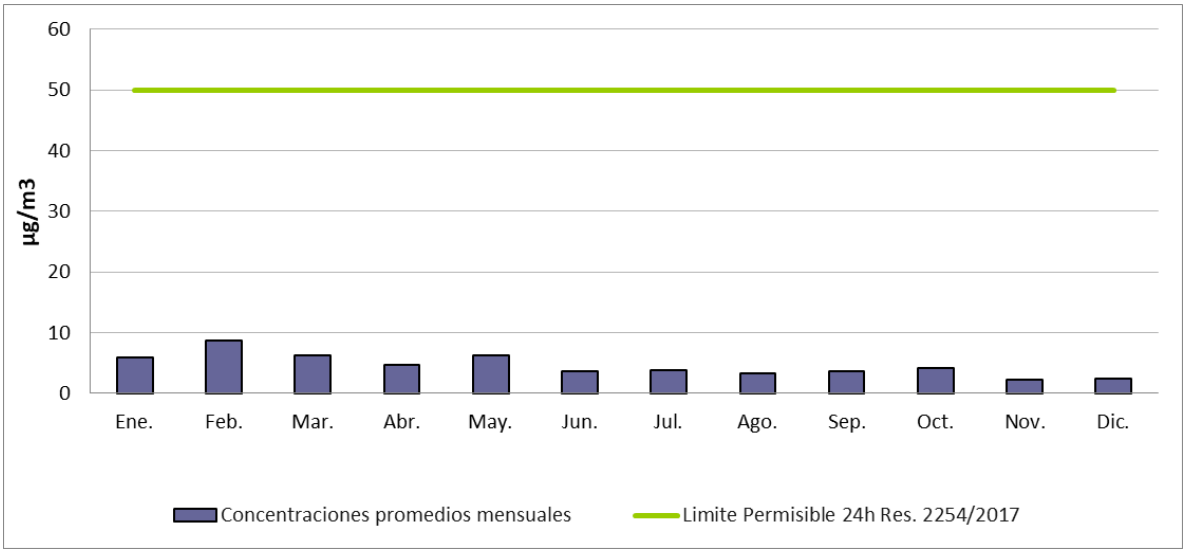


Figura 719. Concentración promedio de 24 horas para SO_2 mensuales, Estación Suba. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 1h. La concentración máxima registrada fue de 60,94 µg/m3 el 24 de diciembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 715 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias en función del año.

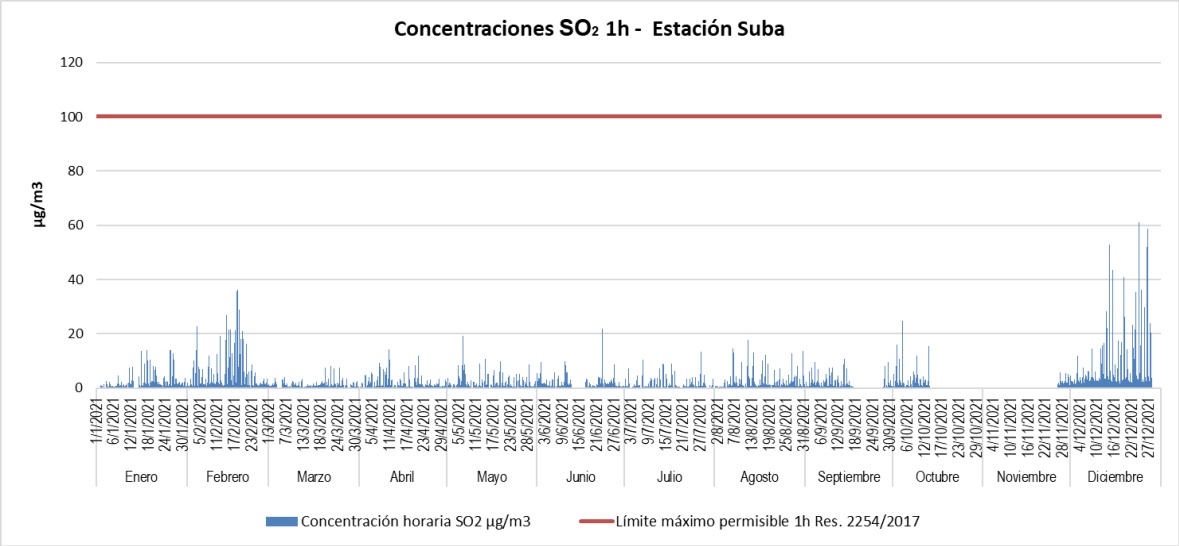


Figura 720. Concentración horaria para SO_2. Estación Suba. Año 2021
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Tabla 370 se muestran los porcentajes de representatividad temporal, el número de excedencias diarias por mes, las concentraciones promedio, máximas y mínimas que se registraron para la estación Suba durante el 2021.

Tabla 371. Concentración promedio, máximos, mínimos, representatividad temporal y número de excedencias del límite permisible de 24 horas para SO_2 mensuales. Estación Suba. Año 2021.

2021	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio	2,14	4,86	1,23	0,62	1,82	1,83	1,22	1,98	1,94	2,60	2,64	7,02
Máximo	4,78	19,22	2,98	1,58	7,98	5,72	3,28	5,75	3,78	5,16	3,01	16,15
Mínimo	0,40	0,90	0,23	0,13	0,48	0,63	0,14	0,40	0,49	0,69	2,08	2,24
# Datos	24	27	28	30	30	23	30	30	19	12	4	27
Rep. Temporal	77%	96%	90%	100%	97%	77%	97%	97%	63%	39%	13%	87%
Límite 24h	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
# Datos Superan Límite 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 24h. La concentración máxima registrada fue de 19,22 µg/m3 el 18 de febrero, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 716 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio en función del año. La concentración promedio más alta se registró en diciembre con 7,02 µg/m3, valor que corresponde al 14,04% del límite permisible de 24 horas.

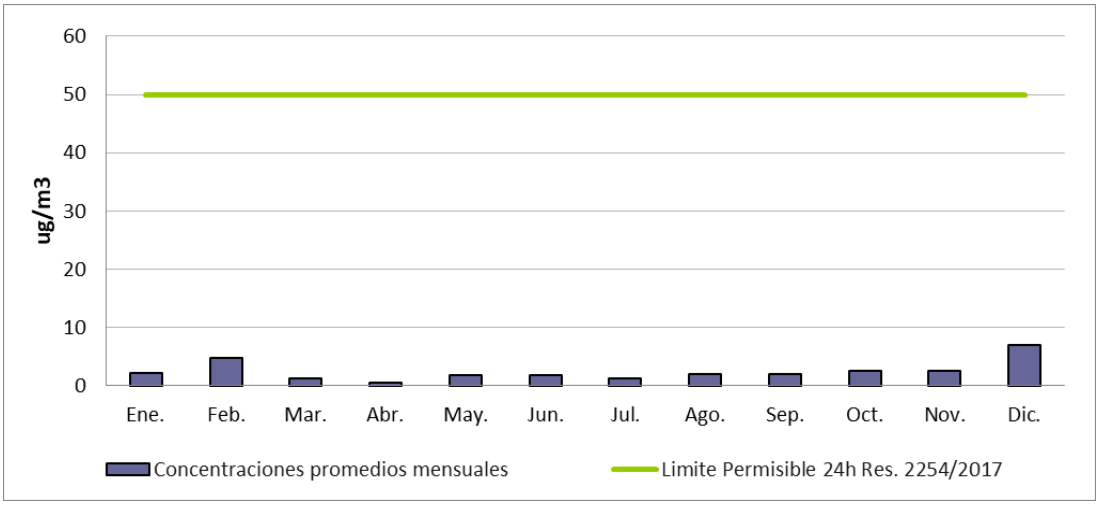


Figura 721. Concentración promedio de 24 horas para SO_2 mensuales, Estación Suba. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

5.2.3.3.2.5. Ozono O3

- ***Estación CDAR***

Durante el año 2020 se presentaron 133 excedencias al límite permisible para un tiempo de exposición de 8h. El 60,90% del número total se registró en el mes de marzo y el 26,32% en el mes de abril. La concentración máxima registrada fue

de 154,56 µg/m³ el 7 de marzo, la cual supera el límite máximo permitido en un 54,56%. En la Figura 717 se muestra el comportamiento de las concentraciones octohorarias de O_3.

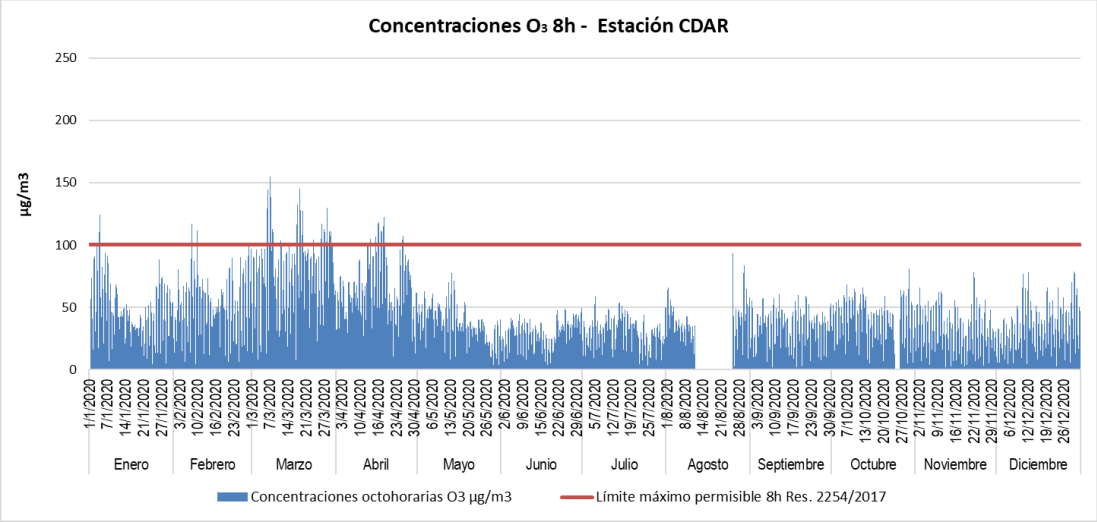


Figura 722. Concentraciones octohorarias para O3. Estación CDAR. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Durante el año 2021 se presentaron 7 excedencias al límite permisible para un tiempo de exposición de 8h. El 57,14% del número total se registró en el mes de noviembre. La concentración máxima registrada fue de 117,16 µg/m³ el 7 de marzo, la cual supera el límite máximo permitido en un 17,16%. En la Figura 718 se muestra el comportamiento de las concentraciones octohorarias de O_3.

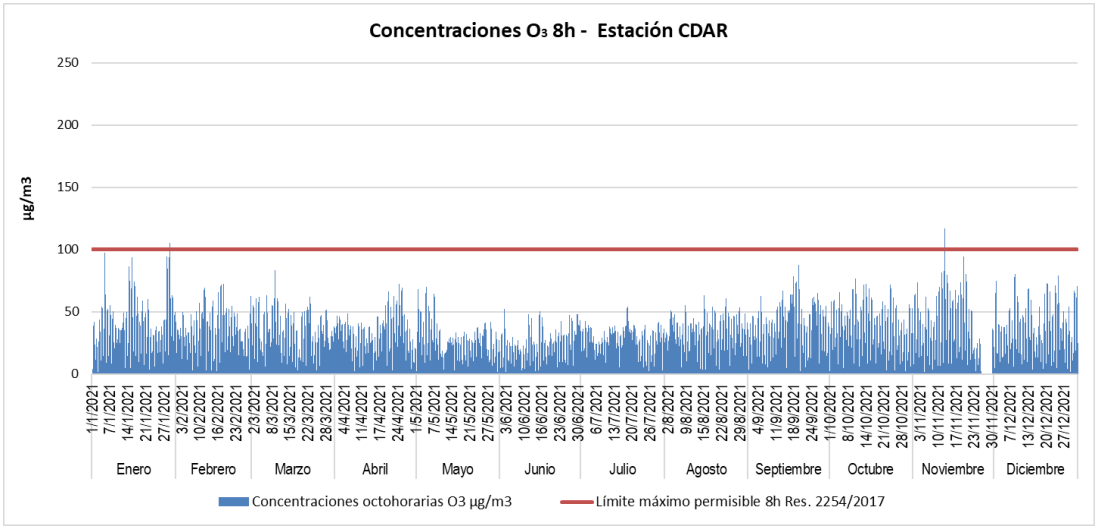


Figura 723. Concentraciones octohorarias para O3. Estación CDAR. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- ***Estación Las Ferias***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias al límite 8h. La concentración máxima registrada fue de 95,18 µg/m^3 el 7 de marzo, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 719 se muestra el comportamiento de las concentraciones octohorarias de O_3.

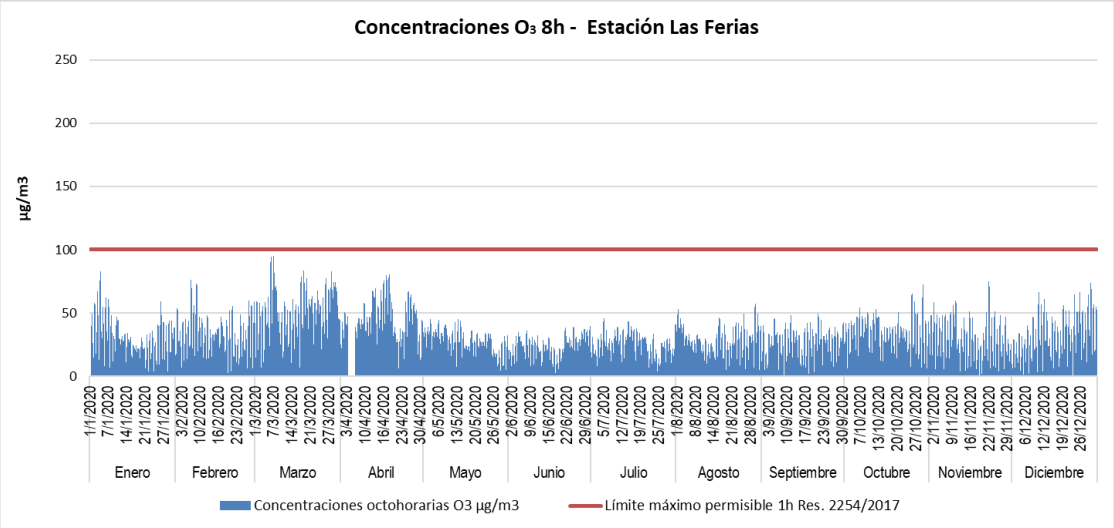


Figura 724. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Las Ferias. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 8h. La concentración máxima registrada fue de 99,66 µg/m^3 el 12 de noviembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 720 se muestra el comportamiento de las concentraciones octohorarias de O_3.

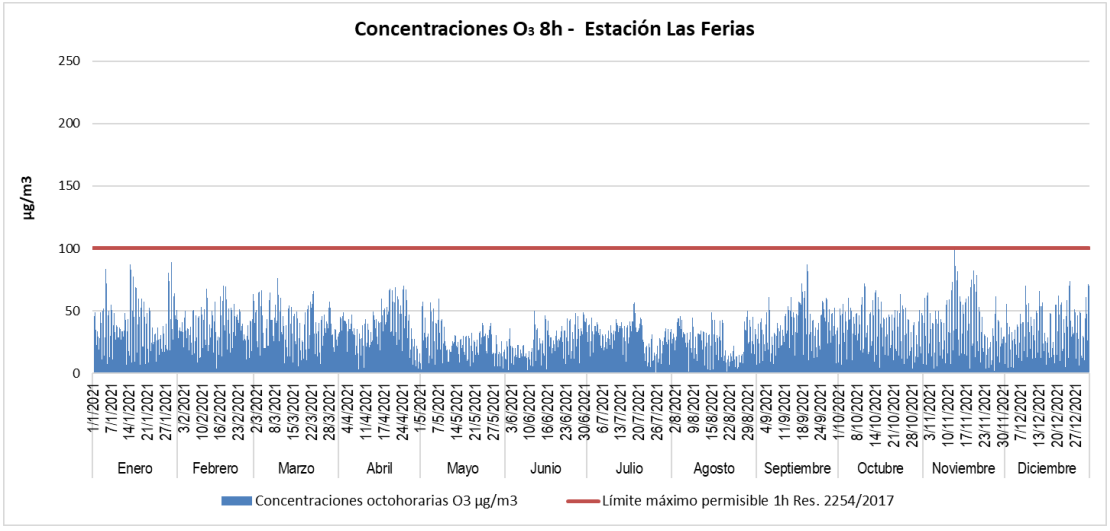


Figura 725. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Las Ferias. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- ***Estación Suba***

Durante el año 2020 se presentaron 23 excedencias al límite permisible para un tiempo de exposición de 8h. El 86,96% del número total se registró en el mes de marzo. La concentración máxima registrada fue de 114,59 µg/m^3 el 18 de marzo, la cual supera el límite máximo permitido en un 14,59%. En la Figura 721 se muestra el comportamiento de las concentraciones octohorarias de O_3.

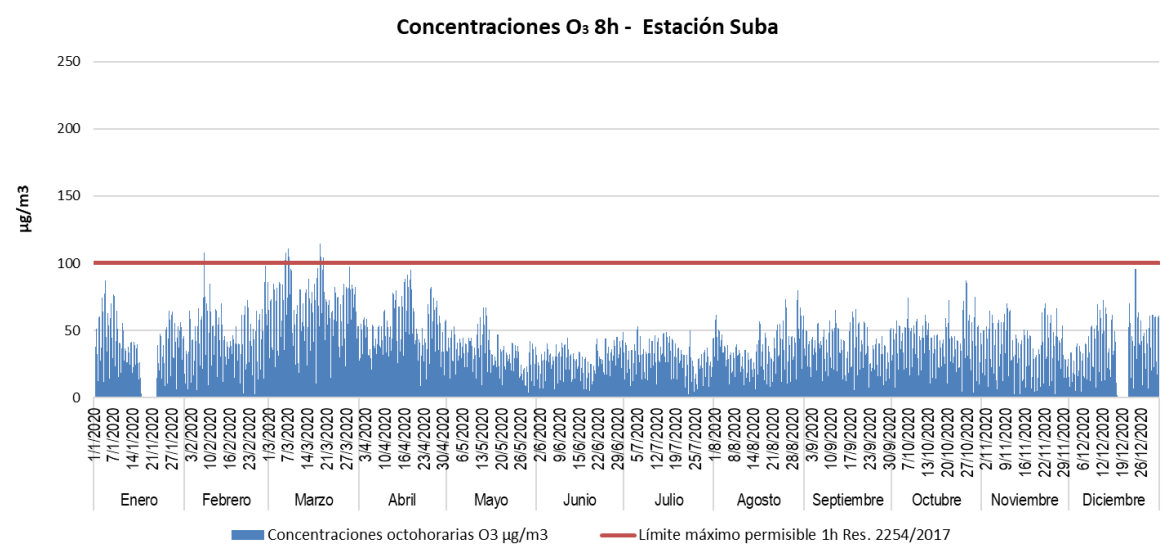


Figura 726. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Suba. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Durante el año 2021 se presentaron 2 excedencias al límite permisible para un tiempo de exposición de 8h. Ambas se registraron en el mes de enero. La concentración máxima registrada fue de 103,20 µg/m^3 el 29 de enero, la cual supera el límite máximo permitido en un 3,20%. En la Figura 722 se muestra el comportamiento de las concentraciones octohorarias de O_3.

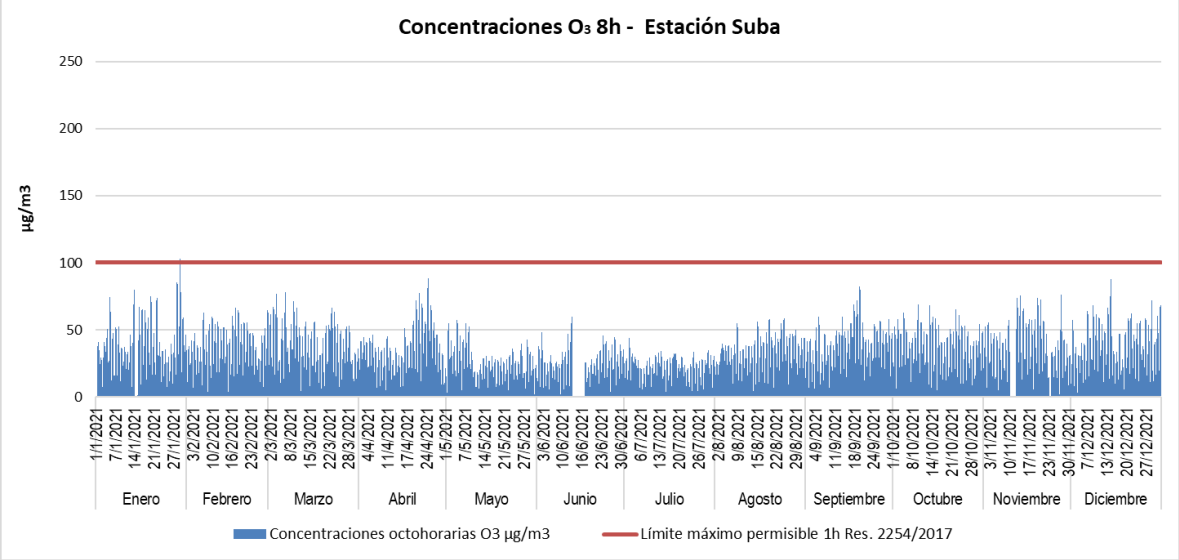


Figura 727. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Suba. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- ***Estación Bolivia***

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 8h. La concentración máxima registrada fue de 43,30 µg/m^3 los días 19 de noviembre, 06 de diciembre, 14 de diciembre y 26 de diciembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 723 se muestra el comportamiento de las concentraciones octohorarias de O_3.

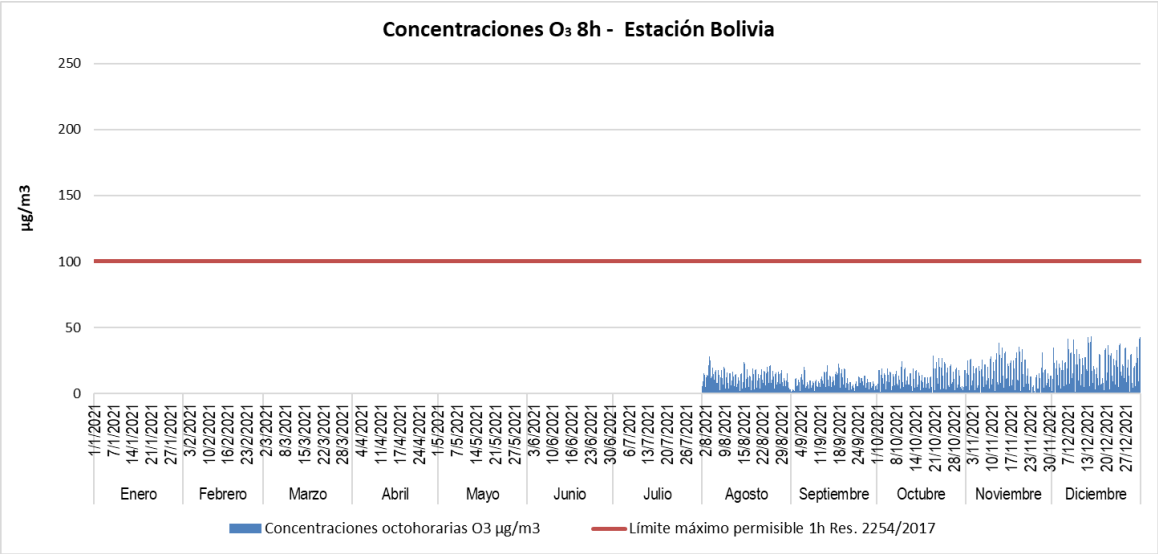


Figura 728. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Bolivia. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- ***Estación Colina***

Durante el año 2021 no se presentan excedencias al límite 8h. La concentración máxima registrada fue de 73,62 µg/m^3 el 10 de noviembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. En la Figura 724 se muestra el comportamiento de las concentraciones octohorarias de O_3.

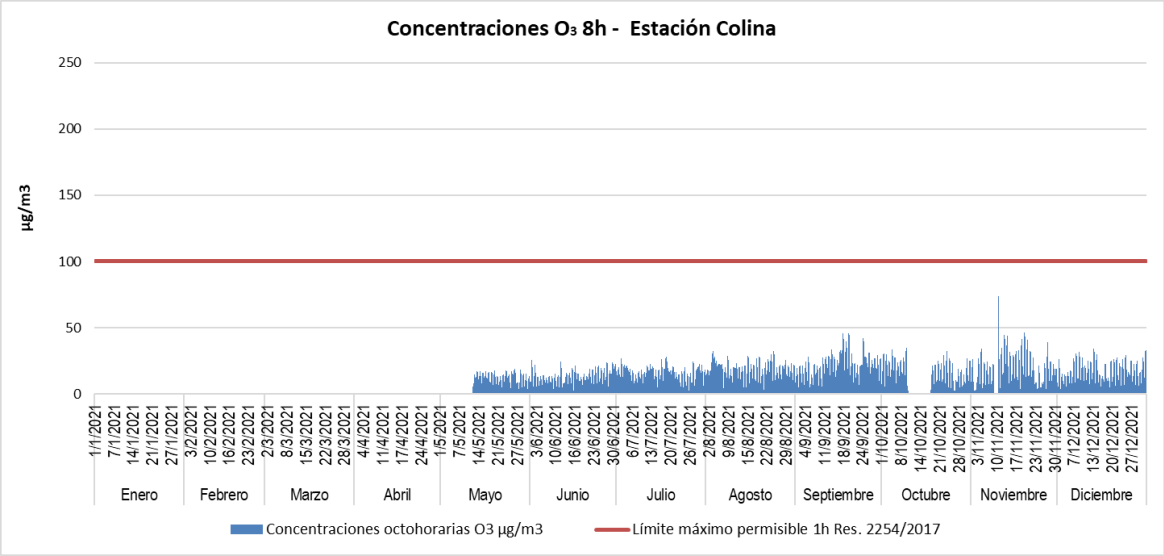


Figura 729. Concentraciones octohorarias para O3. Estación Colina. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

5.2.3.3.2.6. Monóxido de carbono CO

- ***Estación 7ma Móvil***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias a los límites permisibles para los tiempos de exposición 1h y 8h. La concentración máxima registrada horaria fue de 5784,53 µg/m3 el 21 de enero, la cual está por debajo del límite máximo permitido. Para el tiempo de exposición octohoraria, la concentración máxima registrada fue de 4.306,61 µg/m^3 el 21 de enero. En la Figura 725 y la Figura 726 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias y octohorarias, respectivamente, en función del año 2020.

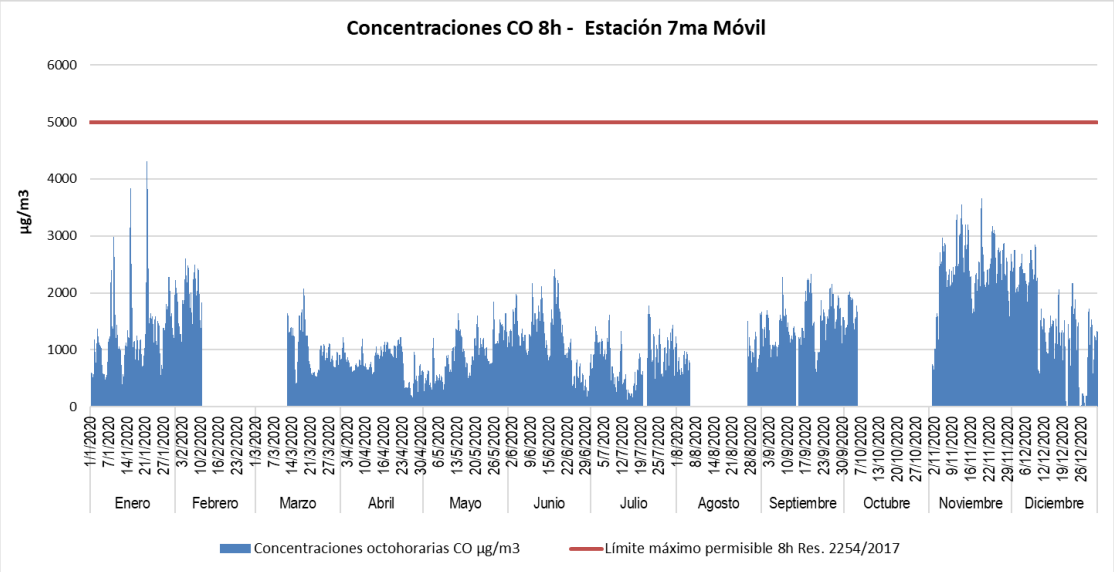


Figura 730. Concentración horaria para CO. Estación 7ma Móvil. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

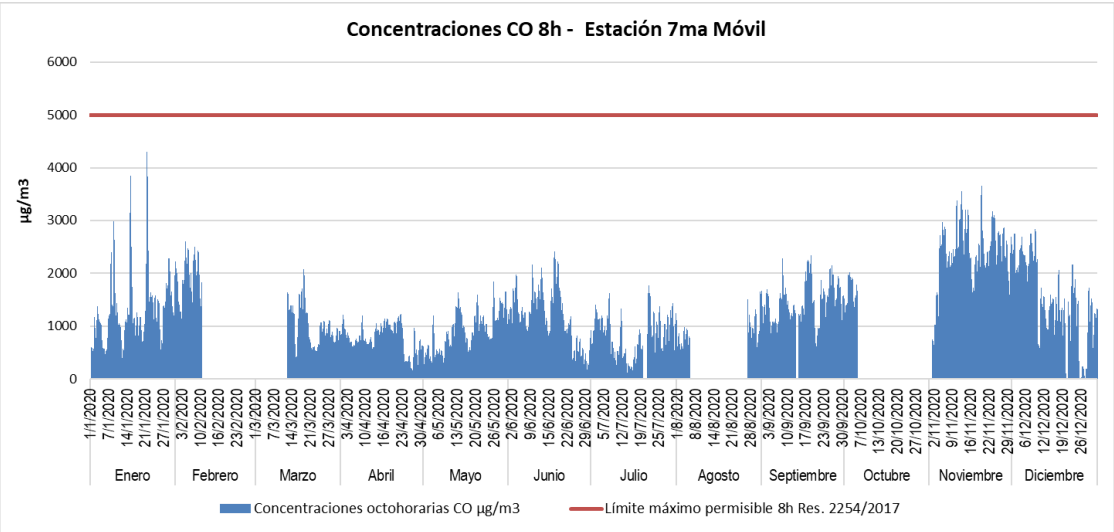


Figura 731. Concentración octohoraria para CO. Estación 7ma Móvil. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Durante el año 2021 no se presentan excedencias a los límites permisibles para los tiempos de exposición 1h y 8h. La concentración máxima registrada horaria fue de 4112,89 µg/m3 el 4 de noviembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. Para el tiempo de exposición octohoraria, la concentración máxima registrada fue de 3673,56 µg/m^3 el 5 de noviembre.

En la Figura 727 y la Figura 728 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias y octohorarias, respectivamente, en función del año 2021. Se observa que solo se obtuvieron registros en los meses de octubre, noviembre y diciembre.

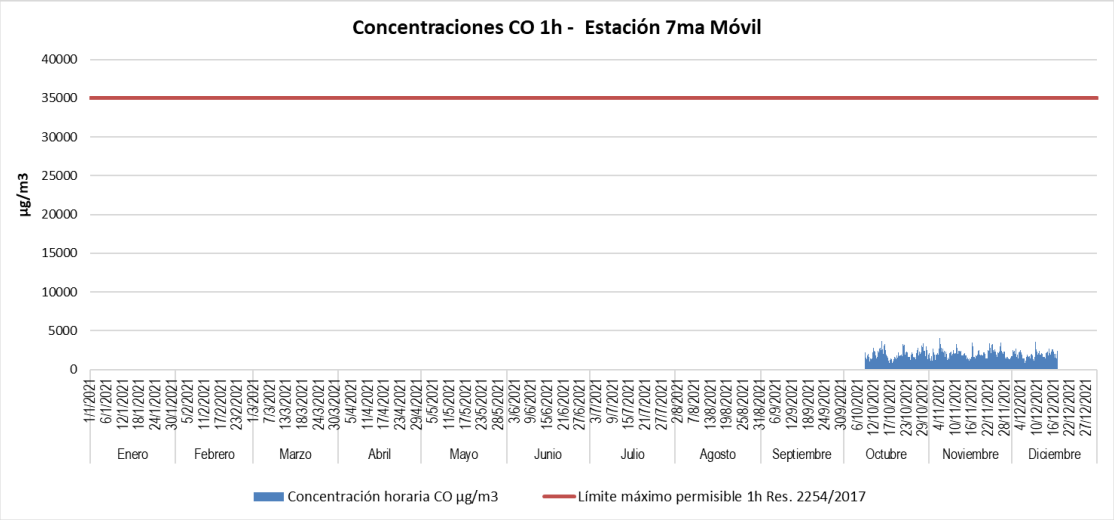


Figura 732. Concentración horaria para CO. Estación 7ma Móvil. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

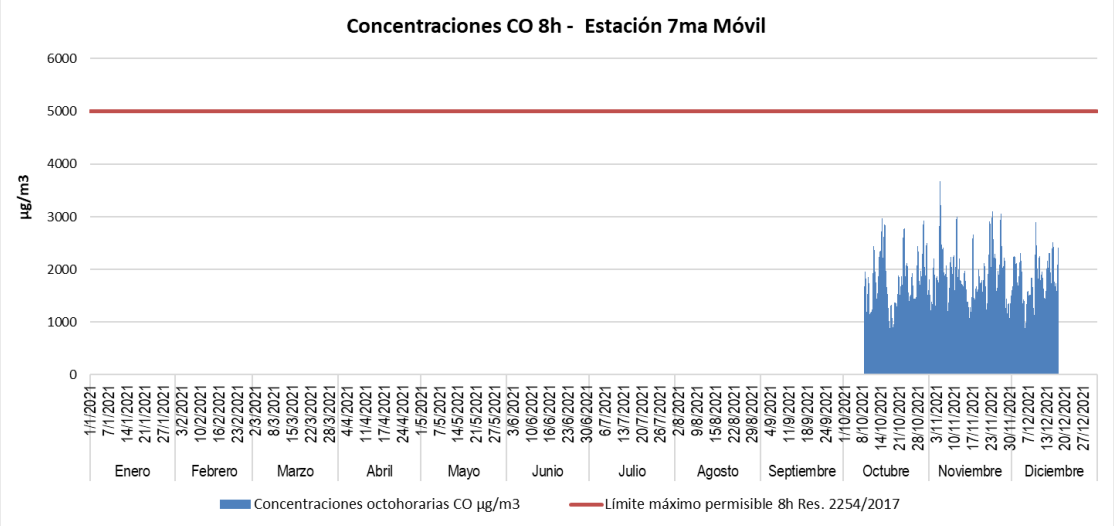


Figura 733. Concentración octohoraria para CO. Estación 7ma Móvil. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- ***Estación CDAR***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias a los límites permisibles para los tiempos de exposición 1h y 8h. La concentración máxima registrada horaria fue de 5016,94 µg/m3 el 25 de febrero, la cual está por debajo del límite máximo permitido. Para el tiempo de exposición octohoraria, la concentración máxima registrada fue de 2956,80 µg/m^3 el 1 de marzo. En la Figura 729 y la Figura 730 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias y octohorarias, respectivamente, en función del año 2020.

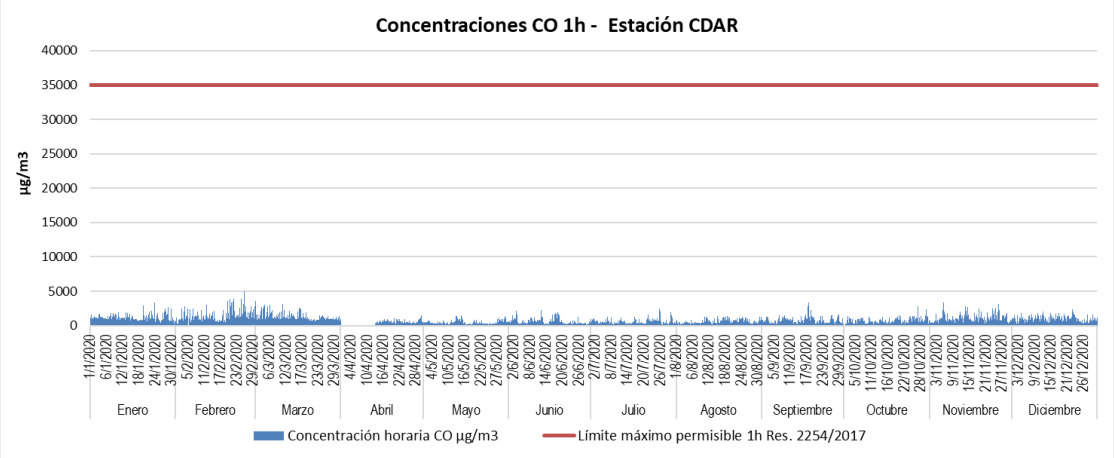


Figura 734. Concentración horaria para CO. Estación CDAR. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

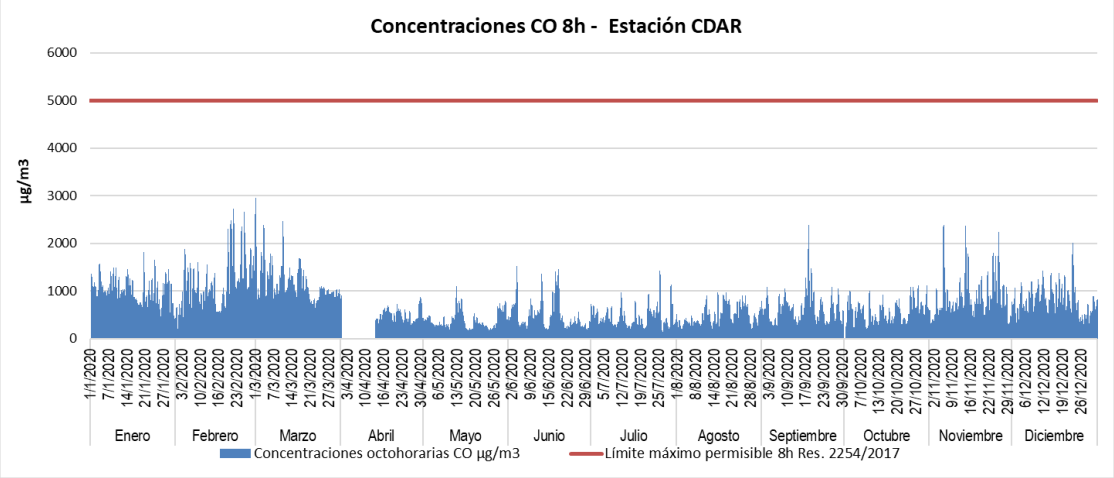


Figura 735. Concentración octohoraria para CO. Estación CDAR. Año 2020..
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Durante el año 2021 no se presentan excedencias a los límites permisibles para los tiempos de exposición 1h y 8h. La concentración máxima registrada horaria fue de 4505,33 µg/m3 el 10 de noviembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. Para el tiempo de exposición octohoraria, la concentración máxima registrada fue de 3161,80 µg/m^3 el 25 de marzo. En la Figura 731 y la Figura 732 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias y octohorarias, respectivamente, en función del año 2021.

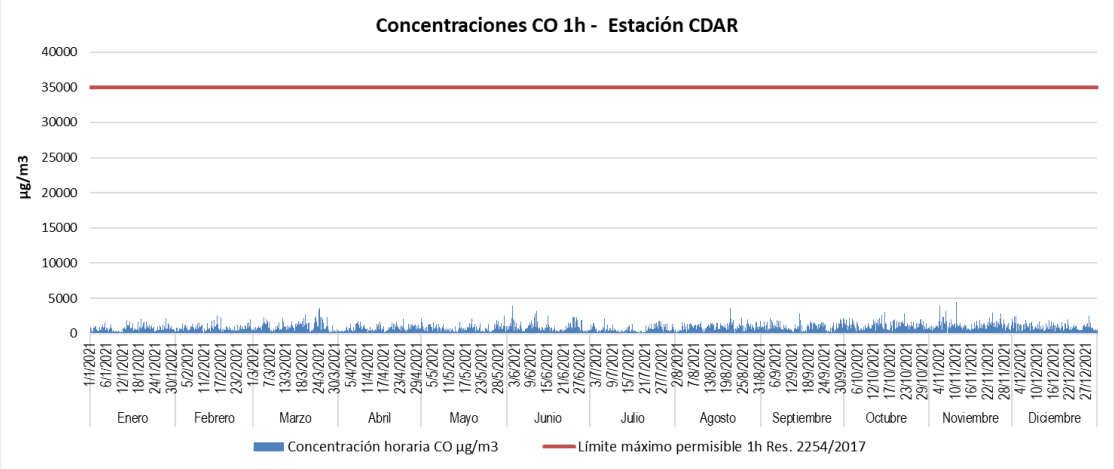


Figura 736. Concentración horaria para CO. Estación CDAR. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

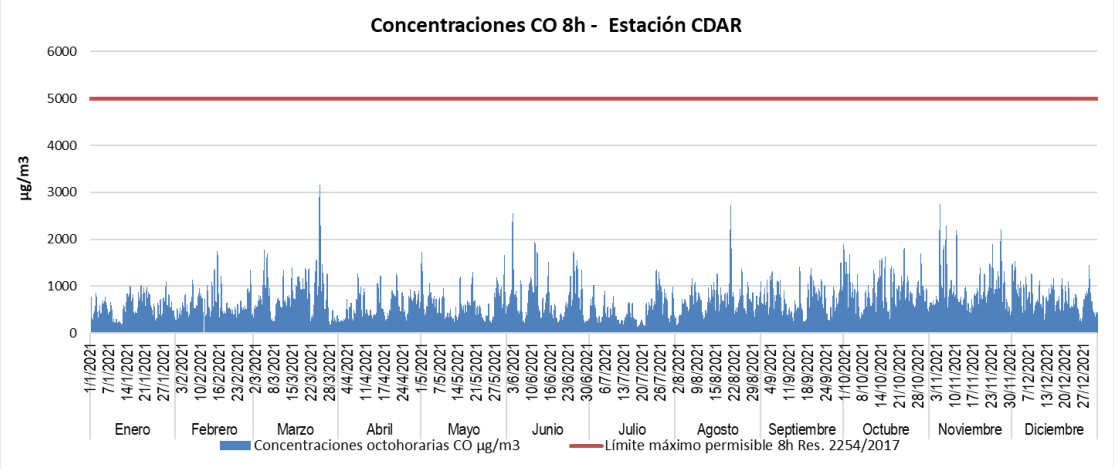


Figura 737. Concentración octohoraria para CO. Estación CDAR. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- ***Estación Las Ferias***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias a los límites permisibles para los tiempos de exposición 1h y 8h. La concentración máxima registrada horaria fue de 3511,14 µg/m3 el 17 de noviembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. Para el tiempo de exposición octohoraria, la concentración máxima registrada fue de 2248,72 µg/m^3 el 14 de noviembre. En la Figura 733 y la Figura 734 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias y octohorarias, respectivamente, en función del año 2020.

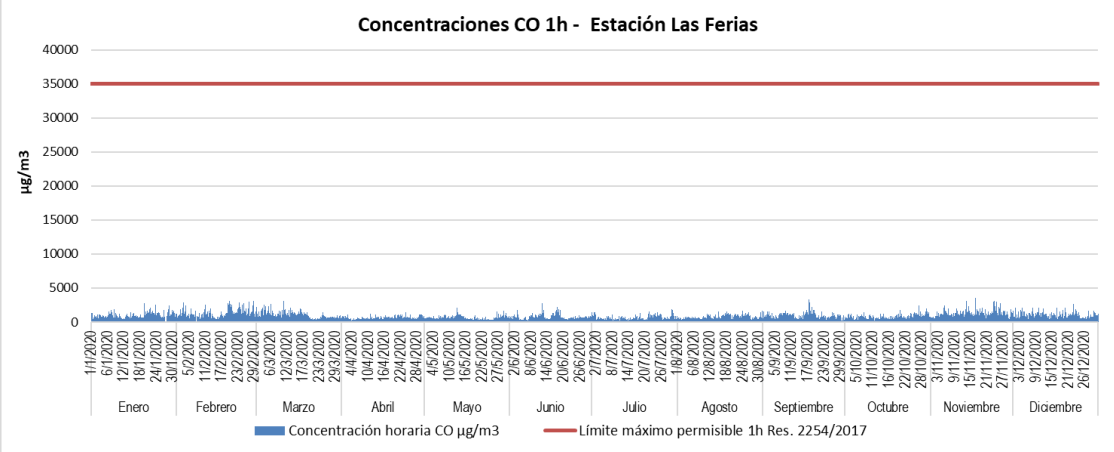


Figura 738. Concentración horaria para CO. Estación Las Ferias. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

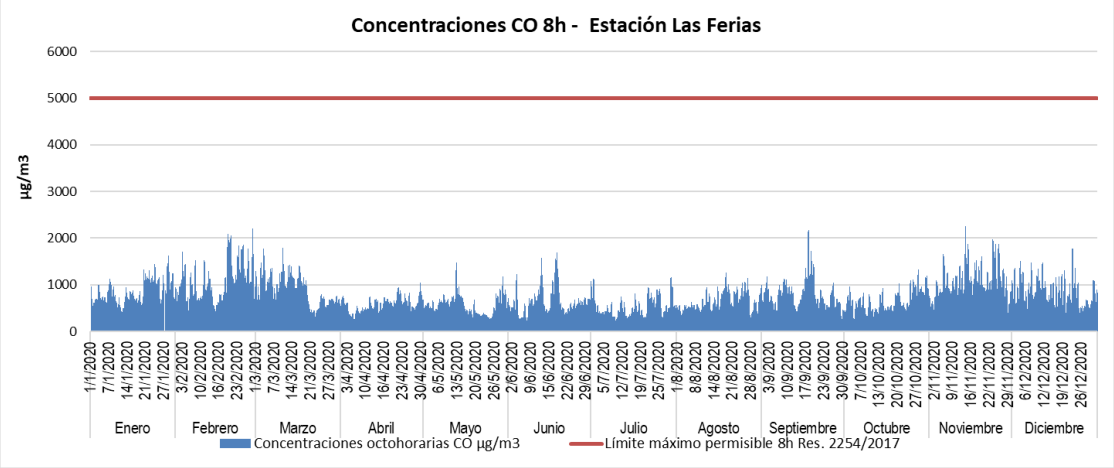


Figura 739. Concentración octohoraria para CO. Estación Las Ferias. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Durante el año 2021 no se presentan excedencias a los límites permisibles para los tiempos de exposición 1h y 8h. La concentración máxima registrada horaria fue de 3988,17 µg/m3 el 24 de marzo, la cual está por debajo del límite máximo permitido. Para el tiempo de exposición octohoraria, la concentración máxima registrada fue de 2792,91 µg/m^3 el 25 de marzo. En la Figura 735 y la Figura 736 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias y octohorarias, respectivamente, en función del año 2021.

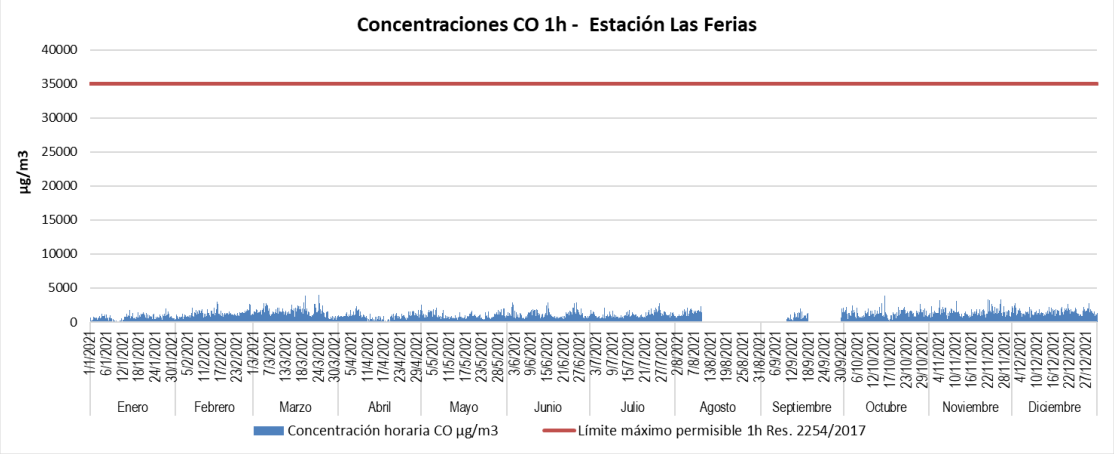


Figura 740. Concentración horaria para CO. Estación Las Ferias. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

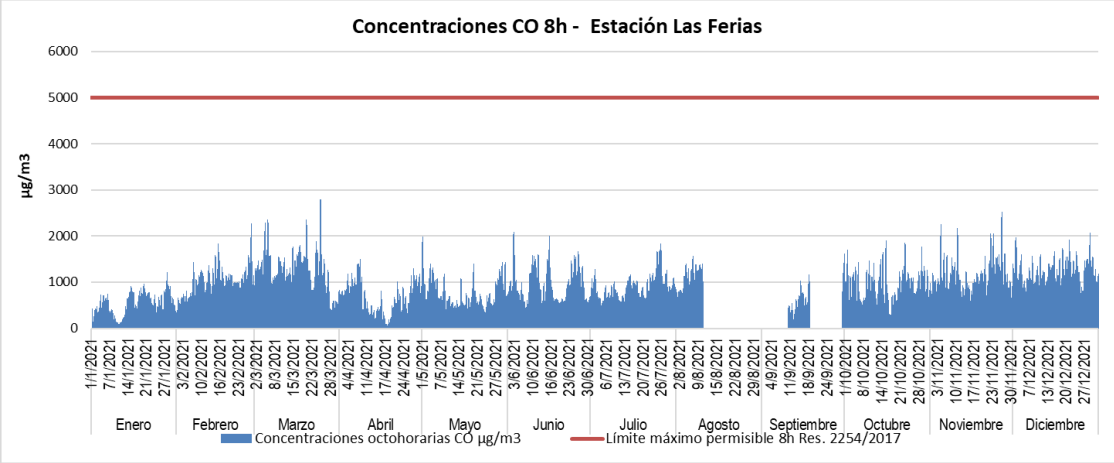


Figura 741. Concentración octohoraria para CO. Estación Las Ferias. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- ***Estación Suba***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias a los límites permisibles para los tiempos de exposición 1h y 8h. La concentración máxima registrada horaria fue de 2088,14 µg/m3 el 05 de noviembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. Para el tiempo de exposición octohoraria, la concentración máxima registrada fue de 1489,18 µg/m3 el 06 de noviembre. En la Figura 737 y la Figura 738 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias y octohorarias, respectivamente, en función del año 2020.

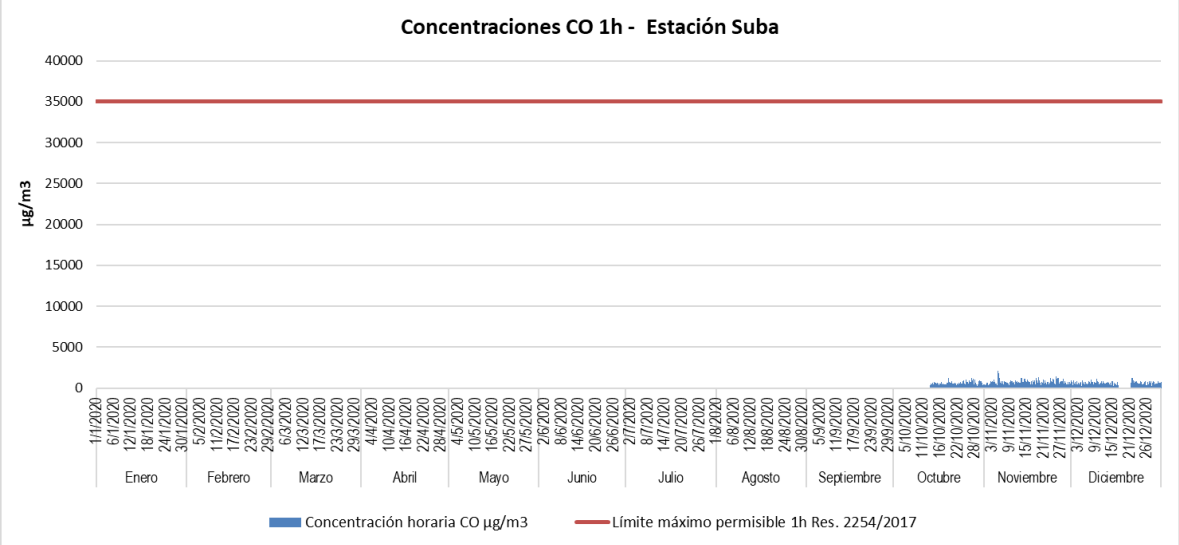


Figura 742. Concentración horaria para CO. Estación Suba. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

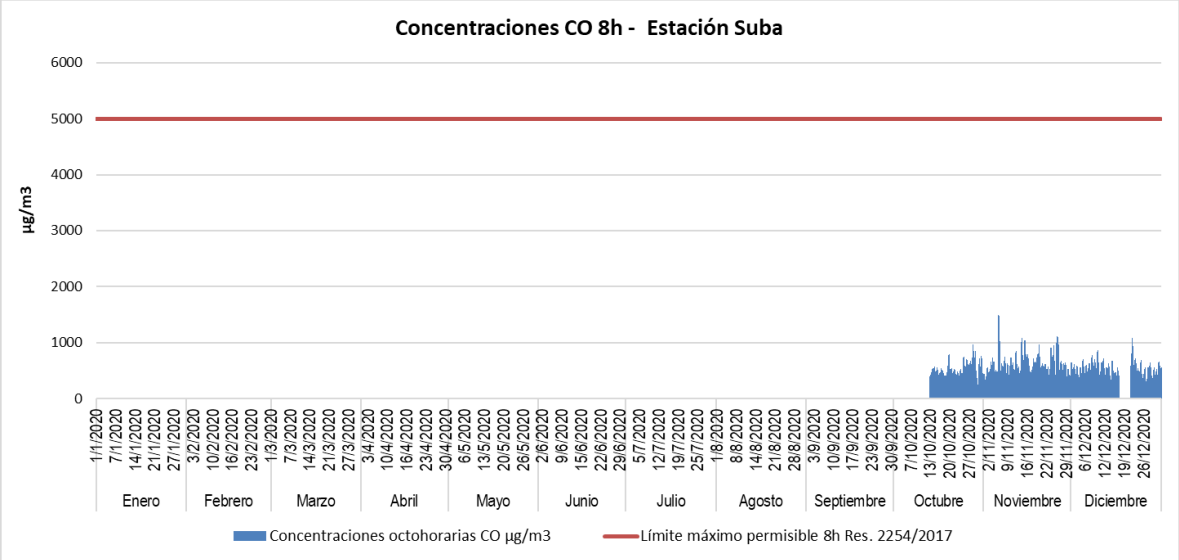


Figura 743. Concentración octohoraria para CO. Estación Suba. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Durante el año 2021 no se presentan excedencias a los límites permisibles para los tiempos de exposición 1h y 8h. La concentración máxima registrada horaria fue de 2187,41 µg/m3 el 02 de junio, la cual está por debajo del límite máximo permitido. Para el tiempo de exposición octohoraria, la concentración máxima registrada fue de 1877,65 µg/m3 el 03 de junio. En la Figura 739 y la Figura 740 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias y octohorarias, respectivamente, en función del año 2021.

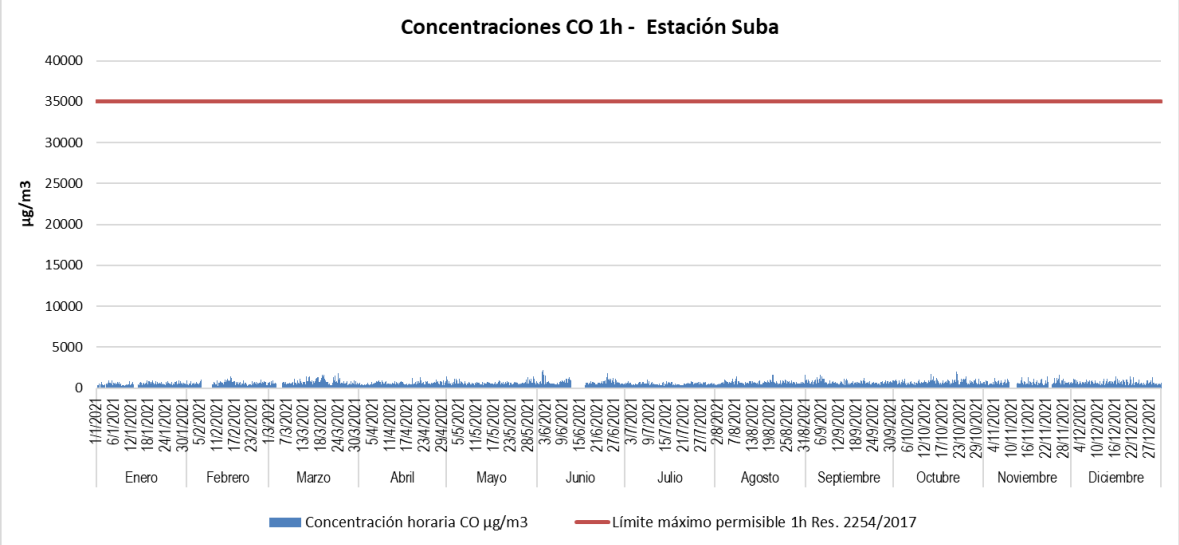


Figura 744. Concentración horaria para CO. Estación Suba. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

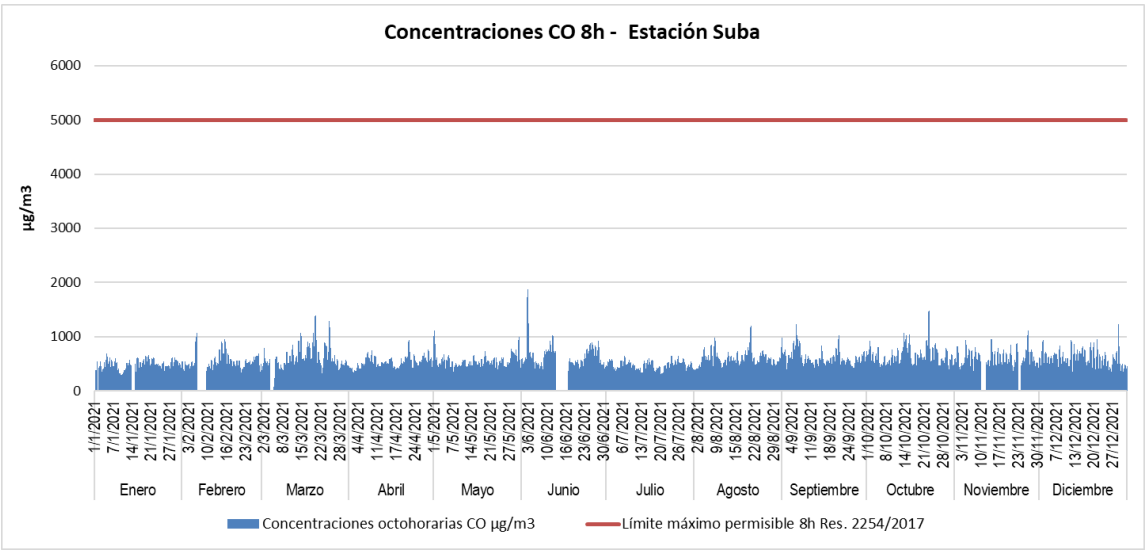


Figura 745. Concentración octohoraria para CO. Estación Suba. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- ***Estación Bolivia***

Durante el año 2020 no se presentan excedencias a los límites permisibles para los tiempos de exposición 1h y 8h. La concentración máxima registrada horaria fue de 2743,03 µg/m3 el 05 de noviembre, la cual está por debajo del límite máximo permitido. Para el tiempo de exposición octohoraria, la concentración máxima registrada fue de 1792,51 µg/m3 el 06 de noviembre. En la Figura 741 y la Figura 742 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias y octohorarias, respectivamente, en función del año 2020.

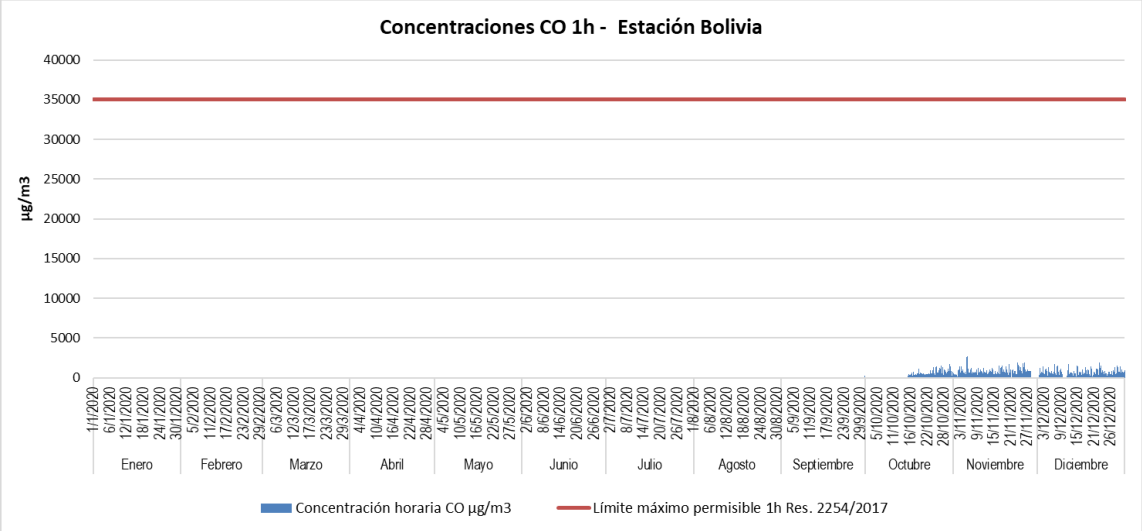


Figura 746. Concentración horaria para CO. Estación Bolivia. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

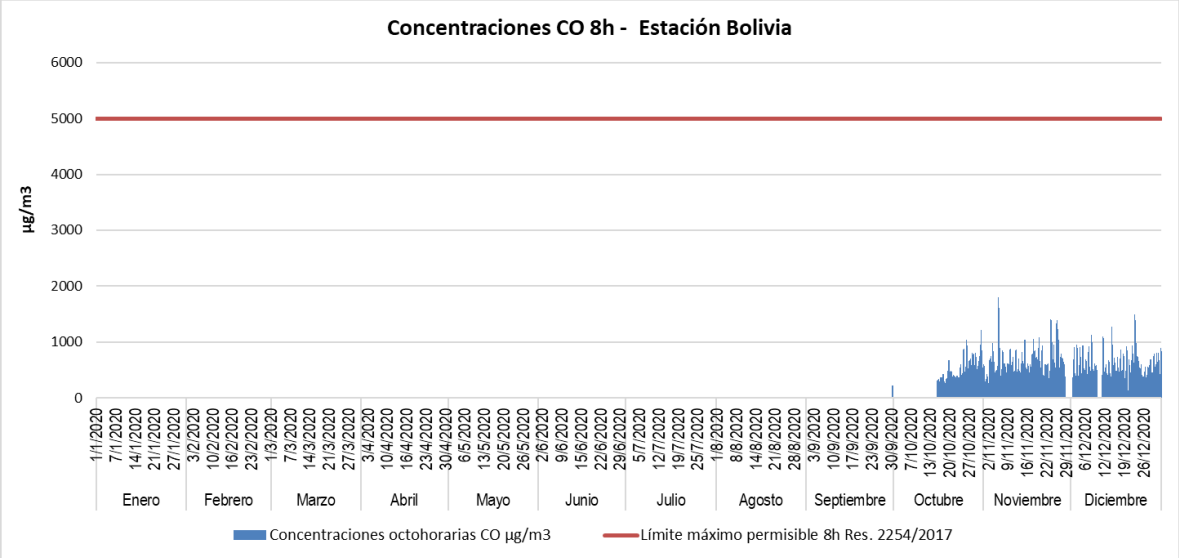


Figura 747. Concentración octohoraria para CO. Estación Bolivia. Año 2020.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Durante el año 2021 no se presentan excedencias a los límites permisibles para los tiempos de exposición 1h y 8h. La concentración máxima registrada horaria fue de 3043,26 µg/m3 el 08 de febrero, la cual está por debajo del límite máximo permitido. Para el tiempo de exposición octohoraria, la concentración máxima registrada fue de 1983,78 µg/m3 el 03 de junio. En la Figura 743 y la Figura 744 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias y octohorarias, respectivamente, en función del año 2021.

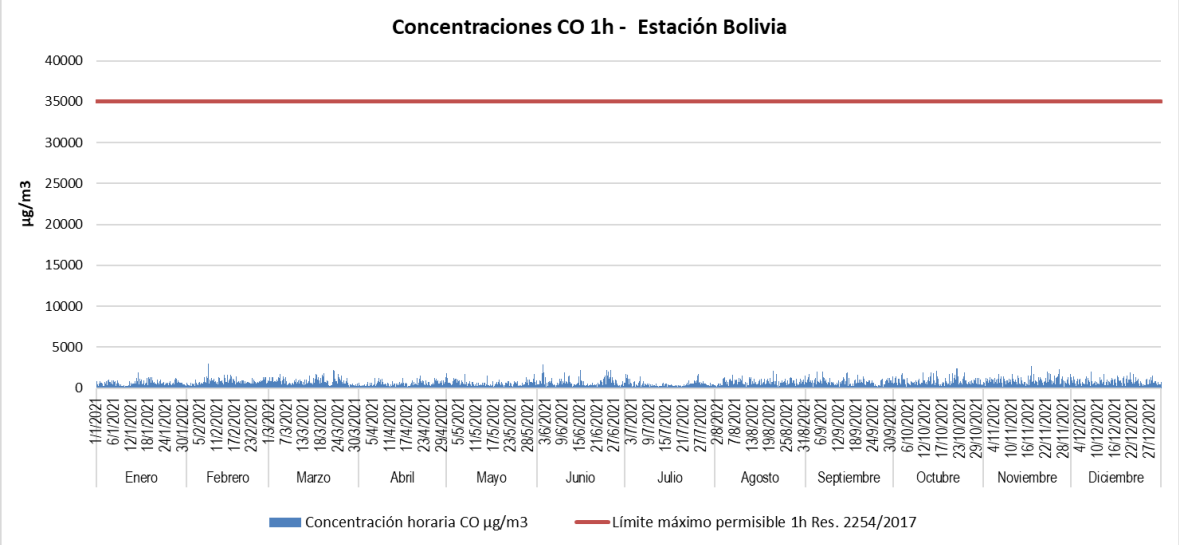


Figura 748. Concentración horaria para CO. Estación Bolivia. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

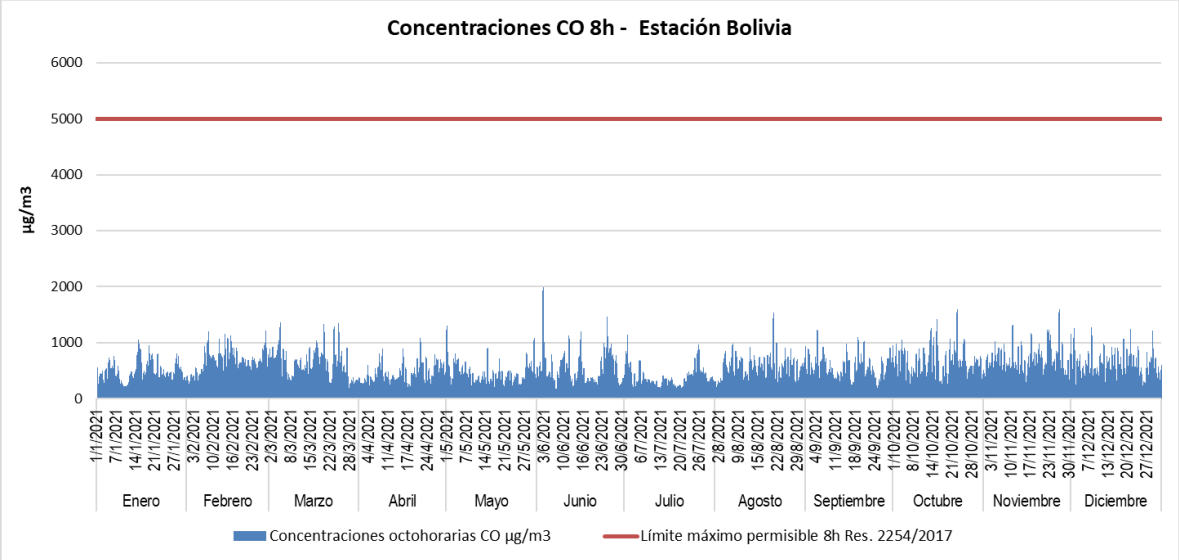


Figura 749. Concentración octohoraria para CO. Estación Bolivia. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- ***Estación Colina***

Durante el año 2021 no se presentan excedencias a los límites permisibles para los tiempos de exposición 1h y 8h. La concentración máxima registrada horaria fue de 2005,49 µg/m3 el 20 de agosto, la cual está por debajo del límite máximo permitido. Para el tiempo de exposición octohoraria, la concentración máxima registrada fue de 1645,58 µg/m3 el 03 de

junio. En la Figura 745 y la Figura 746 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias y octohorarias, respectivamente, en función del año 2021.

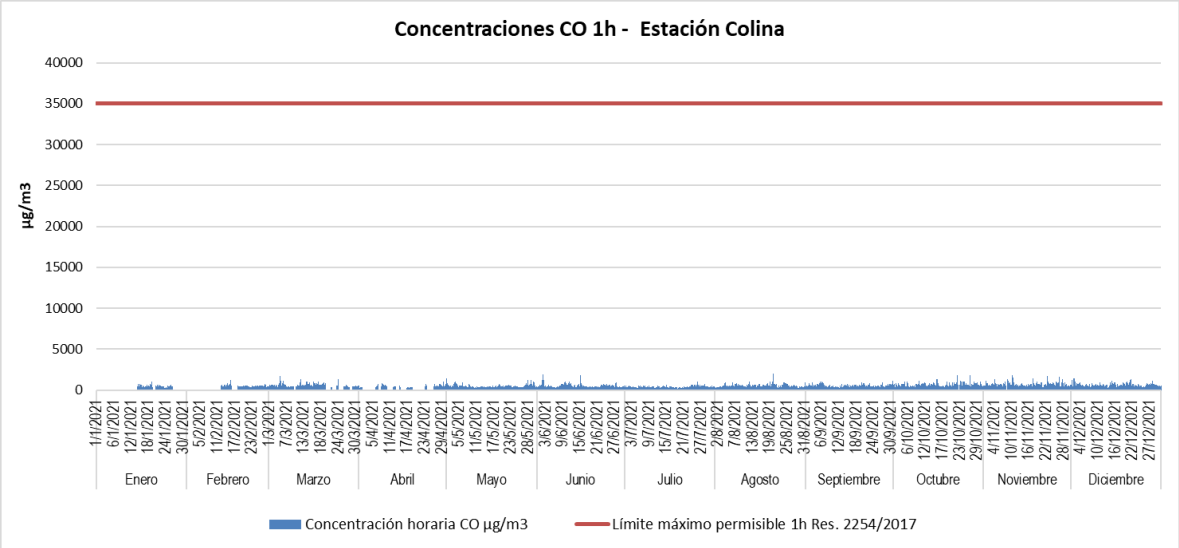


Figura 750. Concentración horaria para CO. Estación Colina. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

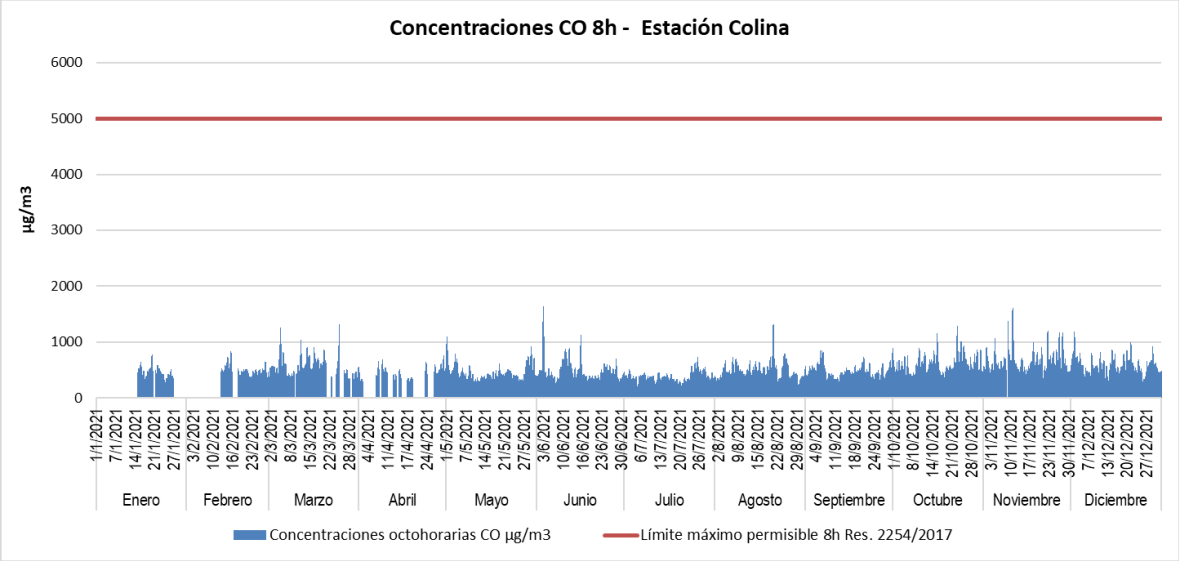


Figura 751. Concentración octohoraria para CO. Estación Colina. Año 2021.
Fuente: UT MOVIUS, 2022

5.2.3.3.2.7. Índice Bogotano de Calidad del Aire y Riesgo en Salud - IBOCA

El IBOCA ha sido adoptado por la Resolución Conjunta 00868 del 2021 a partir de las recomendaciones técnicas consignadas en el Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – The Air Quality Index (AQI) documento EPA-454/B-18-007 de septiembre de 2018.

Los valores del IBOCA se ubican en una escala adimensional de 0 a 500, que han sido agrupados en 6 rangos que guardan estrecha relación con la amenaza que, a la salud humana, representan dichos niveles de contaminación del aire. Para facilitar su interpretación cada uno de estos rangos ha sido asociado a un color que sirve de alerta.

En la Tabla 371 se presentan los rangos en los que han sido clasificados los valores que puede tomar el Índice, junto con el color que le fue asignado para identificar de forma sencilla la alerta que representa el nivel de contaminación.

Tabla 372. Intervalos de concentración de contaminantes para calcular el IBOCA

Atributos del IBOCA			**Intervalos de concentración media móvil (µg/m^3)**					
Rango	**Color**	**Estado de calidad del aire**	**PM_{10} (24 h)**	**$PM_{2.5}$ (24 h)**	**CO (8 h)**	**SO_2 (1 h)**	**NO_2 (1 h)**	**O_3 (8 h)**
0-50	**Verde**	Favorable	0 - 54	0 - 12,0	0 - 5.094	0 - 92	0 - 100	0 - 106
51-100	**Amarillo**	Moderada	55 - 154	12,1 - 35,4	5.095 - 10.818	93 -197	101 - 188	107 - 137
101-150	**Naranja**	Regular	155 - 254	35,5 - 55,4	10.819 - 14.253	198 - 485	189 - 677	138 - 167
151-200	**Rojo**	Mala	255 - 354	55,5 - 150,4	14.254 - 17.688	486 - 796	678 - 1.220	168 - 206
201-300	**Morado**	Peligrosa	355 - 424	150,5 - 250,4	17.689 - 34.861	797 - 1.582	1.221 - 2.349	207 - 392
301 – 500			425 - 604	250,5 - 500,4	34.862 - 57703	1.583 - 2.681	2.350 - 3.853	—

Fuente: Resolución 00868 de 2021[1], artículo 3. Secretaria Distrital de Ambiente – SDA

- **Cálculo del IBOCA**

El IBOCA se calculó a partir de la ecuación definida en el artículo 4 de la resolución 00868 de 2021, presentada a continuación:

$$IBOCA_p = \frac{I_{Mayor} - I_{Menor}}{C_{Mayor} - C_{Menor}}(C_p - C_{Menor}) + I_{Menor}$$

Ecuación 58. Cálculo del IBOCA

En donde:

$IBOCA_p$ = Índice para el contaminante p.

C_p = Concentración medida para el contaminante p (debe estar en unidades de µg/m^3)

C_{mayor} = Concentración mayor o igual a C_p , dentro de los intervalos de la Tabla 371

C_{menor} = Concentración menor o igual a C_p , dentro de los intervalos de la Tabla 371

[1] Secretaria Distrital de Ambiente - SDA. (2021). Resolución Conjunta No. 00868 de 2021: *"Por medio de la cual se establece el nuevo Índice Bogotano de Calidad del Aire y Riesgo en Salud - IBOCA - para la gestión conjunta del riesgo de deterioro del ambiente y de la salud humana"*. Bogotá.

I_{mayor} = Valor adimensional correspondiente al C_{mayor}, dentro de los intervalos de la Tabla 371
I_{menor} = Valor adimensional correspondiente al C_{menor}, dentro de los intervalos de la Tabla 371.

Resultados del IBOCA

- Estación Móvil 7ma

Como se observa en la Figura 747, en el año 2020 el 100% de las mediciones de los contaminantes SO_2 y NO_2 registraron un IBOCA "Favorable", indicando un riesgo bajo para la salud. Por otro lado, para el contaminante PM_{10} predomina un IBOCA "Favorable", con un 79,33% de las mediciones registradas, seguido de un IBOCA "Moderada" con un 20,67%. Finalmente, para el contaminante $PM_{2.5}$ las mediciones registraron el 23,97% un IBOCA "Favorable", el 62,82% un IBOCA "Moderada", el 12,12% un IBOCA Regular y el 1,10%, un IBOCA Malo; lo que indica un alta posibilidad de que grupos sensibles presenten problemas respiratorios.

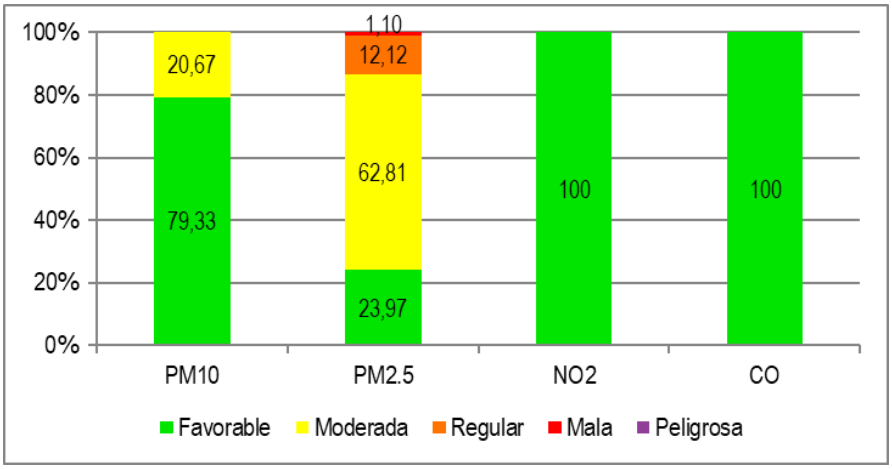


Figura 752. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación Móvil 7ma
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Como se observa en la Figura 748, en el año 2021 el 100% de las mediciones de los contaminantes SO_2 y NO_2 registraron un IBOCA "Favorable", indicando un riesgo bajo para la salud. Por otro lado, para el contaminante PM_{10} predomina un IBOCA "Favorable", con un 94,43% de las mediciones registradas y en menor proporción un IBOCA "Moderada" con un 5,57%. Finalmente, para el contaminante $PM_{2.5}$ las mediciones registraron el 31,14% un IBOCA "Favorable", el 66,29% un IBOCA "Moderada" y el 2,57% un IBOCA "Regular"; lo que indica un alta posibilidad de que grupos sensibles presenten problemas respiratorios.

Comparado con el año anterior, el índice de calidad del aire con respecto a los contaminantes PM_{10} y el $PM_{2.5}$, mejoran.

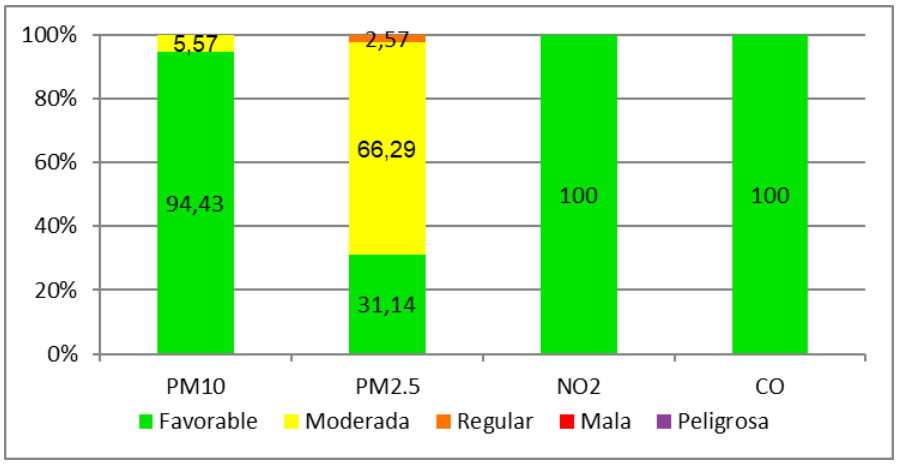


Figura 753. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Móvil 7ma
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- CDAR

Como se observa en la Figura 749, en el año 2020 el 100% de las mediciones de los contaminantes CO, SO_2 y NO_2 registraron un IBOCA "Favorable", indicando un riesgo bajo para la salud. Por otro lado, para el contaminante O_3 predomina un IBOCA "Favorable", con un 98,99% de las mediciones registradas; en menor proporción un IBOCA "Moderada" con un 0,88%, seguido de un IBOCA "Regular" con un 0,13%. Para el PM_{10} predomina un IBOCA "Favorable", con un 98,28% de las mediciones registradas y en menor proporción un IBOCA "Moderada" con un 1,72%.

Finalmente, para el contaminante $PM_{2.5}$ las mediciones registraron el 53,54% un IBOCA "Favorable", el 43,34% un IBOCA "Moderada" y el 3,12%, un IBOCA Regular; lo que indica una posibilidad de que grupos sensibles presenten problemas respiratorios.

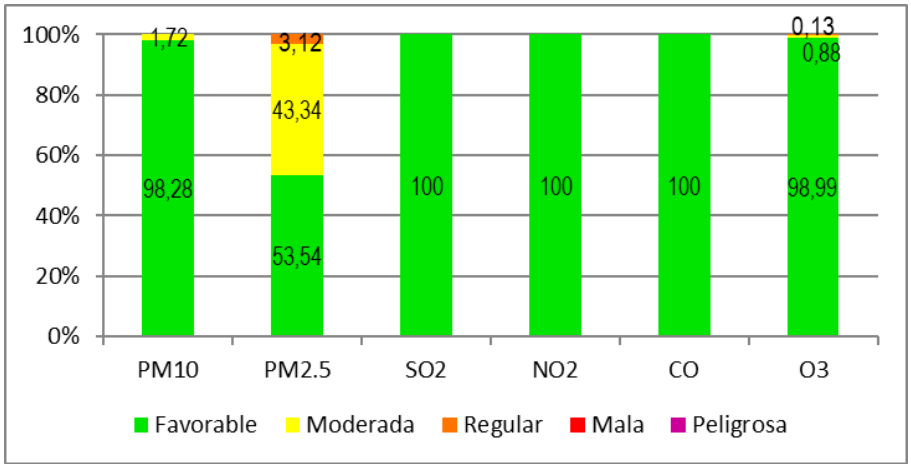


Figura 754. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación CDAR
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Como se observa en la Figura 750, en el año 2021 el 100% de las mediciones de los contaminantes CO, PM_{10}, SO_2 y NO_2 registraron un IBOCA "Favorable", indicando un riesgo bajo para la salud. Por otro lado, para el contaminante O_3 predomina un IBOCA "Favorable" con un 99,97% de las mediciones registradas.

Finalmente, para el contaminante $PM_{2.5}$ las mediciones registraron el 50,57% un IBOCA "Favorable", el 48,57% un IBOCA "Moderada" y el 1,14%, un IBOCA Regular; lo que indica una posibilidad de que grupos sensibles presenten problemas respiratorios.

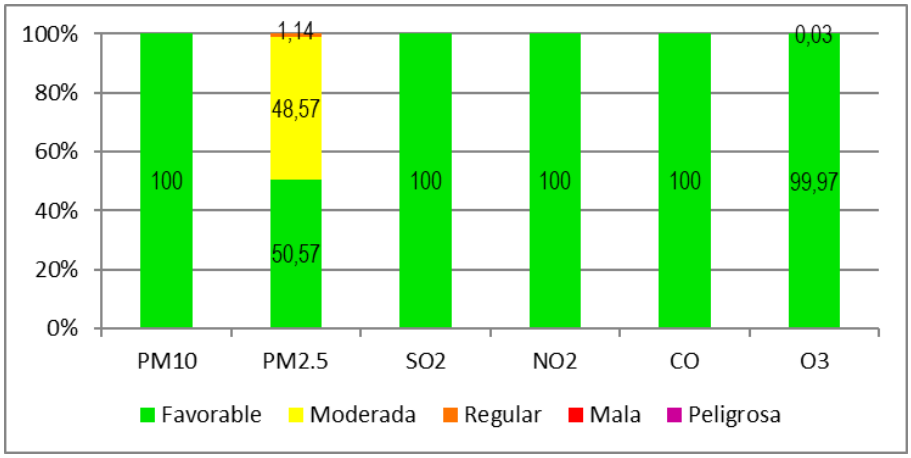


Figura 755. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación CDAR
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- Las Ferias

Como se observa en la Figura 751, en el año 2020 el 100% de las mediciones de los contaminantes CO, O_3 y NO_2 registraron un IBOCA "Favorable", indicando un riesgo bajo para la salud. Para el PM_{10} predomina un IBOCA "Favorable", con un 96,71% de las mediciones registradas.

Finalmente, para el contaminante $PM_{2.5}$ las mediciones registraron el 54,35% un IBOCA "Favorable", el 42,04% un IBOCA "Moderada", el 3,30%, un IBOCA Regular y el 0,30%, un IBOCA Malo; lo que indica una alta posibilidad de que grupos sensibles presenten problemas respiratorios.

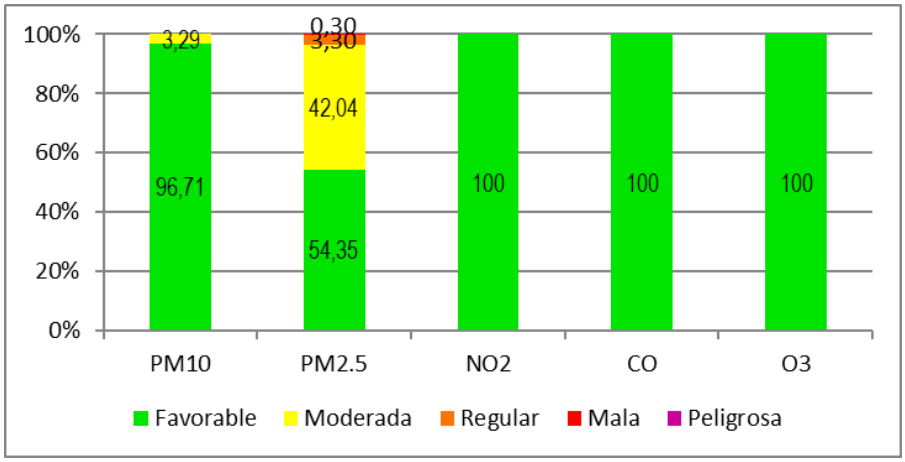


Figura 756. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación Las Ferias
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Como se observa en la Figura 752, en el año 2021 el 100% de las mediciones de los contaminantes CO, PM_{10}, O_3 y NO_2 registraron un IBOCA "Favorable", indicando un riesgo bajo para la salud. Con respecto al año anterior la calidad del aire mejora en cuanto a los relacionado con PM_{10}.

Finalmente, para el contaminante $PM_{2.5}$ las mediciones registraron el 45,92% un IBOCA "Favorable" y el 54,08% un IBOCA "Moderada", lo que indica una posibilidad de que grupos sensibles presenten problemas respiratorios. Sin embargo, la calidad del aire mejora con respecto al año anterior.

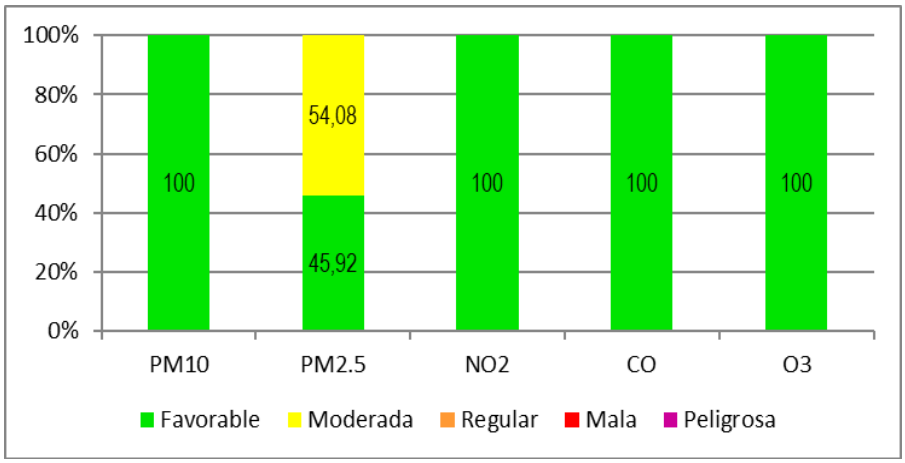


Figura 757. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Las Ferias
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- Suba

Como se observa en la Figura 753, en el año 2020 el 100% de las mediciones de los contaminantes CO, SO_2 y NO_2 registraron un IBOCA "Favorable", indicando un riesgo bajo para la salud. Por otro lado, para el contaminante O_3 predomina un IBOCA "Favorable", con un 99,88% de las mediciones registradas y en menor proporción un IBOCA "Moderada" con un 0,12%. Para el PM_{10} predomina un IBOCA "Favorable", con un 85,39% de las mediciones registradas y en menor proporción un IBOCA "Moderada" con un 14,61%.

Finalmente, para el contaminante $PM_{2.5}$ las mediciones registraron el 47,03% un IBOCA "Favorable", el 49,86% un IBOCA "Moderada", el 2,83%, un IBOCA Regular y el 0,28%, un IBOCA Malo; lo que indica una posibilidad de que grupos sensibles presenten problemas respiratorios.

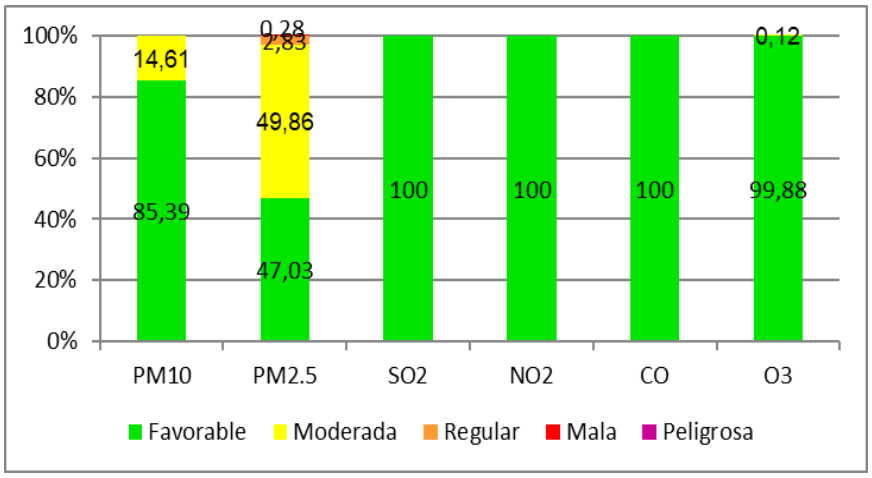


Figura 758. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación Suba
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Como se observa en la Figura 754, en el año 2021 el 100% de las mediciones de los contaminantes CO, O3, SO_2 y NO_2 registraron un IBOCA "Favorable", indicando un riesgo bajo para la salud. Por otro lado, para el contaminante PM_{10} predomina un IBOCA "Favorable" con un 97,86% de las mediciones registradas.

Finalmente, para el contaminante $PM_{2.5}$ las mediciones registraron el 51,61% un IBOCA "Favorable" y el 48,39% un IBOCA "Moderada"; lo que indica una posibilidad de que grupos sensibles presenten problemas respiratorios. Sin embargo, la calidad del aire mejora con respecto al año anterior.

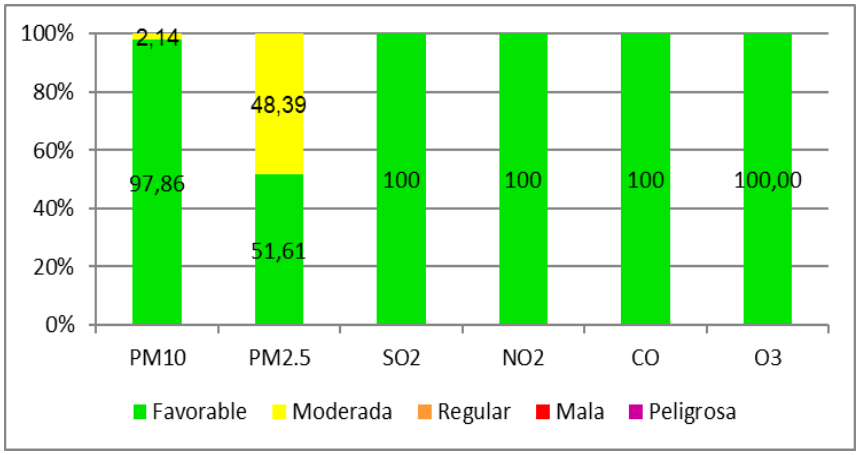


Figura 759. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Suba
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- Bolivia

Como se observa en la Figura 755, en el año 2020 el 100% de las mediciones de los contaminantes SO_2, NO_2 y CO registraron un IBOCA "Favorable", indicando un riesgo bajo para la salud. Por otro lado, para el contaminante PM_{10} predomina un IBOCA "Favorable", con un 55,07% de las mediciones registradas, seguido de un IBOCA "Moderada" con un 44,93%. Finalmente, para el contaminante $PM_{2.5}$ las mediciones registraron el 14,29% un IBOCA "Favorable" y el 85,71% un IBOCA "Moderada"; lo que indica un alta posibilidad de que grupos sensibles presenten problemas respiratorios.

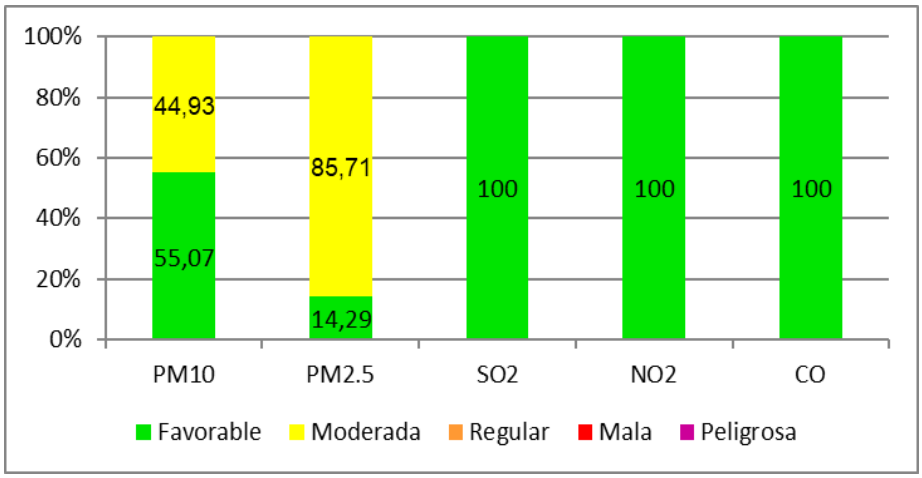


Figura 760. IBOCA por contaminante durante el año 2020. Estación Bolivia
Fuente: UT MOVIUS, 2022

Como se observa en la Figura 756, en el año 2021 el 100% de las mediciones de los contaminantes SO_2, NO_2 y CO registraron un IBOCA "Favorable", indicando un riesgo bajo para la salud. Por otro lado, para el contaminante PM_{10} predomina un IBOCA "Favorable", con un 92,50% de las mediciones registradas y en menor proporción un IBOCA "Moderada" con un 7,50%. Finalmente, para el contaminante $PM_{2.5}$ las mediciones registraron el 36,19% un IBOCA "Favorable" y el 63,81% un IBOCA "Moderada"; lo que indica un alta posibilidad de que grupos sensibles presenten problemas respiratorios.

Comparado con el año anterior, el índice de calidad del aire con respecto a los contaminantes PM_{10} y el $PM_{2.5}$, mejoran.

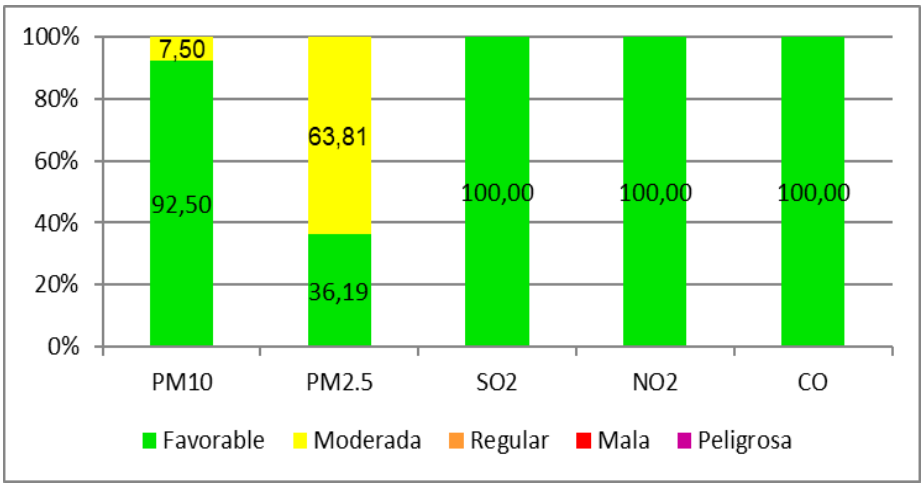


Figura 761. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Bolivia
Fuente: UT MOVIUS, 2022

- Colina

Como se observa en la Figura 757, en el año 2021 el 100% de las mediciones de los contaminantes PM_{10}, NO_2, CO y O3 registraron un IBOCA "Favorable", indicando un riesgo bajo para la salud. Por otro lado, para el contaminante $PM_{2.5}$ las

mediciones registraron el 79,67% un IBOCA “Favorable” y el 20,33% un IBOCA “Moderada”; lo que indica una baja posibilidad de que grupos sensibles presenten problemas respiratorios. Para el año 2020, no se calcula el IBOCA debido a que no se cuentan con registros para ningún contaminante.

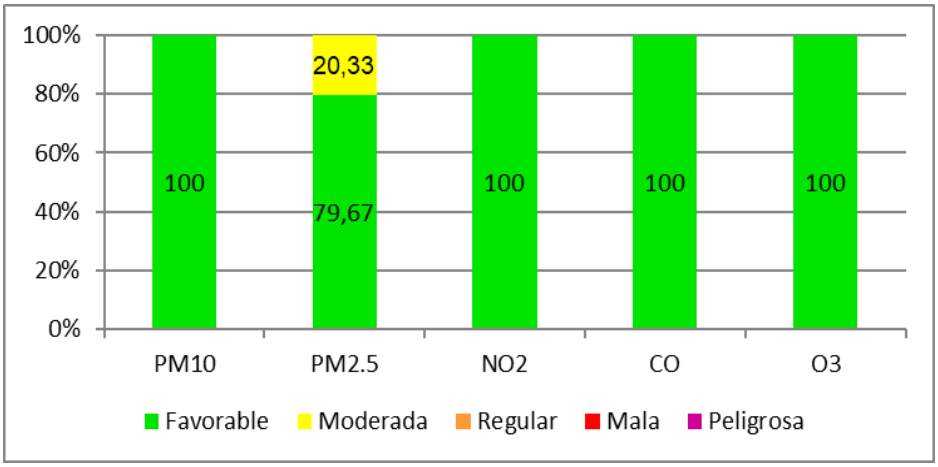


Figura 762. IBOCA por contaminante durante el año 2021. Estación Colina
Fuente: UT MOVIUS, 2022

5.2.3.3.3. Análisis calidad del aire - Monitoreos

A continuación se disponen y analizan los resultados obtenidos en la campaña de monitoreo de calidad del aire. Una vez tomadas las muestras de campo, analizadas en el laboratorio y posteriormente aprobadas por el supervisor de calidad del laboratorio, se determina si las muestras cumplen con todos los requerimientos para ser validadas y tenidas en cuenta en el tratamiento estadístico.

5.2.3.3.3.1. Descripción de los puntos de Monitoreo.

En la Tabla 372 a la Tabla 379 y la Figura 758 se relaciona la descripción y ubicación de las estaciones de monitoreo.

Tabla 373. Descripción de puntos de monitoreo.

Estaciones de monitoreo				
Ubicación	**Fecha de inicio**	**Fecha de Finalización**	**Coordenadas Geográficas**	
			Latitud	**Longitud**
CA 1. Gimnasio Moderno	2022-05-04	2022-05-27	4°39'32,55”	74°3'22"

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td rowspan="2" colspan="3"></td><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td rowspan="2" colspan="3">  </td><td>2.072.906,60</td><td>4.882.907,29</td></tr>
<tr><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra ubicada dentro de las instalaciones del colegio Gimnasio moderno a un costado de la cancha, al norte de la estación se encuentra la carrera 11, al sur la carrera 9, al este la calle 76 y al oeste la calle 74, se evidencia paso constante de vehículos (carros, motos, camiones y transporte público), y una obra de construcción al oeste. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2640 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Ubicación</td><td rowspan="2">Fecha de inicio</td><td rowspan="2">Fecha de Finalización</td><td colspan="2">Coordenadas Geográficas</td></tr>
<tr><td>Latitud</td><td>Longitud</td></tr>
<tr><td rowspan="4">CA 2. Casa Jose Galo</td><td rowspan="4">2022-05-04</td><td rowspan="4">2022-05-27</td><td>4°39'30,6´´</td><td>74°3'46,3"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>2.072.847,86</td><td>4.882.158,73</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra ubicada dentro de una casa esquinera en predio privado, al norte se encuentra la calle 72, al sur la Universidad del área Andina, el punto se encuentra ubicado dentro de una zona residencial y comercial, se evidencia alto flujo vehicular que pasa por la caracas y calle 72. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2640 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><th rowspan="2">Ubicación</th><th rowspan="2">Fecha de inicio</th><th rowspan="2">Fecha de Finalización</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">CA 3. Colegio San Felipe Neri</td><td rowspan="4">2022-05-04</td><td rowspan="4">2022-05-27</td><td>4°39'49,90´´</td><td>74°4'13,80"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>2.073.441,61</td><td>4.881.312,60</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra ubicada sobre la miscelánea del colegio San Felipe Neri al lado de la cancha, al norte se evidencia la calle 72, al sur la calle 71, al este el parque alcázares y al oeste la carrera 27C. La principal fuente de emisión corresponde al flujo vehicular que transita por las vías. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2640 m.s.n.m</td></tr>
<tr><th rowspan="2">Ubicación</th><th rowspan="2">Fecha de inicio</th><th rowspan="2">Fecha de Finalización</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="3">CA 4. Colegio Liceo Val</td><td rowspan="3">2022-05-04</td><td rowspan="3">2022-05-27</td><td>4°40'5,40´´</td><td>74°4'31,68"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">2.073.918,26</td><td>4.880.762,49</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
</table>

Estaciones de monitoreo	
	La estación de monitoreo se encuentra ubicada en el colegio específicamente en el parqueadero, al lado norte la calle 72, al sur la calle 71 a y el río arzobispo, al este la NQS avenida chile, se videncia alrededor del punto fábricas de muebles y alto flujo vehicular. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA). Altitud: 2640 m.s.n.m.

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 374. Descripción de puntos de monitoreo.

Estaciones de Monitoreo				
Ubicación	**Fecha de inicio**	**Fecha de Finalización**	**Coordenadas Geográficas**	
			Latitud	**Longitud**
CA 5. Casa Luis Yomayusa	2022-05-04	2022-05-27	4°40'17,0´´	74°04'44,1"
			Coordenadas Origen Nacional Único	
			Norte (Y)	**Este (X)**
			2.074.274,95	4.880.380,60
			Descripción del punto de monitoreo	

	La estación de monitoreo se encuentra ubicada en la terraza de un predio privado al frente de la carrera 57 B Bis, al norte la calle 72 y una iglesia, al sur la calle 71, al este el parque san fernando y la carrera 57a, al sur la carrera 58 y el colegio Jorge Eliecer Gaitan, se evidencia alto flujo vehicular. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA). Altitud: 2640 m.s.n.m.

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 375. Descripción de puntos de monitoreo.

Ubicación	Fecha de inicio	Fecha de Finalización	Coordenadas Geográficas	
			Latitud	Longitud
CA 6. Orfidrogas	2022-05-04	2022-05-27	4°40'38,21´´	74°4'50,50"
			Coordenadas Origen Nacional Único	
			Norte (Y)	Este (X)
			2.074.926,27	4.880.184,47
			Descripción del punto de monitoreo	

<table>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra ubicada en la terraza de un predio privado, rodeado de zona comercial y residencial, se evidencia flujo vehicular de motos, carros y transporte publico por la carrera 69. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2550 m.s.n.m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Ubicación</td><td rowspan="2">Fecha de inicio</td><td rowspan="2">Fecha de Finalización</td><td colspan="2">Coordenadas Geográficas</td></tr>
<tr><td>Latitud</td><td>Longitud</td></tr>
<tr><td rowspan="4">CA 7. Casa Edilberto</td><td rowspan="4">2022-06-13</td><td rowspan="4">2022-07-06</td><td>4°40'42,10´´</td><td>74°5'13,11"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>2.073.918,26</td><td>4.879.488,13</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
</table>

	La estación de monitoreo se encuentra ubicada en una terraza de un predio privado ubicado en zona residencial y comercial principalmente de repuestos de carros, se encuentra rodeado de parqueaderos y talleres mecánicos, tienda de abarrotes y elementos electrónicos, se evidencia alto flujo peatonal y vehicular procedente de la calle 72, frente al Alkosto y la Av. 68. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA). Altitud: 2551 m.s.n.m.

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 376. Descripción de puntos de monitoreo.

Estaciones de monitoreo				
Ubicación	**Fecha de inicio**	**Fecha de Finalización**	**Coordenadas Geográficas**	
			Latitud	**Longitud**
CA 8. Gimnasio Moderno	2022-05-04	2022-05-27	4°41'0,47´´	74°5'23,13"
			Coordenadas Origen Nacional Único	
			Norte (Y)	**Este (X)**
			2.075.611,19	4.879.180,65
			Descripción del punto de monitoreo	

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra ubicada en la estación de bomberos del barrio de las ferias, específicamente en la cancha de fútbol, se evidencia tráfico vehicular frecuente en la zona sobre todo en la Av. 68, adicionalmente, el punto se encuentra rodeado de zona residencial y comercial. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2556 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><th rowspan="2">Ubicación</th><th rowspan="2">Fecha de inicio</th><th rowspan="2">Fecha de Finalización</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">CA 9. Casa Luz Dary</td><td rowspan="4">2022-05-04</td><td rowspan="4">2022-05-27</td><td>4°41'15,10´´</td><td>74°5'49,10"</td></tr>
<tr><th colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</th></tr>
<tr><th>Norte (Y)</th><th>Este (X)</th></tr>
<tr><td>2.076.061,61</td><td>4.878.381,32</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">  </td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
<tr><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra ubicada en una terraza de un predio privado en una zona residencial y comercial específicamente negocios de litografía, se evidencia alto flujo vehicular de carga. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2550 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><th rowspan="2">Ubicación</th><th rowspan="2">Fecha de inicio</th><th rowspan="2">Fecha de Finalización</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td></td><td>2022-06-13</td><td>2022-07-06</td><td>4°39'29,00´´</td><td>74°3'32,00"</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td rowspan="2">CA 10. Colegio San Felipe Neri</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td>2.072.798,08</td><td>4.882.599,11</td></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo

La estación de monitoreo se encuentra ubicada en la azotea del edificio B de la Universidad Pedagógica de la calle 72 entre las carreras 11 y 13, edificio rodeado de zonas verdes, edificios comerciales, se evidencia alto flujo vehicular de las calles circundantes. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2573 m.s.n.m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Ubicación</td><td rowspan="2">Fecha de inicio</td><td rowspan="2">Fecha de Finalización</td><td colspan="2">Coordenadas Geográficas</td></tr>
<tr><td>Latitud</td><td>Longitud</td></tr>
<tr><td rowspan="4">CA 11. Sala de Negocios</td><td rowspan="4">2022-06-13</td><td rowspan="4">2022-07-06</td><td>4°41'43,58´´</td><td>74°6'4,57""</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>2.076.936,63</td><td>4.877.906,36</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
</table>

Estaciones de monitoreo	
	La estación de monitoreo se encuentra ubicada en el colegio específicamente en el parqueadero, al lado norte la calle 72, al sur la calle 71 a y el río arzobispo, al este la NQS avenida chile, se videncia alrededor del punto fábricas de muebles y alto flujo vehicular. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA). Altitud: 2640 m.s.n.m.

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 377. Descripción de puntos de monitoreo.

Estaciones de monitoreo				
Ubicación	**Fecha de inicio**	**Fecha de Finalización**	**Coordenadas Geográficas**	
			Latitud	**Longitud**
CA 12. Salon Comunal Almeria.	2022-05-04	2022-05-27	4°41'49,74´´	74°6'13,52"
			Coordenadas Origen Nacional Único	
			Norte (Y)	**Este (X)**
			2.077.126,12	4.877.631,01
			Descripción del punto de monitoreo	

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra sobre la terraza del salon comunal la Almeria rodeado de zona residebncial y zonas verdes, se evidencia bajo transito vehicular. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2550 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><th rowspan="2">Ubicación</th><th rowspan="2">Fecha de inicio</th><th rowspan="2">Fecha de Finalización</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">CA 13. Casa Paulina Garcia</td><td rowspan="4">2022-05-04</td><td rowspan="4">2022-05-27</td><td>4°42'16,4´´</td><td>74°6'07,2"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>2.077.944,28</td><td>4.877.826,8</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra ubicada en una terraza de un predio privado en una zona residencial y comercial específicamente de talleres mecánicos y automotrices, se evidencia flujo vehicular y peatonal alto sobre la transversal 89. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2550 m.s.n.m</td></tr>
<tr><th rowspan="2">Ubicación</th><th rowspan="2">Fecha de inicio</th><th rowspan="2">Fecha de Finalización</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">CA 14. Casa Yeison Chitiva</td><td rowspan="4">2022-05-04</td><td rowspan="4">2022-05-27</td><td>4°42'21,90´´</td><td>74°5'49,70"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>2.078.112,27</td><td>4.878.366,06</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra sobre la terraza de un predio privado en la diagonal 84ª con transversal 83, se evidencia zona residencial y comercial, paso de flujo vehicular leve. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2556 m.s.n.m</td></tr>
<tr><th rowspan="2">Ubicación</th><th rowspan="2">Fecha de inicio</th><th rowspan="2">Fecha de Finalización</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="3">CA 15. Uniminuto</td><td rowspan="3">2022-05-04</td><td rowspan="3">2022-05-27</td><td>4°42'41,22´´</td><td>74°5'47,78"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">  </td><td>74°5'47,78"</td><td>4.878.426,16</td></tr>
<tr><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo

La estación de monitoreo se encuentra ubicada dentro de las instalaciones de la universidad Uniminuto al lado de la huerta cerca de la carrera 39 con calle 90, se evidencia flujo vehicular constante, y zona residencial y comercial. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2550 m.s.n.m.</td></tr>
</table>

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 378. Descripción de puntos de monitoreo.

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><th rowspan="2">Ubicación</th><th rowspan="2">Fecha de inicio</th><th rowspan="2">Fecha de Finalización</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">CA 16. Punta del Este</td><td rowspan="4">2022-05-04</td><td rowspan="4">2022-05-27</td><td>4°42'58,05´´</td><td>74°5'38,81"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>2.079.221,49</td><td>4.878.703,29</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">  </td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
<tr><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra dentro de un conjunto encima del cuarto de energia a 100 m se encuentra ubicado el humedal juan amarillo, punto ubicado en zona residemncial, con alto flujo vehicular sobre la Av. Ciudad de cali. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2548 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><th rowspan="2">Ubicación</th><th rowspan="2">Fecha de inicio</th><th rowspan="2">Fecha de Finalización</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">CA 17. Casa Hilvar.</td><td rowspan="4">2022-05-04</td><td rowspan="4">2022-05-27</td><td>4°43'15,20´´</td><td>74°5'37,70"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>2.079.747,9</td><td>4.878.738,22</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra ubicada en la terraza de un predio privado, ubicado en zona residencial y comercial, se evidencia alto flujo vehicular en la zona de motos, carros y transporte público. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2553 m.s.n.m</td></tr>
<tr><th rowspan="2">Ubicación</th><th rowspan="2">Fecha de inicio</th><th rowspan="2">Fecha de Finalización</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">CA 18. Casa Graciela</td><td rowspan="4">2022-05-04</td><td rowspan="4">2022-05-27</td><td>4°43'34,63"</td><td>74°6'8,37"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>2.080.345,77</td><td>4.877.794,7</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra ubicada dentro de una terraza de predio privado, en zona residencial, rodeado de abundante vegetación y a 50 m del humedal juan amarillo, se evidencia flujo vehicular leve. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2550 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><th rowspan="2">Ubicación</th><th rowspan="2">Fecha de inicio</th><th rowspan="2">Fecha de Finalización</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">CA 19. Fama</td><td rowspan="4">2022-05-04</td><td rowspan="4">2022-05-27</td><td>4°44'1,29´´</td><td>74°6'9,62"</td></tr>
<tr><th colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</th></tr>
<tr><th>Norte (Y)</th><th>Este (X)</th></tr>
<tr><td>2.081.164,23</td><td>4.877.757,36</td></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
</table>

Estaciones de monitoreo	
	La estación de monitoreo se encuentra ubicada en la terraza de un predio privado de venta de productos cárnicos, se encuentra ubicado dentro de zona residencial y comercial, alto flujo vehicular sobre la carrera 106 y la calle 130 C, se evidencian restaurantes, panaderías y asaderos de pollos. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA). Altitud: 2555 m.s.n.m.

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 379. Descripción de puntos de monitoreo.

Estaciones de monitoreo				
Ubicación	**Fecha de inicio**	**Fecha de Finalización**	**Coordenadas Geográficas**	
			Latitud	**Longitud**
CA 20. Conjunto Tibabuyes	2022-06-13	2022-07-06	4°44'15,90´´	74°6'27,69"
			Coordenadas Origen Nacional Único	
			Norte (Y)	**Este (X)**
			2.081.613,82	4.877.201,42
			Descripción del punto de monitoreo	

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td colspan="3"> 
</td><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra ubicada dentro del conjunto nueva tibabuyes sector A, sobre el shut de residuos, en la parte trasera del conjunto residencial, sobre la carrera 124 y la calle 131, se evidencian vías cerradas que se usan como zona de parqueo, sector principalmente residencial, alto flujo vehicular y peatonal. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2550 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><th rowspan="2">Ubicación</th><th rowspan="2">Fecha de inicio</th><th rowspan="2">Fecha de Finalización</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="4">CA 21. Conjunto Yaiti</td><td rowspan="4">2022-05-04</td><td rowspan="4">2022-05-27</td><td>4°45'07,43´´</td><td>74°6'29,37"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>2.083.195,69</td><td>4.877.152,35</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra ubicada en conjunto residencial en la parte trasera al lado del salón comunal, se evidencia bastantes unidades residenciales y comerciales, adicionalmente se evidencia un potrero utilizado para el sector ganadero, flujo vehicular moderado específicamente de automóviles y transporte público. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2544 m.s.n.m</td></tr>
<tr><th rowspan="2">Ubicación</th><th rowspan="2">Fecha de inicio</th><th rowspan="2">Fecha de Finalización</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
<tr><th>Latitud</th><th>Longitud</th></tr>
<tr><td rowspan="3">CA 22.Conjunto de Aire Alicante.</td><td rowspan="3">2022-05-04</td><td rowspan="3">2022-05-27</td><td>4°45'11,92´´</td><td>74°6'46,08"</td></tr>
<tr><th colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</th></tr>
<tr><th>Norte (Y)</th><th>Este (X)</th></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo

La estación de monitoreo se encuentra ubicada dentro del conjunto Allicante de Suba, en una zona residencial y escolar, sobre la calle 144 C, zona con tránsito constante de personas y vehículos particulares. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2546 m.s.n.m.</td></tr>
<tr><th>Ubicación</th><th>Fecha de inicio</th><th>Fecha de</th><th colspan="2">Coordenadas Geográficas</th></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Finalización</td><td>Latitud</td><td>Longitud</td></tr>
<tr><td rowspan="4">CA 23. Quintas de Santa Rita III.</td><td rowspan="4">2022-05-04</td><td rowspan="4">2022-05-27</td><td>4°45'27,02´´</td><td>74°7'3,12"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td>2.083.798,76</td><td>4.876.113,75</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">  </td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
<tr><td colspan="2">La estación de monitoreo se encuentra ubicada en conjunto residencial sobre la portería principal, sobre la calle 147 frente a una zona verde, utilizada para pastoreo de vacas, caballos y cabras, tránsito constante de personas y vehículos de transporte público. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA).

Altitud: 2543 m.s.n.m.</td></tr>
</table>

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 380. Descripción de puntos de monitoreo.

<table>
<tr><th colspan="5">Estaciones de monitoreo</th></tr>
<tr><td rowspan="5">CA 24. Quintas de Santa Rita II.</td><td rowspan="5">2022-05-04</td><td rowspan="5">2022-05-27</td><td colspan="2">Coordenadas Geográficas</td></tr>
<tr><td>Latitud</td><td>Longitud</td></tr>
<tr><td>4°45'30,87´´</td><td>74°7'3,37"</td></tr>
<tr><td colspan="2">Coordenadas Origen Nacional Único</td></tr>
<tr><td>Norte (Y)</td><td>Este (X)</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>2.083.916,89</td><td>4.876.106,31</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">Descripción del punto de monitoreo</td></tr>
</table>

	La estación de monitoreo se encuentra ubicada dentro del conjunto quintas de Santa Rita II, frente a una zona verde, zona residencial y comercial, transitada en su mayoría por personas y vehículos como motos, automóviles particulares y de servicio público. La ubicación cumple con los criterios establecidos en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA). Altitud: 2542 m.s.n.m.

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

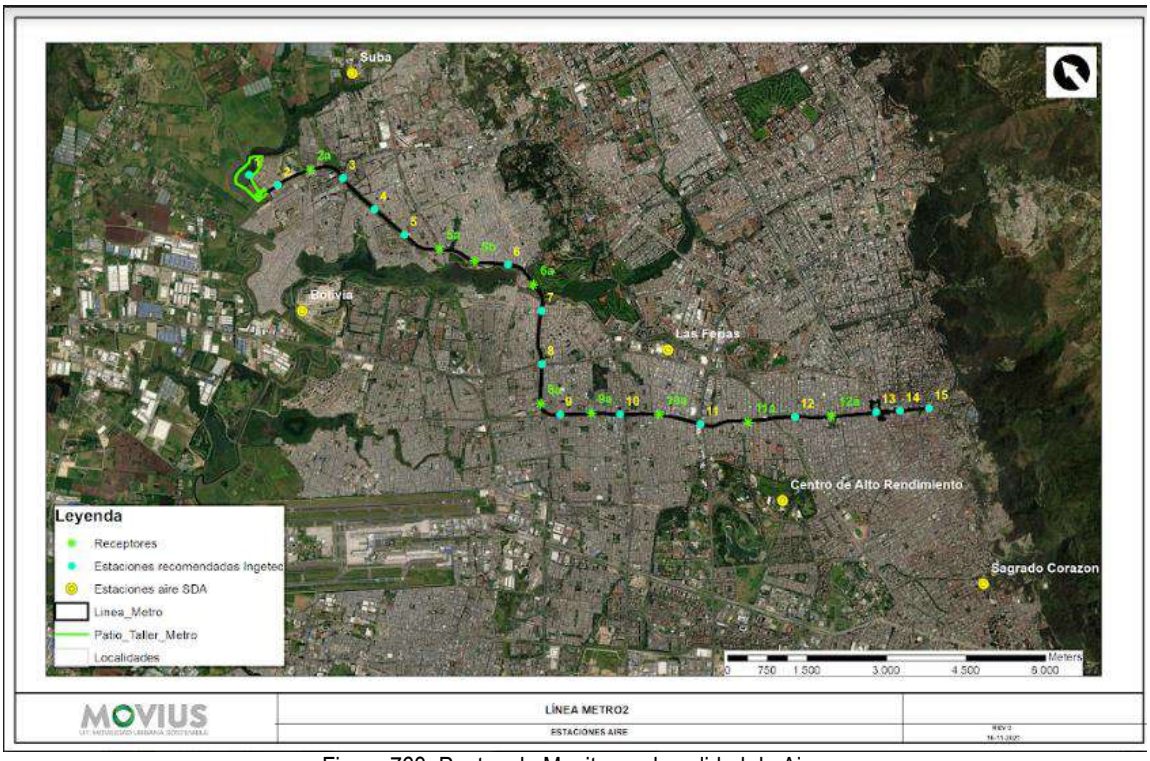


Figura 763. Puntos de Monitoreo de calidad de Aire.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.3.3.2. Resultados

- **Material Particulado PM_{10}**

A continuación, se presenta el análisis estadístico de los resultados de las concentraciones de PM_{10}. De la Tabla 383 a la Tabla 385 se identifican las variables estadísticas para la determinación de los datos atípicos: número de datos, promedio aritmético, desviación estándar, mediana (m), percentil 75% (Q3), percentil 25% (Q1), distancia intercuartílica (IQR=Q3-Q1) , rango intercuartílico máximo (m+3*IQR), rango intercuartílico mínimo (m- 3*IQR), (los cuales surgen de aplicar la definición del protocolo de tres distancias intercuartílicas por encima y por debajo de la mediana), máxima concentración reportada y mínima concentración reportada, con sus respectivas fechas.

Tabla 381. Resultados de las concentraciones diarias de PM10 - Parte 1

ID	Fecha	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
1	2022-05-04	92,35	79,77	15,65	32,43	69,03	70,43	28,37	117,22	41,72	67,05
2	2022-05-05	87,29	44,60	28,85	33,41	26,24	57,28	53,87	102,15	49,71	102,82

ID	Fecha	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
3	2022-05-06	64,92	31,30	43,63	44,81	39,93	68,12	34,75	65,61	31,62	75,41
4	2022-05-07	44,29	12,11	56,13	25,94	56,18	36,22	29,54	73,41	35,97	95,06
5	2022-05-08	31,20	14,14	35,40	63,81	61,61	52,52	33,09	82,39	34,85	93,41
6	2022-05-09	20,31	18,15	18,57	29,95	28,48	28,89	37,78	55,58	46,47	89,17
7	2022-05-10	39,21	28,85	24,70	55,11	36,56	35,12	50,16	49,45	22,60	83,03
8	2022-05-11	41,29	24,37	23,61	72,46	35,49	55,75	54,71	80,28	43,18	98,69
9	2022-05-12	85,14	16,34	58,44	93,06	71,22	40,72	58,47	123,61	52,86	128,87
10	2022-05-13	45,86	31,87	36,04	81,35	42,97	37,71	28,25	66,31	35,41	80,93
11	2022-05-14	46,97	43,77	30,93	55,35	37,89	33,29	44,04	87,49	34,70	73,94
12	2022-05-15	45,60	45,65	36,22	70,93	44,52	36,54	49,97	87,34	37,90	91,99
13	2022-05-16	54,65	81,50	38,52	70,96	32,69	37,53	74,44	92,31	59,11	41,36
14	2022-05-17	50,44	56,48	43,35	53,15	39,09	50,37	41,43	89,69	58,70	49,88
15	2022-05-18	98,93	47,61	60,58	71,60	70,31	35,37	62,38	91,13	56,33	97,71
16	2022-05-19	34,29	30,67	38,41	51,18	58,42	35,72	71,75	77,76	41,47	73,35
17	2022-05-20	47,19	28,25	40,21	45,72	40,20	37,12	41,22	62,54	33,65	89,15
18	2022-05-21	48,38	21,39	33,80	78,20	44,67	24,16	32,59	64,95	33,56	95,38
19	2022-05-22	31,40	22,26	33,36	22,75	44,13	31,89	33,70	60,88	45,66	90,95
20	2022-05-23	33,57	35,90	37,22	42,23	40,52	38,71	49,97	61,19	51,71	81,34
21	2022-05-24	31,38	60,85	30,57	71,13	47,10	49,02	66,35	60,84	76,11	112,96
22	2022-05-25	26,98	57,94	30,96	27,20	50,18	61,44	42,26	89,19	63,33	175,23
23	2022-05-26	48,75	22,44	76,91	33,09	64,32	46,24	39,54	47,43	45,61	114,75
24	2022-05-27	90,22	89,93	75,76	89,85	69,34	28,70	77,24	80,16	53,52	132,49

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 382. Resultados de las concentraciones diarias de PM10 - Parte 2

ID	Fecha	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta del este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
1	2022-05-24	47,18	43,10	96,01	61,82	26,66	19,05	46,51	33,30	58,26	24,30
2	2022-05-25	41,39	60,57	46,11	63,77	20,40	83,20	67,60	32,96	47,98	35,27
3	2022-05-26	44,80	44,18	108,50	41,26	20,53	88,08	29,53	30,99	48,75	10,68
4	2022-05-27	37,96	54,51	100,66	45,80	29,56	74,39	27,33	33,91	46,31	17,30
5	2022-05-28	30,68	47,64	88,87	37,42	31,41	79,50	16,20	39,29	31,52	27,61
6	2022-05-29	48,88	47,03	84,97	36,13	33,13	74,09	20,76	36,46	36,98	21,13
7	2022-05-30	52,44	32,52	45,26	25,77	25,65	68,07	39,92	55,50	35,29	18,14
8	2022-05-31	75,72	42,93	75,30	29,81	21,62	82,20	22,51	30,21	34,58	29,93
9	2022-06-01	41,05	63,41	31,93	68,54	28,38	55,46	32,83	25,31	68,06	45,98

ID	Fecha	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta del este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
10	2022-06-02	41,41	25,58	45,33	32,53	21,30	60,55	27,92	27,98	37,15	17,92
11	2022-06-03	50,82	31,62	56,13	35,89	28,04	60,45	29,53	62,87	33,11	18,26
12	2022-06-04	55,70	33,24	56,99	45,41	35,76	55,91	19,66	44,54	45,00	14,53
13	2022-06-05	41,93	56,54	72,46	53,40	30,76	58,31	23,24	31,85	39,50	19,58
14	2022-06-06	55,45	50,94	73,68	39,75	31,84	80,14	36,09	38,56	59,28	26,24
15	2022-06-07	65,62	67,85	69,63	63,32	35,76	51,71	33,73	41,02	47,21	27,91
16	2022-06-08	74,83	43,75	34,87	39,30	30,84	99,66	18,43	43,86	32,36	23,59
17	2022-06-09	52,64	29,35	57,32	26,23	22,47	72,02	27,26	37,93	45,82	21,67
18	2022-06-10	23,49	33,58	52,96	25,49	26,08	74,54	24,93	49,27	36,19	21,43
19	2022-06-11	45,60	43,68	37,34	34,84	22,60	92,71	21,25	115,25	47,78	31,91
20	2022-06-12	80,89	36,21	42,17	33,20	28,25	65,00	43,91	58,04	51,08	22,64
21	2022-06-13	61,39	30,61	61,89	57,12	33,79	50,75	30,12	63,91	30,94	33,71
22	2022-06-14	37,47	37,43	59,16	55,61	41,88	44,31	18,18	64,37	35,79	8,16
23	2022-06-15	30,73	54,94	44,89	62,25	34,99	98,32	31,80	77,80	36,07	40,48
24	2022-06-16	42,02	60,25	91,88	75,31	40,91	86,18	28,12	32,96	60,77	64,25

Nota: Los valores identificados en rojo se encuentran por fuera de los límites del rango intercuartílico establecido por el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad de Aire.
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.T

Tabla 383. Resultados de las concentraciones diarias de PM10 - Parte 3

ID	Fecha	CA 7. Casa Edilberto	CA 10. Universidad Pedagógica	CA 11. Sala de negocios	CA 20. Conjunto Tibabuyes
1	2022-06-13	98,64	52,06	30,81	31,72
2	2022-06-14	56,38	101,73	47,51	56,83
3	2022-06-15	52,51	162,02	52,92	48,25
4	2022-06-16	65,76	33,11	54,94	48,90
5	2022-06-17	41,46	44,20	48,13	60,22
6	2022-06-18	45,66	27,61	24,01	61,64
7	2022-06-19	46,37	30,22	71,78	83,50
8	2022-06-20	31,41	38,93	62,95	49,06
9	2022-06-21	63,37	40,71	49,80	61,63
10	2022-06-22	81,24	34,98	56,30	58,32
11	2022-06-23	60,53	33,20	58,24	38,88
12	2022-06-24	35,82	37,38	48,56	30,84
13	2022-06-25	82,39	22,47	109,44	80,05
14	2022-06-26	43,63	11,45	36,39	43,84
15	2022-06-27	62,35	27,56	40,18	40,59
16	2022-06-28	75,48	26,26	47,42	58,06

ID	Fecha	CA 7. Casa Edilberto	CA 10. Universidad Pedagógica	CA 11. Sala de negocios	CA 20. Conjunto Tibabuyes
17	2022-06-29	25,75	37,26	48,51	78,09
18	2022-06-30	67,73	15,87	22,05	85,83
19	2022-07-01	42,82	7,39	20,63	47,13
20	2022-07-02	42,08	22,56	40,86	33,05
21	2022-07-03	60,51	27,26	38,82	37,09
22	2022-07-04	95,27	41,79	22,73	35,98
23	2022-07-05	66,78	49,69	39,22	45,01
24	2022-07-06	91,07	40,75	31,94	68,06

Nota: Los valores identificados en rojo se encuentran por fuera de los límites del rango intercuartílico establecido por el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad de Aire.
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 384. Análisis estadístico - Concentraciones PM10 (µg/m3) - Parte 1

Variable estadística	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
Número de datos	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Promedio aritmético	51,69	39,42	39,49	54,82	47,96	42,87	47,33	77,87	45,24	93,12
Desviación estándar	22,71	22,02	15,83	21,30	13,79	12,57	14,92	19,66	12,20	27,44
Mediana (m)	46,41	31,59	36,13	54,13	44,33	37,62	43,15	78,96	44,39	91,47
Q1	33,75	22,30	30,66	33,17	38,19	35,18	33,96	61,53	34,99	76,79
Q3	62,35	54,27	43,56	71,48	60,82	51,99	57,53	89,56	53,35	101,79
IQR=Q3-Q1	28,80	31,96	12,90	38,31	22,63	16,80	23,57	28,03	18,36	25,00
m-3*IQR	-39,38	-64,30	-2,58	-60,82	-23,56	-12,79	-27,57	-5,14	-10,70	16,47
m+3*IQR	132,21	127,47	74,84	169,07	112,22	88,03	113,87	163,06	99,48	166,47
Concentraciones atípicas	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Máxima concentración reportada	98,93	89,93	76,91	93,06	71,22	70,43	77,24	123,61	76,11	175,23
Fecha máxima concentración reportada	2022-05-18	2022-05-27	2022-05-26	2022-05-12	2022-05-12	2022-05-04	2022-05-27	2022-05-12	2022-05-24	2022-05-25
Mínima concentración reportada	20,31	12,11	15,65	22,75	22,75	24,16	28,25	47,43	22,60	41,36

Variable estadística	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
Fecha mínima concentración reportada	2022-05-09	2022-05-07	2022-05-04	2022-05-22	2022-05-22	2022-05-21	2022-05-13	2022-05-26	2022-05-10	2022-05-16

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 385. Análisis estadístico - Concentraciones PM10 (µg/m3) - Parte 2

Variable estadística	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta de este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
Número de datos	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Promedio aritmético	49,17	44,65	63,93	45,83	29,27	69,77	29,89	46,17	43,58	25,94
Desviación estándar	14,49	11,94	22,13	14,43	6,13	18,74	11,27	20,17	10,36	12,06
Mediana (m)	46,39	43,72	58,24	40,50	28,97	73,05	28,02	38,92	42,25	23,11
Q1	41,14	33,32	45,28	35,00	23,36	56,51	21,57	32,96	35,42	18,17
Q3	55,64	54,83	82,55	60,54	33,62	82,95	33,50	57,40	48,56	31,41
IQR=Q3-Q1	14,50	21,51	37,28	25,64	10,26	26,44	11,94	24,44	13,14	13,24
m-3*IQR	2,89	-20,81	-53,59	-36,42	-1,82	-6,27	-7,80	-34,41	2,83	-16,62
m+3*IQR	89,89	108,24	170,07	117,43	59,76	152,37	63,84	112,25	81,67	62,85
Concentraciones atípicas	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
Máxima concentración reportada	80,89	67,85	108,50	75,31	41,88	99,66	67,60	115,25	68,06	64,25
Fecha máxima concentración reportada	2022-05-23	2022-05-18	2022-05-06	2022-05-27	2022-05-25	2022-05-19	2022-05-05	2022-05-22	2022-05-12	2022-05-27
Mínima concentración reportada	23,49	25,58	31,93	25,77	20,40	19,05	16,20	25,31	34,94	8,16
Fecha mínima concentración reportada	2022-05-21	2022-05-13	2022-05-12	2022-05-10	2022-05-05	2022-05-04	2022-05-08	2022-05-12	2022-05-24	2022-05-25

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 386. Análisis estadístico - Concentraciones PM10 (µg/m3) - Parte 3

Variable estadística	CA 7. Casa Edilberto	CA 10. Universidad Pedagógica	CA 11. Sala de negocios	CA 20. Conjunto Tibabuyes
Número de datos	24	24	24	24
Promedio aritmético	59,79	40,27	46,01	53,44
Desviación estándar	20,12	31,57	19,02	16,60
Mediana (m)	60,52	34,09	47,47	48,98
Q1	43,03	26,51	33,05	39,31
Q3	73,54	41,53	54,43	61,64
IQR=Q3-Q1	30,52	15,02	21,38	22,33
m-3*IQR	-31,03	-10,98	-16,67	-18,01
m+3*IQR	152,06	79,15	111,61	115,97
Concentraciones atípicas	0	2	1	0
Máxima concentración reportada	98,64	162,02	109,44	85,83
Fecha máxima concentración reportada	2022-06-13	2022-06-15	2022-06-25	2022-06-30
Mínima concentración reportada	25,75	7,39	20,63	30,84
Fecha mínima concentración reportada	2022-06-29	2022-07-01	2022-07-01	2022-06-24

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

La estación CA 1. Gimnasio Moderno presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 20,31 µg/m3 el día 09 de mayo de 2022 y 98,93 µg/m3 el día 18 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 759. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 79,16% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración de los días 1, 2, 9, 15 y 24 presentaron niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado por la presencia de resuspensión de material particulado cerca a la estación de monitoreo por paso de vehículos sobre todo de transporte público que pasa por las vías cercanas.

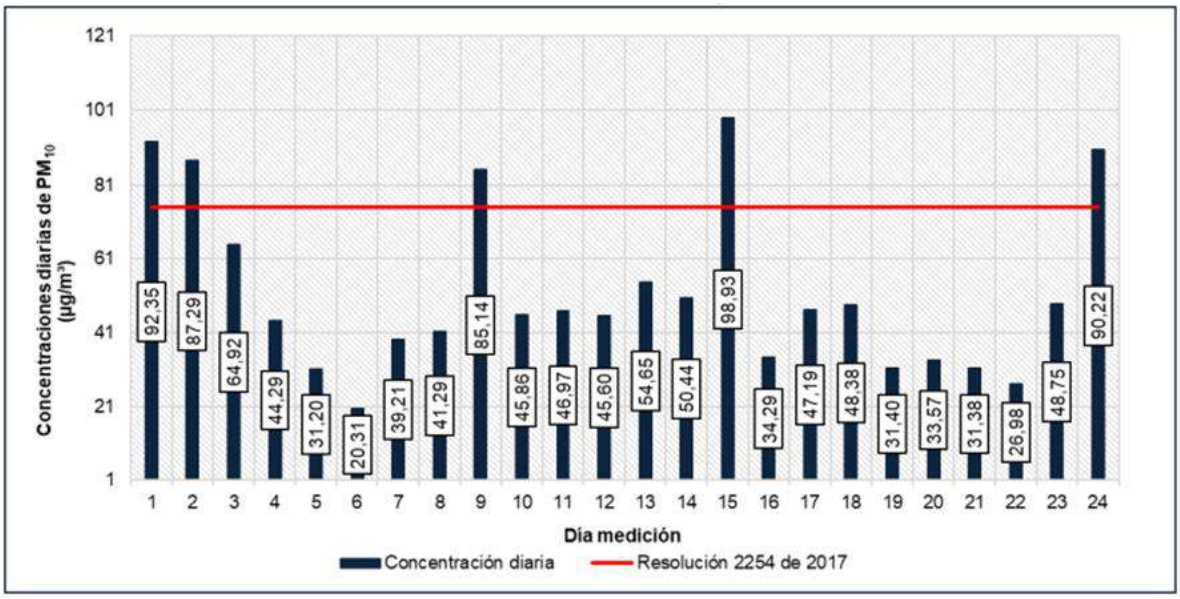


Figura 764. Concentraciones diarias de PM10 – CA 1. Gimnasio Moderno
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

En cuanto a la estación CA 2. Casa Jose Galo, presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 12,11 µg/m3 el día 7 de mayo de 2022 y 89,93 µg/m3 el día 27 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 760. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 87,5% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración de los días 1, 13 y 24 presentaron niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado por la presencia de resuspensión de material particulado cerca a la estación de monitoreo por paso de vehículos sobre todo de transporte público que pasa por las vías cercanas (avenida caracas).

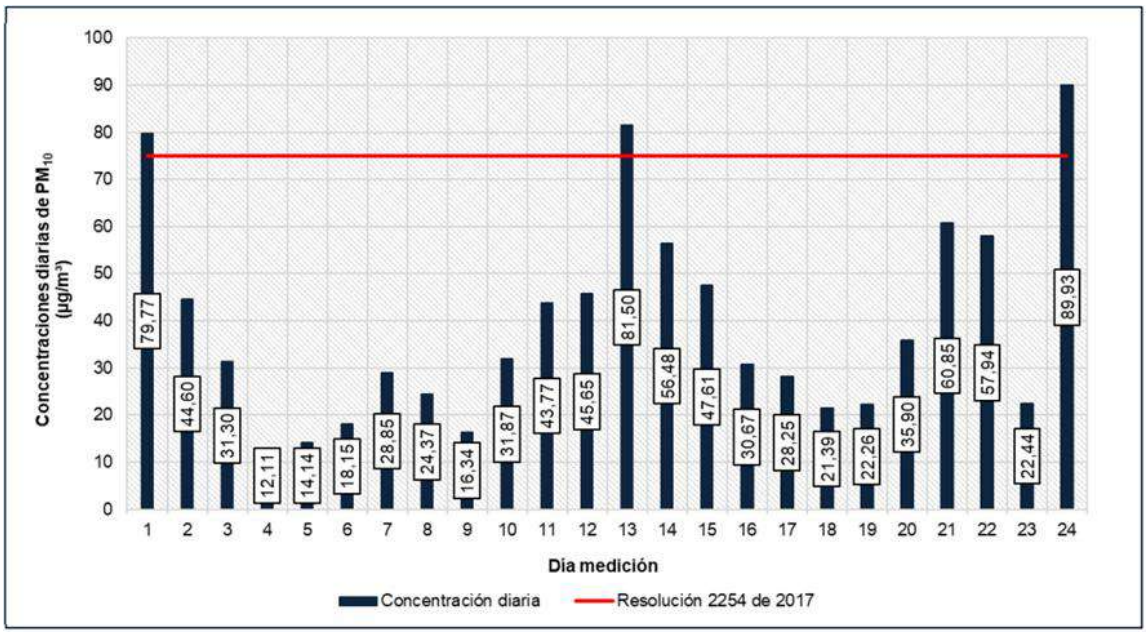


Figura 765. Concentraciones diarias de PM10 – CA 2. Casa Jose Galo
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 3. Colegio San Felipe Neri, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 15,65 µg/m3 el día 04 de mayo de 2022 y 76,91 µg/m3 el día 26 de junio de 2022, tal y como se observa en la Figura 606. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 91,66% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración de los días 23 y 24 presentaron niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado por el paso de vehículos que pasa por las vías cercanas, ya que a pocas cuadras se encuentra un concesionario.

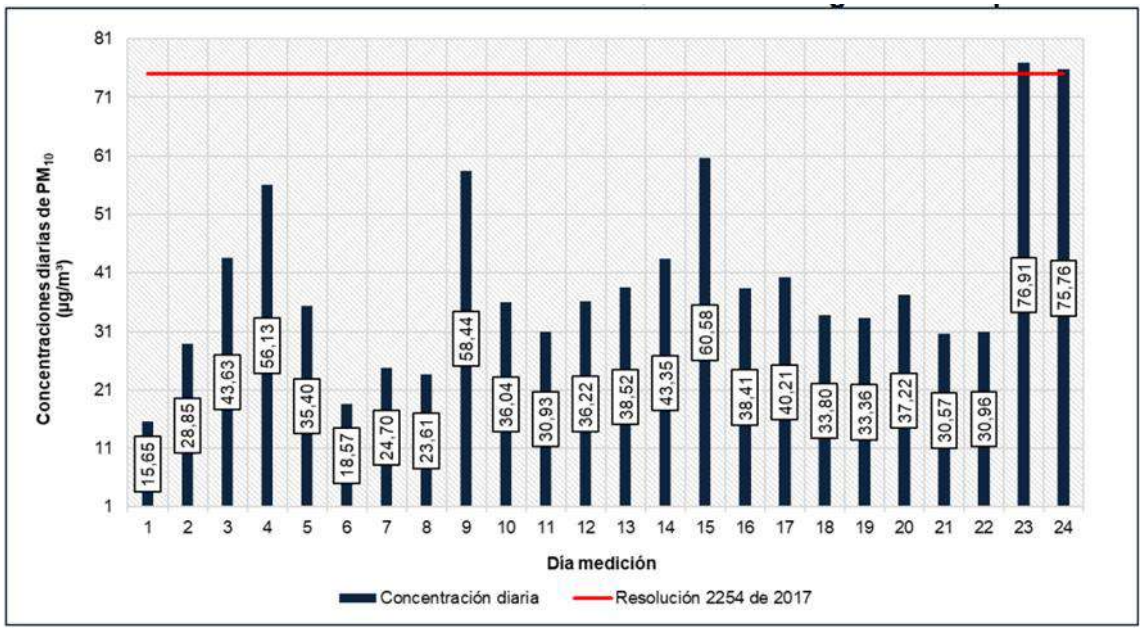


Figura 766. Concentraciones diarias de PM10 – CA 3. Colegio San Felipe Neri
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 4. Colegio Liceo VAL, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 22,75 µg/m3 el día 22 de mayo de 2022 y 93,06 µg/m3 el día 12 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 762. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 83,33% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración de los días 9, 10, 18 y 24 presentaron niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado por el tráfico de fuentes móviles que pasa por las vías cercanas como la Av. carrera 30, así como las diferentes fábricas de madera y muebles que se encuentran en el sector.

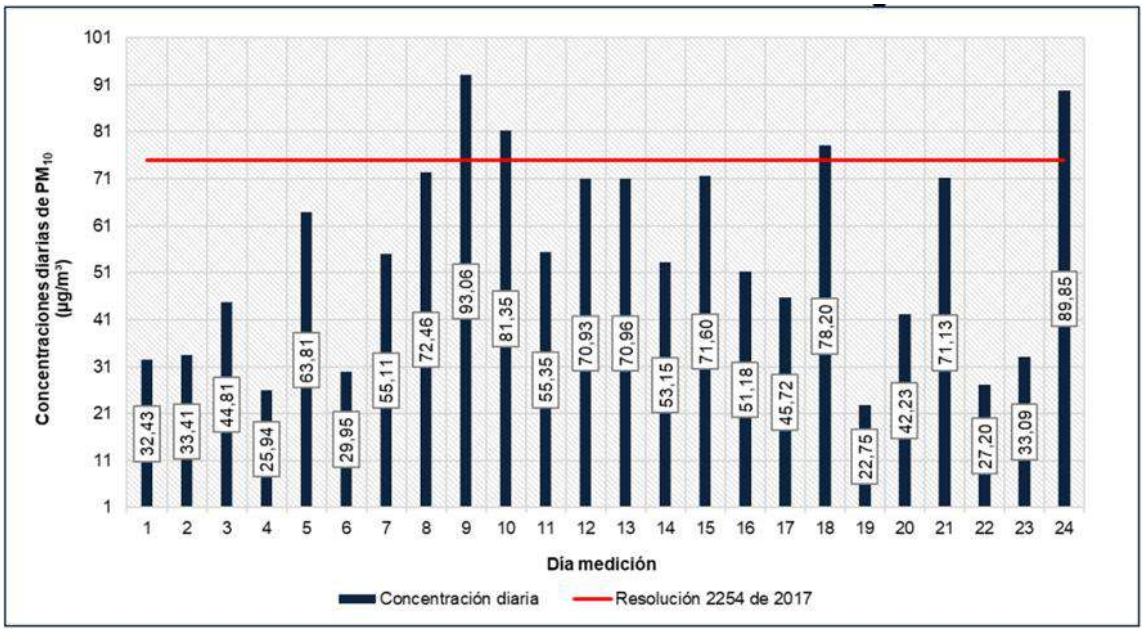


Figura 767. Concentraciones diarias de PM10 – CA 4. Colegio Liceo Val
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 5. Casa Luis Yomayusa, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 26,24 µg/m3 el día 05 de mayo de 2022 y 71,22 µg/m3 el día 12 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 763. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 100% de los días de monitoreo, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible.

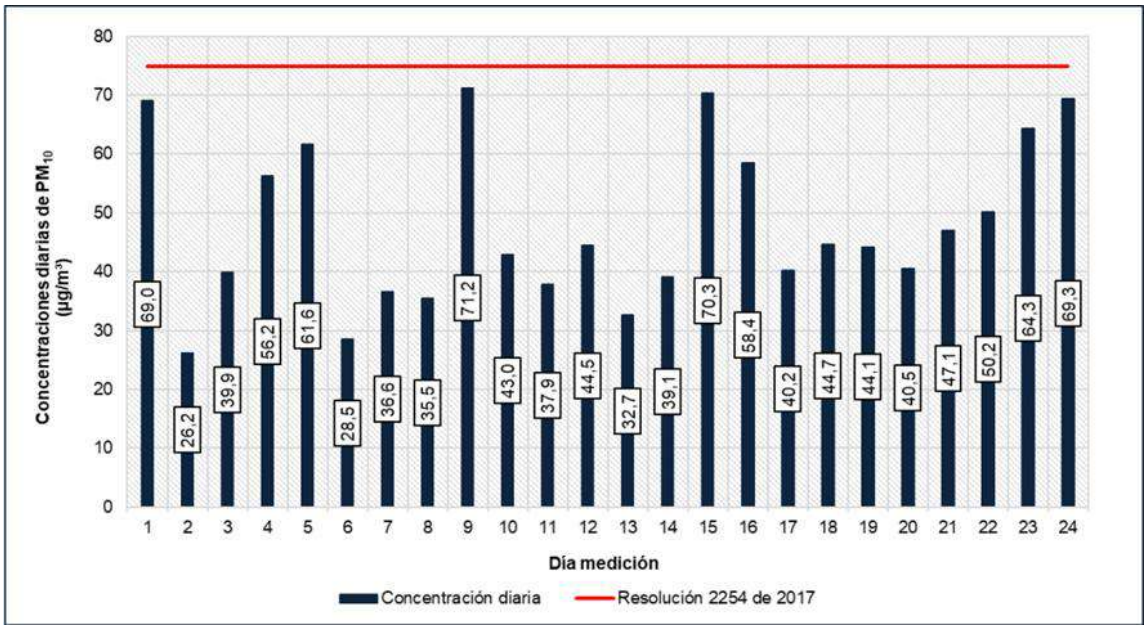


Figura 768. Concentraciones diarias de PM10 – CA 5. Casa Luis Yomayusa
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 6. Ofidrogas, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 24,16 µg/m3 el día 21 de mayo de 2022 y 70,43 µg/m3 el día 04 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 764. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 100% de los días de monitoreo, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible.

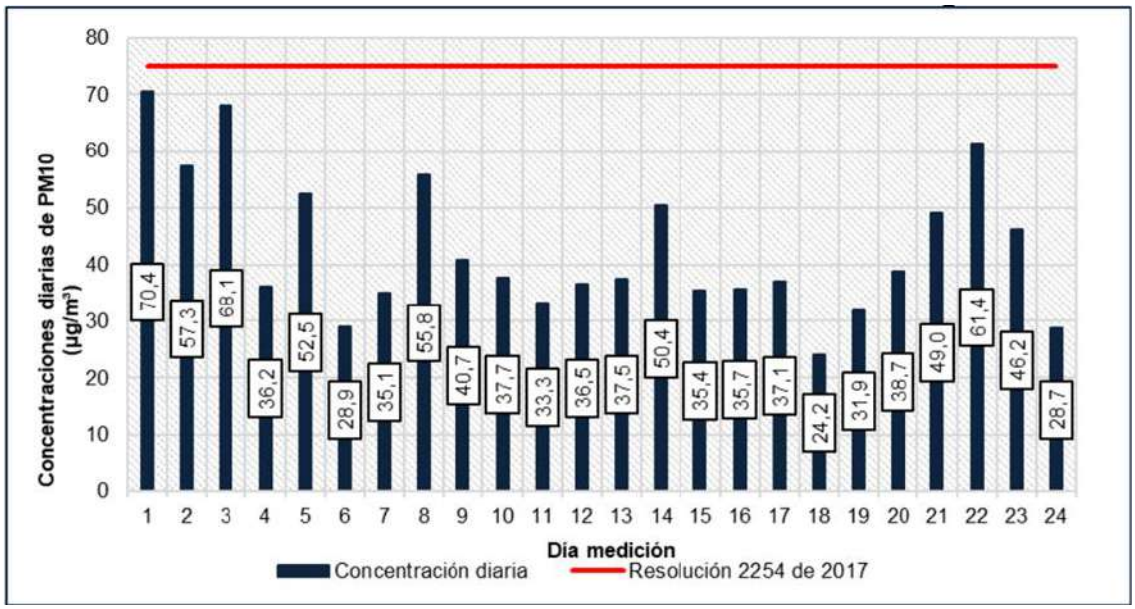


Figura 769. Concentraciones diarias de PM10 – CA 6. Ofidrogas
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 7. Casa Edilberto, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 25,75 µg/m3 el día 29 de junio de 2022 y 98,64 µg/m3 el día 13 de junio de 2022, tal y como se observa en la Figura 765. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 75% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración de los días 1, 10, 13, 16, 22 y 24 presentaron niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado por el tráfico de fuentes móviles que pasa por las vías cercanas como la Av. 68, así como los diferentes talleres automotrices que se encuentran en el sector.

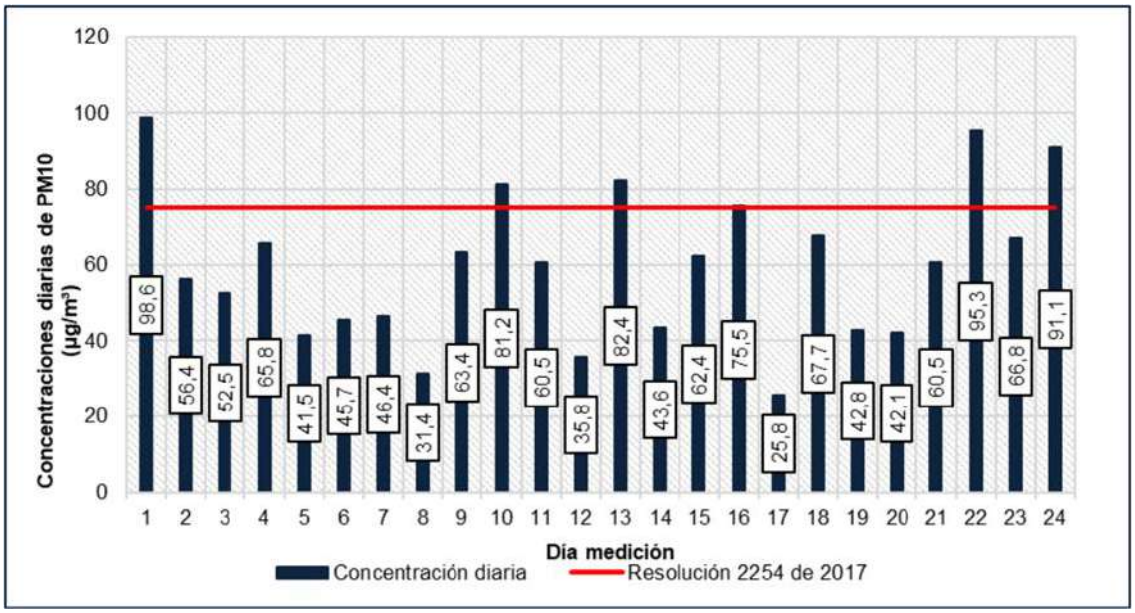


Figura 770. Concentraciones diarias de PM10 – CA 7. Casa Edilberto

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 8. Bomberos, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 28,25 µg/m3 el día 13 de mayo de 2022 y 77,24 µg/m3 el día 27 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 766. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 95,83% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración del día 24 presentó niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado principalmente por el paso vehicular sobre todo de transporte público que pasa por las vías aledañas como la Av. 68, la cual es una vía muy concurrida.

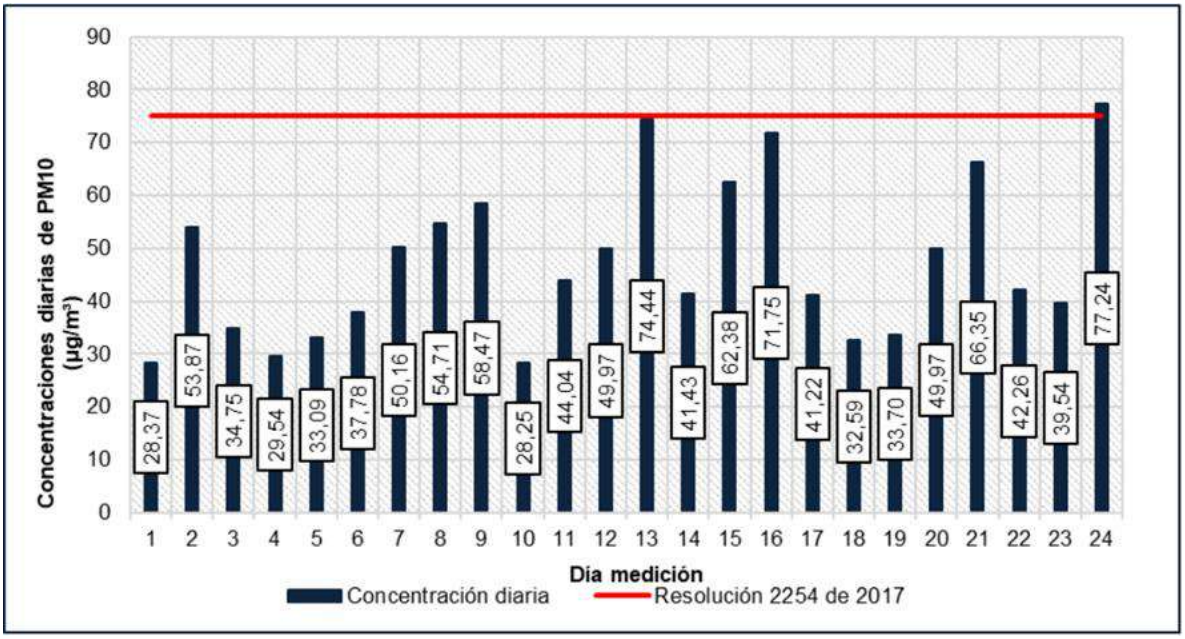


Figura 771. Concentraciones diarias de PM10 – CA 8. Bomberos
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 9. Casa Luz Dary, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 47,43 µg/m3 el día 26 de junio de 2022 y 123,61 µg/m3 el día 12 de junio de 2022, tal y como se observa en la Figura 767. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 45,83% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración de los días 1, 2, 5, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 22 y 23 presentaron niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado principalmente por el paso vehicular por las vías aledaña, así como la presencia de diferentes industrias de madera y madera que se encuentran en la zona.

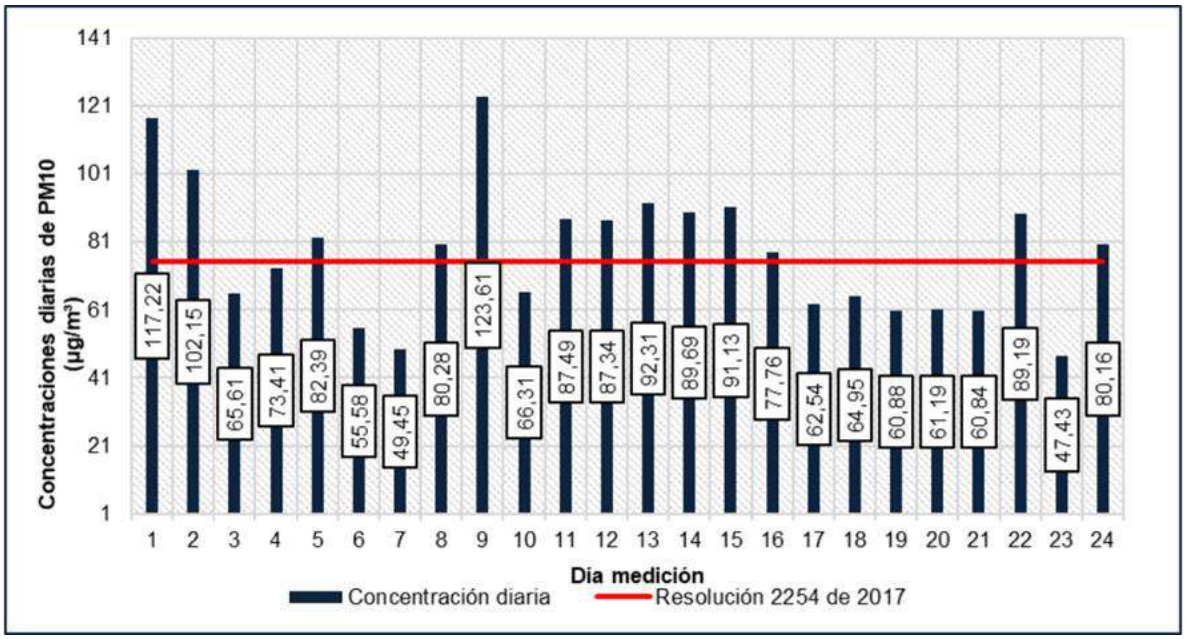


Figura 772. Concentraciones diarias de PM10 – CA 9. Casa Luz Dary
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 10. Universidad Pedagógica, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 7,39 µg/m3 el día 01 de julio de 2022 y 52,06 µg/m3 el día 13 de junio de 2022, tal y como se observa en la Figura 768. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 100% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible. Por otro lado, es importante mencionar, que fue necesario descartar dos (2) muestras correspondientes a los días 14 y 15 de junio de 2022, debido a que, al analizar su validez, el resultado fue marcado con "bandera T", la cual corresponde a que el dato no ha sufrido el proceso de validación adecuado (MAVDT , 2008). A partir de lo anterior, y teniendo en cuenta que el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del año 2010 del Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, establece que en un conjunto de datos se pueden llegar a descartar como un máximo el 25% de las muestras, sin que esto afecte la calidad del resultado. Para este caso, en la estación 10, se descartaron dos (2) muestras lo que corresponde al 8,33%.

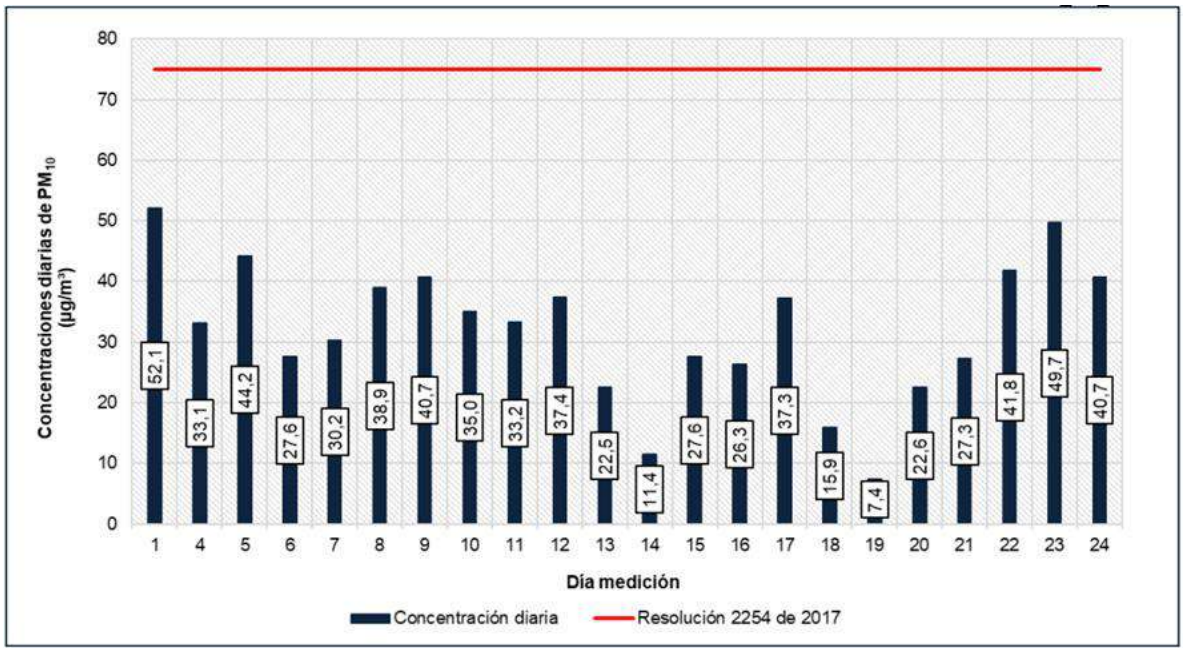


Figura 773. Concentraciones diarias de PM10 – CA 10. Universidad Pedagógica
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 11. Sala de negocios, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 20,63 µg/m3 el día 01 de julio de 2022 y 71,78 µg/m3 el día 19 de junio de 2022, tal y como se observa en la Figura 769. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 100% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, es importante mencionar, que fue necesario descartar una (1) muestra correspondiente al día 25 de junio de 2022, debido a que, al analizar su validez, el resultado fue marcado con "bandera T", la cual corresponde a que el dato no ha sufrido el proceso de validación adecuado (MAVDT , 2008). A partir de lo anterior, y teniendo en cuenta que el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del año 2010 del Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, establece que en un conjunto de datos se pueden llegar a descartar como un máximo el 25% de las muestras, sin que esto afecte la calidad del resultado. Para este caso, en la estación 11, se descartó una (1) muestra lo que corresponde al 1,16%.

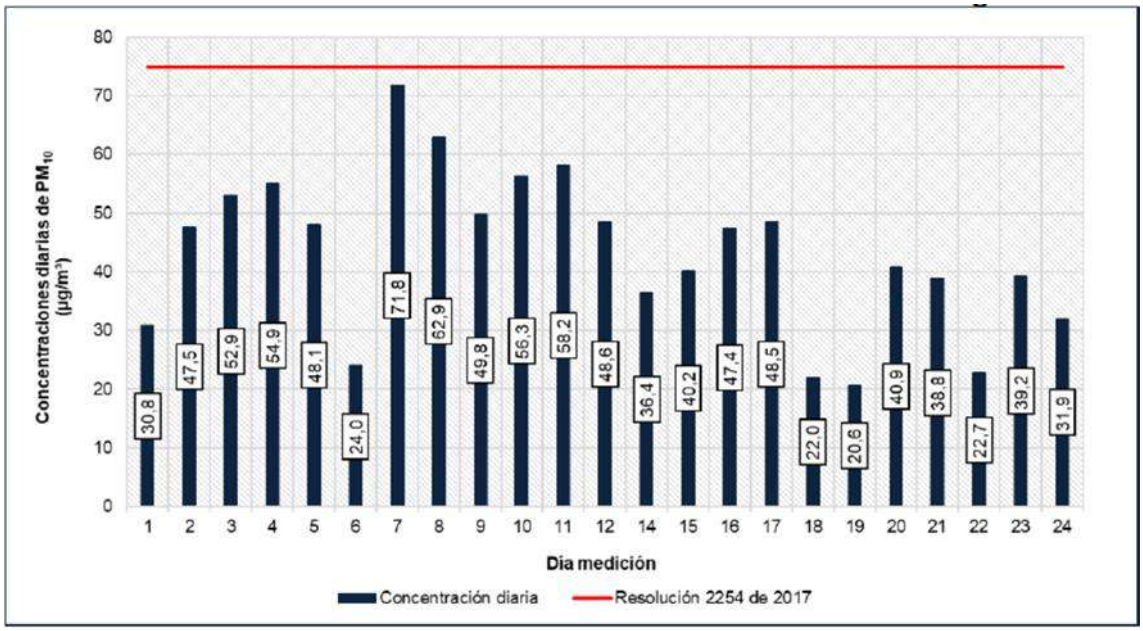


Figura 774. Concentraciones diarias de PM10 – CA 11. Sala de negocios
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 12. Salón comunal Almería, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 22,60 µg/m3 el día 10 de mayo de 2022 y 76,11 µg/m3 el día 24 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 770. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 95,83% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración del día 21 presentó niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado principalmente por las fuentes móviles que pasan por las vidas aledañas.

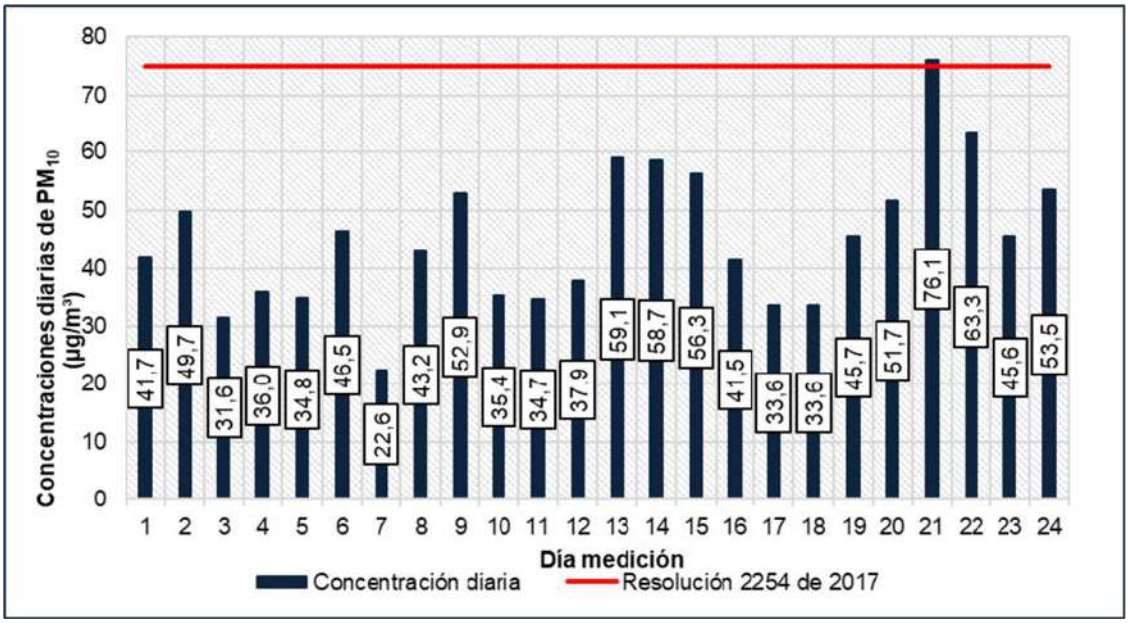


Figura 775. Concentraciones diarias de PM10 – CA 12. Salón comunal Almería

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 13. Casa Paulina Garcia, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 41,36 µg/m3 el día 16 de mayo de 2022 y 175,23 µg/m3 el día 25 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 771. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 20,83% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración de los días 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24 presentaron niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado principalmente por las fuentes móviles que pasan por las vidas aledañas, así mismo, dentro de la zona se encontraban diferentes talleres automotrices que pueden influenciar la medición.

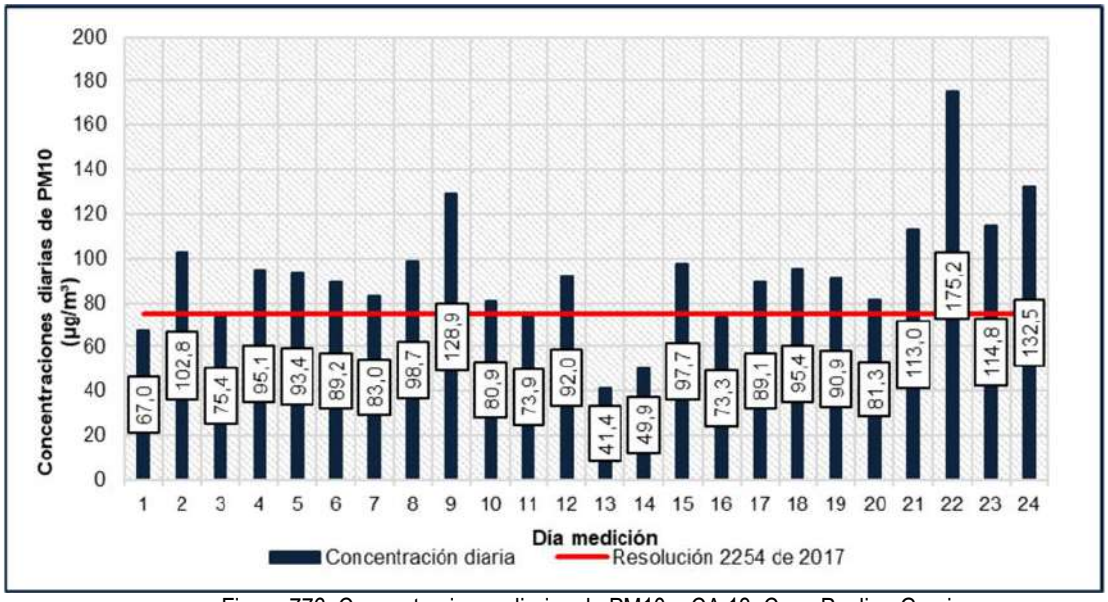


Figura 776. Concentraciones diarias de PM10 – CA 13. Casa Paulina Garcia
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 14. Casa Yeison Chitiva, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 23,49 µg/m3 el día 21 de mayo de 2022 y 80,89 µg/m3 el día 23 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 772. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 91,66% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración de los días 8 y 20 presentaron niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado principalmente por las fuentes móviles que pasan por las vidas aledañas.

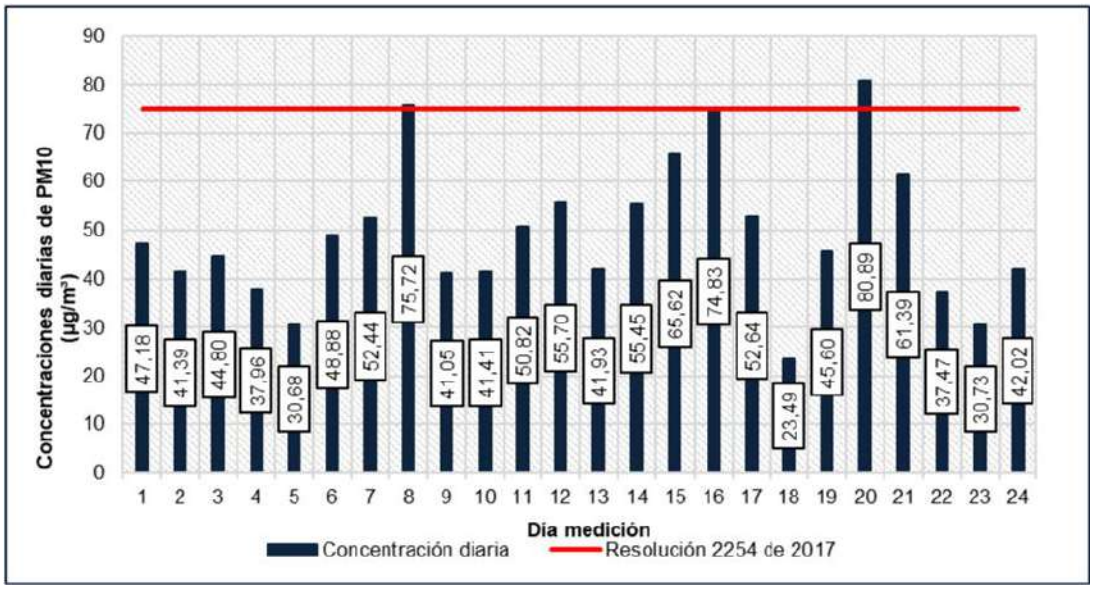


Figura 777. Concentraciones diarias de PM10 – CA 14. Casa Yeison Chitiva
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 15. Uniminuto, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 25,58 µg/m3 el día 13 de mayo de 2022 y 67,85 µg/m3 el día 18 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 773. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 100% de los días de monitoreo, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible.

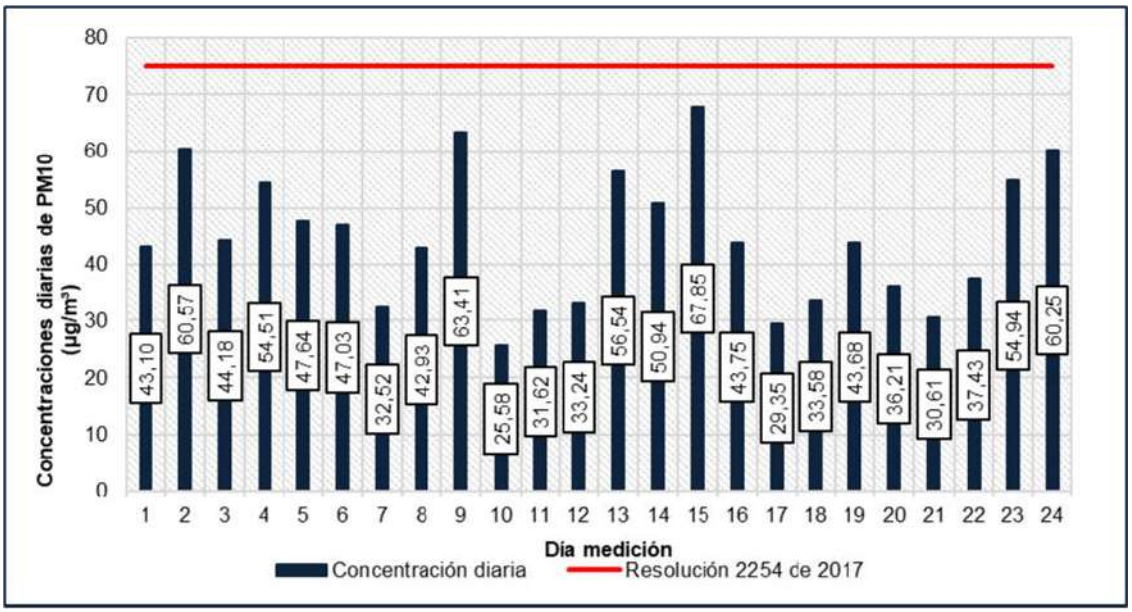


Figura 778. Concentraciones diarias de PM10 – CA 15. Uniminuto
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 16. Punta del Este, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 31,93 µg/m3 el día 12 de mayo de 2022 y 108,50 µg/m3 el día 06 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 774. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 70,83% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración de los días 1, 3, 4, 5, 6, 8, y 24 presentaron niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado principalmente por la presencia de fuentes móviles sobre todo de transporte público que pasa por las vías aledañas, como lo es la Avenida Ciudad de Cali.

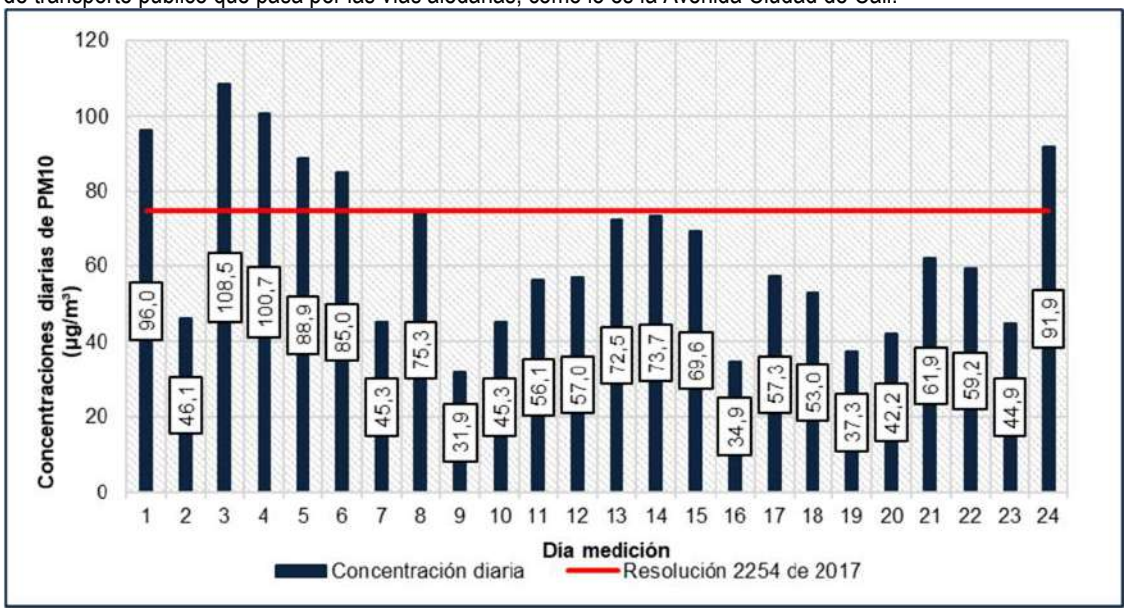


Figura 779. Concentraciones diarias de PM10 – CA 16. Punta del Este
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 17. Casa Hilvar, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 25,77 µg/m3 el día 10 de mayo de 2022 y 75,31 µg/m3 el día 27 de junio de 2022, tal y como se observa en la Figura 775. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 95,83% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración del día 24 presentó niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado principalmente por la presencia de fuentes móviles sobre todo de transporte público que pasa por las vías aledañas, como lo es la Avenida Ciudad de Cali.

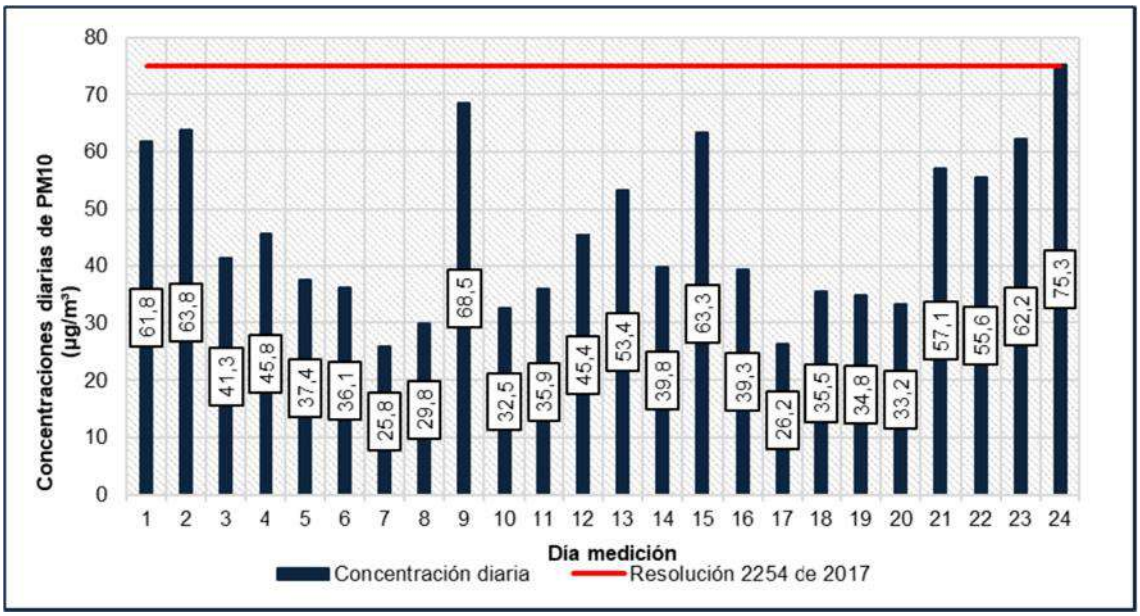


Figura 780. Concentraciones diarias de PM10 – CA 17. Casa Hilvar
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 18. Casa Graciela, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 20,40 µg/m3 el día 05 de mayo de 2022 y 41,88 µg/m3 el día 25 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 776. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 100% de los días de monitoreo, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible.

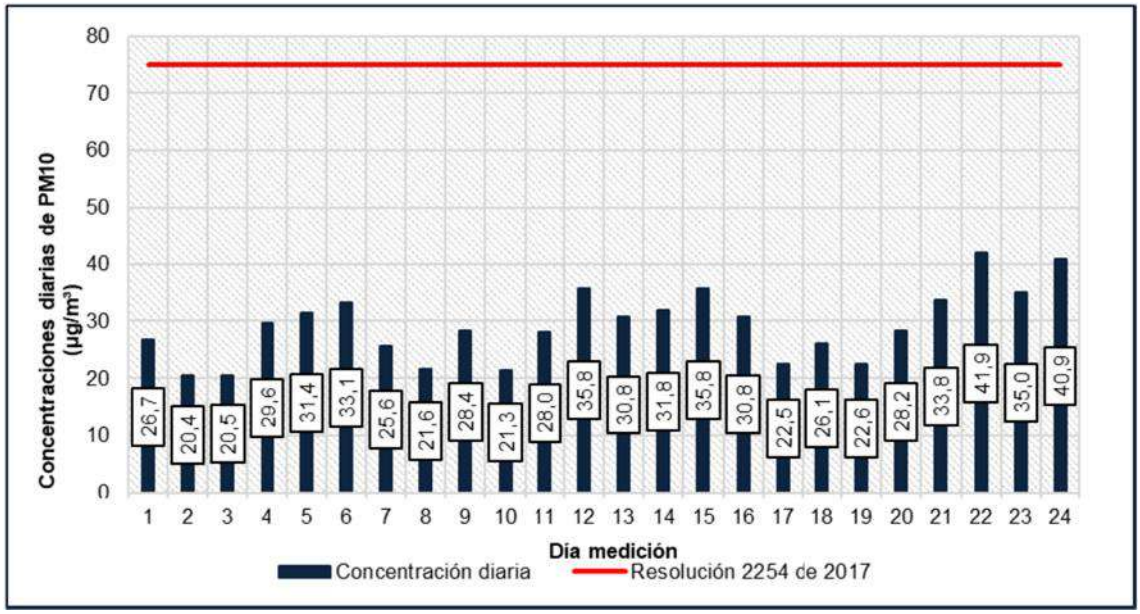


Figura 781. Concentraciones diarias de PM10 – CA 18. Casa Graciela
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 19. Fama, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 19,05 µg/m3 el día 04 de mayo de 2022 y 99,66 µg/m3 el día 19 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 777. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 62,5% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración de los días 2, 3, 5, 8, 14, 16, 19, 23 y 24 presentaron niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado principalmente por la presencia de fuentes móviles sobre todo de transporte público que pasa por las vías aledañas.

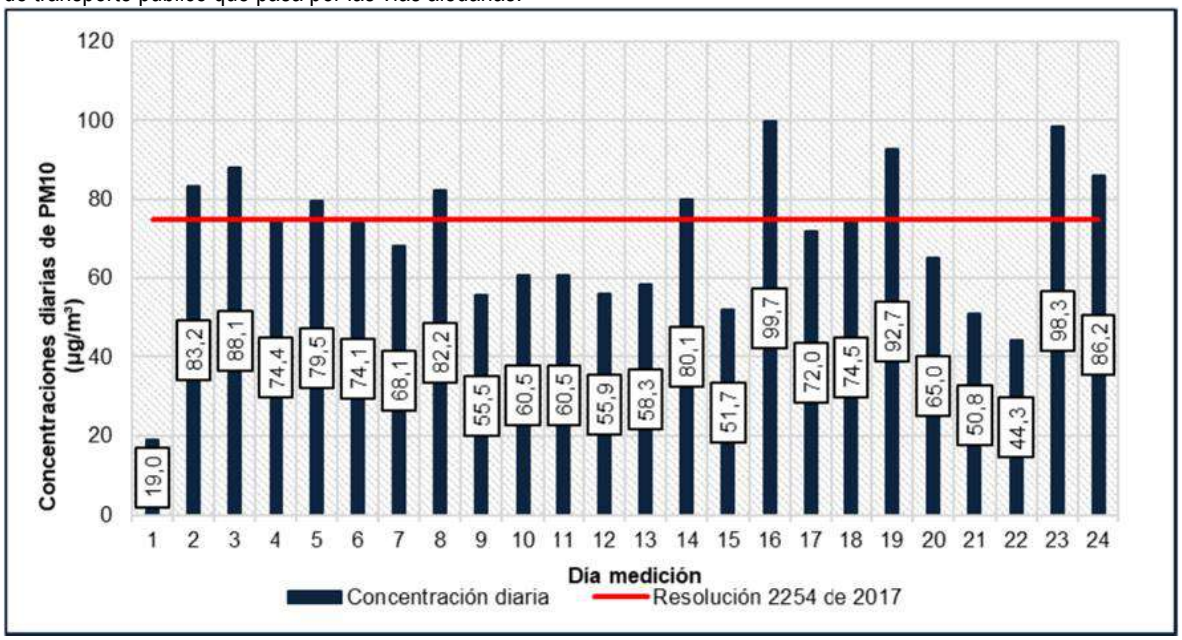


Figura 782. Concentraciones diarias de PM10 – CA 19. Fama
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 20. Conjunto Tibabuyes, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 30,84 µg/m3 el día 24 de mayo de 2022 y 85,83 µg/m3 el día 21 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 778. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 83,33% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración de los días 7, 13, 17 y 18 presentaron niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado principalmente por la presencia de fuentes móviles que pasan por las vías aledañas.

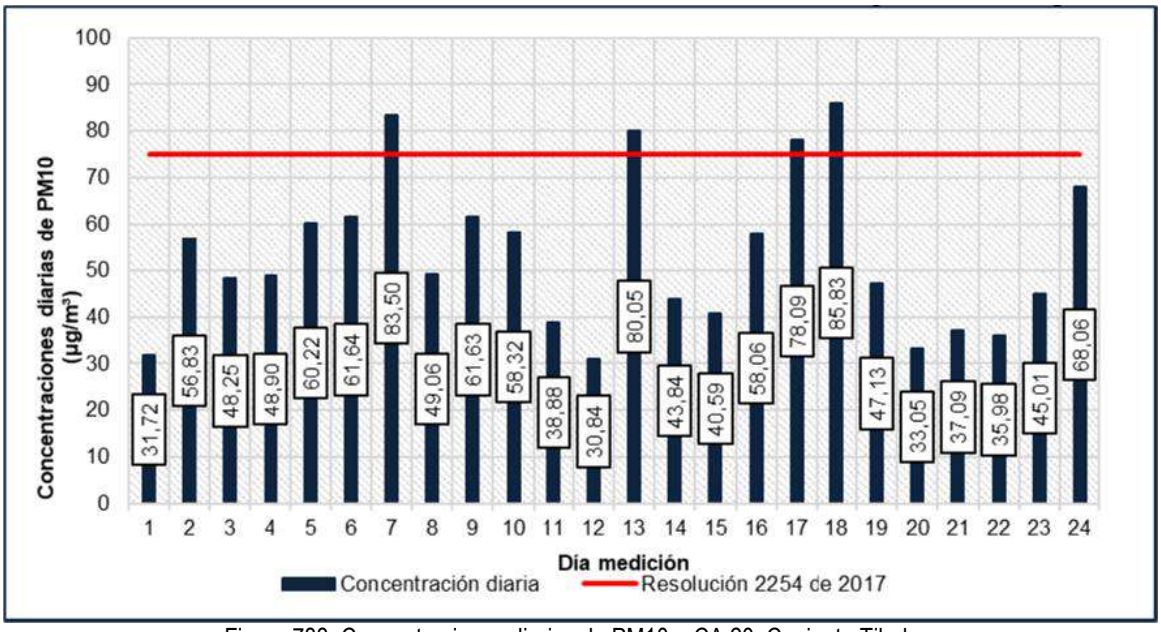


Figura 783. Concentraciones diarias de PM10 – CA 20. Conjunto Tibabuyes
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 21. Conjunto Yaití, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 16,20 µg/m3 el día 08 de mayo de 2022 y 67,60 µg/m3 el día 05 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 779. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 100% de los días de monitoreo, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible.

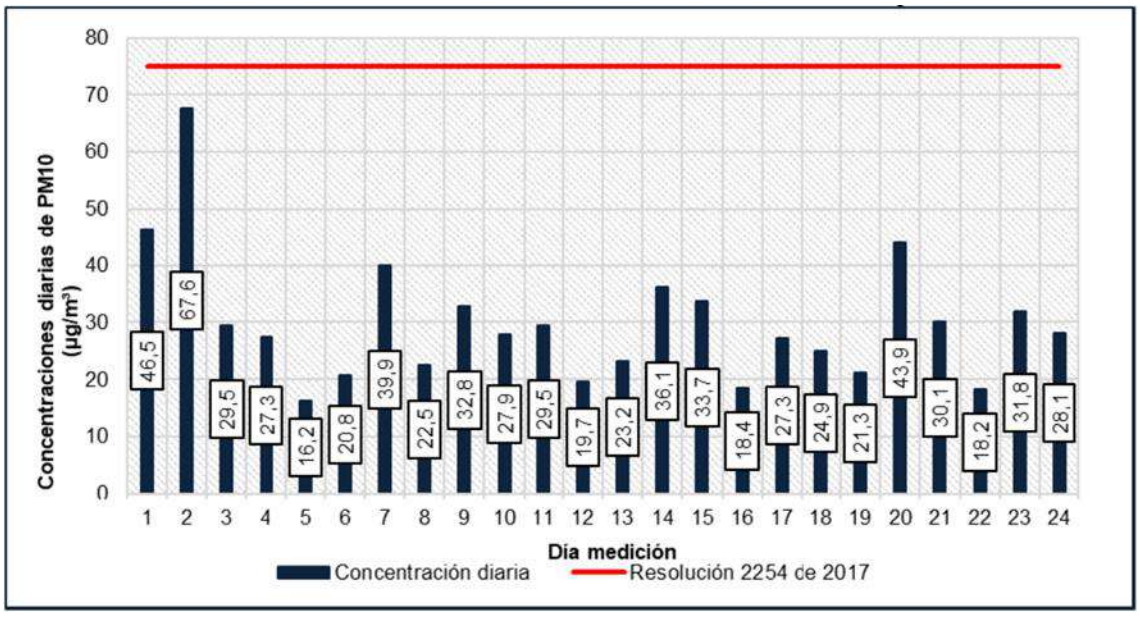


Figura 784. Concentraciones diarias de PM10 – CA 21. Conjunto Yaití
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 22. Conjunto Alicante, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 25,31 µg/m3 el día 12 de mayo de 2022 y 77,80 µg/m3 el día 26 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 780. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 95,83% de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, no obstante, la concentración del día 23 presentó niveles por encima del límite máximo establecido, lo cual puede verse influenciado principalmente por la presencia de fuentes móviles que pasan por las vías aledañas.

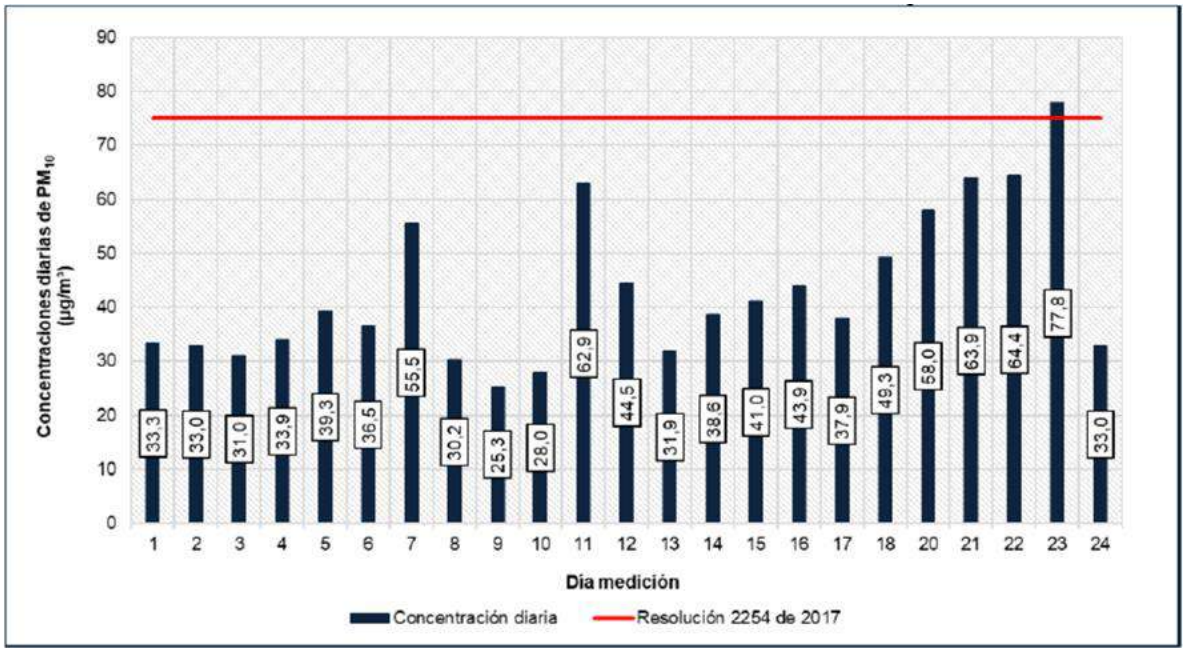


Figura 785. Concentraciones diarias de PM10 – CA 22. Conjunto Alicante
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 23. Quintas de Santa Rita III, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 30,94 µg/m3 el día 24 de mayo de 2022 y 68,06 µg/m3 el día 12 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 781. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 100% de los días de monitoreo, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible.

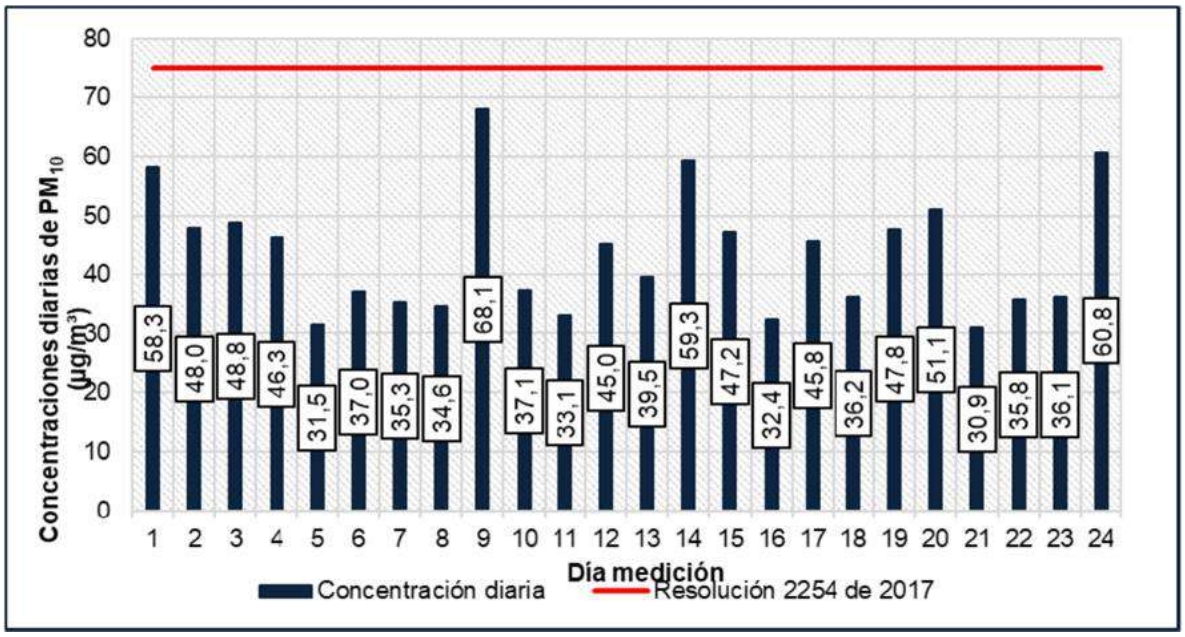


Figura 786. Concentraciones diarias de PM10 – CA 23. Quintas de Santa Rita III
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Finalmente, en la estación CA 24. Quintas de Santa Rita II, se presentó una variación de las concentraciones de PM10 durante el periodo de monitoreo entre 8,16 µg/m3 el día 25 de mayo de 2022 y 64,25 µg/m3 el día 27 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 782. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 100% de los días de monitoreo, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible.

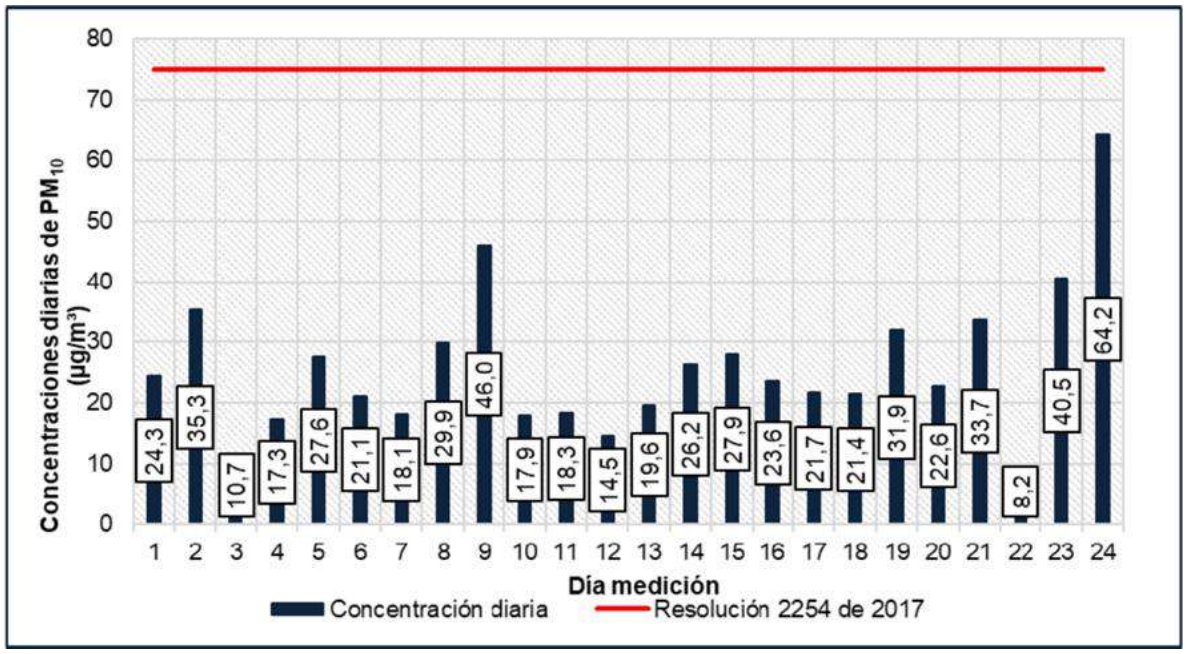


Figura 787. Concentraciones diarias de PM10 – CA 24. Quintas de Santa Rita II
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

- **Material Particulado $PM_{2.5}$**

A continuación, se presenta el análisis estadístico de los resultados de las concentraciones de PM_{10}. De la Tabla 389 a la Tabla 391 se identifican las variables estadísticas para la determinación de los datos atípicos: número de datos, promedio aritmético, desviación estándar, mediana (m), percentil 75% (Q3), percentil 25% (Q1), distancia intercuartílica (IQR=Q3-Q1), rango intercuartílico máximo (m+3*IQR), rango intercuartílico mínimo (m- 3*IQR), (los cuales surgen de aplicar la definición del protocolo de tres distancias intercuartílicas por encima y por debajo de la mediana), máxima concentración reportada y mínima concentración reportada, con sus respectivas fechas.

Tabla 387. Resultados de las concentraciones diarias de PM2.5 - Parte 1

ID	Fecha	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
1	2022-05-04	10,49	17,15	9,09	8,44	18,13	8,79	11,75	21,76	6,85	15,16
2	2022-05-05	10,34	14,03	12,07	21,98	9,55	22,65	14,30	16,27	7,45	18,29
3	2022-05-06	22,45	11,11	10,32	10,50	4,38	12,73	4,53	20,03	8,57	12,69
4	2022-05-07	11,27	4,51	5,71	12,17	5,03	8,36	15,10	14,35	15,73	10,69
5	2022-05-08	11,60	7,45	6,14	11,33	6,78	10,51	17,38	11,66	12,99	8,23
6	2022-05-09	10,08	12,59	6,80	11,07	5,58	7,04	19,20	13,78	18,05	8,69
7	2022-05-10	14,88	20,41	11,53	14,57	2,50	6,68	20,67	7,92	9,17	10,97
8	2022-05-11	18,15	21,78	13,28	20,03	10,41	7,45	11,23	23,24	13,44	5,97
9	2022-05-12	11,04	13,82	5,72	13,43	13,83	8,51	9,26	20,38	13,92	14,67
10	2022-05-13	12,79	9,71	7,72	7,72	7,91	15,30	8,91	14,82	13,97	22,35

ID	Fecha	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
11	2022-05-14	24,59	11,07	5,49	11,87	19,86	11,80	8,75	20,66	18,67	21,02
12	2022-05-15	18,04	12,69	2,19	8,49	9,65	17,56	5,69	17,32	20,63	17,45
13	2022-05-16	9,91	7,58	10,85	8,43	6,45	16,41	8,70	19,56	15,90	20,76
14	2022-05-17	5,67	7,17	2,63	9,05	10,61	15,29	10,98	24,28	10,81	20,22
15	2022-05-18	23,46	8,56	6,58	9,79	18,27	11,32	15,73	16,54	17,24	9,76
16	2022-05-19	8,09	7,71	1,31	15,19	15,47	15,41	15,03	12,62	12,77	6,16
17	2022-05-20	12,92	8,74	10,42	13,69	18,94	4,10	10,90	12,90	13,07	5,69
18	2022-05-21	7,66	11,30	10,98	22,06	19,86	3,41	16,43	14,17	5,88	6,67
19	2022-05-22	6,45	7,91	6,46	13,88	19,65	18,19	12,60	8,01	8,03	4,81
20	2022-05-23	6,35	7,00	10,19	13,51	17,44	9,30	11,75	9,15	12,21	6,34
21	2022-05-24	7,20	12,14	14,37	11,77	21,71	17,17	15,74	11,91	13,29	6,03
22	2022-05-25	6,12	7,42	8,10	14,29	17,45	10,55	22,62	19,99	5,84	16,40
23	2022-05-26	7,65	10,73	18,82	21,30	14,92	7,49	20,92	10,44	4,72	16,28
24	2022-05-27	11,05	5,15	10,37	15,09	24,21	3,38	24,31	30,90	2,55	17,99

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 388. Resultados de las concentraciones diarias de PM2.5 - Parte 2

ID	Fecha	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta del este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
1	2022-05-24	9,78	7,16	16,52	17,07	13,13	8,97	5,52	16,79	25,46	6,17
2	2022-05-25	12,31	8,26	5,84	17,89	9,09	15,82	3,82	11,36	16,60	5,96
3	2022-05-26	14,28	8,87	17,01	13,59	9,00	34,58	4,61	14,56	35,93	1,56
4	2022-05-27	14,12	12,27	10,92	9,71	7,41	13,23	7,44	17,05	8,45	3,03
5	2022-05-28	13,85	15,19	11,57	9,91	10,05	13,29	9,19	13,31	21,55	5,57
6	2022-05-29	9,56	8,85	18,12	9,72	11,07	11,40	7,13	21,69	21,60	1,79
7	2022-05-30	9,74	12,30	15,60	12,07	13,16	23,66	8,38	37,00	12,94	1,00
8	2022-05-31	15,11	9,54	11,69	18,64	9,40	37,80	8,51	15,21	27,26	3,78
9	2022-06-01	12,06	16,74	16,96	10,31	10,54	5,84	13,51	18,66	26,66	10,70
10	2022-06-02	14,72	15,89	15,44	9,31	8,23	15,89	14,23	19,96	17,92	6,60
11	2022-06-03	13,35	17,96	21,89	16,75	10,57	16,60	18,02	25,58	16,79	6,15
12	2022-06-04	14,05	12,55	19,62	14,42	13,36	15,59	9,58	27,56	24,60	6,88
13	2022-06-05	5,96	10,44	8,54	19,81	13,28	35,16	14,15	7,71	26,48	5,82
14	2022-06-06	6,07	13,21	15,52	22,56	16,29	24,74	10,50	10,43	20,61	5,07
15	2022-06-07	19,10	11,28	14,52	11,94	9,76	8,43	9,76	15,72	9,73	5,29
16	2022-06-08	8,41	21,43	8,76	20,95	7,49	30,58	7,49	23,87	12,29	8,75

ID	Fecha	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta del este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
17	2022-06-09	6,89	8,40	11,84	7,07	6,01	25,00	8,91	20,30	18,93	4,47
18	2022-06-10	14,01	23,31	11,75	7,71	7,54	19,52	7,55	21,97	16,13	4,75
19	2022-06-11	8,63	21,43	9,96	7,84	6,12	25,66	15,30	28,25	27,59	6,00
20	2022-06-12	22,14	13,70	8,31	9,58	7,43	16,89	15,49	20,30	6,00	4,79
21	2022-06-13	10,44	22,04	11,75	16,29	13,17	16,62	14,29	20,03	15,19	6,17
22	2022-06-14	19,96	18,34	16,39	13,04	12,55	21,11	13,44	23,53	14,15	3,34
23	2022-06-15	22,09	19,55	16,52	17,72	26,42	25,70	3,93	33,13	11,72	5,32
24	2022-06-16	19,41	21,98	15,96	14,03	29,53	26,02	14,84	31,72	11,35	4,20

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 389. Resultados de las concentraciones diarias de PM2.5 - Parte 3

ID	Fecha	CA 7. Casa Edilberto	CA 10. Universidad Pedagógica	CA 11. Sala de negocios	CA 20. Conjunto Tibabuyes
1	2022-06-13	21,39	14,22	16,03	14,81
2	2022-06-14	13,34	21,61	13,08	12,04
3	2022-06-15	11,52	28,87	12,42	17,90
4	2022-06-16	16,04	5,80	6,41	15,14
5	2022-06-17	9,15	14,52	19,28	7,91
6	2022-06-18	19,47	8,09	8,32	11,49
7	2022-06-19	20,83	13,94	12,06	12,15
8	2022-06-20	14,94	8,81	15,38	20,01

ID	Fecha	CA 7. Casa Edilberto	CA 10. Universidad Pedagógica	CA 11. Sala de negocios	CA 20. Conjunto Tibabuyes
9	2022-06-21	16,39	6,39	8,22	20,70
10	2022-06-22	25,93	11,75	21,98	10,00
11	2022-06-23	14,99	10,38	27,03	8,16
12	2022-06-24	13,00	8,60	11,02	15,26
13	2022-06-25	16,98	8,95	18,04	16,41
14	2022-06-26	16,92	2,86	5,80	9,18
15	2022-06-27	17,85	17,08	5,53	12,65
16	2022-06-28	11,87	9,29	12,44	11,35
17	2022-06-29	8,26	5,24	13,03	20,40
18	2022-06-30	8,39	3,86	12,34	9,72
19	2022-07-01	18,04	4,31	7,70	12,67
20	2022-07-02	20,34	5,72	6,08	6,00
21	2022-07-03	34,59	4,65	6,07	5,78
22	2022-07-04	37,01	10,54	10,44	8,53
23	2022-07-05	12,19	8,30	5,99	10,57
24	2022-07-06	15,68	14,44	10,07	13,15

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 390. Análisis estadístico - Concentraciones PM2.5 (µg/m3) - Parte 1

Variable estadística	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
Número de datos	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Promedio aritmético	12,01	10,74	8,63	13,32	13,28	11,23	13,85	16,36	11,74	12,64

Variable estadística	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
Desviación estándar	5,56	4,38	4,06	4,30	6,34	5,11	5,22	5,66	4,78	5,80
Mediana (m)	10,77	10,22	8,59	12,80	14,38	10,53	13,45	15,54	12,88	11,83
Q1	7,65	7,48	5,82	9,97	7,07	7,46	9,67	12,09	7,59	6,42
Q3	14,39	12,67	10,95	14,96	18,77	15,38	17,14	20,29	15,29	17,86
IQR=Q3-Q1	6,73	5,18	5,12	4,99	11,71	7,93	7,47	8,20	7,69	11,44
m-3*IQR	-9,43	-5,33	-6,78	-2,17	-20,74	-13,25	-8,97	-9,07	-10,20	-22,48
m+3*IQR	30,97	25,77	23,97	27,76	49,50	34,31	35,87	40,16	35,96	46,14
Concentraciones atípicas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máxima concentración reportada	24,59	21,78	18,82	22,06	24,21	22,65	24,31	30,90	20,63	22,35
Fecha máxima concentración reportada	2022-05-14	2022-05-11	2022-05-26	2022-05-21	2022-05-27	2022-05-05	2022-05-25	2022-05-27	2022-05-15	2022-05-13
Mínima concentración reportada	5,67	4,51	1,31	7,72	2,50	3,38	4,53	7,92	2,55	4,81
Fecha mínima concentración reportada	2022-05-17	2022-05-07	2022-05-19	2022-05-13	2022-05-10	2022-05-27	2022-05-06	2022-05-10	2022-05-27	2022-05-22

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 391. Análisis estadístico - Concentraciones PM2.5 (µg/m3) - Parte 2

Variable estadística	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta del este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
Número de datos	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Variable estadística	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta del este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
Promedio aritmético	13,17	14,61	13,79	13,66	11,69	20,34	10,23	20,65	18,58	5,13
Desviación estándar	4,76	5,14	3,98	4,51	5,69	8,70	4,07	7,32	7,36	2,15
Mediana (m)	13,60	13,45	14,98	13,31	10,29	18,20	9,39	20,16	17,35	5,30
Q1	9,61	9,76	11,08	9,71	7,71	13,87	7,45	15,34	12,46	3,89
Q3	15,01	19,25	16,52	17,56	13,17	25,69	14,21	25,15	25,25	6,17
IQR=Q3-Q1	5,41	9,49	5,44	7,85	5,45	11,83	6,75	9,82	12,79	2,28
m-3*IQR	-2,62	-15,01	-1,34	-10,23	-6,06	-17,27	-10,87	-9,29	-21,02	-1,53
m+3*IQR	29,82	41,92	31,29	36,86	26,65	53,68	29,65	49,61	55,72	12,14
Concentraciones atípicas	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máxima concentración reportada	22,14	23,31	21,89	22,56	29,53	37,80	18,02	37,00	35,93	10,70
Fecha máxima concentración reportada	2022-05-23	2022-05-21	2022-05-14	2022-05-17	2022-05-27	2022-05-11	14/05/2022	10/05/2022	6/05/2022	12/05/2022
Mínima concentración reportada	5,96	7,16	5,84	7,07	6,01	5,84	3,82	7,71	6,00	1,00
Fecha mínima concentración reportada	2022-05-16	2022-05-04	2022-05-05	2022-05-20	2022-05-20	2022-05-12	5/05/2022	16/05/2022	23/05/2022	10/05/2022

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 392. Análisis estadístico - Concentraciones PM2.5 (µg/m3) - Parte 3

Variable estadística	CA 7. Casa Edilberto	CA 10. Universidad Pedagógica	CA 11. Sala de negocios	CA 20. Conjunto Tibabuyes
Número de datos	24	24	24	24
Promedio aritmético	17,30	10,34	11,87	12,58
Desviación estándar	7,14	6,07	5,58	4,30
Mediana (m)	16,21	8,88	11,54	12,10
Q1	12,39	5,74	6,73	9,32
Q3	20,12	14,15	14,81	15,23
IQR=Q3-Q1	7,73	8,41	8,08	5,91
m-3*IQR	-6,97	-16,34	-12,69	-5,65
m+3*IQR	39,39	34,10	35,77	29,84
Concentraciones atípicas	0,00	0,00	0,00	0,00
Máxima concentración reportada	37,01	28,87	27,03	20,70
Fecha máxima concentración reportada	2022-07-04	2022-06-15	2022-06-23	2022-06-21
Mínima concentración reportada	8,26	2,86	5,53	5,78
Fecha mínima concentración reportada	2022-06-29	2022-06-26	2022-06-27	2022-07-03

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

La estación CA 1. Gimnasio moderno, presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 5,67 µg/m3 el día 17 de mayo de 2022 y 24,59 µg/m3 el día 14 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 783. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 100% de los días de monitoreo, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible.

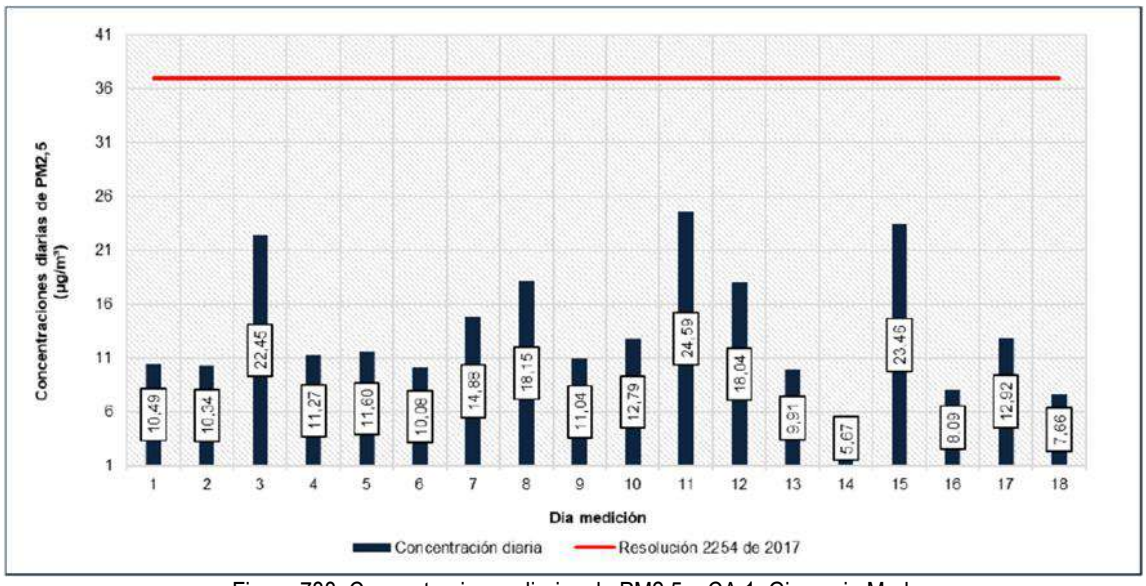


Figura 788. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 1. Gimnasio Moderno
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Por su parte, en la estación CA 2. Casa Jose Galo, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 4,51 µg/m3 el día 07 de mayo de 2022 y 21,78 µg/m3 el día 11 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 784. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, la totalidad de los días, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible, por lo que no se evidencia excedencia por este parámetro.

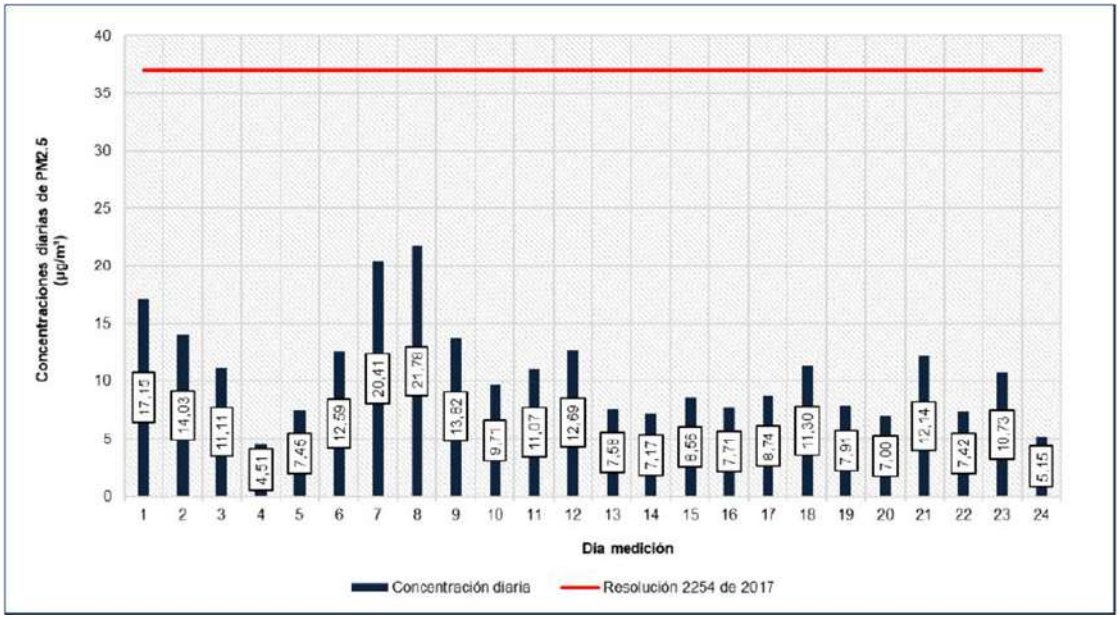


Figura 789. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 2. Casa Jose Galo
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

En cuanto a la estación CA 3. Colegio San Felipe Neri, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 1,31 µg/m3 el día 19 de mayo de 2022 y 18,82 µg/m3 el día 26 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 785. Con respecto a la Resolución 2254 de 2017, el 100% de los días de monitoreo, presentaron niveles por debajo del límite máximo permisible.

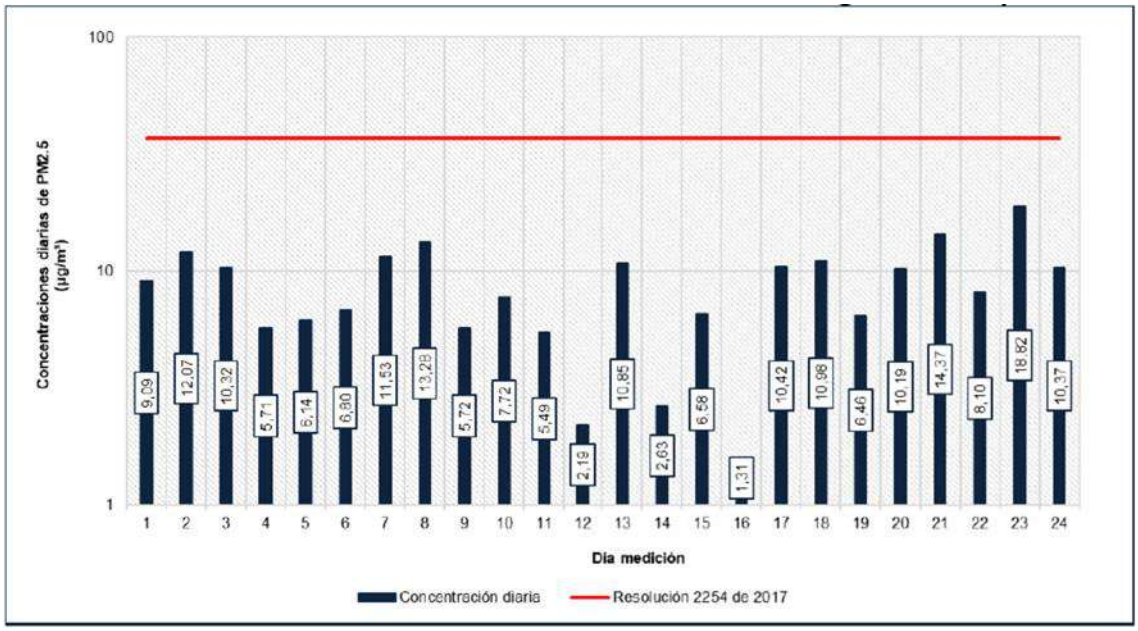


Figura 790. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 3. Colegio San Felipe Neri
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 4. Colegio Liceo VAL, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 7,72 µg/m3 el día 13 de mayo de 2022 y 22,06 µg/m3 el día 13 de junio de 2022, tal y como se observa en la Figura 786. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

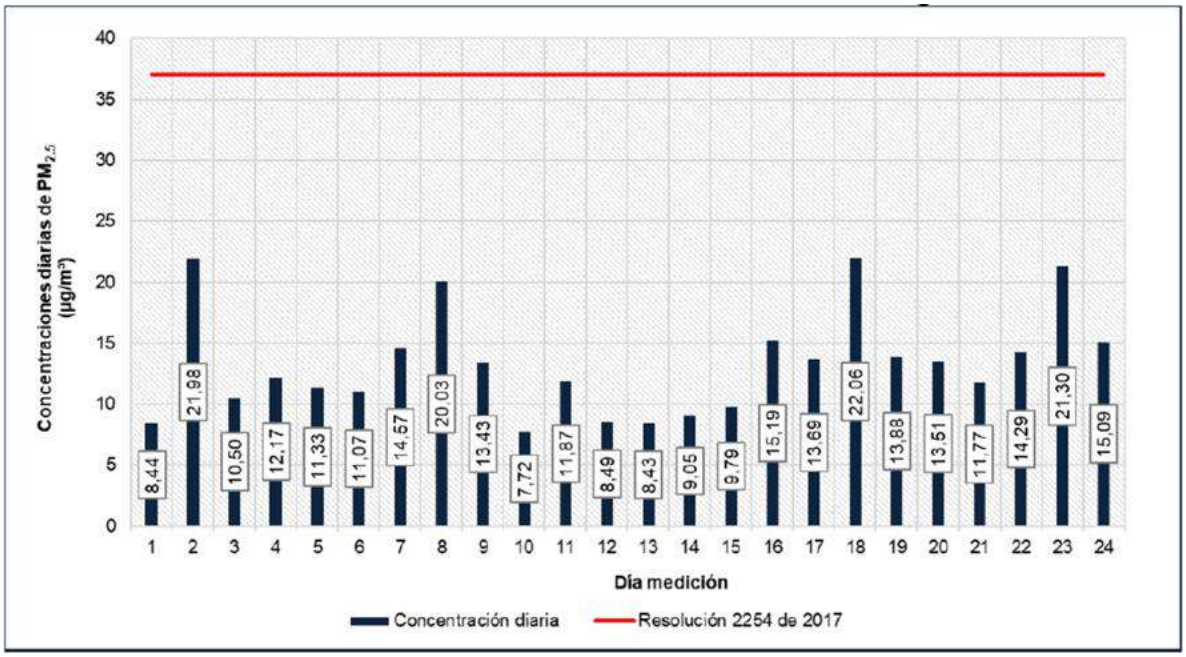


Figura 791. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 4. Colegio Liceo Val
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 5. Casa Luis Yomayusa, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 2,50 µg/m3 el día 10 de mayo de 2022 y 24,21 µg/m3 el día 27 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 787. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

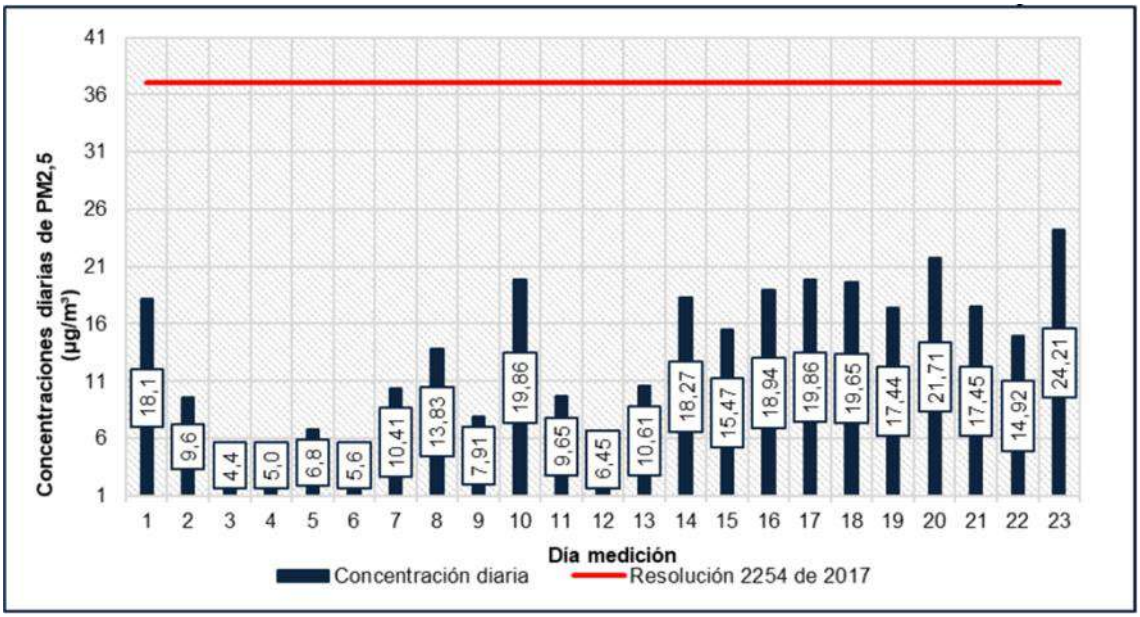


Figura 792. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 5. Casa Luis Yomayusa
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 6. Ofidrogas, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 3,38 µg/m3 el día 27 de mayo de 2022 y 22,65 µg/m3 el día 05 de junio de 2022, tal y como se observa en la Figura 788. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

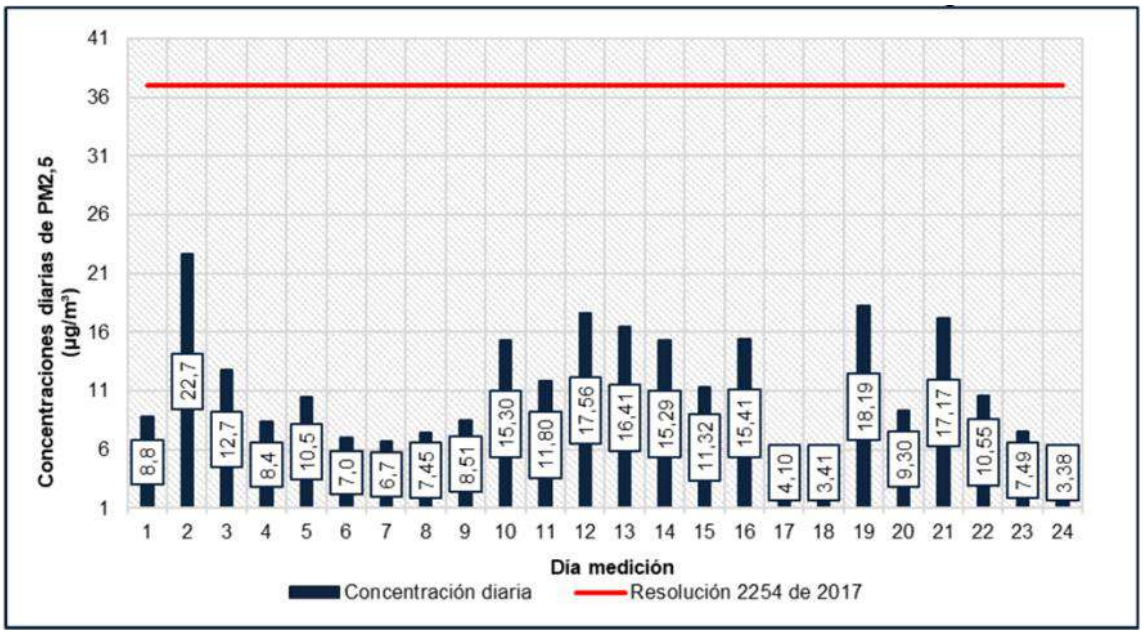


Figura 793. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 6. Ofidrogas
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 7. Casa Edilberto, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 8,26 µg/m3 el día 29 de junio de 2022 y 37,01 µg/m3 el día 04 de julio de 2022, tal y como se observa en la Figura 789. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

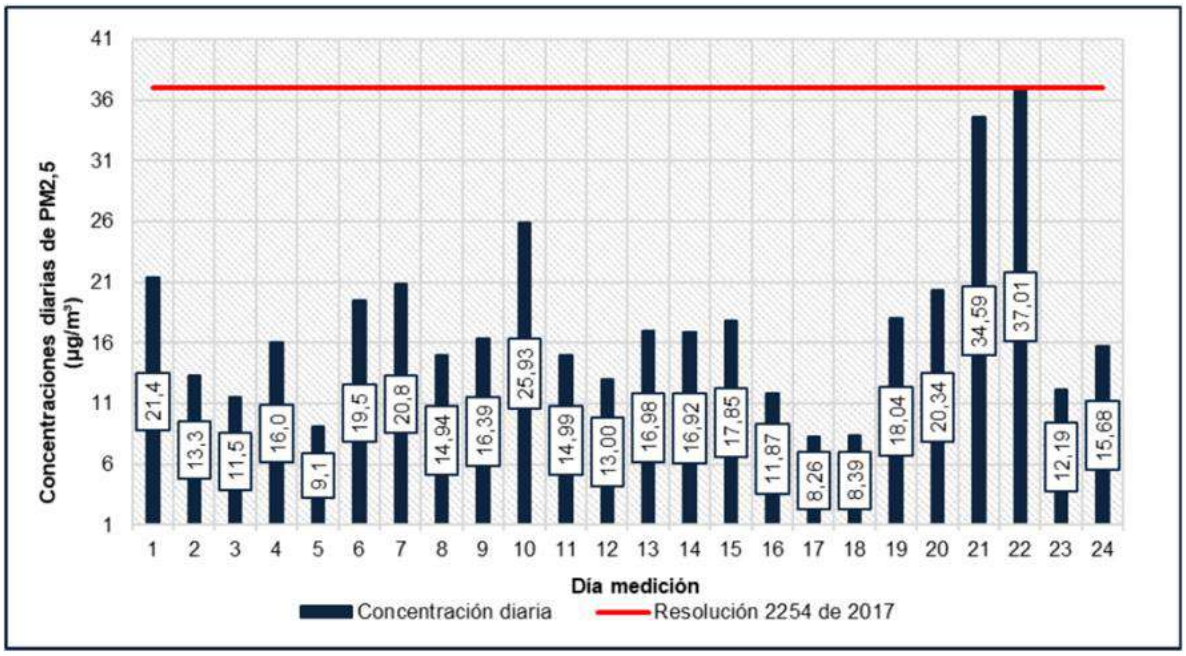


Figura 794. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 7. Casa Edilberto
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 8. Bomberos, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 4,53 µg/m3 el día 06 de mayo de 2022 y 22,62 µg/m3 el día 25 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 790. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

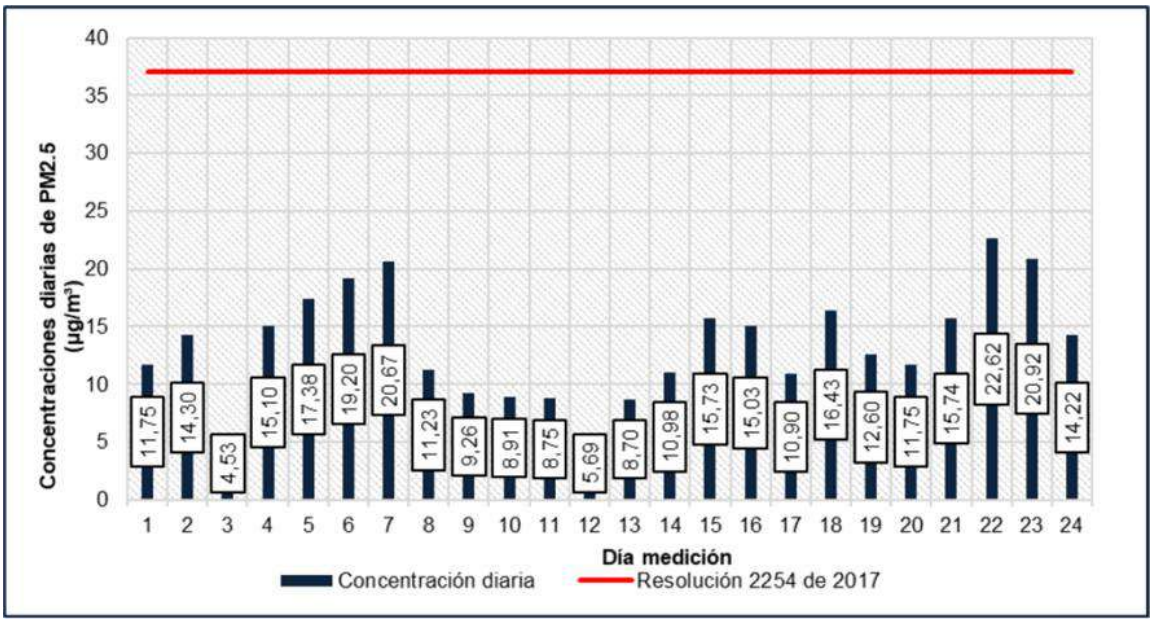


Figura 795. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 8. Bomberos
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 9. Casa Luz Dary, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 7,92 µg/m3 el día 10 de mayo de 2022 y 30,90 µg/m3 el día 27 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 791. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

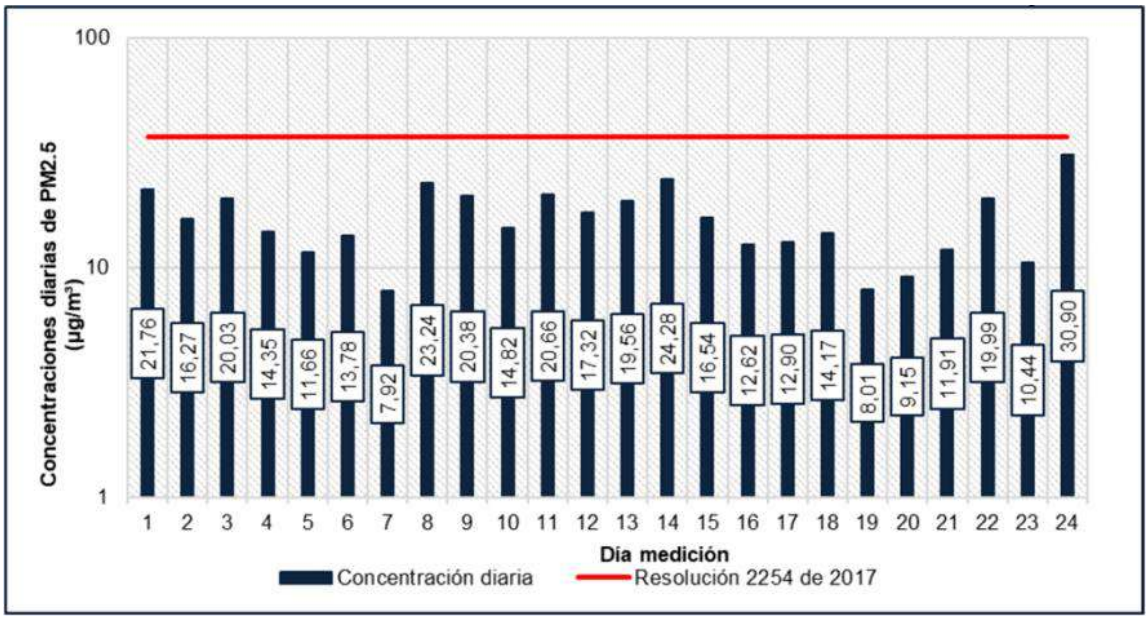


Figura 796. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 9. Casa Luz Dary
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 10. Universidad Pedagógica, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 2,86 µg/m3 el día 26 de mayo de 2022 y 28,87 µg/m3 el día 15 de junio de 2022, tal y como se observa en la Figura 792. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

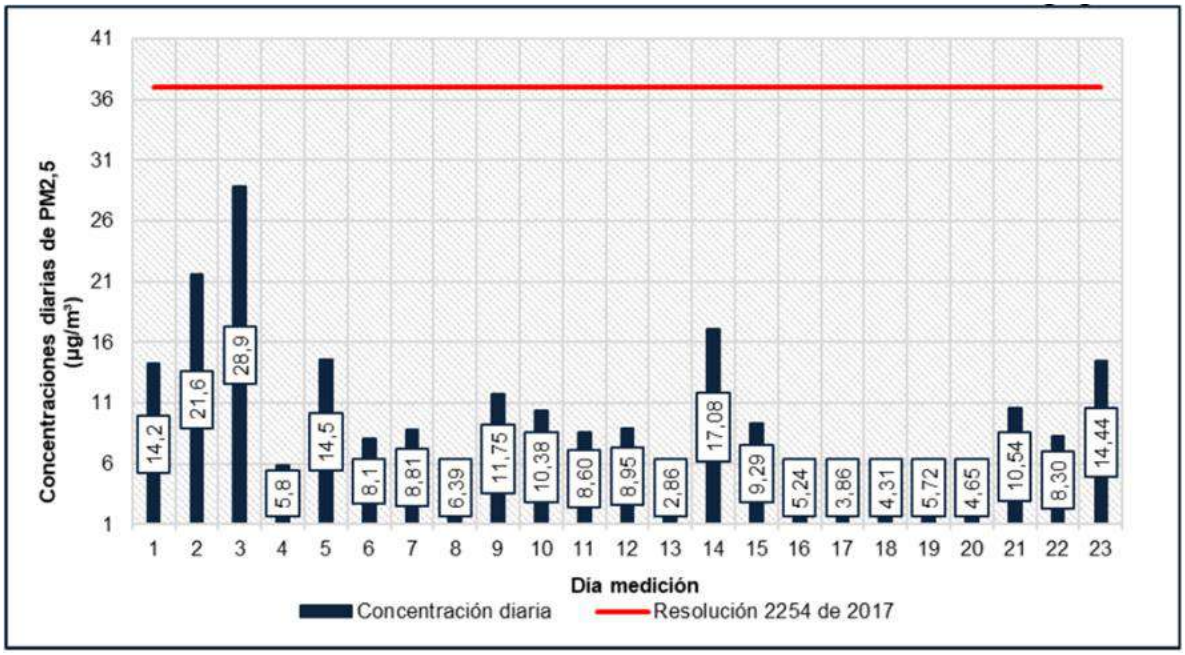


Figura 797. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 10. Universidad Pedagógica
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 11. Sala de Negocios, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 5,53 µg/m3 el día 27 de junio de 2022 y 27,03 µg/m3 el día 23 de junio de 2022, tal y como se observa en la Figura 793. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

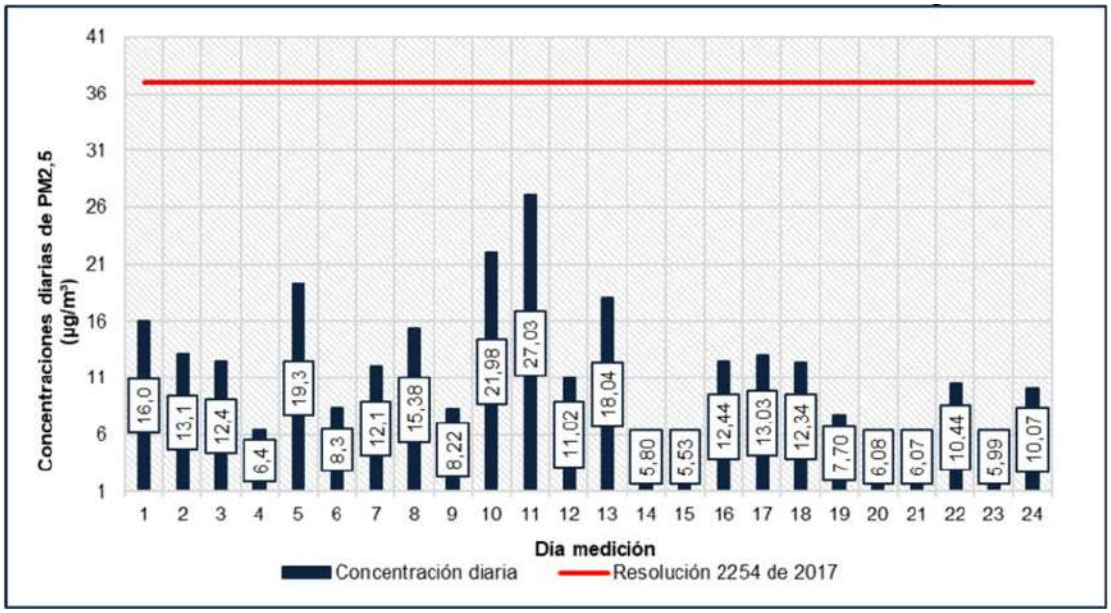


Figura 798. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 11. Sala de negocios

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 12. Salón comunal Almería, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 2,55 µg/m3 el día 27 de mayo de 2022 y 20,63 µg/m3 el día 15 de junio de 2022, tal y como se observa en la Figura 794. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

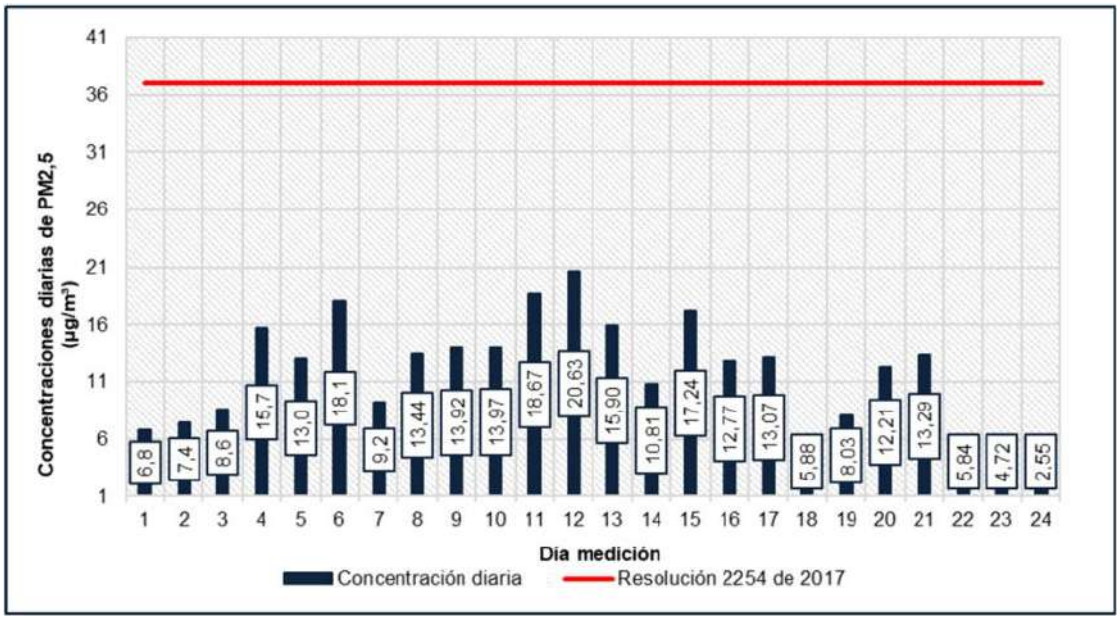


Figura 799. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 12. Salón comunal armería
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 13. Casa Paulina Garcia, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 4,81 µg/m3 el día 22 de mayo de 2022 y 22,35 µg/m3 el día 13 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 795. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

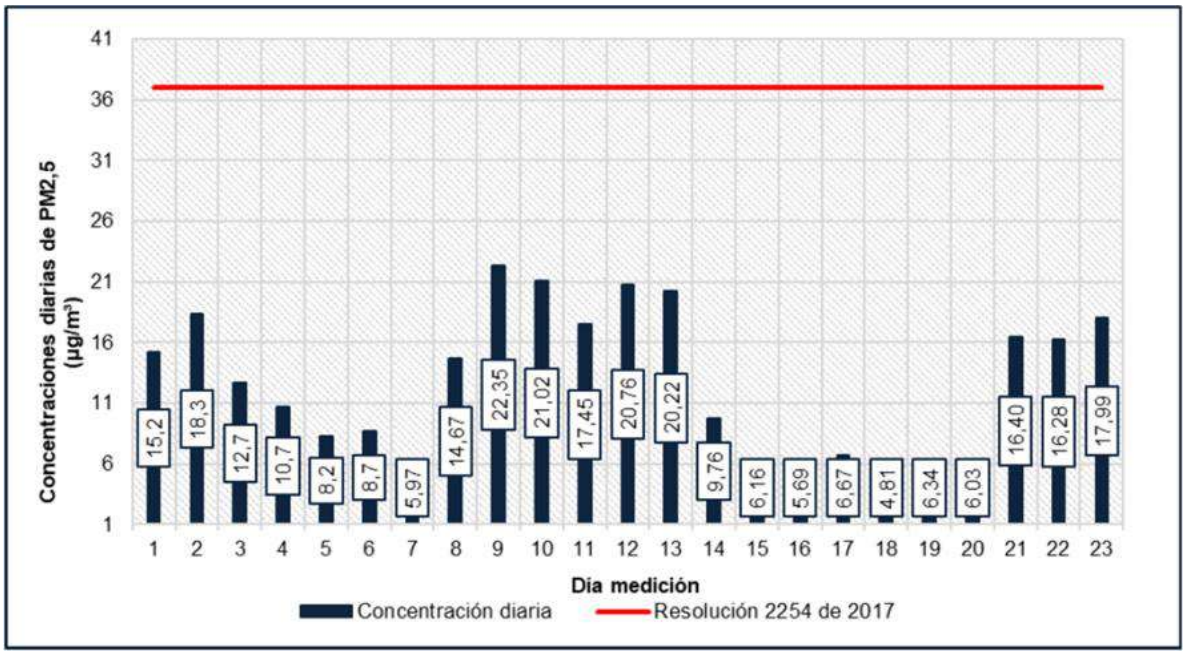


Figura 800. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 13. Casa Paulina Garcia
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 14. Casa Yeison Chitiva, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 5,96 µg/m3 el día 16 de mayo de 2022 y 22,14 µg/m3 el día 23 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 796. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

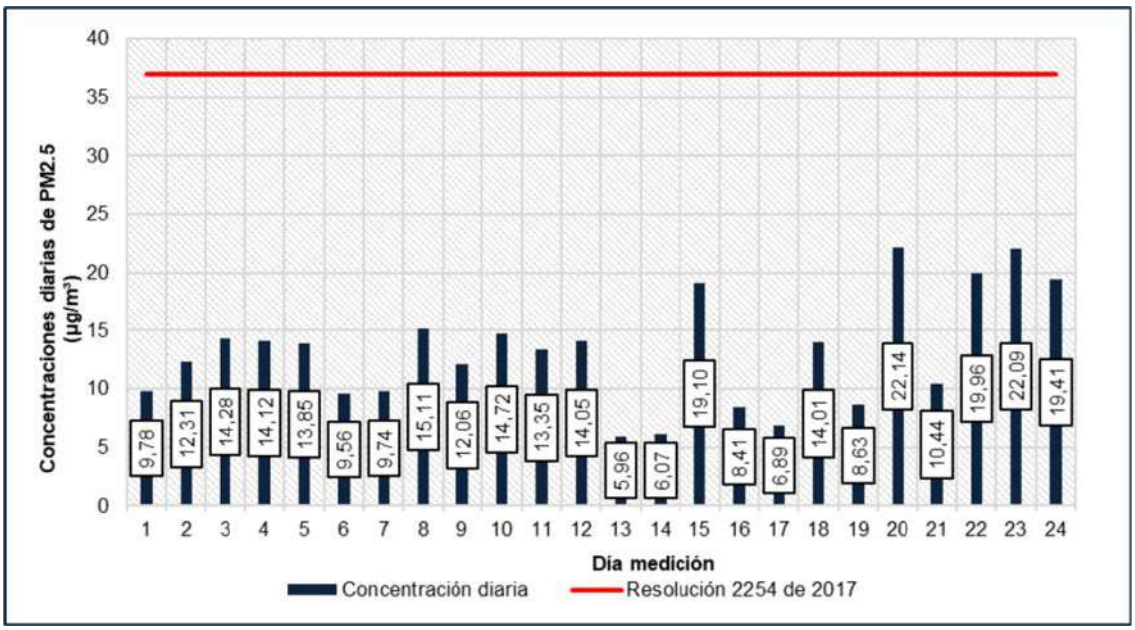


Figura 801. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 14. Casa Yeison Chitiva

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 15. Uniminuto, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 7,16 µg/m3 el día 04 de mayo de 2022 y 23,31 µg/m3 el día 21 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 797. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

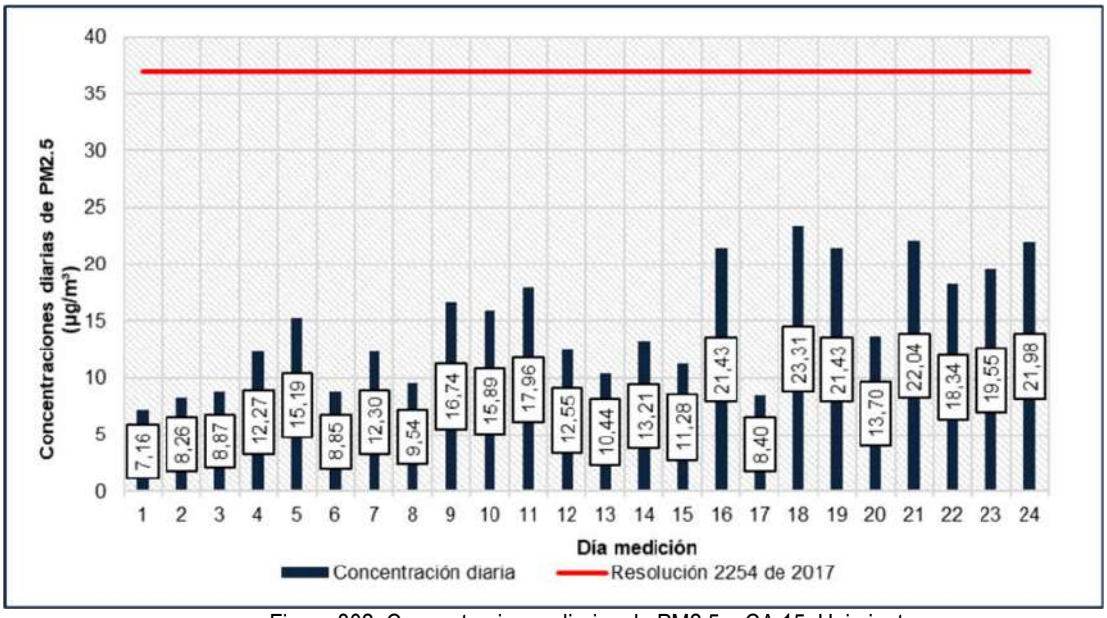


Figura 802. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 15. Uniminuto
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 16. Punta del Este, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 5,84 µg/m3 el día 05 de mayo de 2022 y 21,89 µg/m3 el día 14 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 798. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

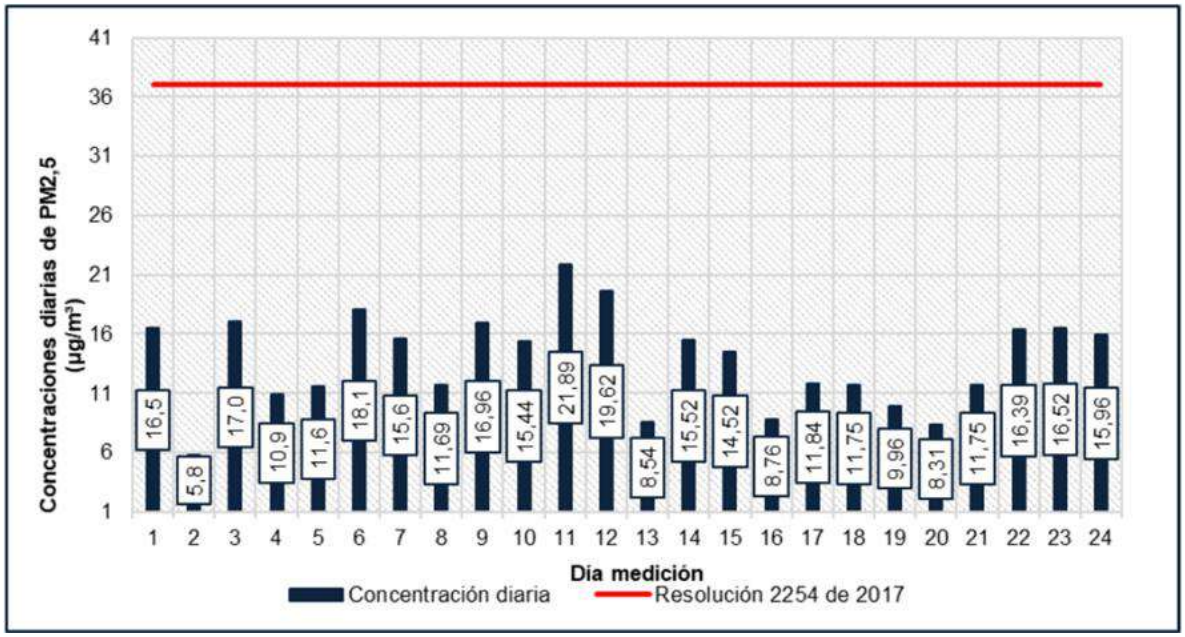


Figura 803. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 16. Punta del Este
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 17. Casa Hilvar, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 7,07 µg/m3 el día 20 de mayo de 2022 y 22,56 µg/m3 el día 17 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 799. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

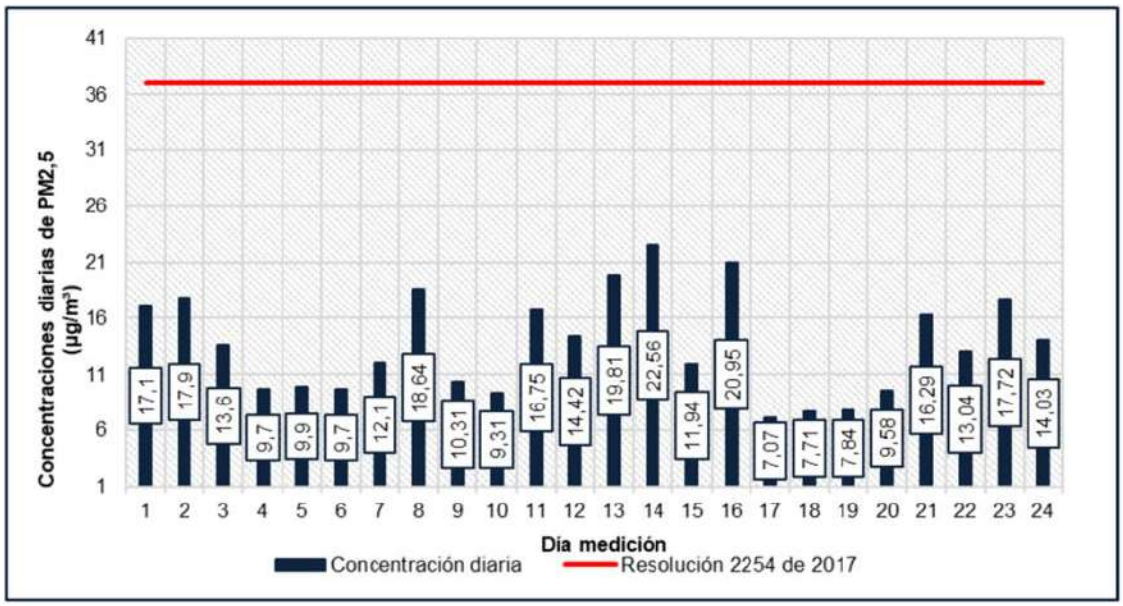


Figura 804. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 17. Casa Hilvar

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 18. Casa Graciela, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 6,01 µg/m3 el día 20 de mayo de 2022 y 29,53 µg/m3 el día 27 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 800. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

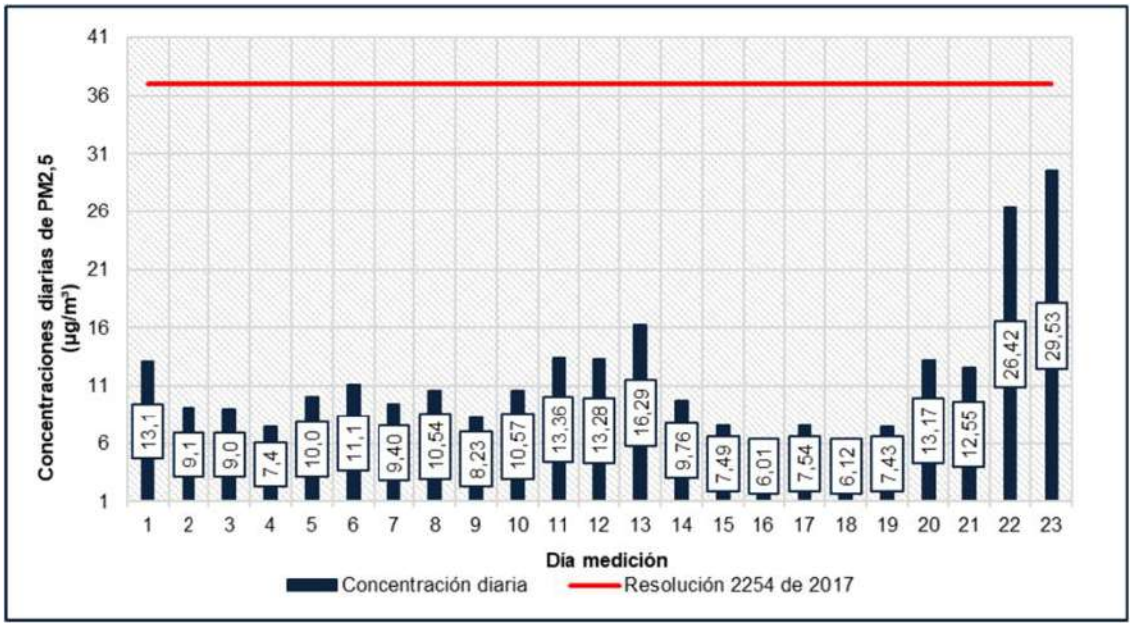


Figura 805. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 18. Casa Graciela
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 19. Fama, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 5,84 µg/m3 el día 12 de mayo de 2022 y 37,80 µg/m3 el día 11 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 801. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la mayoría de los días de monitoreo, a excepción del día 7 en donde se evidencia un aumento del contaminante.

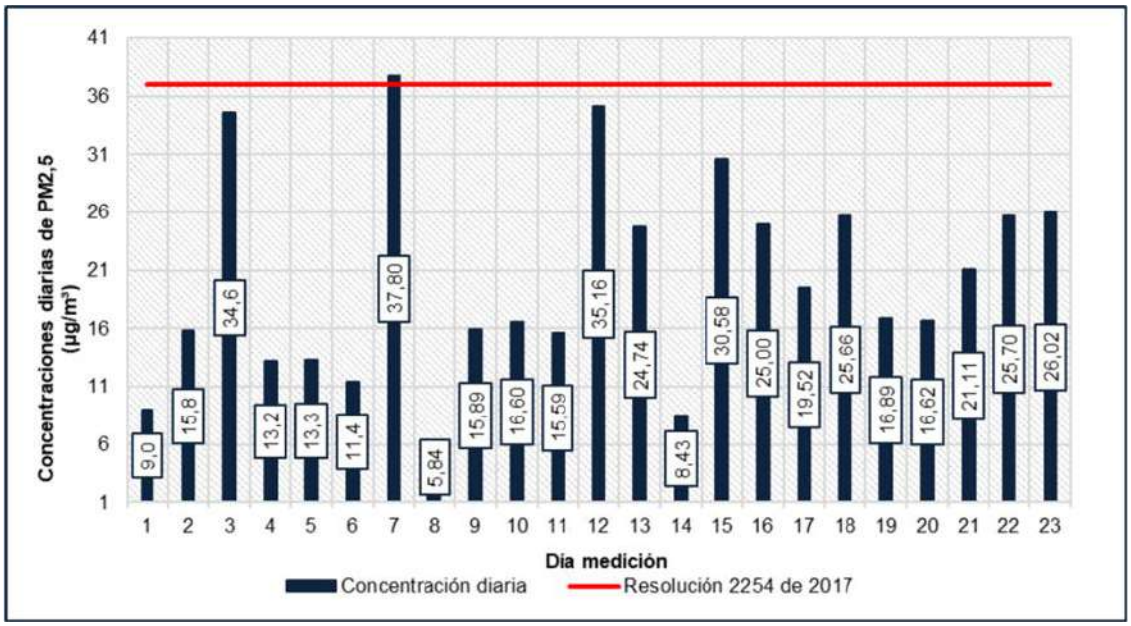


Figura 806. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 19. Fama
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 20. Conjunto Tibabuyes, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 5,78 µg/m3 el día 24 de mayo de 2022 y 20,70 µg/m3 el día 12 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 802. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

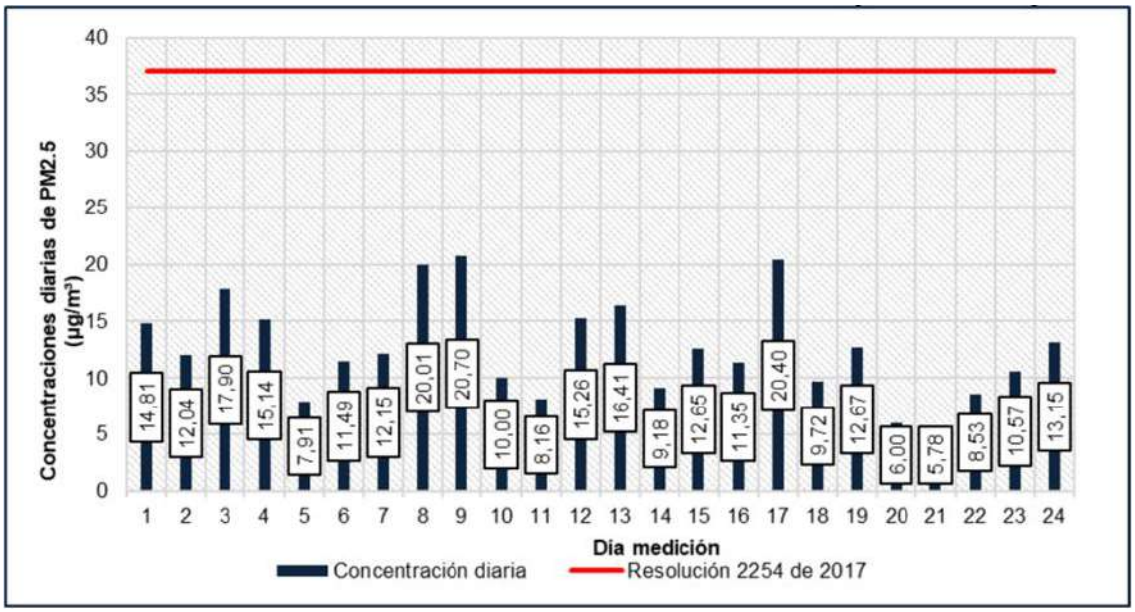


Figura 807. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 20. Conjunto Tibabuyes
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 21. Conjunto Yaití, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 3,82 µg/m3 el día 05 de mayo de 2022 y 18,02 µg/m3 el día 14 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 803. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

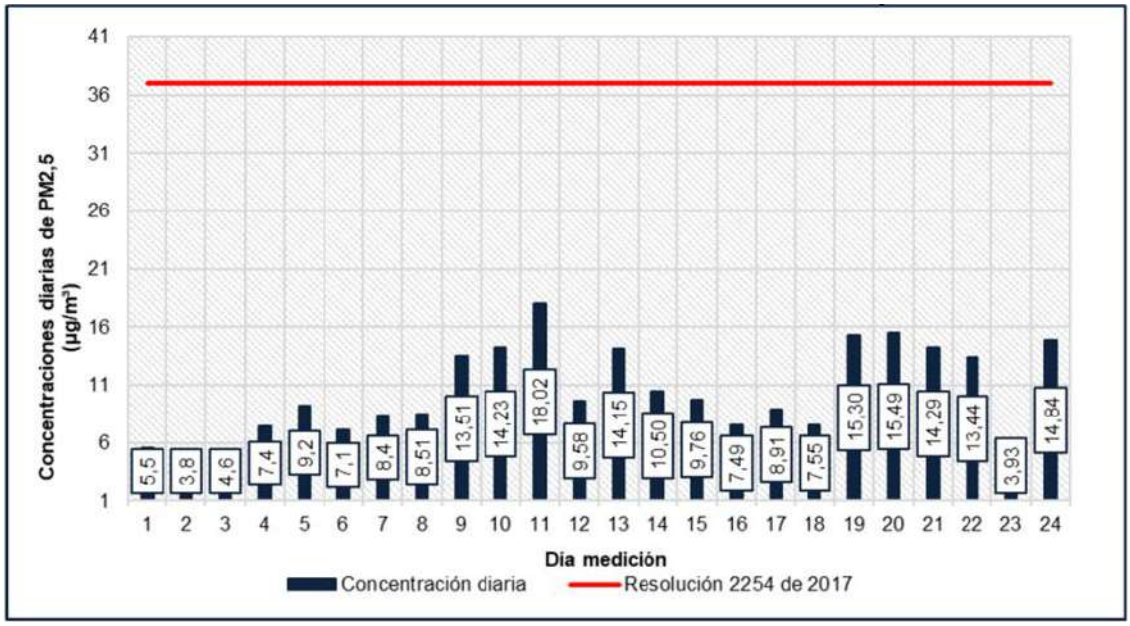


Figura 808. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 21. Conjunto Yaití
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 22. Conjunto Alicante, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 7,71 µg/m3 el día 16 de mayo de 2022 y 37,00 µg/m3 el día 10 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 804. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

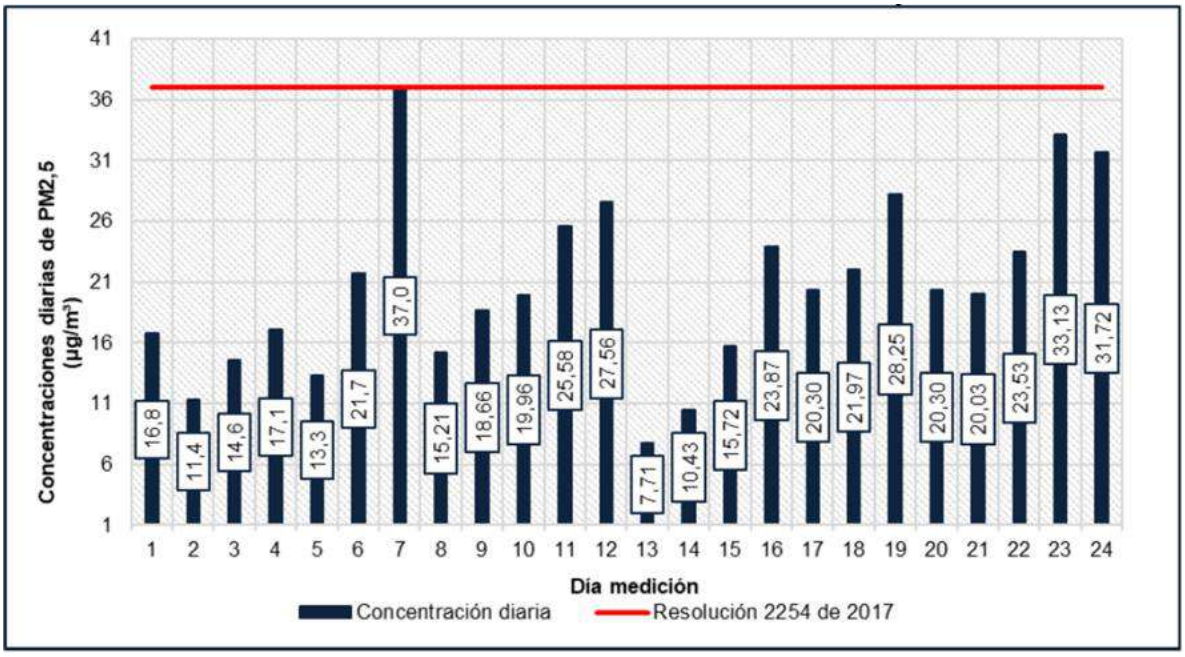


Figura 809. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 22. Conjunto Alicante
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para la estación CA 23. Quintas de Santa Rita III, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 6,00 µg/m3 el día 23 de mayo de 2022 y 35,93 µg/m3 el día 06 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 805. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

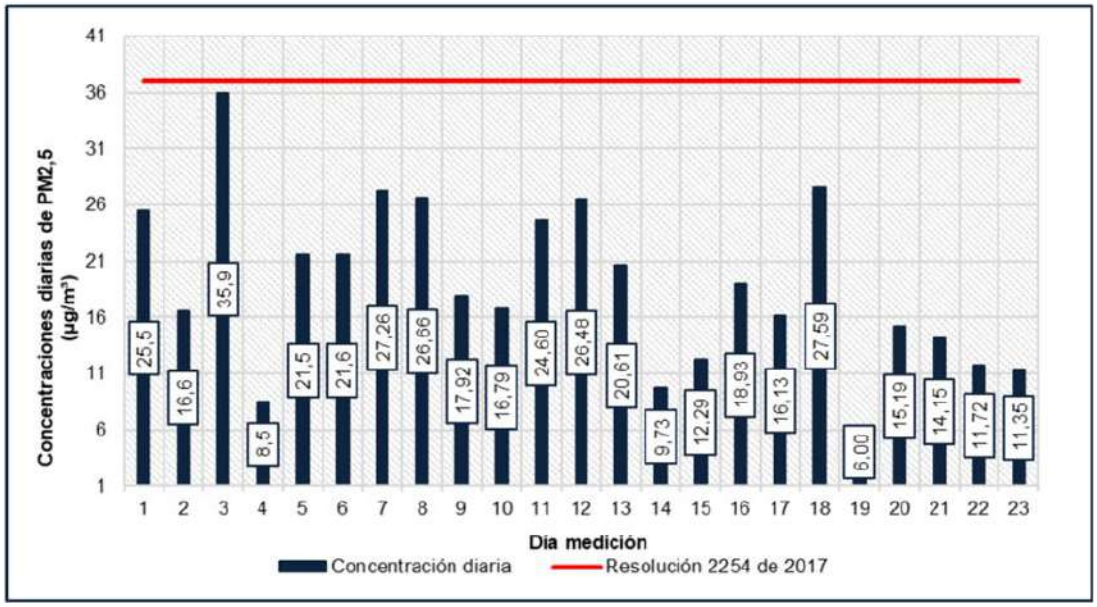


Figura 810. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 23. Quintas de Santa Rita III
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Por último, para la estación CA 24. Quintas de Santa Rita II, se presentó una variación de las concentraciones de PM2.5 entre 1,00 µg/m3 el día 10 de mayo de 2022 y 10,70 µg/m3 el día 12 de mayo de 2022, tal y como se observa en la Figura 806. Desde el punto de vista normativo, se evidencia cumplimiento normativo con respecto a la Resolución 2254 de 2017 en la totalidad de los días de monitoreo.

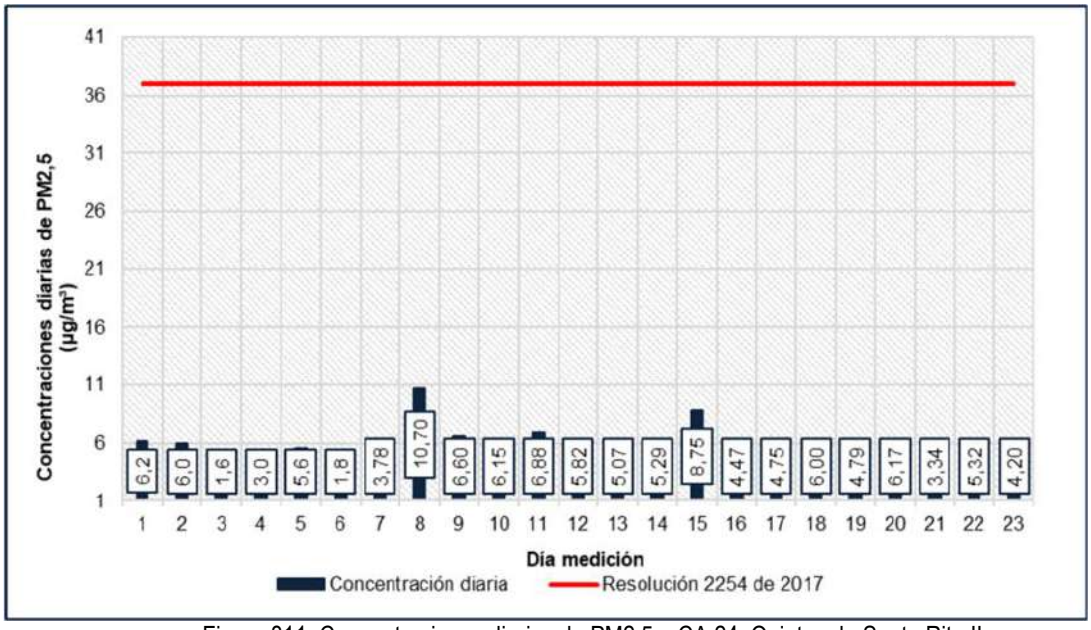


Figura 811. Concentraciones diarias de PM2.5 – CA 24. Quintas de Santa Rita II
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

- **Dióxido de azufre**

A continuación, se presenta el análisis estadístico de los resultados de las concentraciones de SO_2. De la Tabla 395 a la Tabla 397 se identifican las variables estadísticas para la determinación de los datos atípicos: número de datos, promedio aritmético, desviación estándar, mediana (m), percentil 75% (Q3), percentil 25% (Q1), distancia intercuartílica (IQR=Q3-Q1) , rango intercuartílico máximo (m+3*IQR), rango intercuartílico mínimo (m- 3*IQR), (los cuales surgen de aplicar la definición del protocolo de tres distancias intercuartílicas por encima y por debajo de la mediana), máxima concentración reportada y mínima concentración reportada, con sus respectivas fechas.

Tabla 393. Resultados de las concentraciones diarias de SO2 - Parte 1

ID	Fecha	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
1	2022-05-04	42,46	42,55	42,45	42,62	42,52	41,77	44,85	44,82	41,08	41,03
2	2022-05-05	42,63	42,51	42,66	42,54	42,49	43,37	41,23	44,62	44,13	42,15

ID	Fecha	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
3	2022-05-06	42,59	42,51	42,51	42,54	42,49	41,61	44,50	41,39	42,54	42,51
4	2022-05-07	42,65	42,66	44,39	42,54	42,55	43,40	43,57	43,01	42,60	42,57
5	2022-05-08	42,68	42,41	42,63	42,54	42,55	41,71	44,51	43,61	42,48	42,07
6	2022-05-09	42,62	42,76	42,54	42,54	42,46	43,32	42,36	44,17	43,28	42,92
7	2022-05-10	42,35	42,44	42,76	42,79	42,63	42,79	41,65	43,35	42,15	42,62
8	2022-05-11	42,20	42,14	42,20	42,17	42,49	42,64	44,51	42,96	43,20	44,78
9	2022-05-12	42,03	41,98	41,94	42,60	42,42	42,94	41,09	44,67	43,26	43,83
10	2022-05-13	42,16	42,13	41,94	42,19	42,17	42,80	40,95	43,89	44,13	43,07
11	2022-05-14	41,98	41,86	42,01	42,74	41,86	43,72	41,36	43,14	43,26	43,53
12	2022-05-15	42,58	42,51	42,58	42,82	42,51	41,49	42,95	42,50	43,57	42,77
13	2022-05-16	42,31	42,46	42,54	42,16	42,46	42,64	42,07	41,53	43,90	43,69
14	2022-05-17	42,62	42,79	42,91	42,78	42,84	42,65	44,35	44,67	41,16	41,47
15	2022-05-18	42,65	42,72	42,38	42,85	42,51	42,50	42,66	41,10	44,83	43,22
16	2022-05-19	42,57	42,67	42,72	42,71	42,17	42,80	43,57	41,50	41,16	41,90
17	2022-05-20	42,47	42,25	42,63	42,32	42,51	41,77	42,22	42,37	42,03	42,77

ID	Fecha	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
18	2022-05-21	42,32	42,57	42,25	42,45	42,17	42,35	42,37	43,10	41,95	44,00
19	2022-05-22	42,42	42,55	42,53	42,29	42,41	41,77	42,81	41,50	43,29	40,99
20	2022-05-23	42,69	42,79	42,58	42,69	42,35	42,80	43,11	43,66	41,11	41,98
21	2022-05-24	42,31	42,62	42,45	42,54	42,23	42,80	44,19	43,20	43,68	41,47
22	2022-05-25	42,69	42,42	42,63	42,70	42,73	41,99	44,19	43,25	41,74	44,48
23	2022-05-26	42,69	42,57	42,42	42,65	42,55	43,10	41,36	41,50	44,46	42,04
24	2022-05-27	42,45	42,61	42,60	42,47	42,65	42,57	43,11	43,89	42,46	43,54

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 394. Resultados de las concentraciones diarias de SO2 - Parte 2

ID	Fecha	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta del este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
1	2022-05-24	42,70	42,78	43,08	43,08	42,77	44,05	43,75	42,66	43,20	43,67
2	2022-05-25	42,78	42,78	43,08	42,78	42,48	44,49	43,75	42,72	43,18	43,03
3	2022-05-26	42,92	42,92	42,92	42,92	42,77	43,67	44,06	42,60	43,15	45,48
4	2022-05-27	43,01	42,85	42,85	42,85	42,62	44,42	43,96	42,47	43,01	46,04
5	2022-05-28	42,55	42,78	42,78	42,78	42,48	43,48	43,78	43,11	43,39	45,38
6	2022-05-29	43,08	42,92	42,92	42,92	42,77	43,65	44,35	41,17	43,00	42,94

ID	Fecha	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta del este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
7	2022-05-30	42,78	43,01	43,01	43,01	42,62	43,34	43,14	42,60	45,52	43,36
8	2022-05-31	43,15	42,85	42,85	42,85	42,77	43,72	44,07	42,89	45,39	42,94
9	2022-06-01	42,55	42,78	43,08	42,78	42,48	44,12	43,77	42,83	43,08	43,21
10	2022-06-02	42,70	42,85	42,85	42,85	42,77	43,49	43,98	42,28	43,09	43,22
11	2022-06-03	42,62	42,93	42,93	42,93	42,62	43,95	43,84	43,49	43,83	43,64
12	2022-06-04	42,77	42,77	43,08	42,92	42,77	43,86	43,84	43,25	43,04	45,48
13	2022-06-05	42,77	42,92	43,08	42,77	42,77	43,49	43,62	42,35	43,28	45,65
14	2022-06-06	42,77	42,85	43,08	42,77	42,77	43,51	43,62	42,30	44,50	43,78
15	2022-06-07	42,77	42,92	43,08	42,77	42,77	44,60	43,47	42,15	43,80	43,23
16	2022-06-08	42,55	42,78	42,93	42,93	42,62	43,83	44,28	42,74	43,85	43,07
17	2022-06-09	42,77	42,92	43,15	43,08	42,77	44,12	44,05	42,84	42,70	45,30
18	2022-06-10	42,48	42,78	42,93	42,77	42,77	44,15	44,31	42,96	44,43	43,02
19	2022-06-11	42,55	42,92	43,15	43,08	42,77	43,93	43,68	42,75	43,31	45,20
20	2022-06-12	42,41	42,92	43,08	42,77	42,77	43,82	43,42	42,54	42,72	43,02
21	2022-06-13	42,33	42,78	42,93	42,77	42,62	44,31	43,56	42,52	43,32	43,16
22	2022-06-14	42,92	42,92	43,15	43,08	42,77	43,83	43,72	42,84	43,46	43,17

ID	Fecha	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta del este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
23	2022-06-15	42,70	42,63	43,08	42,77	42,77	43,63	43,54	42,66	43,33	43,26
24	2022-06-16	42,77	42,92	42,66	42,96	42,77	43,72	43,53	42,77	43,16	43,15

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 395. Resultados de las concentraciones diarias de SO2 - Parte 3

ID	Fecha	CA 7. Casa Edilberto	CA 10. Universidad Pedagógica	CA 11. Sala de negocios	CA 20. Conjunto Tibabuyes
1	2022-06-13	42,71	42,15	41,77	42,16
2	2022-06-14	42,71	41,40	41,87	42,16
3	2022-06-15	42,71	41,30	42,08	42,29
4	2022-06-16	42,79	41,34	42,26	42,16
5	2022-06-17	42,71	41,77	42,33	42,10
6	2022-06-18	42,64	41,83	42,33	42,22
7	2022-06-19	42,50	42,18	41,95	42,37
8	2022-06-20	42,79	42,36	41,77	42,47
9	2022-06-21	42,87	42,00	41,66	42,33
10	2022-06-22	42,79	41,95	41,95	41,87
11	2022-06-23	42,71	42,05	41,69	41,94
12	2022-06-24	42,71	42,02	42,08	42,08
13	2022-06-25	42,71	42,34	41,81	42,12
14	2022-06-26	42,71	41,81	41,59	41,88
15	2022-06-27	42,71	41,59	41,95	42,02
16	2022-06-28	42,79	41,66	41,91	42,45

ID	Fecha	CA 7. Casa Edilberto	CA 10. Universidad Pedagógica	CA 11. Sala de negocios	CA 20. Conjunto Tibabuyes
17	2022-06-29	42,79	41,83	42,08	42,17
18	2022-06-30	42,94	41,79	42,08	42,02
19	2022-07-01	42,79	42,05	42,20	41,91
20	2022-07-02	42,94	42,02	41,95	42,23
21	2022-07-03	42,71	41,98	42,05	42,20
22	2022-07-04	42,94	42,23	42,24	41,95
23	2022-07-05	42,57	42,27	42,45	41,94
24	2022-07-06	42,79	42,34	42,45	41,98

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 396. Análisis estadístico - Concentraciones SO2 - Parte 1

Variable estadística	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
Número de datos	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Promedio aritmético	42,46	42,48	42,55	42,55	42,45	42,55	42,90	43,06	42,81	42,73
Desviación estándar	0,21	0,25	0,46	0,20	0,21	0,63	1,25	1,16	1,11	1,03
Mediana (m)	42,52	42,53	42,54	42,54	42,49	42,65	42,88	43,17	42,90	42,70
Q1	42,31	42,41	42,39	42,46	42,36	41,82	41,76	41,74	41,97	42,00
Q3	42,64	42,65	42,63	42,71	42,55	42,91	44,19	43,89	43,65	43,54
IQR=Q3-Q1	0,33	0,24	0,24	0,25	0,19	1,08	2,44	2,15	1,68	1,54
m-3*IQR	41,53	41,82	41,82	41,79	41,92	39,40	35,57	36,71	37,87	38,07

Variable estadística	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
m+3*IQR	43,51	43,25	43,26	43,29	43,07	45,89	50,19	49,63	47,93	47,32
Concentraciones atípicas	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Máxima concentración reportada	42,69	42,79	44,39	42,85	42,84	43,72	44,85	44,82	44,83	44,78
Fecha máxima concentración reportada	2022-05-23 2022-05-25 2022-05-26	2022-05-17 2022-05-23	2022-05-07	2022-05-18	2022-05-17	2022-05-14	2022-05-04	2022-05-04	2022-05-18	2022-05-11
Mínima concentración reportada	41,98	41,86	41,94	42,16	41,86	41,49	40,95	41,10	41,08	40,99
Fecha mínima concentración reportada	2022-05-14	2022-05-14	2022-05-12 2022-05-13	2022-05-16	2022-05-14	2022-05-15	2022-05-13	2022-05-18	2022-05-04	2022-05-22

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 397. Análisis estadístico - Concentraciones SO2 - Parte 2

Variable estadística	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta de este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
Número de datos	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Promedio aritmético	42,73	42,85	42,99	42,88	42,70	43,88	43,80	42,65	43,53	43,89
Desviación estándar	0,20	0,09	0,13	0,12	0,11	0,34	0,30	0,44	0,74	1,09

Variable estadística	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta de este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
Mediana (m)	42,77	42,85	43,04	42,85	42,77	43,83	43,76	42,69	43,29	43,25
Q1	42,55	42,78	42,92	42,77	42,62	43,64	43,58	42,48	43,08	43,09
Q3	42,78	42,92	43,08	42,95	42,77	44,12	44,04	42,84	43,83	45,27
IQR=Q3-Q1	0,23	0,14	0,15	0,18	0,15	0,48	0,46	0,35	0,75	2,18
m-3*IQR	42,09	42,42	42,58	42,30	42,33	42,38	42,39	41,63	41,06	36,71
m+3*IQR	43,45	43,28	43,50	43,40	43,21	45,28	45,13	43,75	45,53	49,79
Concentraciones atípicas	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máxima concentración reportada	43,15	43,01	43,15	43,08	42,77	44,60	44,35	43,49	45,52	46,04
Fecha máxima concentración reportada	2022-05-11	2022-05-10	2022-05-20 2022-05-22 2022-05-05	2022-05-04 2022-05-20 2022-05-22 2022-05-24	2022-05-04 2022-05-06 2022-05-09 2022-05-11 2022-05-13 2022-05-15 2022-05-16 2022-05-17 2022-05-18 2022-05-20 2022-05-21 2022-05-22	2022-05-18	2022-05-09	2022-05-14	2022-05-10	2022-05-07

Variable estadística	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta de este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
					2022-05-23 2022-05-25 2022-05-26					
Mínima concentración reportada	42,33	42,63	42,66	42,77	42,48	43,34	43,14	41,17	42,70	42,94
Fecha mínima concentración reportada	2022-05-24	2022-05-26	2022-05-27	2022-05-16 2022-05-17 2022-05-18 2022-05-21 2022-05-23 2022-05-24 2022-05-25 2022-05-26	2022-05-05 2022-05-08 2022-05-12	2022-05-10	2022-05-10	2022-05-09	2022-05-20	2022-05-09 2022-05-11

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 398. Análisis estadístico - Concentraciones SO2 - Parte 3

Variable estadística	CA 7. Casa Edilberto	CA 10. Universidad Pedagógica	CA 11. Sala de negocios	CA 20. Conjunto Tibabuyes
Número de datos	24	24	24	24
Promedio aritmético	42,75	41,93	42,02	42,12
Desviación estándar	0,10	0,31	0,24	0,17
Mediana (m)	42,71	41,99	42,00	42,14
Q1	42,71	41,77	41,82	41,96

Variable estadística	CA 7. Casa Edilberto	CA 10. Universidad Pedagógica	CA 11. Sala de negocios	CA 20. Conjunto Tibabuyes
Q3	42,79	42,17	42,23	42,22
IQR=Q3-Q1	0,08	0,40	0,41	0,27
m-3*IQR	42,49	40,79	40,79	41,34
m+3*IQR	42,94	43,19	43,22	42,94
Concentraciones atípicas	0	0	0	0,00
Máxima concentración reportada	42,94	42,36	42,45	42,47
Fecha máxima concentración reportada	2022-06-30 2022-07-02 2022-07-04	2022-06-20	2022-07-05 2022-07-06	20/06/2022
Mínima concentración reportada	42,50	41,30	41,59	41,87
Fecha mínima concentración reportada	2022-06-19	2022-06-15	2022-06-26	22/06/2022

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

El contaminante SO2 reportó valores por debajo del límite mínimo de cuantificación utilizado del método Pararosanilina en las veinticuatro (24) estaciones y en la totalidad de los días de la campaña de monitoreo (ver Figura 807 a la Figura 830). Con respecto a la normatividad de referencia Resolución 2254 de 2017, la totalidad de las mediciones se encuentra por debajo del límite establecido (50 µg/m3), lo que indica que en la zona de estudio las fuentes que emiten este gas a la atmósfera no representan ninguna amenaza a la calidad del aire. Es importante considerar que, en cuanto al promedio anual la normativa no fija un límite permisible.

Adicionalmente, se observa que el SO_2 mantiene un comportamiento estable, mientras que los parámetros de PM_{10} y $PM_{2.5}$ sí tienen variación; esto debido a que el SO_2 es principalmente un contaminante emitido por combustión, evidenciando que las emisiones por resuspensión y erosión eólica de material particulado en la zona son importantes.

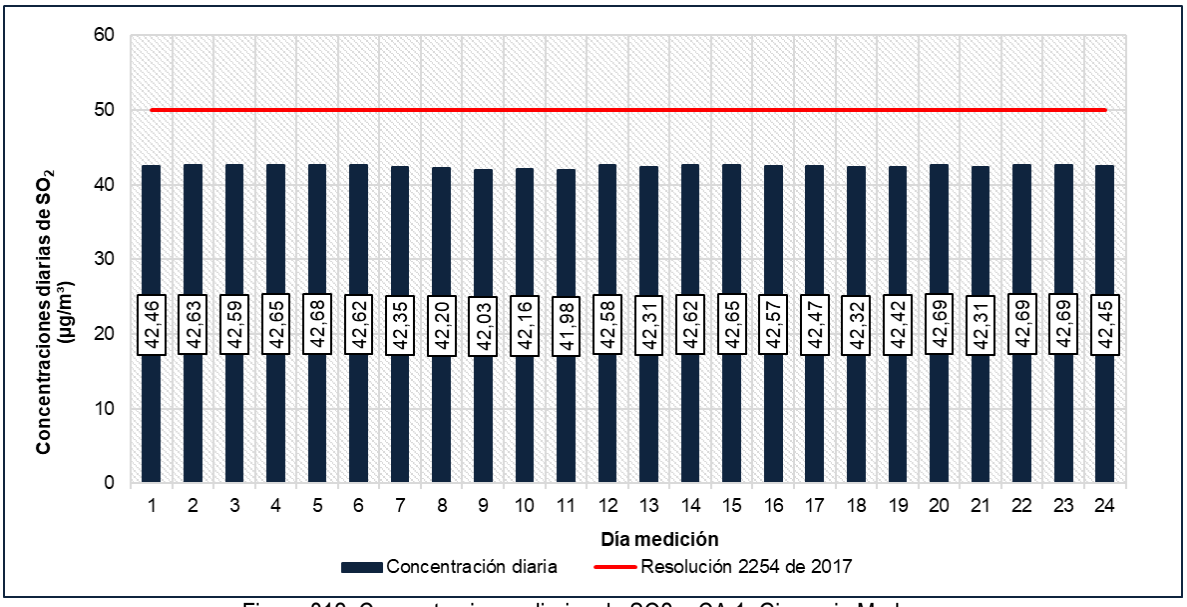


Figura 812. Concentraciones diarias de SO2 – CA 1. Gimnasio Moderno
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

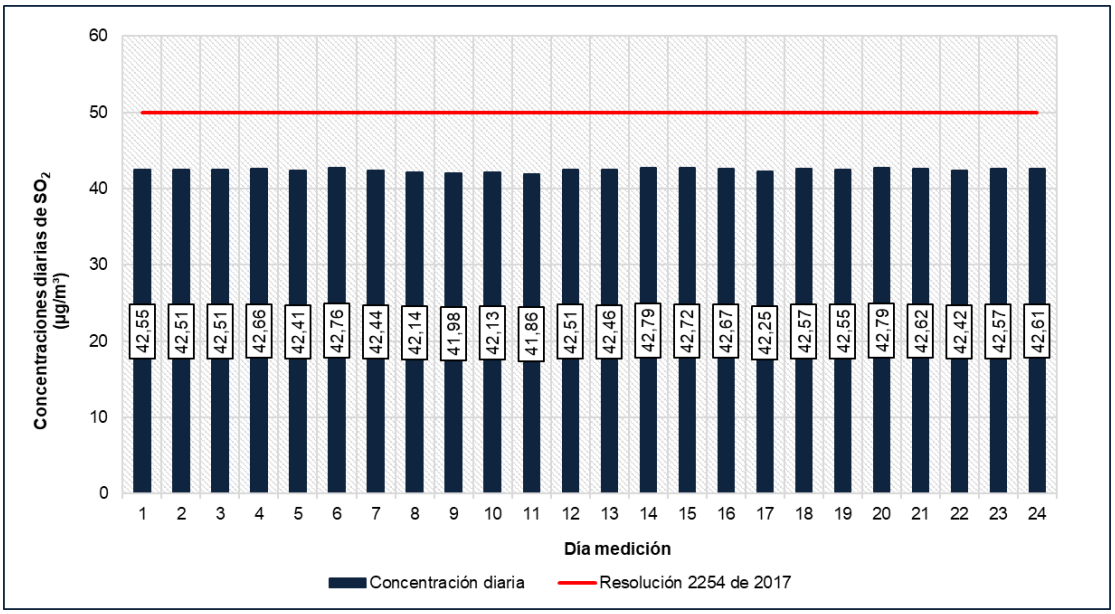


Figura 813. Concentraciones diarias de SO2 – CA 2. Casa Jose Galo
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

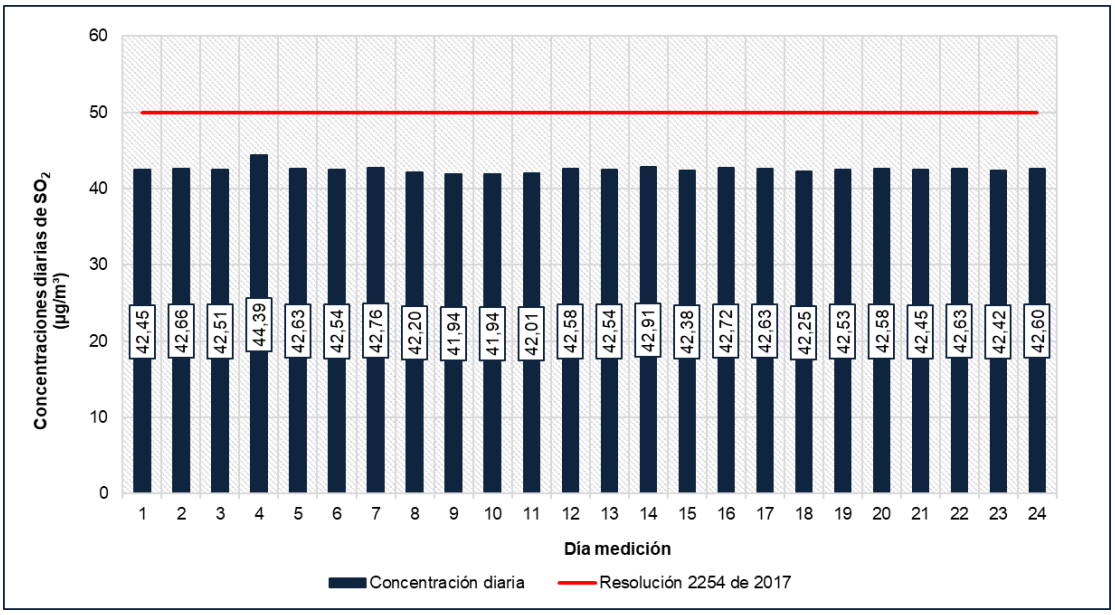


Figura 814. Concentraciones diarias de SO2 – CA 3. Colegio San Felipe Neri
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

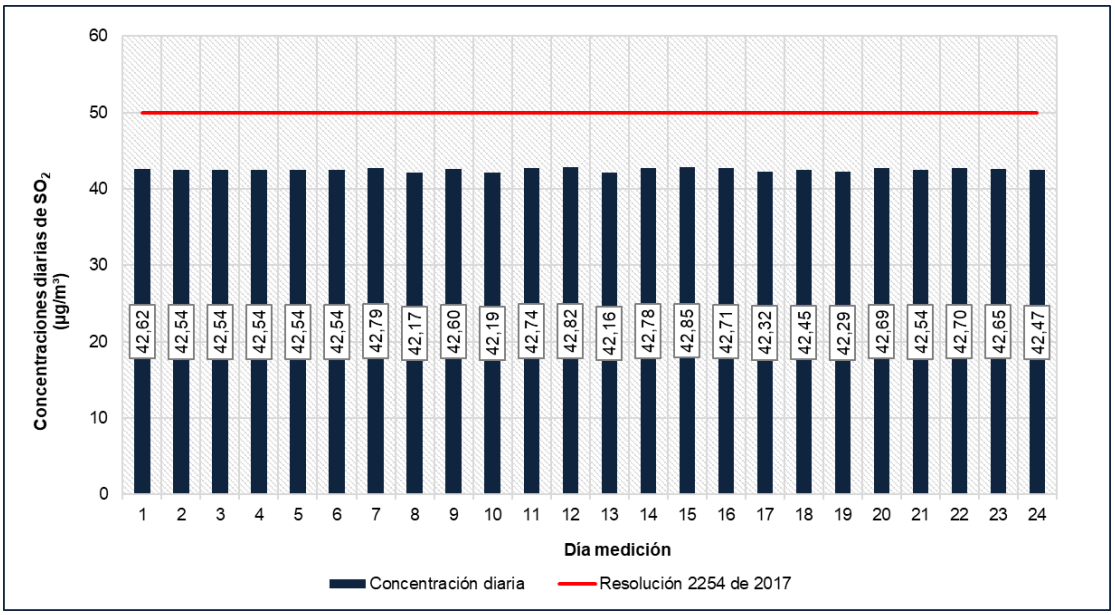


Figura 815. Concentraciones diarias de SO2 – CA 4. Colegio Liceo Val
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

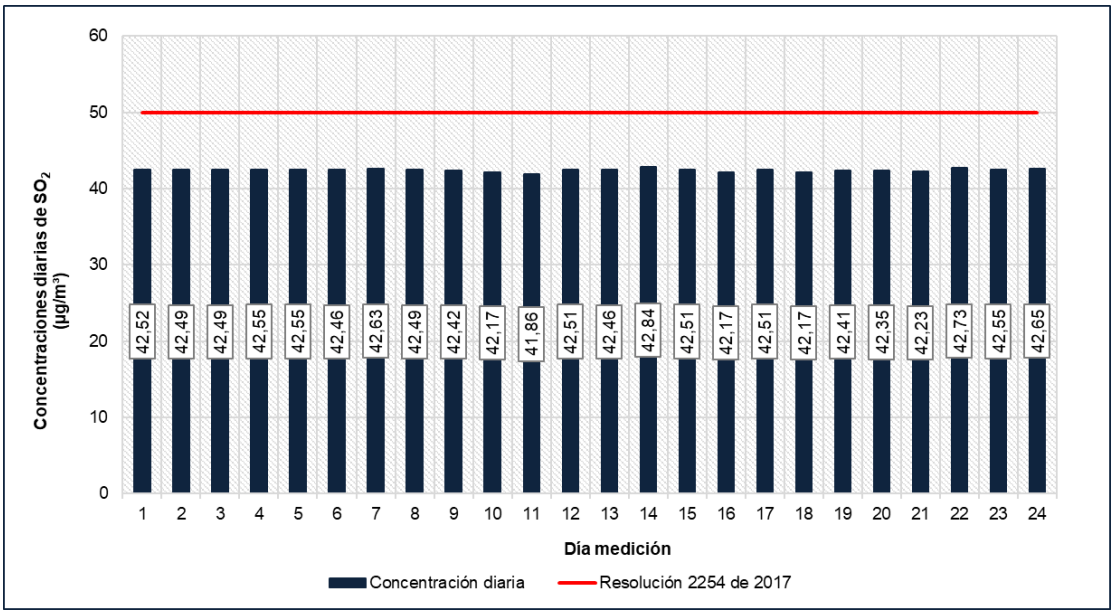


Figura 816. Concentraciones diarias de SO2 – CA 5. Casa Luis Yomayusa
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

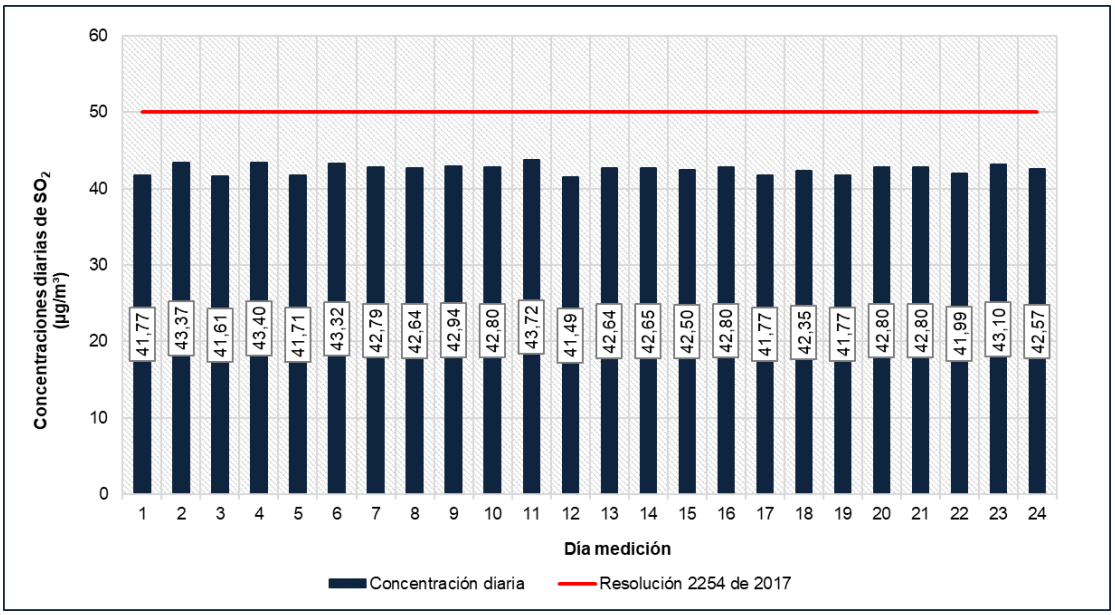


Figura 817. Concentraciones diarias de SO2 – CA 6. Ofidrogras
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

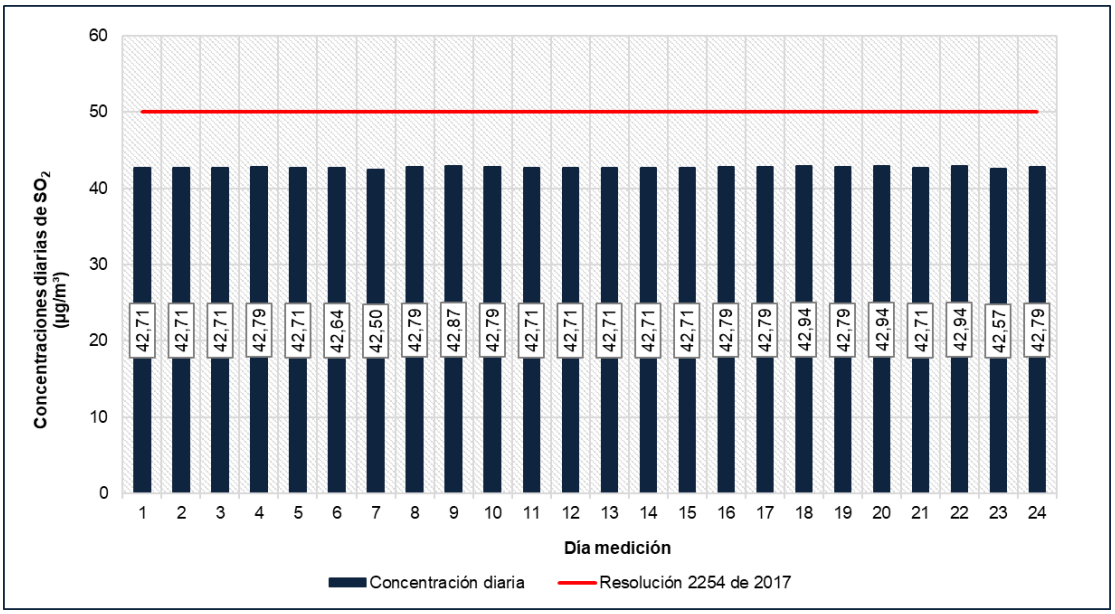


Figura 818. Concentraciones diarias de SO2 – CA 7. Casa Edilberto
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

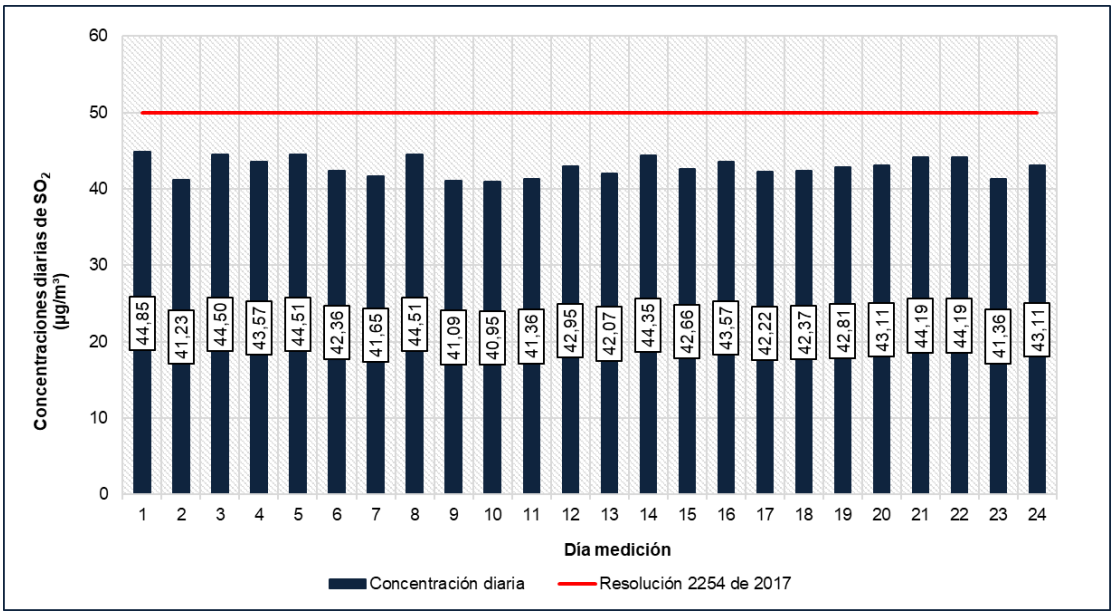


Figura 819. Concentraciones diarias de SO2 – CA 8. Bomberos
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

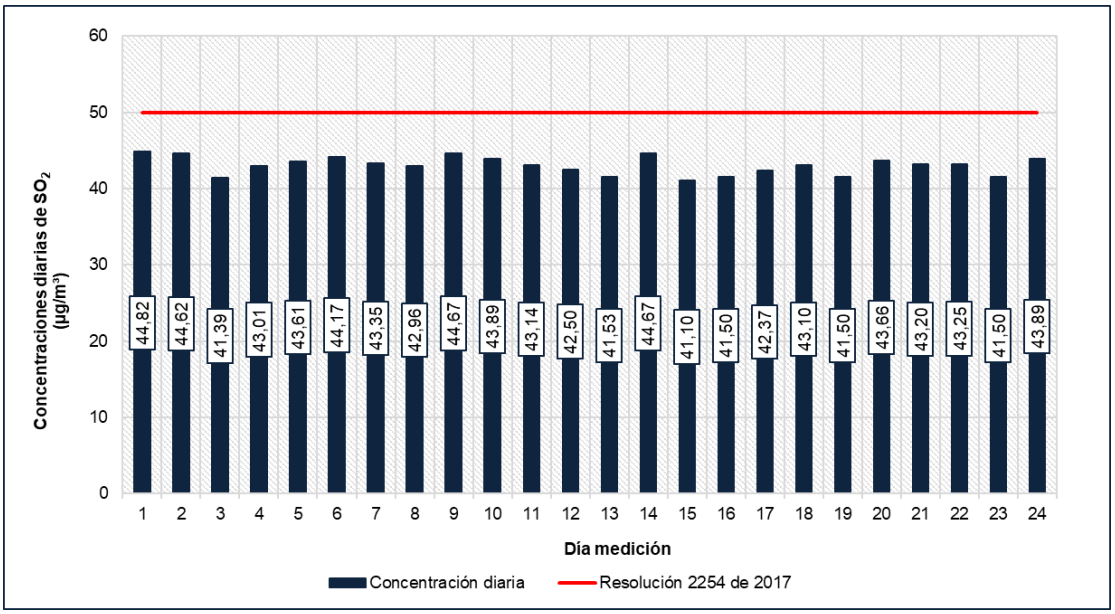


Figura 820. Concentraciones diarias de SO2 – CA 9. Casa Luz Dary
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

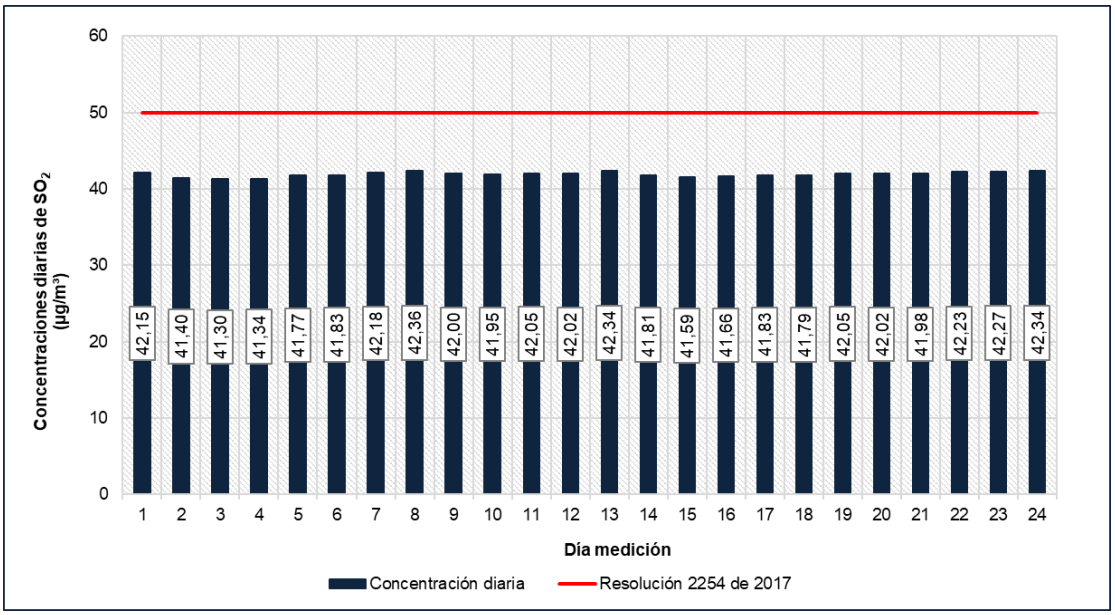


Figura 821. Concentraciones diarias de SO2 – CA 10. Universidad Pedagógica
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

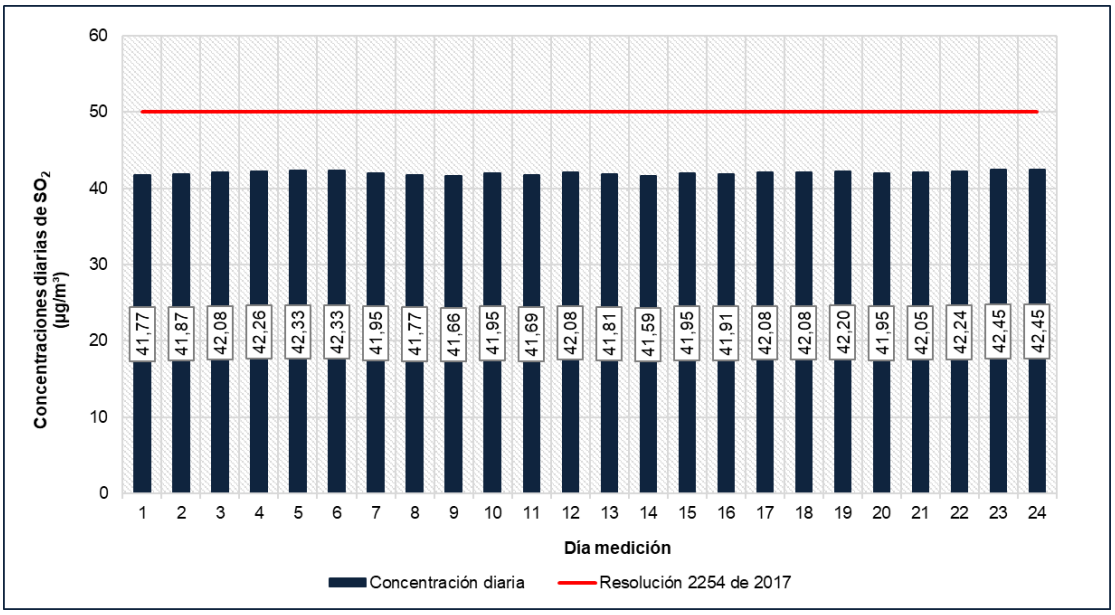


Figura 822. Concentraciones diarias de SO2 – CA 11. Sala de Negocios
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

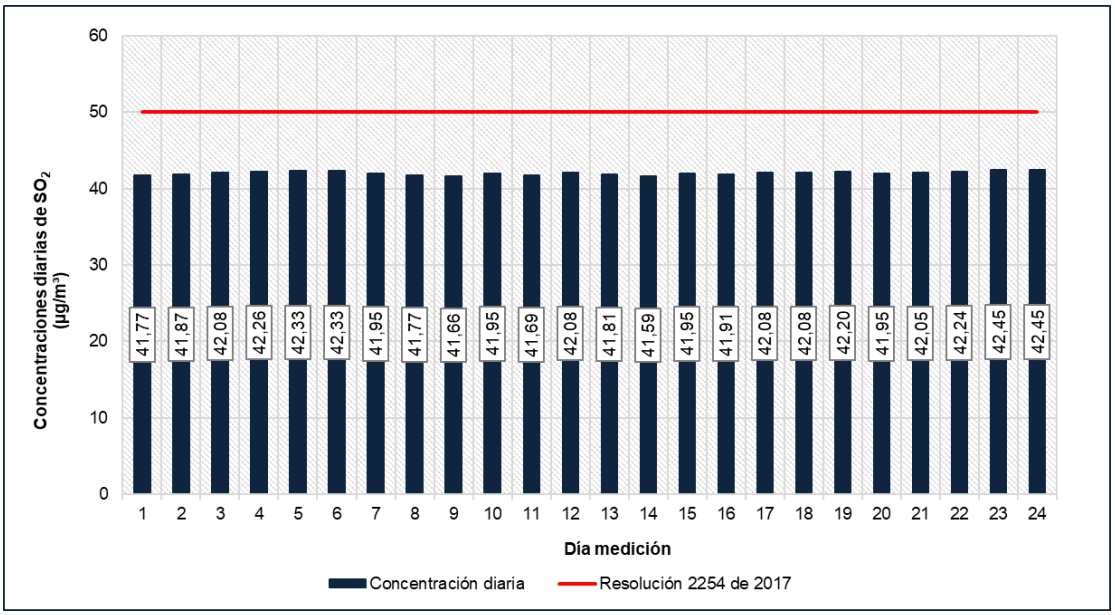


Figura 823. Concentraciones diarias de SO2 – CA 12. Salón comunal Almería
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

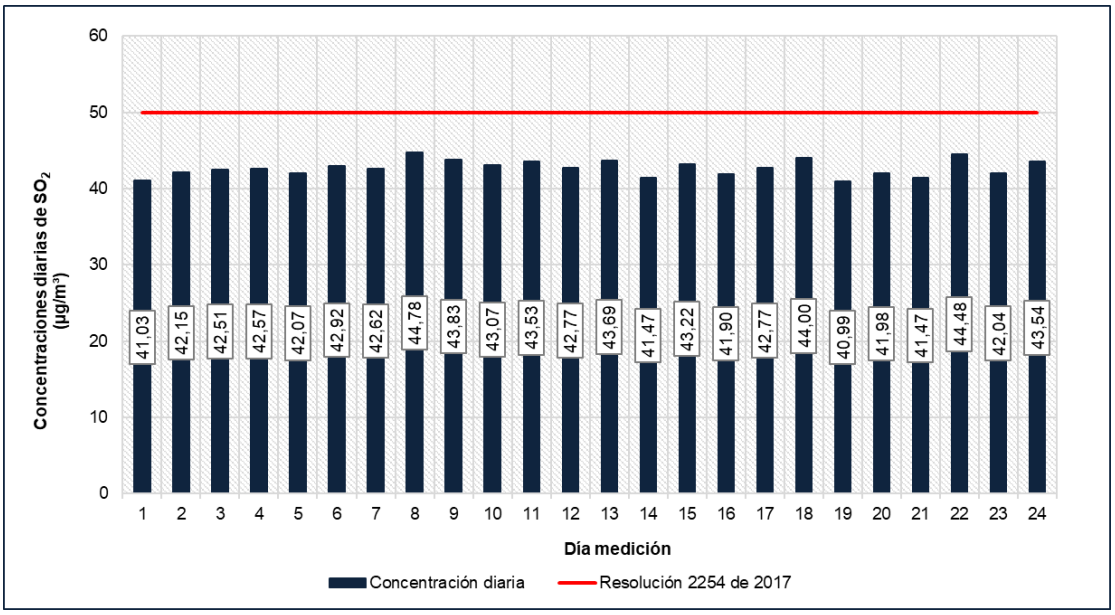


Figura 824. Concentraciones diarias de SO2 – CA 13. Casa Paulina Garcia
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

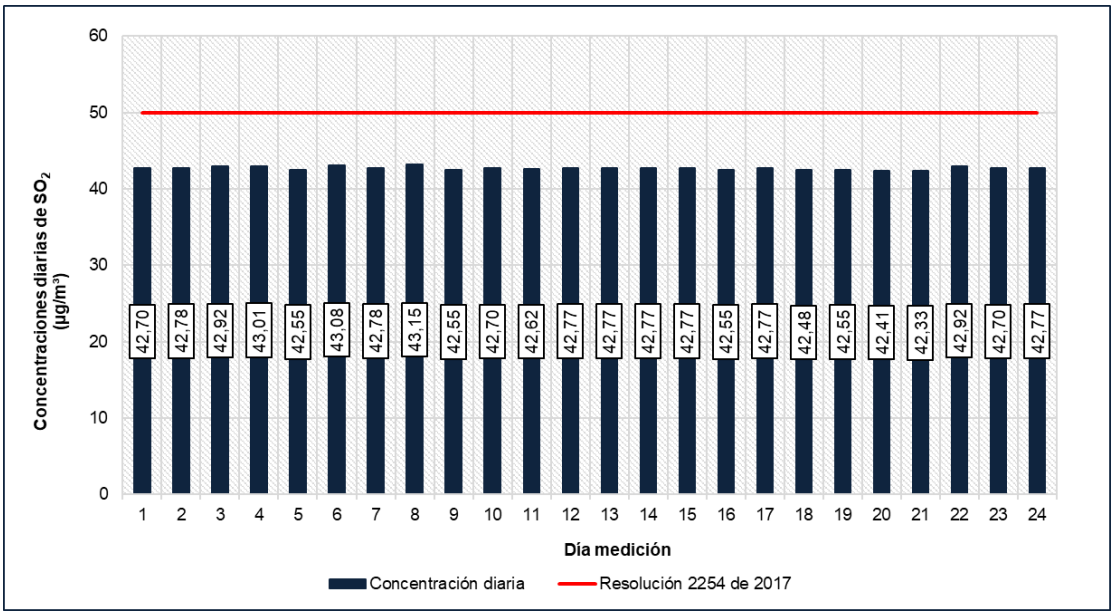


Figura 825. Concentraciones diarias de SO2 – CA 14. Casa Yeison Chitiva.
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

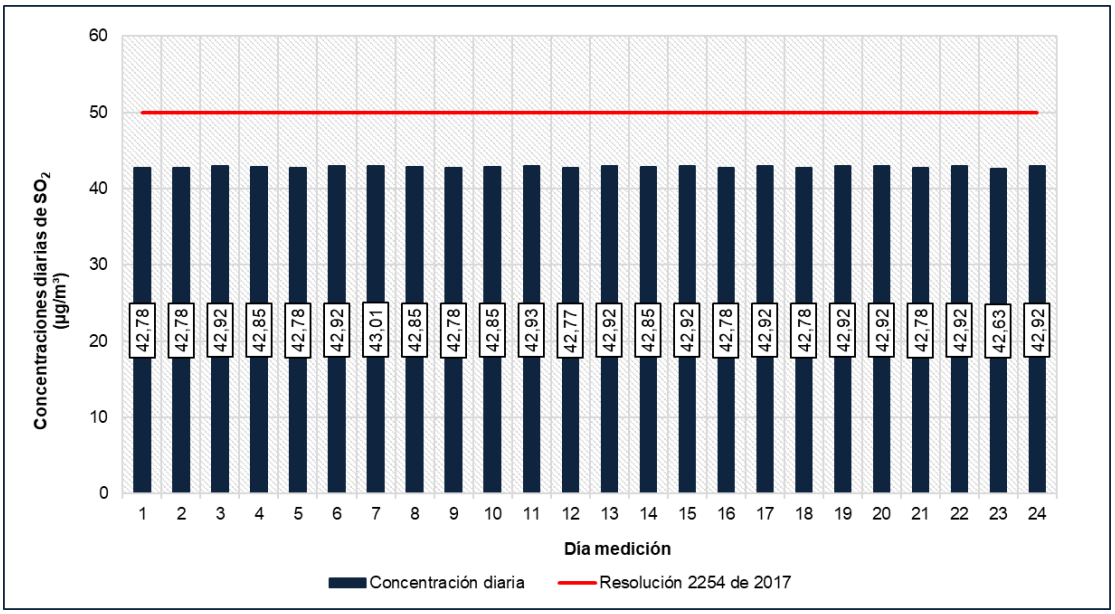


Figura 826. Concentraciones diarias de SO2 – CA 15. Uniminuto
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

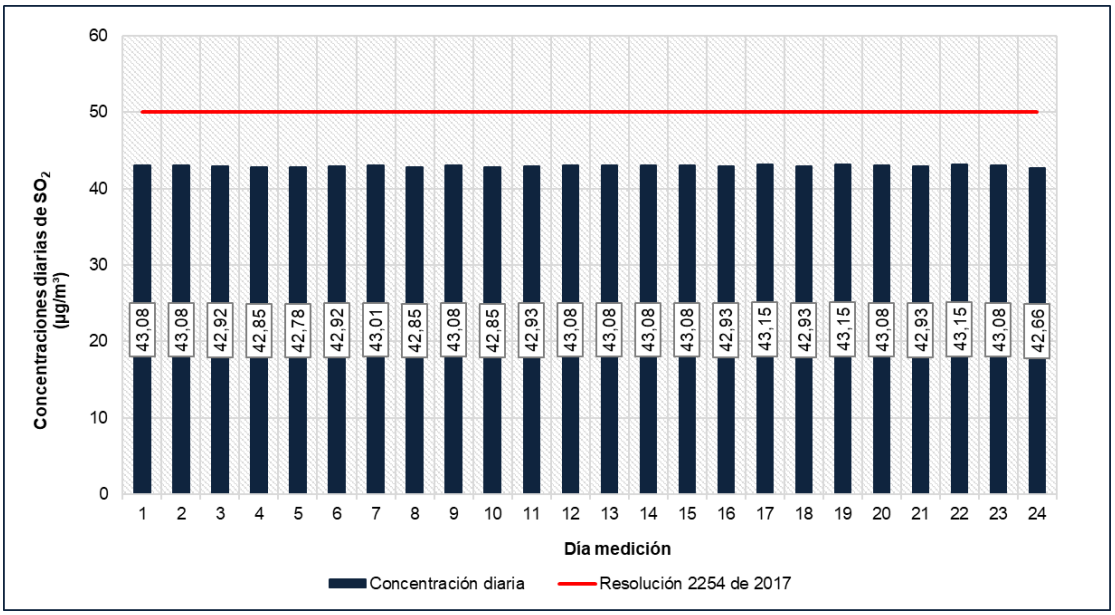


Figura 827. Concentraciones diarias de SO2 – CA 16. Punta del Este
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

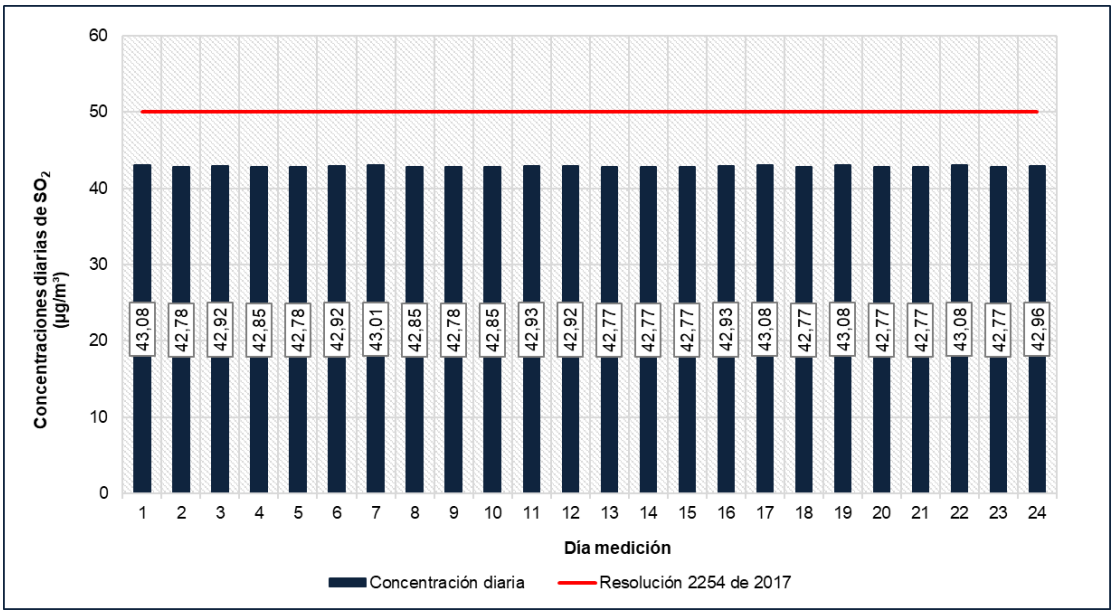


Figura 828. Concentraciones diarias de SO2 – CA 17. Casa Hilvar.
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

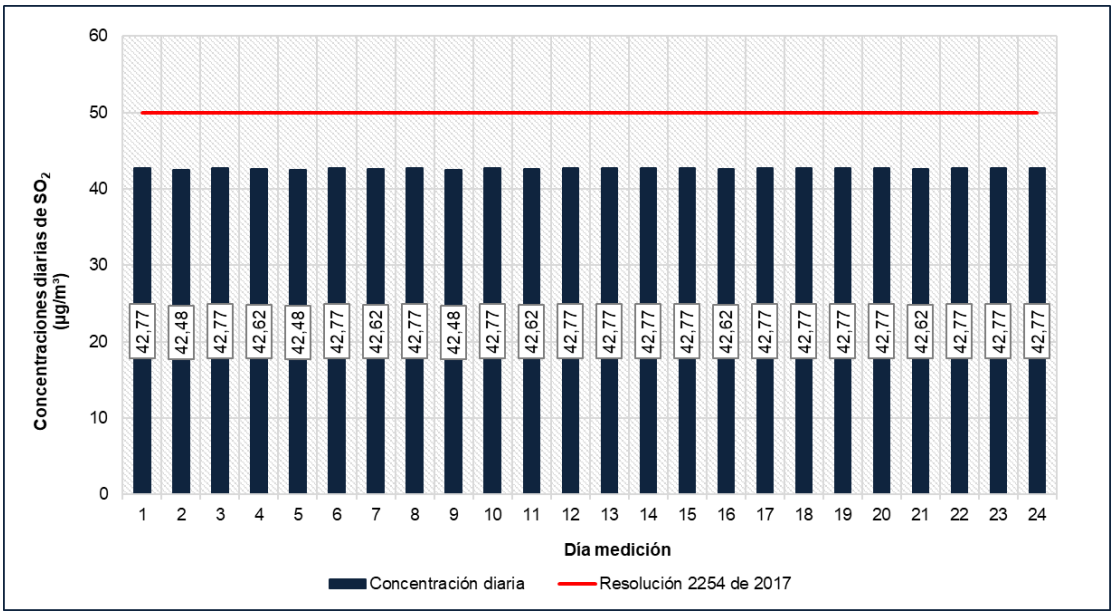


Figura 829. Concentraciones diarias de SO2 – CA 18. Casa Graciela
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

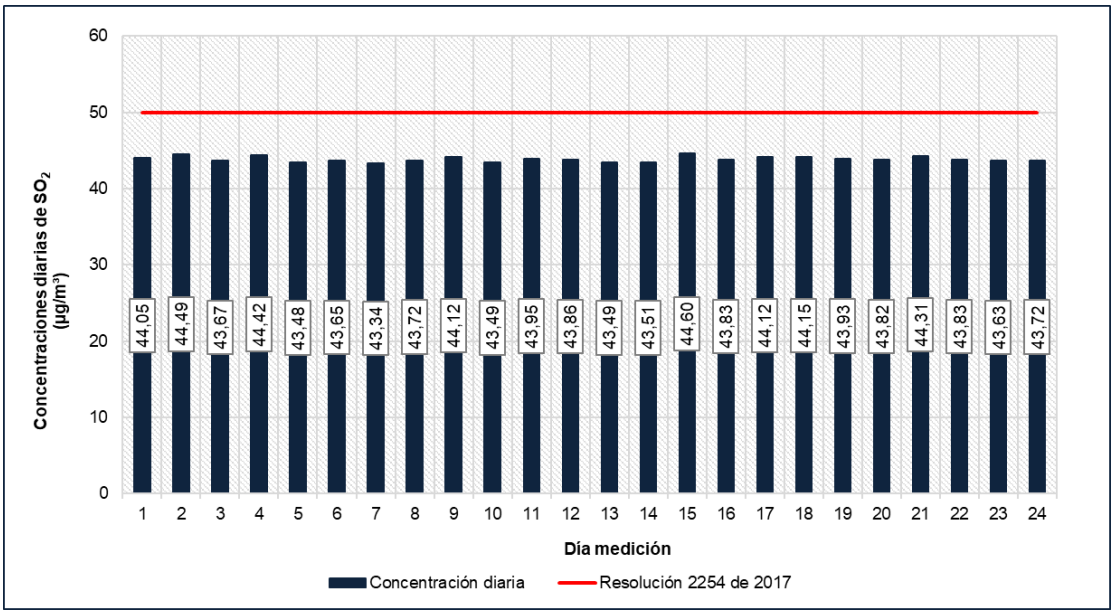


Figura 830. Concentraciones diarias de SO2 – CA 19. Fama
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

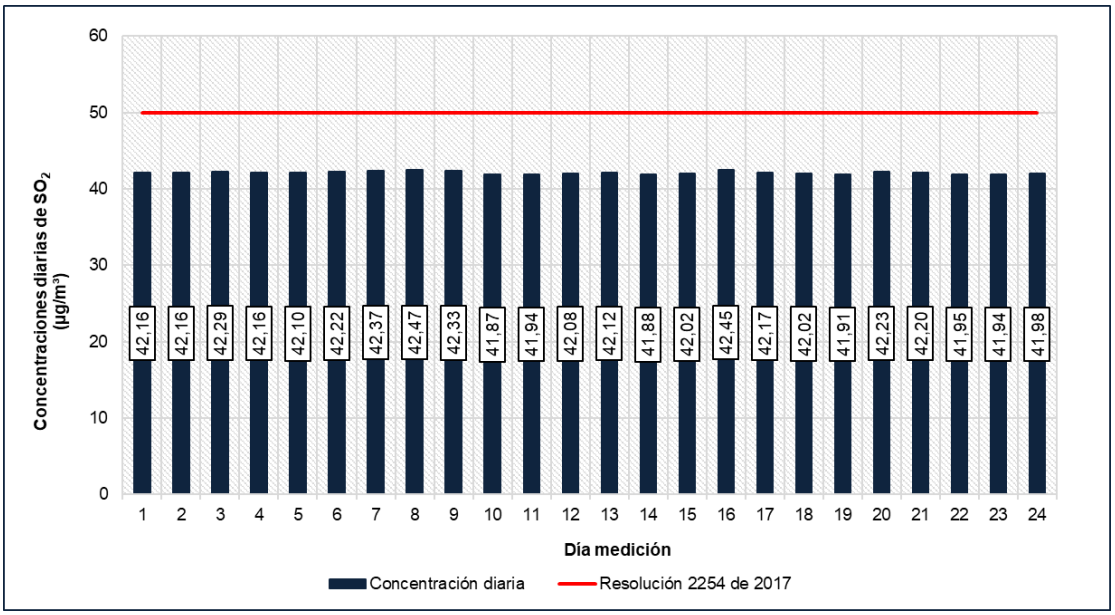


Figura 831. Concentraciones diarias de SO2 – CA 20. Conjunto Tibabuyes
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

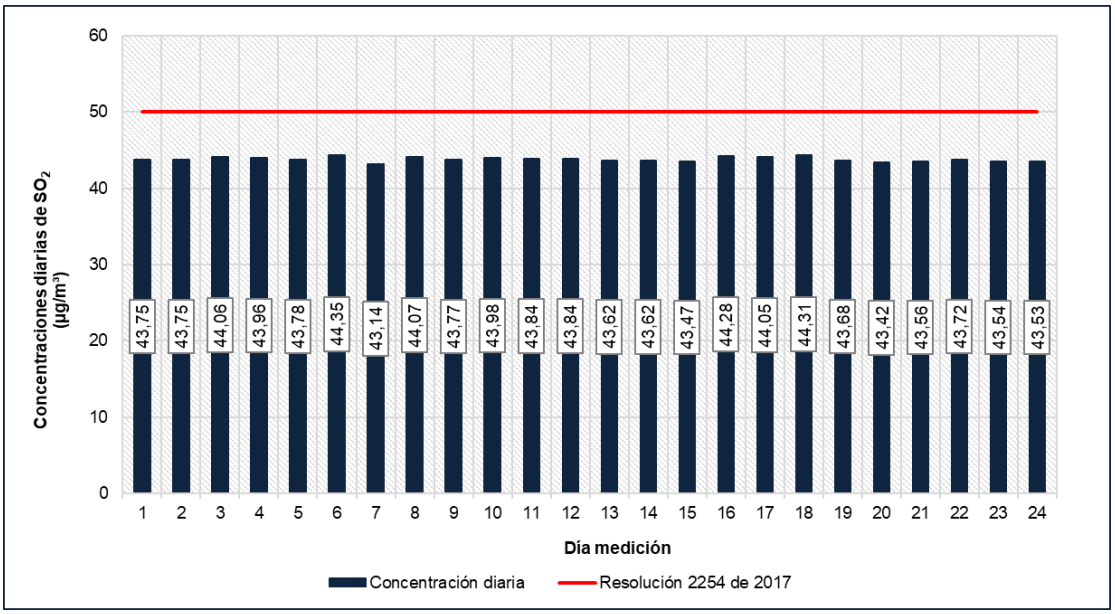


Figura 832. Concentraciones diarias de SO2 – CA 21. Conjunto Yaití
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

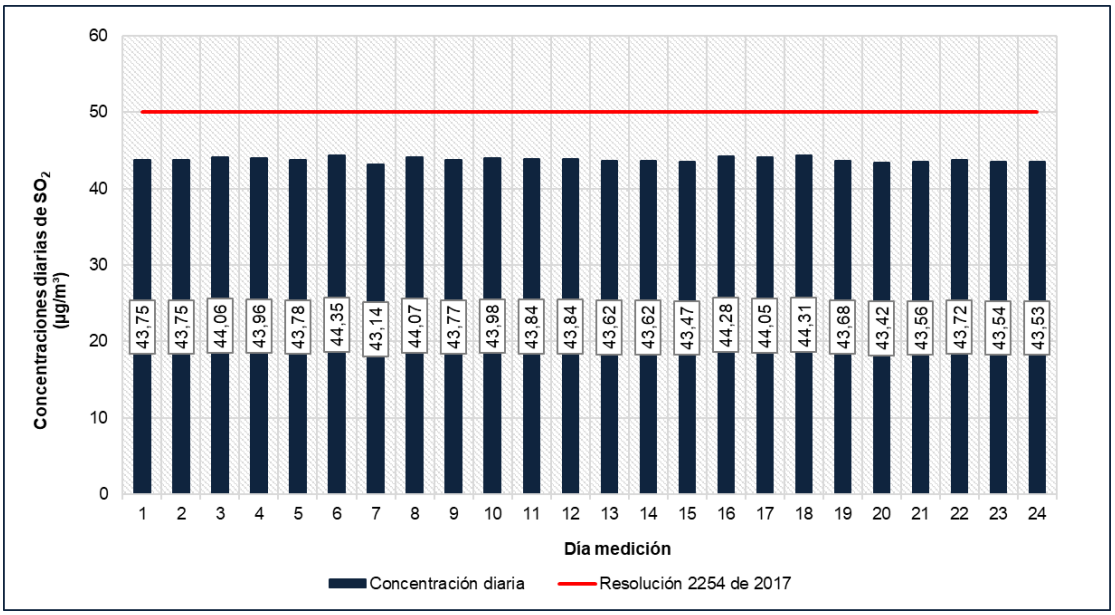


Figura 833. Concentraciones diarias de SO2 – CA 22. Conjunto Alicante
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

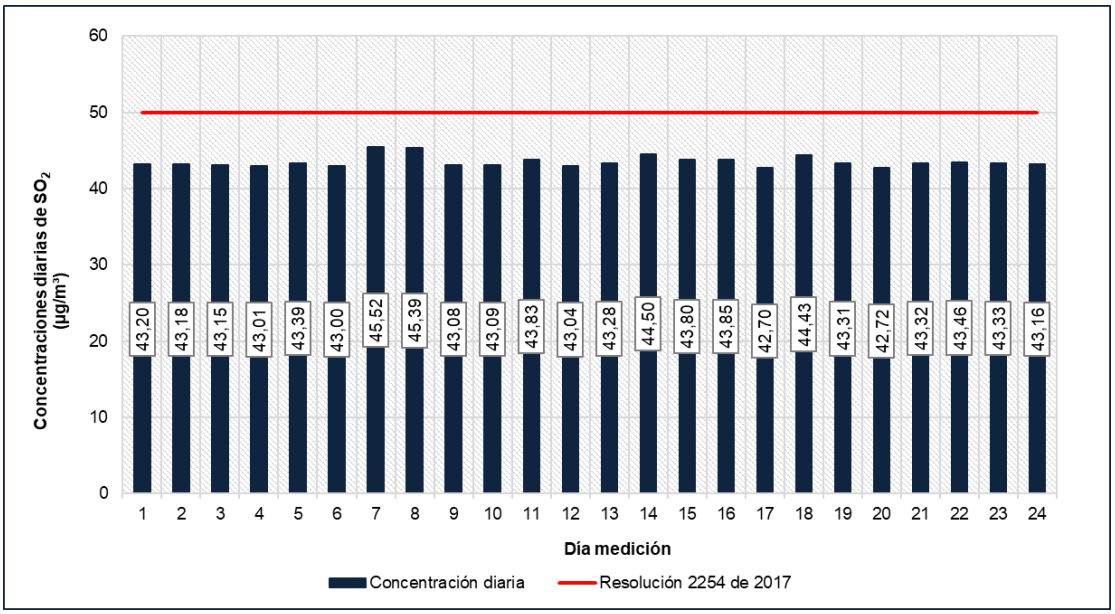


Figura 834. Concentraciones diarias de SO2 – CA 23. Quintas de Santa Rita III
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

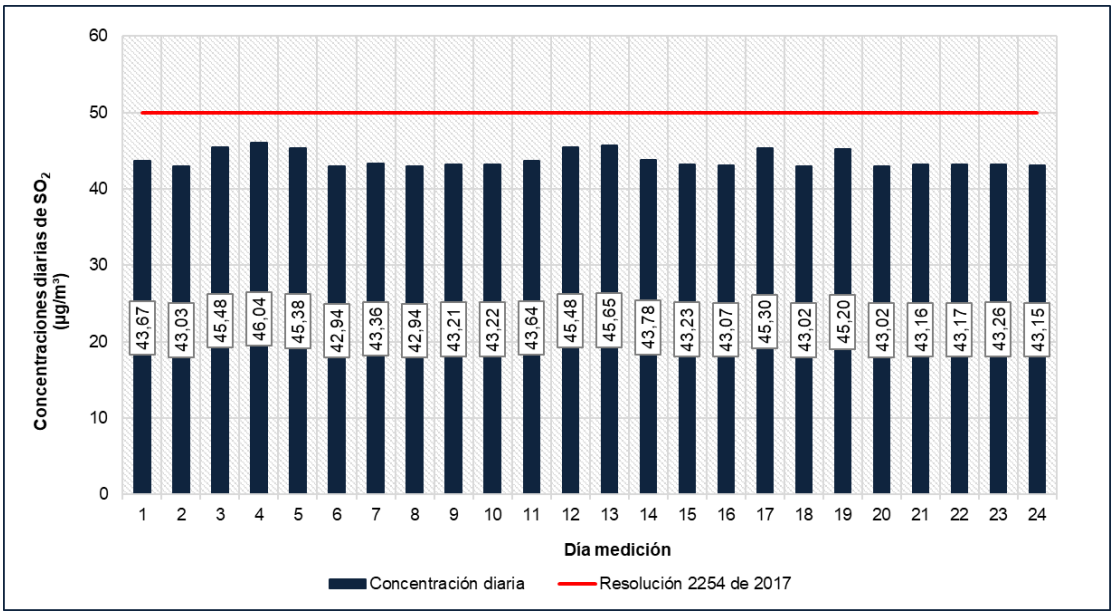


Figura 835. Concentraciones diarias de SO2 – CA 24. Quintas de Santa Rita II
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

- **Monóxido de carbono**

A continuación, se presenta el análisis estadístico de los resultados de las concentraciones de CO. De la Tabla 398 a la Tabla 400 se identifican las variables estadísticas para la determinación de los datos atípicos: número de datos, promedio aritmético, desviación estándar, mediana (m), percentil 75% (Q3), percentil 25% (Q1), distancia intercuartílica (IQR=Q3-Q1), rango intercuartílico máximo (m+3*IQR), rango intercuartílico mínimo (m- 3*IQR), (los cuales surgen de aplicar la definición del protocolo de tres distancias intercuartílicas por encima y por debajo de la mediana), máxima concentración reportada y mínima concentración reportada, con sus respectivas fechas.

Tabla 399. Análisis estadístico - Concentraciones CO - Parte 1

Variable estadística	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
Número de datos	569	569	555	555	555	558	562	569	558	558
Promedio aritmético	2339	1299	1787	911	828	1443	2431	1068	1750	3845
Desviación estándar	436	471	218	434	407	610	514	615	700	927
Mediana (m)	2258	1312	1806	951	762	1456	2505	1044	1378	3788
Q1	1957	1055	1662	545	511	948	1987	541	1239	2860
Q3	2631	1591	1920	1199	1170	1843	2826	1540	2070	4554
IQR=Q3-Q1	673	535	259	654	659	895	838	998	830	1694
m-3*IQR	238	-294	1030	-1012	-1216	-1229	-10	-1951	-1113	-1293
m+3*IQR	4278	2918	2582	2914	2741	4141	5020	4039	3869	8870
Concentraciones atípicas	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Máxima concentración reportada	3347,15	2148,44	2412,62	2272,07	1893,75	3444,00	3759,28	3870,46	4473,68	5984,48
Fecha máxima concentración reportada	2022-05-10	2022-05-11	2022-05-07	2022-05-19 2022-05-25	2022-05-04	2022-05-05	2022-05-23	2022-05-10	2022-05-06	2022-05-07
Mínima concentración reportada	1721,35	120,10	558,96	82,96	113,00	253,15	1467,99	113,00	1056,25	2501,64

Variable estadística	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 8. Bomberos	CA 9. Casa Luz Dary	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia
Fecha mínima concentración reportada	2022-05-04	2022-05-21	2022-05-04	2022-05-15	2022-05-07	2022-05-09	2022-05-13	2022-05-12	2022-05-18	2022-05-26

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 400. Análisis estadístico - Concentraciones CO - Parte 2

Variable estadística	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta del este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
Número de datos	558	569	569	569	569	569	558	569	569	569
Promedio aritmético	3292	3065	452	3152	254	512	840	286	389	461
Desviación estándar	647	749	300	1720	64	123	428	128	121	74
Mediana (m)	3401	3039	375	3000	267	488	809	280	415	439
Q1	2654	2445	229	1542	193	423	503	174	308	419
Q3	3777	3662	597	4682	296	574	1160	397	453	469
IQR=Q3-Q1	1123	1217	368	3140	103	151	656	222	146	50
m-3*IQR	32	-612	-729	-6421	-42	36	-1160	-387	-22	289
m+3*IQR	6771	6691	1480	12422	576	939	2778	948	853	589
Concentraciones atípicas	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
Máxima concentración reportada	4512,68	4791,59	1508,10	6796,90	636,35	962,62	2078,48	612,18	740,91	718,02
Fecha máxima concentración reportada	2022-05-07	2022-05-09	2022-05-25	2022-05-15	2022-05-04	2022-05-08	2022-05-15	2022-05-08	2022-05-13	2022-05-25

Variable estadística	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta del este	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
Mínima concentración reportada	2179,82	1385,98	67,39	222,65	160,34	303,32	54,65	45,77	75,81	339,42
Fecha mínima concentración reportada	2022-05-26	2022-05-19	2022-05-10	2022-05-10	2022-05-24	2022-05-12	2022-05-09	2022-05-11	2022-05-04	2022-05-26

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Tabla 401. Análisis estadístico - Concentraciones CO - Parte 3

Variable estadística	CA 7. Casa Edilberto	CA 10. Universidad Pedagógica	CA 11. Sala de negocios	CA 20. Conjunto Tibabuyes
Número de datos	569	569	569	569
Promedio aritmético	977	455	672	1183
Desviación estándar	532	230	461	318
Mediana (m)	918	380	601	1134
Q1	579	279	317	968
Q3	1317	575	879	1322
IQR=Q3-Q1	739	296	562	354
m-3*IQR	-1298	-509	-1085	73
m+3*IQR	3134	1268	2288	2196
Concentraciones atípicas	0	1	1	1
Máxima concentración reportada	3045,21	1318,55	2598,85	2335,48
Fecha máxima concentración reportada	2022-06-13	2022-06-29	2022-06-18	2022-07-06

Variable estadística	CA 7. Casa Edilberto	CA 10. Universidad Pedagógica	CA 11. Sala de negocios	CA 20. Conjunto Tibabuyes
Mínima concentración reportada	93,76	147,81	49,01	472,59
Fecha mínima concentración reportada	2022-06-22	2022-06-26	2022-07-01	2022-06-13

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Para el presente monitoreo se realizó la medición horaria y octahoraria de las concentraciones de CO para las veinticuatro (24) estaciones de monitoreo. En la Tabla 401 se registra la concentración máxima horaria y la media móvil octahoraria máxima de CO obtenidas en el área de influencia, detectando concentraciones bajas de este parámetro en la mayoría de las estaciones respecto a los límites máximos permisibles, no obstante, para las estaciones CA 13. Casa Paulina Garcia y CA 17. Casa Hilvar se detectaron valores que se encuentran por encima del límite máximo establecido (Norma Octahoraria).

Tabla 402. Resultados de las concentraciones de CO

Estaciòn	Concentración Máxima Horaria (µg/m³)	Concentración Máxima Octohoraria (µg/m³)	Norma Horaria (µg/m³)	Norma Octohoraria (µg/m³)
CA1 Gimnasio Moderno	3941,21	3347,15	35 000	5000
CA2 Casa Jose Galo	2535,68	2148,44	35 000	5000
CA3 Colegio San Felipe Neri	2475,49	2412,62	35 000	5000
CA4 Colegio Liceo Val	2969,35	2272,07	35 000	5000
CA5 Casa Luis Yomayusa	3112,39	1893,75	35 000	5000
CA6 Ofidrogas	6808,40	3444,00	35 000	5000
CA7 Casa Edilberto	3530,89	3045,21	35 000	5000
CA8 Bomberos	5427,61	3759,28	35 000	5000
CA9 Casa Luz Dary	9360,05	3870,46	35 000	5000
CA10 Universidad Pedagógica	2241,89	1318,55	35 000	5000
CA11 Sala de negocios	3503,00	2598,85	35 000	5000

Estaciòn	Concentración Máxima Horaria (µg/m³)	Concentración Máxima Octohoraria (µg/m³)	Norma Horaria (µg/m³)	Norma Octohoraria (µg/m³)
CA12 Salón comunal Almería	5121,33	4473,68	35 000	5000
CA13 Casa Paulina Garcia	6625,27	5984,48	35 000	5000
CA14 Casa Yeison Chitiva	4817,33	4512,68	35 000	5000
CA15 Uniminuto	5000,42	4791,59	35 000	5000
CA16 Punta del este	1933,57	1507,10	35 000	5000
CA17 Casa Hilvar	8810,80	6796,90	35 000	5000
CA18 Casa Graciela	2299,66	636,55	35 000	5000
CA19 Fama	1300,67	962,62	35 000	5000
CA20 Conjunto Tibabuyes	3051,36	2335,48	35 000	5000
CA21 Conjunto Yaití	2672,42	2078,48	35 000	5000
CA22 Conjunto Alicante	858,20	612,18	35 000	5000
CA23 Quintas de Santa Rita III	1087,05	740,91	35 000	5000
CA24 Quintas de Santa Rita II	894,81	718,02	35 000	5000

Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

Con respecto a la norma horaria las concentraciones promedio horarias de CO obtenidas en las veinticuatro (24) estaciones de calidad del aire, evaluadas en el área de influencia, durante los días de monitoreo no exceden el nivel máximo permisible de 35 000 µg/m3.

Para el promedio octohorario, se calculó la media móvil octohoraria en cada una de las estaciones monitoreadas. De la Figura 831 a la Figura 854 se presenta el comportamiento de la media móvil y permite evidenciar que la mayoría de los valores reportados no excede el nivel máximo permisible de 5000 µg/m3. Sin embargo, algunos valores de las estaciones CA 13. Casa Paulina Garcia y CA 17. Casa Hilvar se encuentran por encima del límite máximo establecido esto posiblemente por el flujo vehicular constante que pasa por las calles circundantes, así como los diferentes locales automotrices que se encuentran en esa zona.

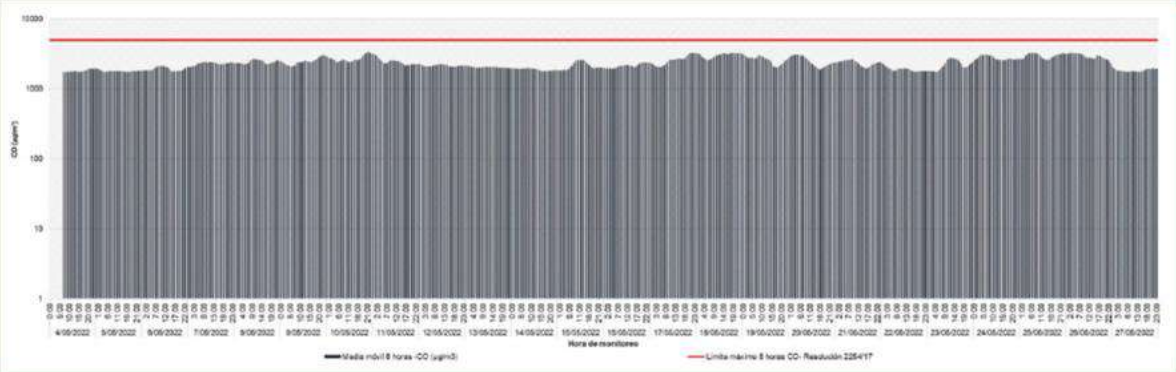


Figura 836. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 1. Gimnasio Moderno
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

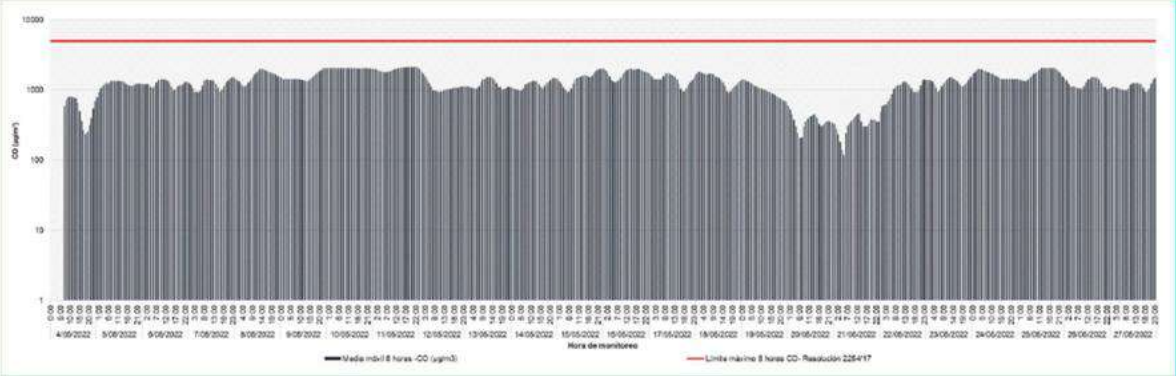


Figura 837. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 2. Casa Jose Galo
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

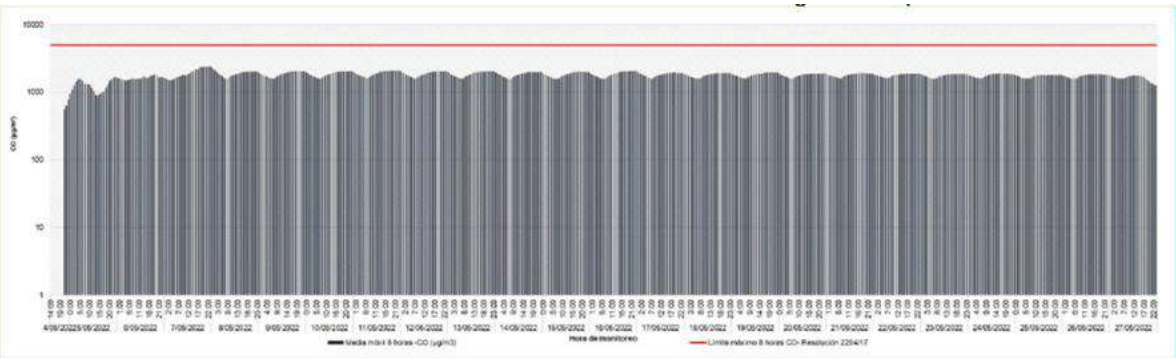


Figura 838. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 3. Colegio San Felipe Neri
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

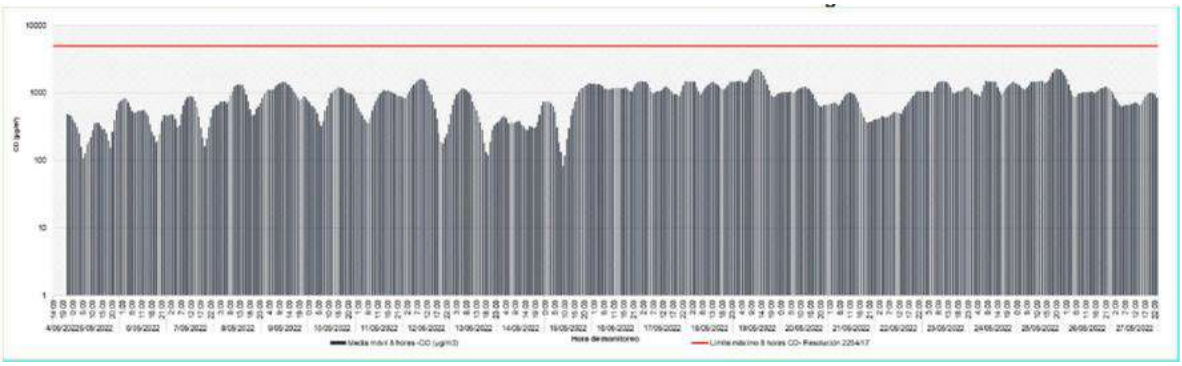


Figura 839. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 4. Colegio Liceo Val
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

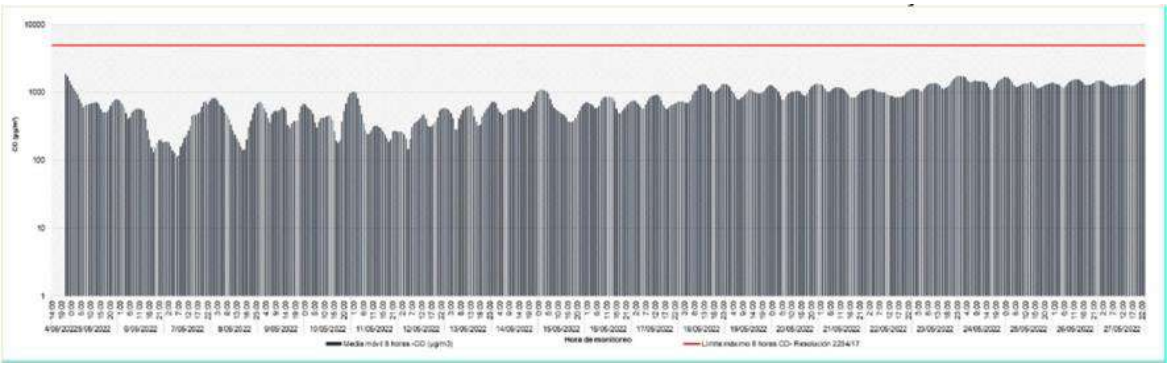


Figura 840. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 5. Casa Luis Yomayusa
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

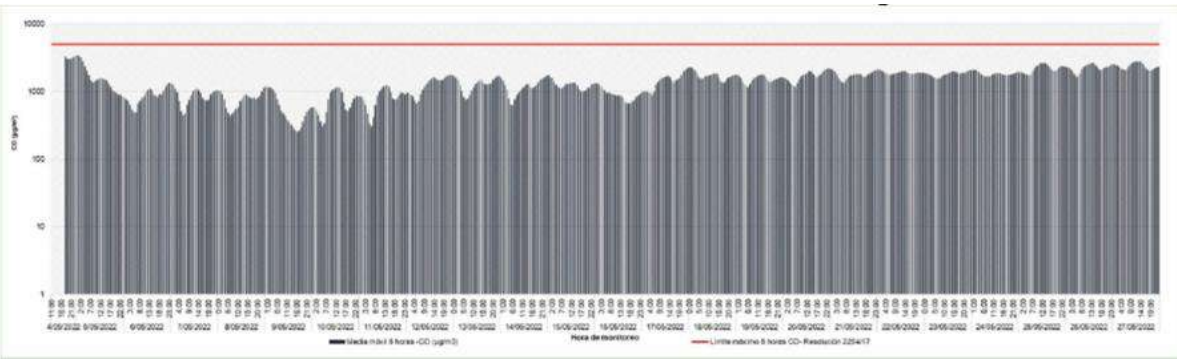


Figura 841. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 6. Ofidrogas
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

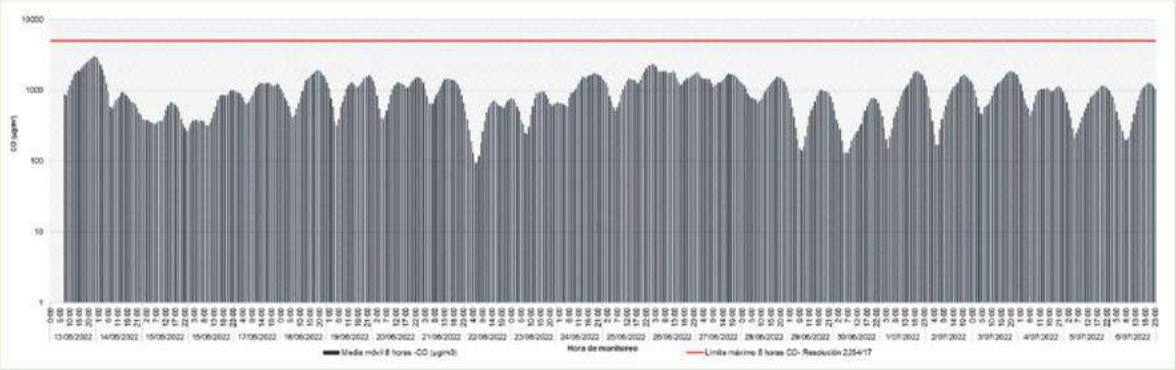


Figura 842. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 7. Casa Edilberto
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

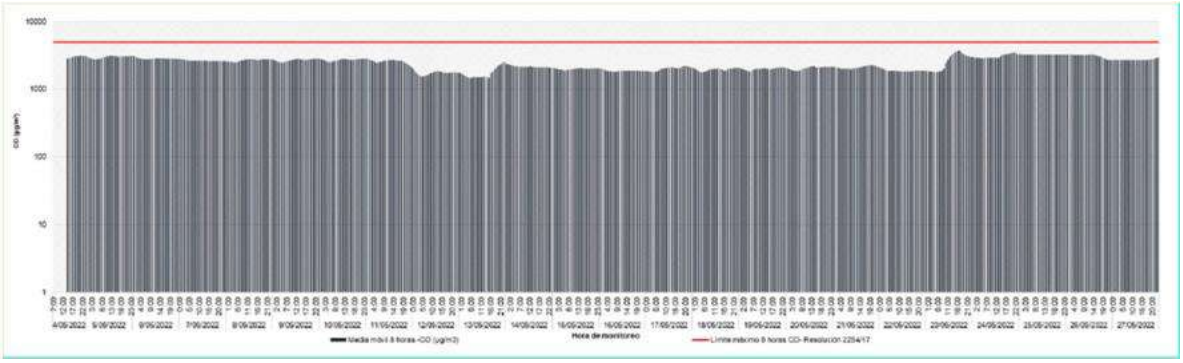


Figura 843. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 8. Bomberos
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

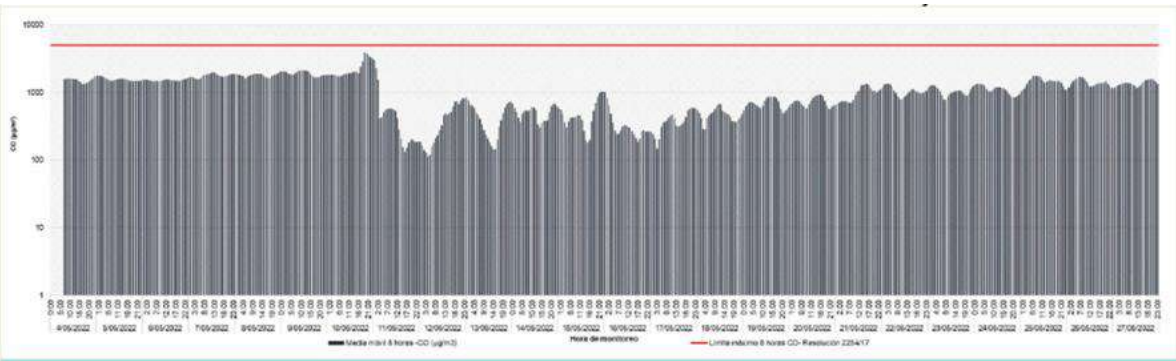


Figura 844. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 9. Casa Luz Dary
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

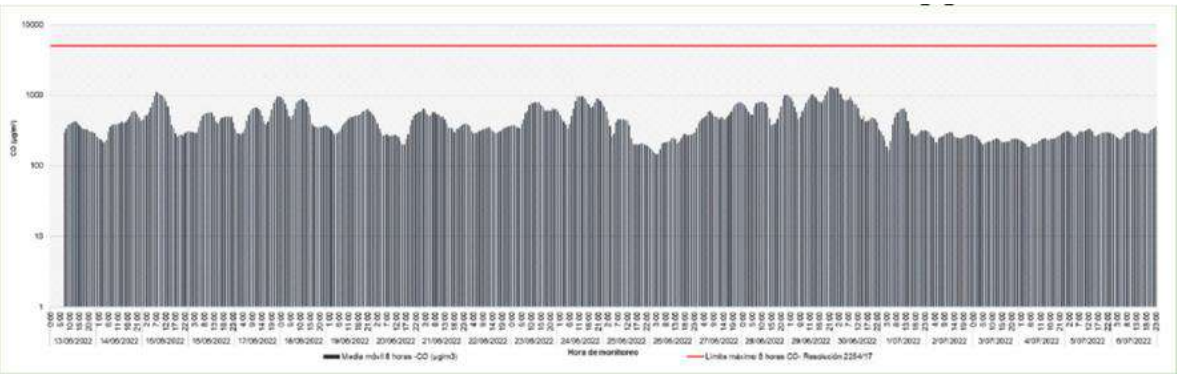


Figura 845. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 10. Universidad Pedagógica
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

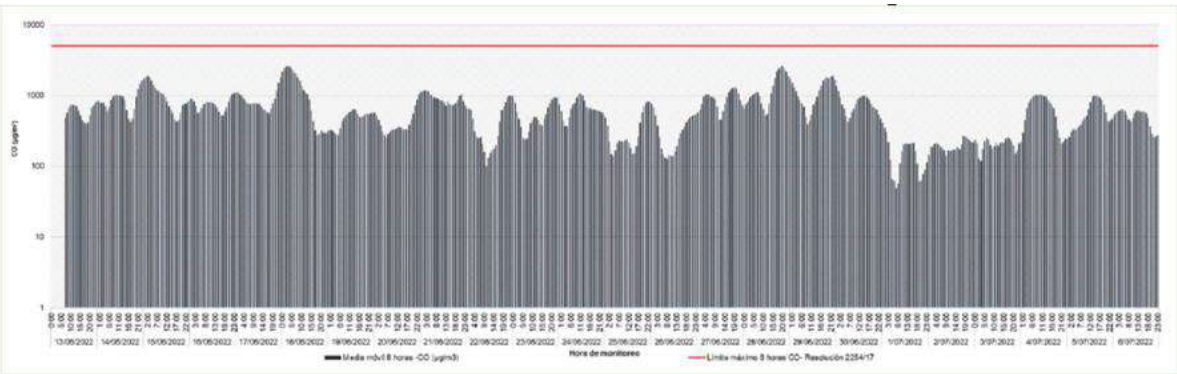


Figura 846. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 11. Sala de negocios
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

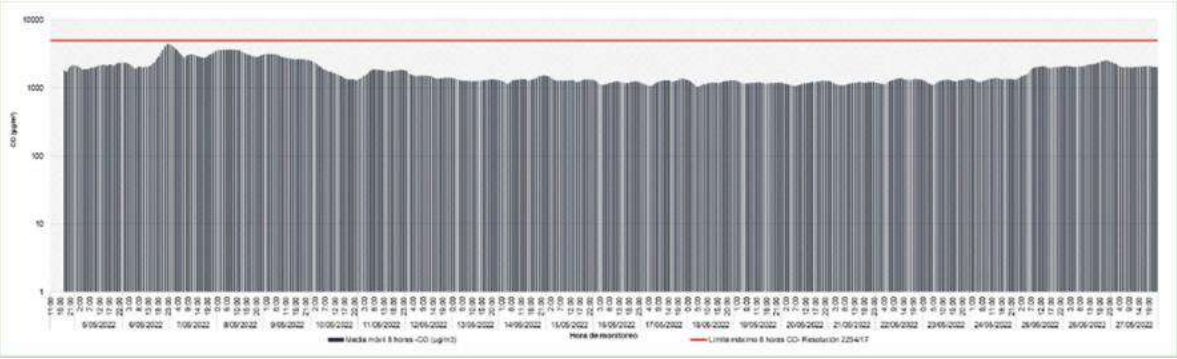


Figura 847. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 12. Salón comunal Almería
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

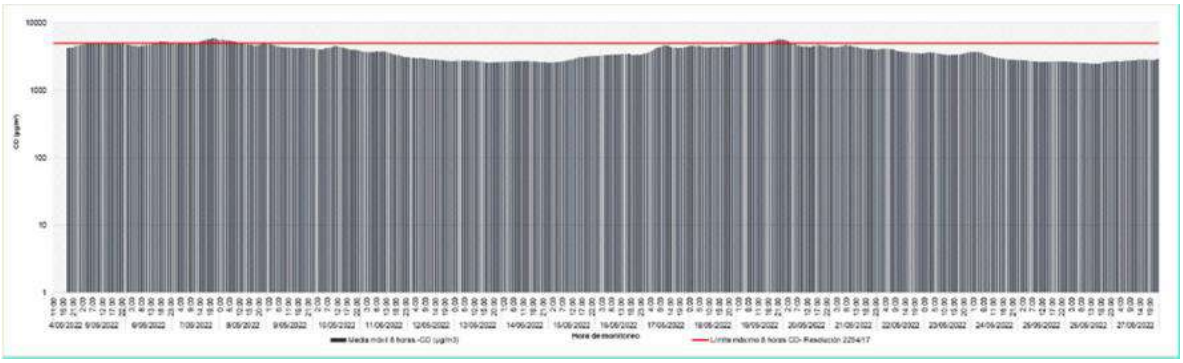


Figura 848. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 13. Casa Paulina Garcia
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

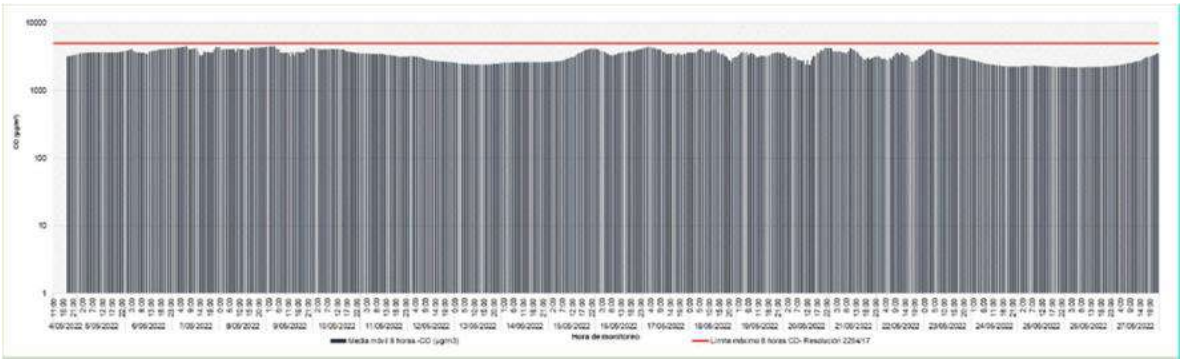


Figura 849. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 14. Casa Yeison Chitiva
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

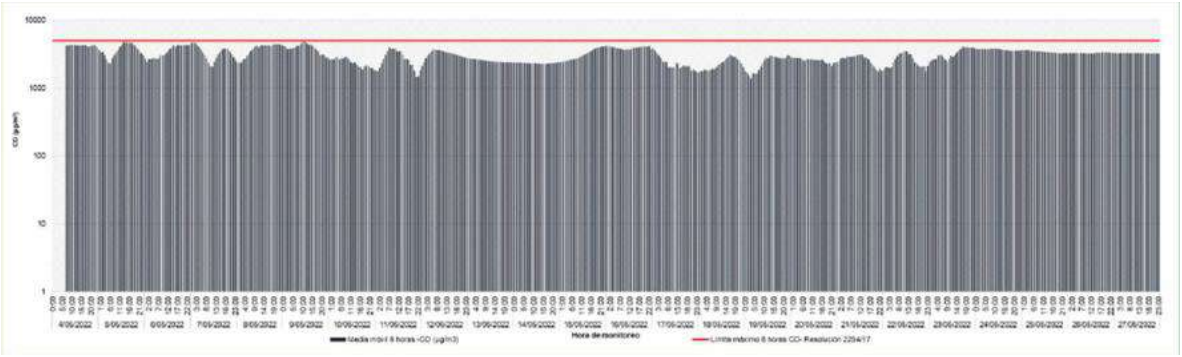


Figura 850. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 15. Uniminuto
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.



Figura 851. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 16. Punta del Este
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

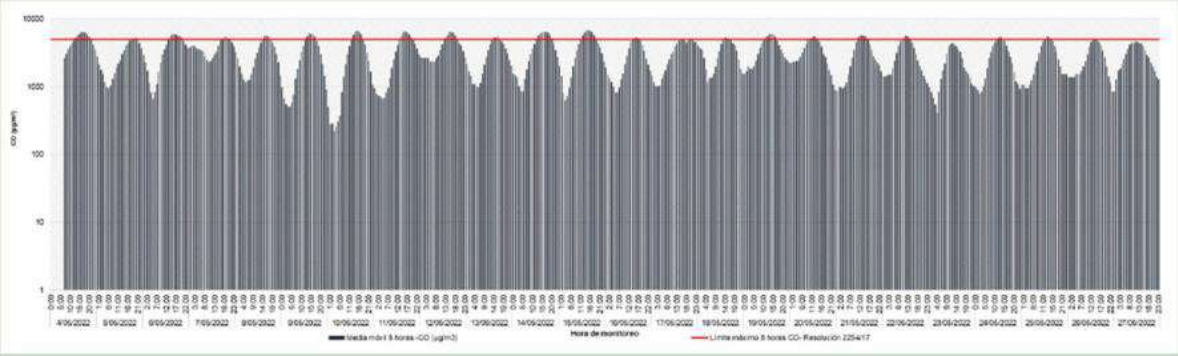


Figura 852. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 17. Casa Hilvar
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

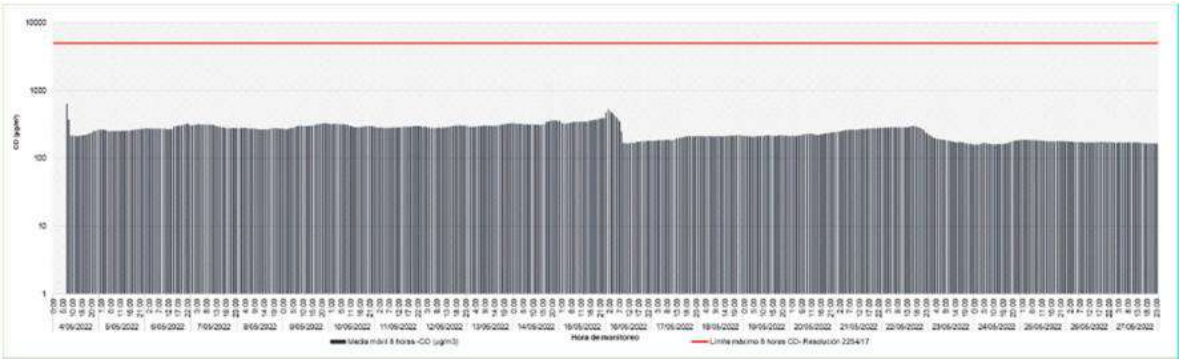


Figura 853. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 18. Casa Graciela
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

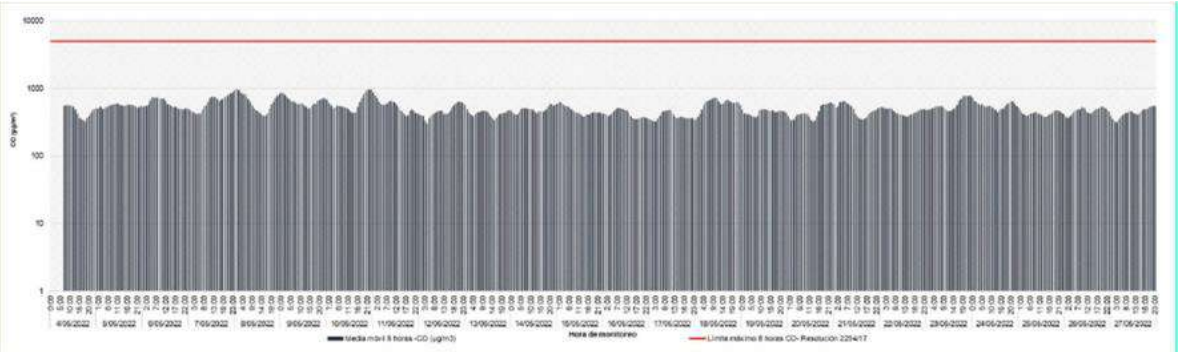


Figura 854. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 19. Fama
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

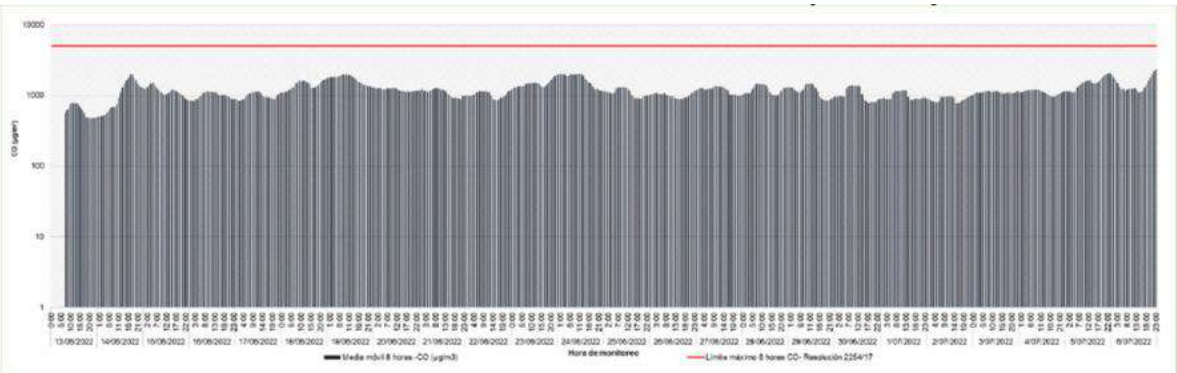


Figura 855. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 20. Conjunto Tibabuyes
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

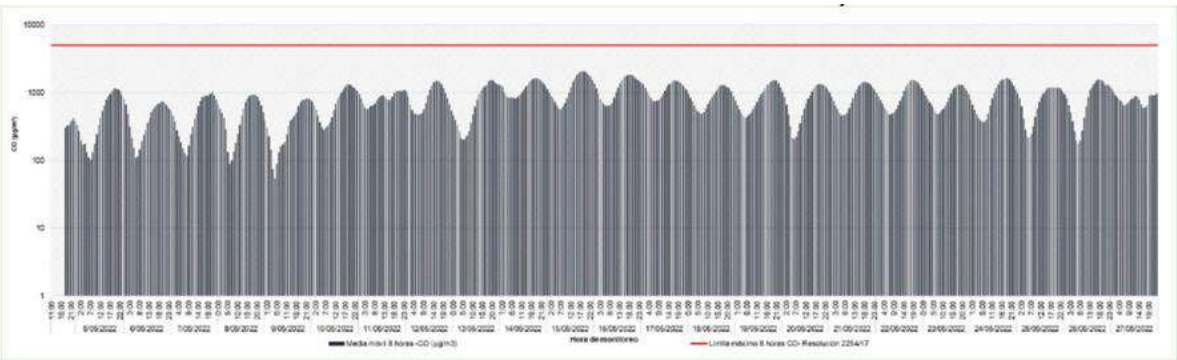


Figura 856. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 21. Conjunto Yaití
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

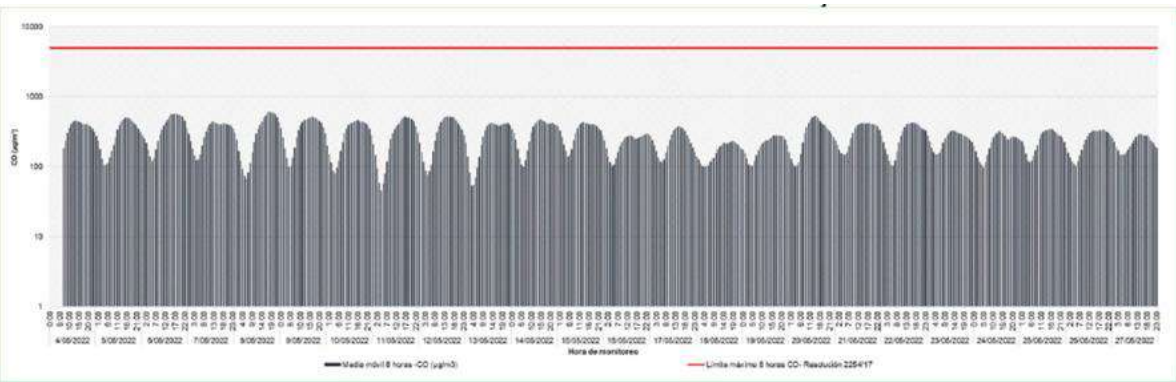


Figura 857. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 22. Conjunto Alicante
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

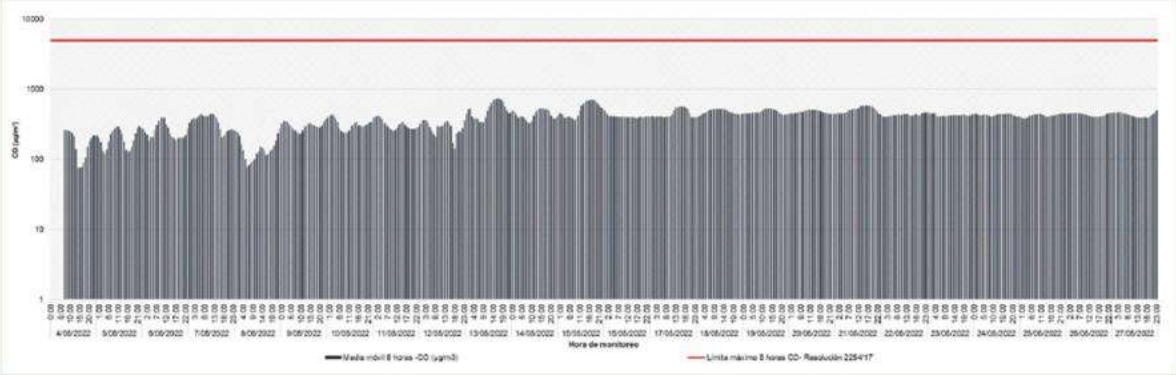


Figura 858. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 23. Quintas de Santa Rita III
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

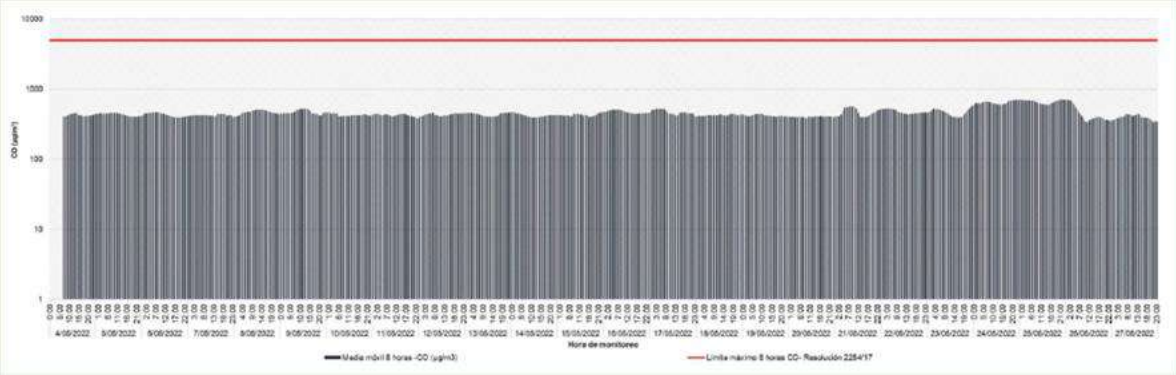


Figura 859. Concentraciones Octohorarias de CO – CA 24. Quintas de Santa Rita II
Fuente: Ambienciq Ingenieros S.A.S., 2022.

- **Dioxido de nitrogeno**

A continuación, se presenta el análisis estadístico de los resultados de las concentraciones de NO_2. De la Tabla 402 a la Tabla 404 se identifican las variables estadísticas para la determinación de los datos atípicos: número de datos, promedio aritmético, desviación estándar, mediana (m), percentil 75% (Q3), percentil 25% (Q1), distancia intercuartílica (IQR=Q3-Q1), rango intercuartílico máximo (m+3*IQR), rango intercuartílico mínimo (m- 3*IQR), (los cuales surgen de aplicar la definición del protocolo de tres distancias intercuartílicas por encima y por debajo de la mediana), máxima concentración reportada y mínima concentración reportada, con sus respectivas fechas.

Tabla 403. Análisis estadístico - Concentraciones NO_2 - Parte 1

Variable estadística	CA 1. Gimnasio Moderno	CA 2. Casa Jose Galo	CA 3. Colegio San Felipe Neri	CA 4. Colegio Liceo Val	CA 5. Casa Luis Yomayusa	CA 6. Ofidrogas	CA 7. Casa Edilberto	CA 8. Bomberos
Número de datos	576	576	562	562	576	563	576	569
Promedio aritmético	7,28	12,96	74,57	49,14	22,05	10,53	26,52	75,86
Desviación estándar	7,88	8,89	11,84	23,07	11,53	8,85	16,96	27,00
Mediana (m)	4,04	11,37	74,19	46,02	18,61	7,71	24,81	84,52
Q1	3,99	6,38	66,64	30,47	13,58	3,57	13,10	48,76
Q3	6,38	17,37	82,07	65,53	27,63	15,41	37,29	98,06
IQR=Q3-Q1	2,39	10,98	15,42	35,06	14,05	11,84	24,19	49,30
m-3*IQR	-3,14	-21,58	27,91	-59,17	-23,55	-27,82	-47,75	-63,36
m+3*IQR	11,21	44,32	120,46	151,20	60,77	43,24	97,38	232,41
Concentraciones atípicas	1	0	1	0	1	1	0	0
Máxima concentración reportada	49,81	62,67	128,73	106,60	65,98	49,44	86,14	125,07
Fecha máxima concentración reportada	2022-05-06	2022-05-15	2022-05-05	2022-05-06 2022-05-23	2022-05-15	2022-05-23	2022-06-24	2022-05-21 2022-05-25
Mínima concentración reportada	0,01	0,12	25,76	6,35	5,64	0,00	0,00	16,57
Fecha mínima concentración reportada	2022-05-07	2022-05-06 2022-05-24	2022-05-26	2022-05-10	2022-05-12	2022-05-12 2022-05-18 2022-05-25	2022-07-02	2022-05-22 2022-05-25

Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022

Tabla 404. Análisis estadístico - Concentraciones NO_2 - Parte 2

Variable estadística	CA 9. Casa Luz Dary	CA 10. Universidad Pedagógica	CA 11. Sala de negocios	CA 12. Salón comunal Almería	CA 13. Casa Paulina Garcia	CA 14. Casa Yeison Chitiva	CA 15. Uniminuto	CA 16. Punta del este
Número de datos	563	576	576	569	563	563	563	576
Promedio aritmético	23,69	15,05	25,04	15,49	24,34	22,47	42,71	56,27
Desviación estándar	19,08	13,21	11,72	12,38	18,35	13,55	37,73	31,97
Mediana (m)	19,36	10,12	24,76	10,20	17,94	20,30	30,00	51,24
Q1	8,46	5,48	17,41	6,53	11,24	12,33	16,60	30,51
Q3	33,65	20,44	31,20	21,89	33,25	30,64	59,46	77,65
IQR=Q3-Q1	25,19	14,97	13,79	15,37	22,00	18,31	42,86	47,14
m-3*IQR	-56,21	-34,78	-16,60	-35,91	-48,07	-34,63	-98,58	-90,19
m+3*IQR	94,93	55,03	66,12	56,30	83,95	75,23	158,58	192,67
Concentraciones atípicas	0	1	1	1	1	1	1	0
Máxima concentración reportada	92,86	81,28	82,13	63,98	105,27	77,53	181,99	134,72
Fecha máxima concentración reportada	2022-05-17	2022-06-29	2022-06-26	2022-05-10	2022-05-06	2022-05-23	2022-05-26	2022-05-14
Mínima concentración reportada	0,00	1,07	3,18	1,58	1,72	0,15	0,11	2,79
Fecha mínima concentración reportada	2022-05-06 2022-05-10	2022-07-04	2022-07-06	2022-05-10	2022-05-22	2022-05-26	2022-05-21	2022-05-21 2022-05-27

Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022

Tabla 405. Análisis estadístico - Concentraciones NO_2 - Parte 3

Variable estadística	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 20. Conjunto Tibabuyes	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
Número de datos	563	563	563	576	567	576	576	576
Promedio aritmético	22,68	27,10	22,65	33,31	60,25	26,38	27,68	16,87
Desviación estándar	11,85	18,99	18,13	13,58	24,70	5,03	7,91	7,03

Variable estadística	CA 17. Casa Hilvar	CA 18. Casa Graciela	CA 19. Fama	CA 20. Conjunto Tibabuyes	CA 21. Conjunto Yaití	CA 22. Conjunto alicante	CA 23. Quintas de Santa Rita III	CA 24. Quintas de Santa Rita II
Mediana (m)	18,99	22,18	16,35	29,95	57,65	25,67	25,15	19,68
Q1	13,72	12,59	8,65	23,77	41,57	23,19	22,85	17,68
Q3	28,95	36,85	30,45	39,80	74,44	28,22	30,25	21,19
IQR=Q3-Q1	15,23	24,25	21,81	16,03	32,88	5,02	7,40	3,51
m-3*IQR	-26,69	-50,57	-49,06	-18,13	-40,98	10,60	2,95	9,16
m+3*IQR	64,67	94,93	81,77	78,04	156,28	40,74	47,35	30,20
Concentraciones atípicas	1	1	1	1	0	1	1	0
Máxima concentración reportada	65,98	100,01	96,25	111,08	123,87	62,21	86,61	27,10
Fecha máxima concentración reportada	2022-05-16	2022-05-09	2022-05-09	2022-06-14	2022-05-10	2022-05-05	2022-05-26	2022-05-07
Mínima concentración reportada	5,64	1,13	2,44	11,12	4,87	15,88	17,95	0,94
Fecha mínima concentración reportada	2022-05-13	2022-05-04 2022-05-15	2022-05-08	2022-06-18	2022-05-04	2022-05-25	2022-05-25 2022-05-22	2022-05-25

Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022

Para el presente monitoreo se realizó la medición horaria de las concentraciones de NO_2 para las veinticuatro (24) estaciones de monitoreo. En la Tabla 405 se registran las concentraciones máximas horarias de NO_2, en donde se observa que la concentración más alta de este contaminante se registró en la estación CA 15. Uniminuto, equivalente a 181,99 µg/m^3.

Tabla 406. Concentraciones máximas horarias de NO_2.

Estación	Concentración Máxima Horaria NO_2 (µg/m^3)	Nivel Máximo Permisible Horario (µg/m^3)
CA1 Gimnasio Moderno	49,81	200
CA2 Casa Jose Galo	62,67	200
CA3 Colegio San Felipe Neri	128,73	200
CA4 Colegio Liceo Val	106,60	200
CA5 Casa Luis Yomayusa	65,98	200
CA6 Ofidrogas	49,44	200
CA7 Casa Edilberto	86,14	200
CA8 Bomberos	125,07	200

Estación	Concentración Máxima Horaria NO_2 (µg/m³)	Nivel Máximo Permisible Horario (µg/m³)
CA9 Casa Luz Dary	92,86	200
CA10 Universidad Pedagógica	81,28	200
CA11 Sala de negocios	82,13	200
CA12 Salón comunal Almería	63,98	200
CA13 Casa Paulina Garcia	105,27	200
CA14 Casa Yeison Chitiva	77,53	200
CA15 Uniminuto	181,99	200
CA16 Punta del este	134,72	200
CA17 Casa Hilvar	65,98	200
CA18 Casa Graciela	100,01	200
CA19 Fama	96,25	200
CA20 Conjunto Tibabuyes	111,08	200
CA21 Conjunto Yaití	123,87	200
CA22 Conjunto Alicante	62,21	200
CA23 Quintas de Santa Rita III	86,61	200
CA24 Quintas de Santa Rita II	27,10	200

Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022

Adicionalmente, de la Figura 855 hasta la Figura 878, se presenta la totalidad de los valores horarios obtenidos durante los días de medición de NO_2, en donde se puede observar que en las veinticuatro (24) estaciones se presentaron valores por debajo del límite permisible establecido por la Resolución 2254 de 2017.

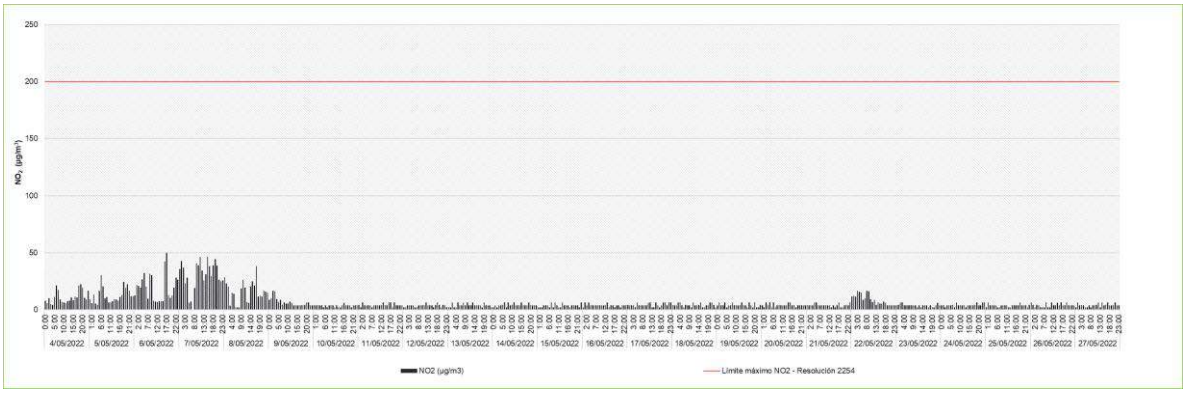


Figura 860. Concentraciones horarias de NO_2 – CA 1. Gimnasio Moderno.
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

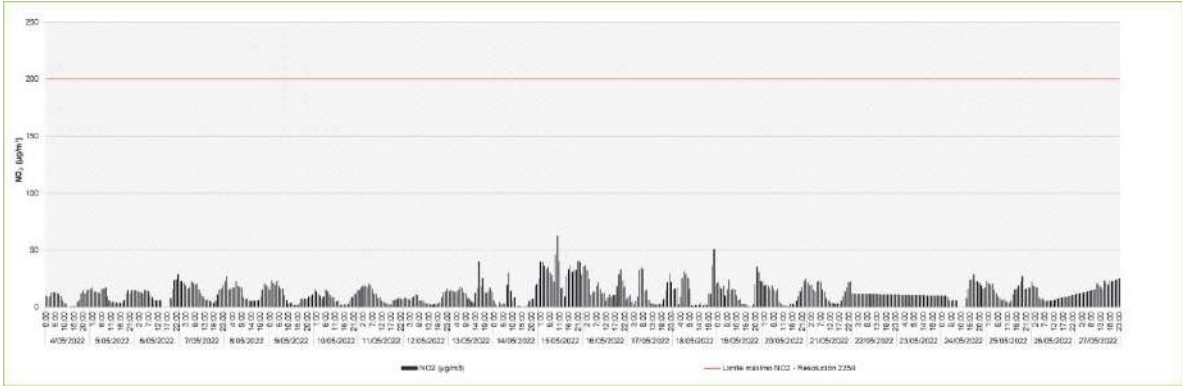


Figura 861. Concentraciones horarias de NO_2 – CA 2. Casa Jose Galo.
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

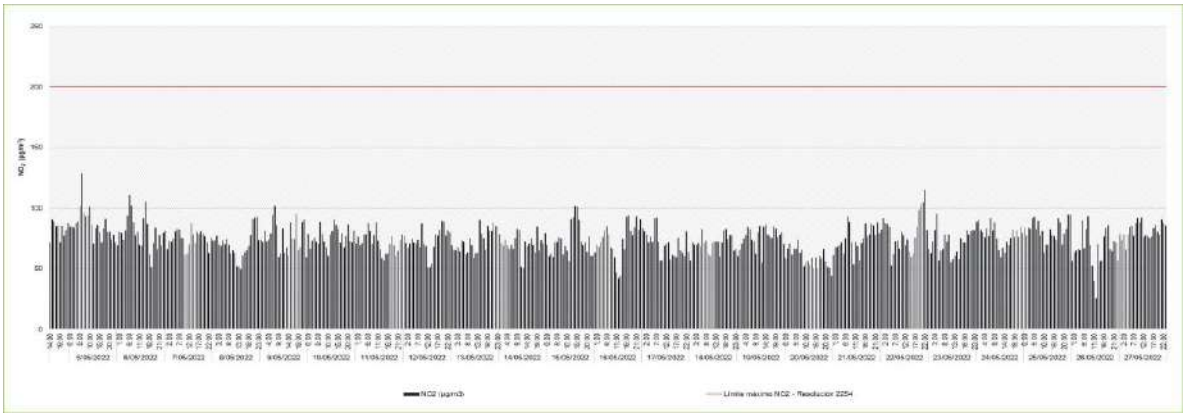


Figura 862. Concentraciones horarias de NO_2 – CA 3. Colegio San Felipe Neri
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

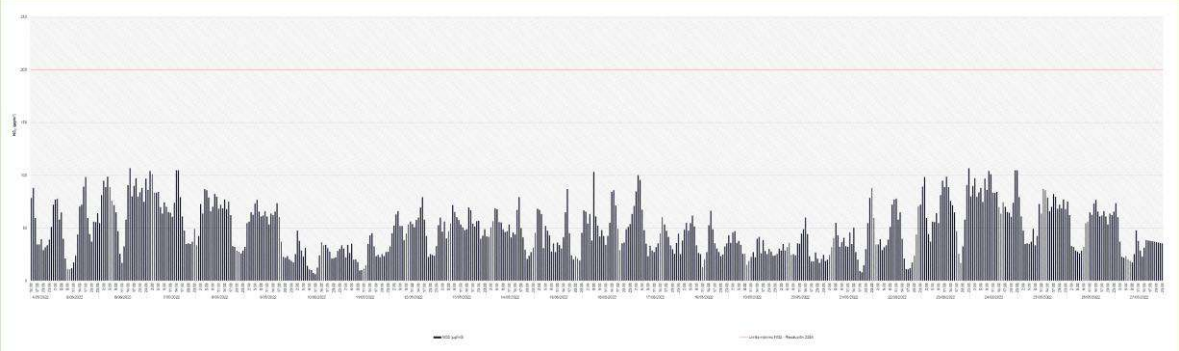


Figura 863. Concentraciones horarias de NO2 – CA 4. Colegio Liceo Val.
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

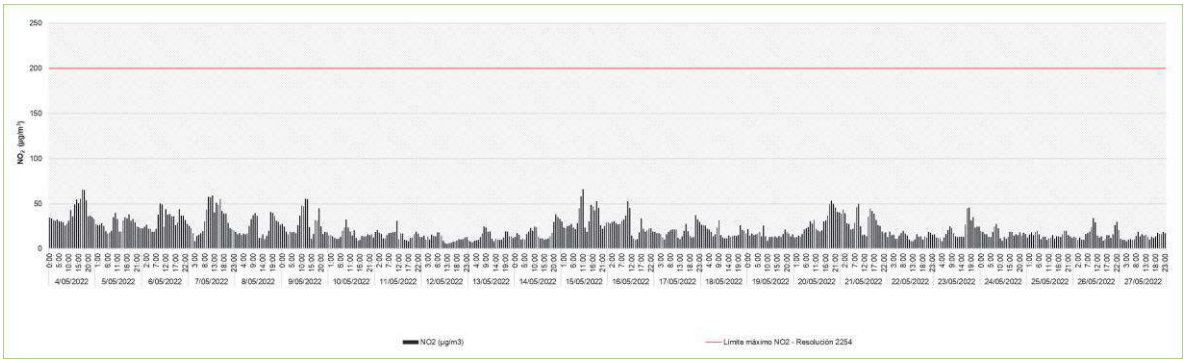


Figura 864. Concentraciones horarias de NO2 – CA 5. Casa Luis Yomayusa
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

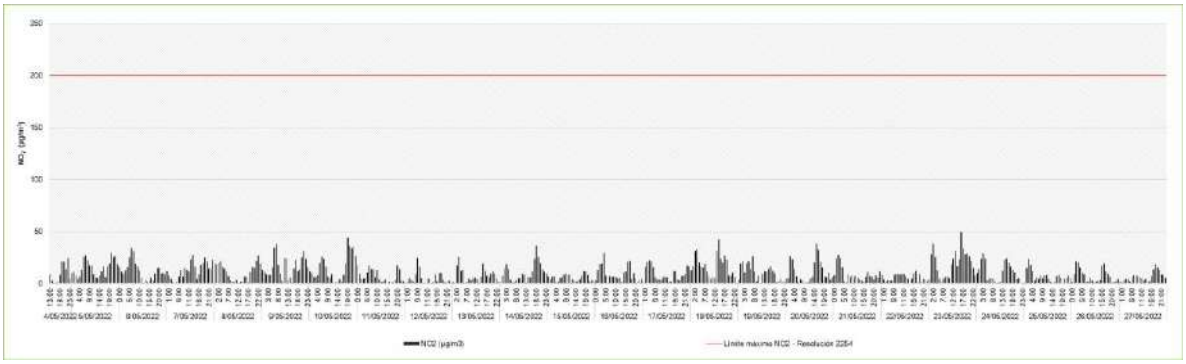


Figura 865. Concentraciones horarias de NO2 – CA 6. Ofidrogas
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

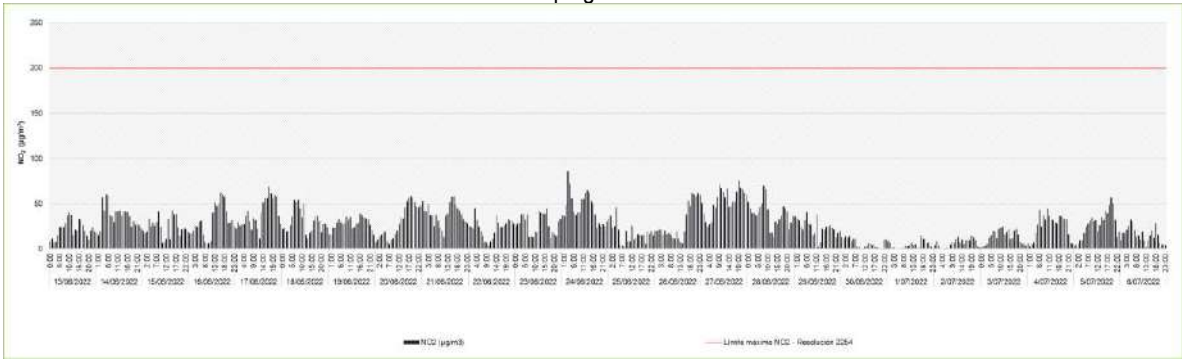


Figura 866. Concentraciones horarias de NO2 – CA 7. Casa Edilberto.
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

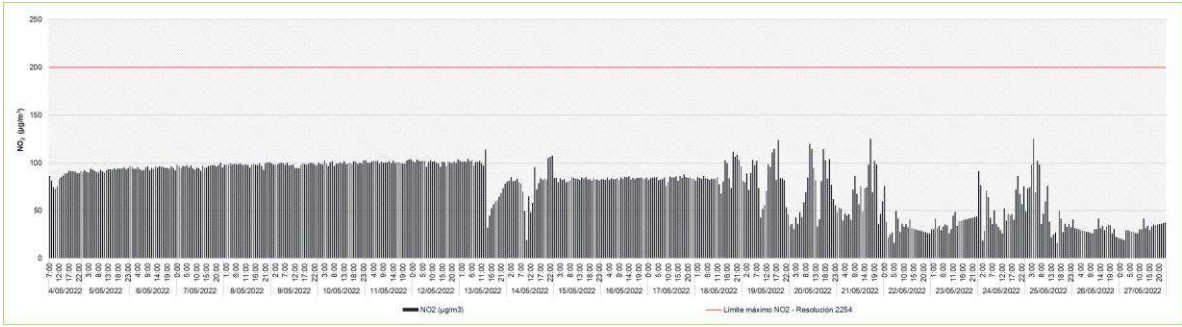


Figura 867. Concentraciones horarias de NO2 – CA 8. Bomberos.
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

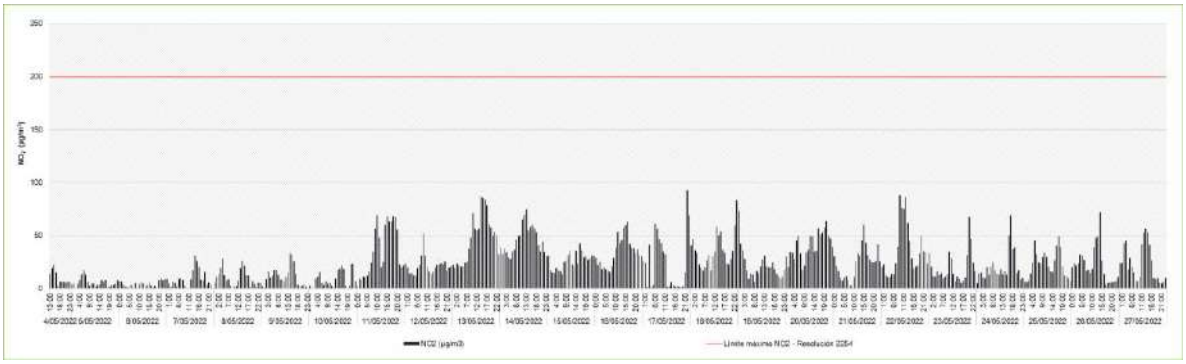


Figura 868. Concentraciones horarias de NO2 – CA 9. Casa Luz Dary.
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

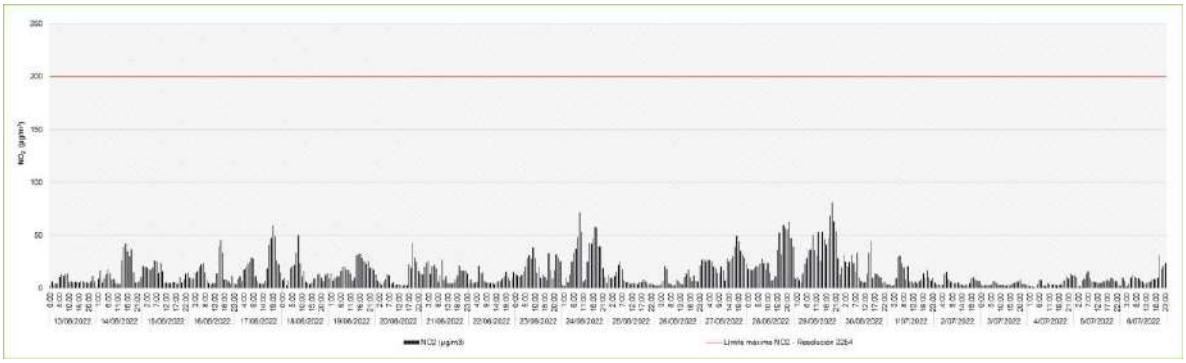


Figura 869. Concentraciones horarias de NO2 – CA 10. Universidad Pedagógica
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

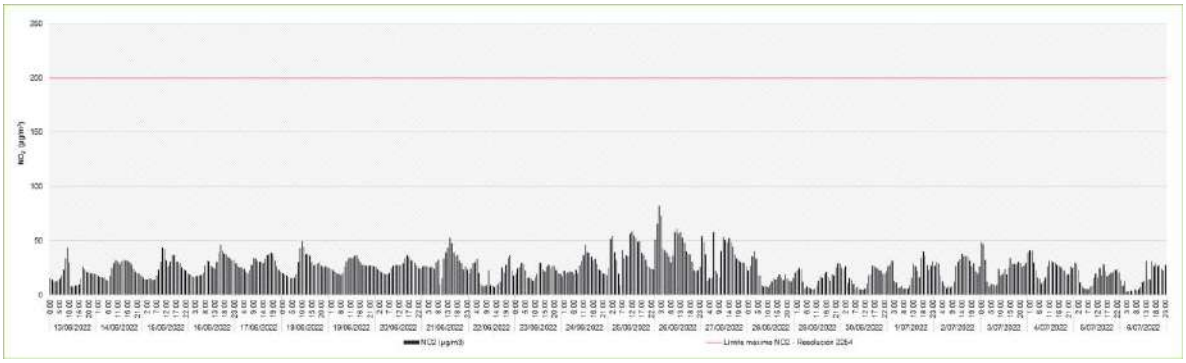


Figura 870. Concentraciones horarias de NO2 – CA 11. Sala de negocios
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

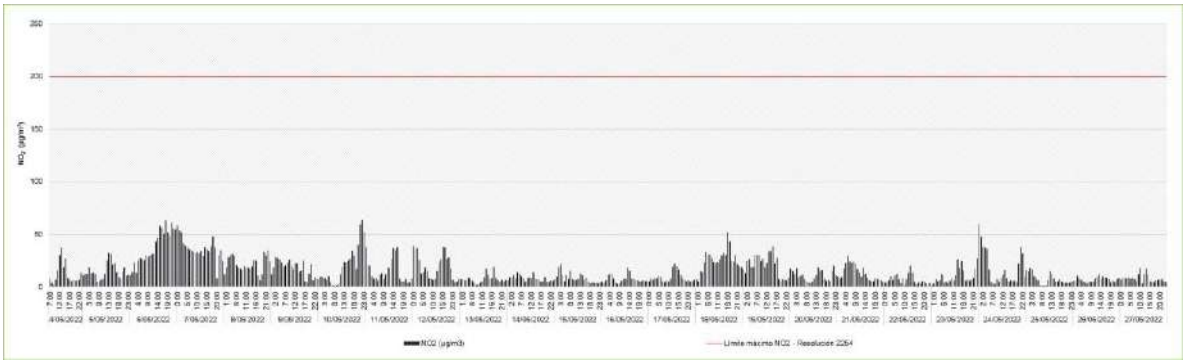


Figura 871. Concentraciones horarias de NO2 – CA 12. Salón Comunal Almería
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

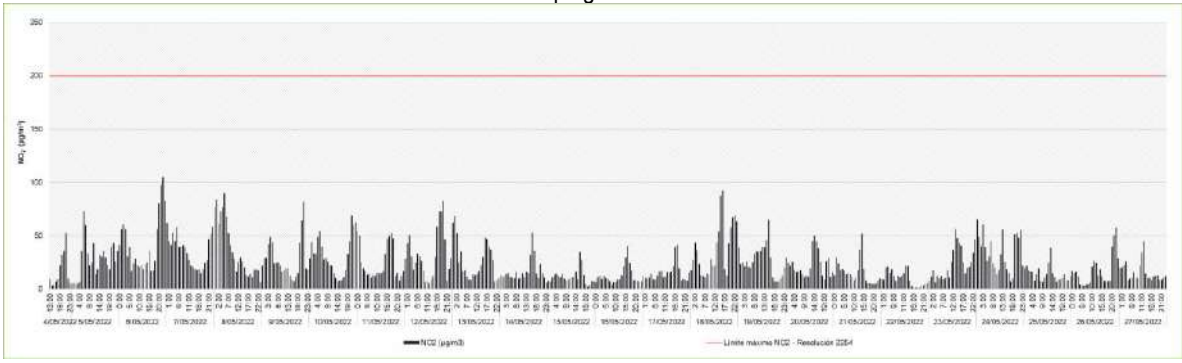


Figura 872. Concentraciones horarias de NO2 – CA 13. Casa Paulina Garcia.
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

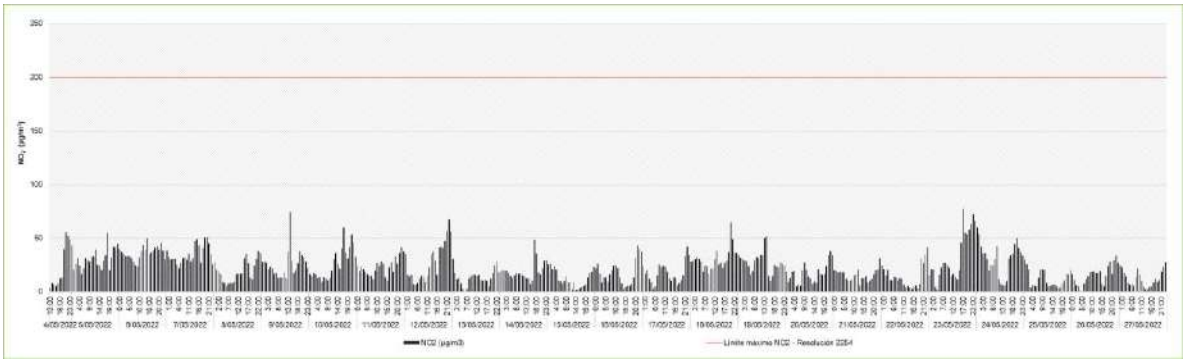


Figura 873. Concentraciones horarias de NO2 – CA 14. Casa Yeison Chitiva
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

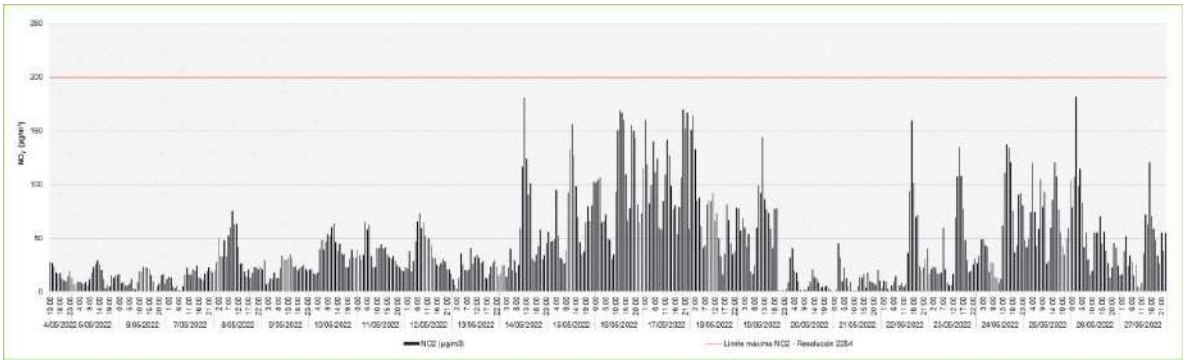


Figura 874. Concentraciones horarias de NO2 – CA 15. Uniminuto
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

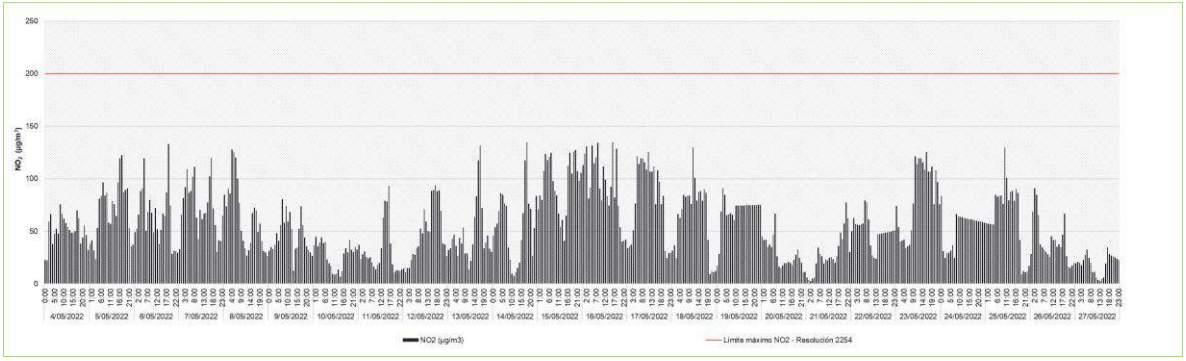


Figura 875. Concentraciones horarias de NO2 – CA 16. Punta del Este
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

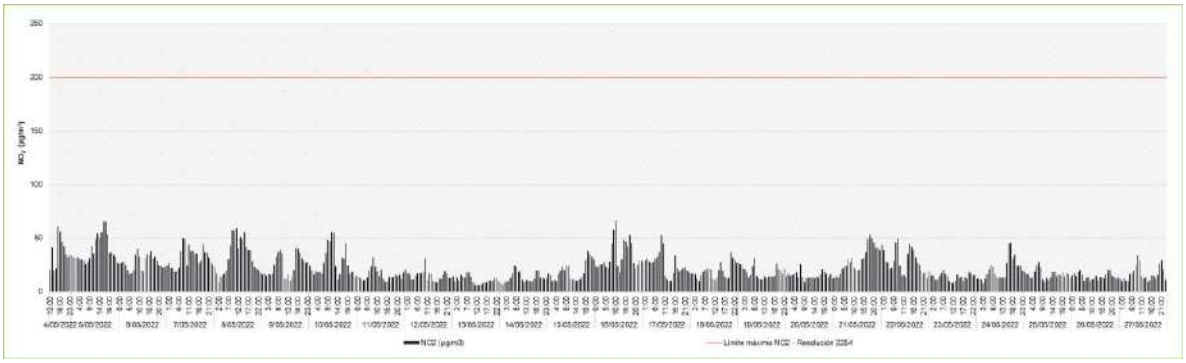


Figura 876. Concentraciones horarias de NO2 – CA 17. Casa Hilvar
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

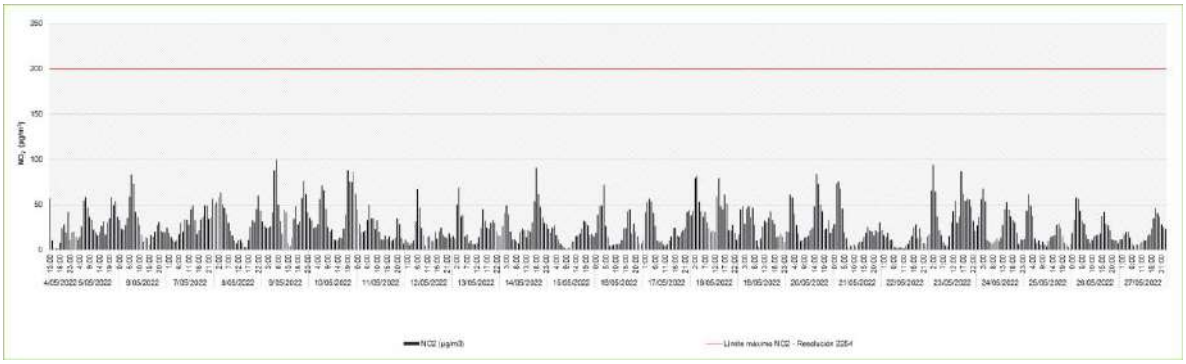


Figura 877. Concentraciones horarias de NO2 – CA 18. Casa Graciela
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

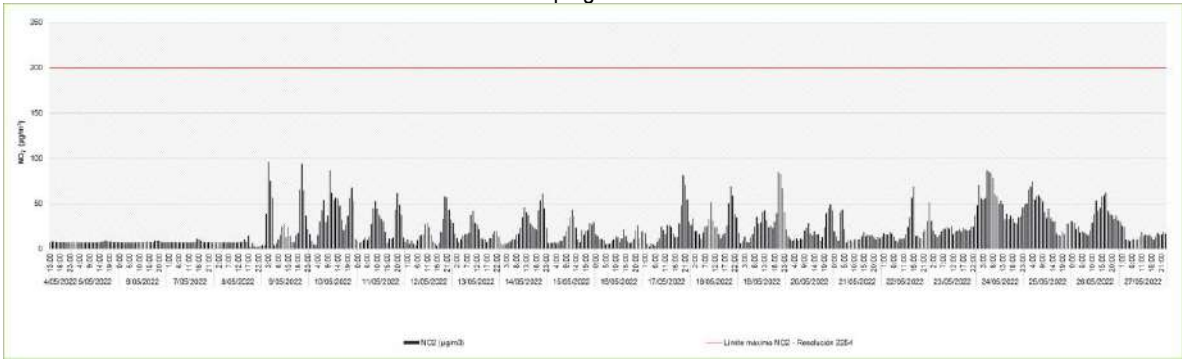


Figura 878. Concentraciones horarias de NO2 – CA 19. Fama
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

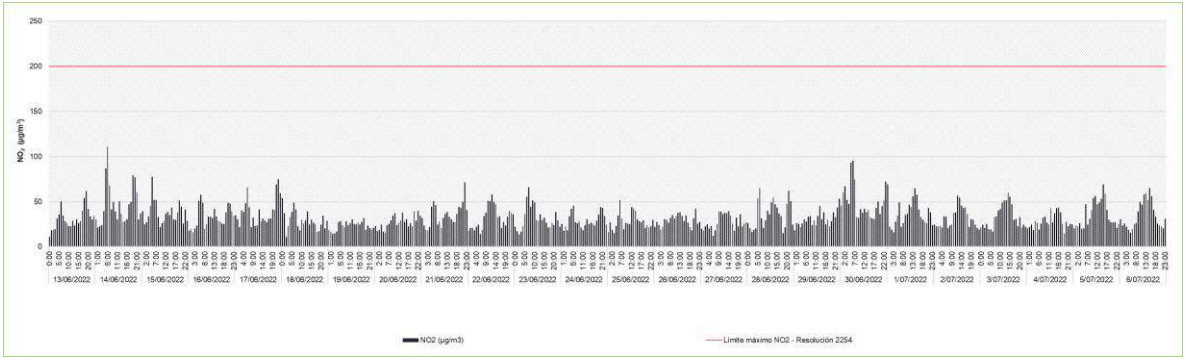


Figura 879. Concentraciones horarias de NO2 – CA 20. Conjunto Tibabuyes
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

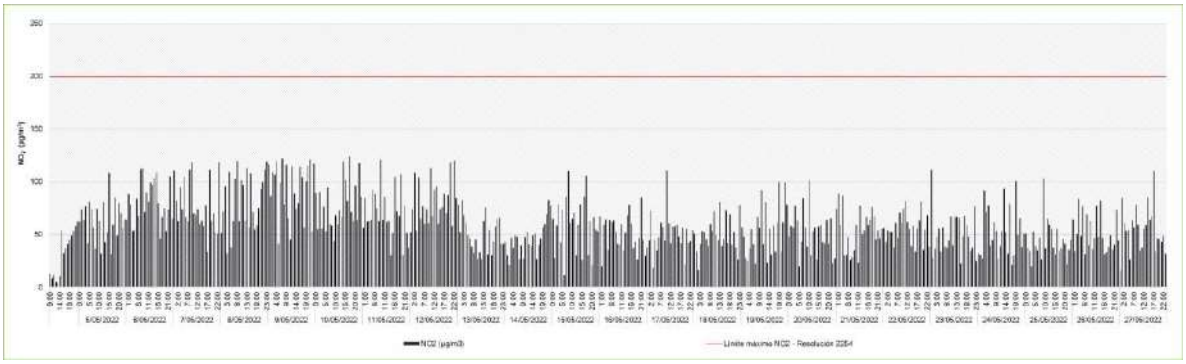


Figura 880. Concentraciones horarias de NO2 – CA 21. Conjunto Yaití.
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

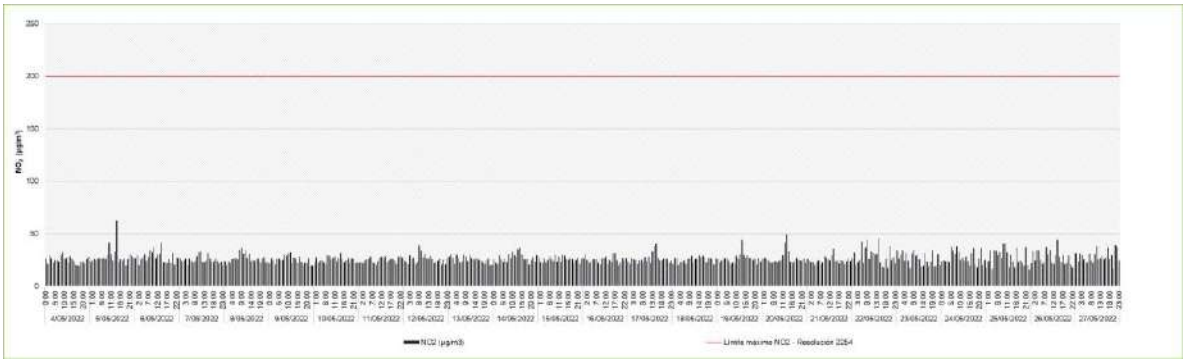


Figura 881. Concentraciones horarias de NO2 – CA 22. Conjunto Alicante
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

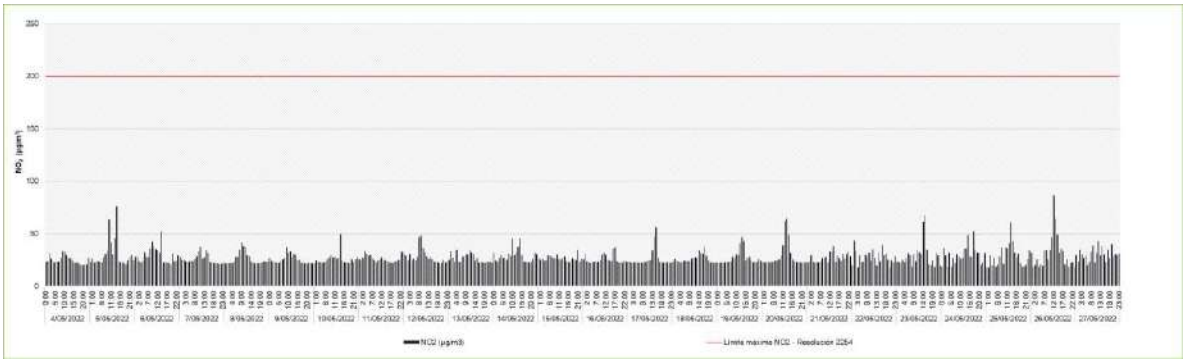


Figura 882. Concentraciones horarias de NO2 – CA 23. Quintas de Santa Rita III
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

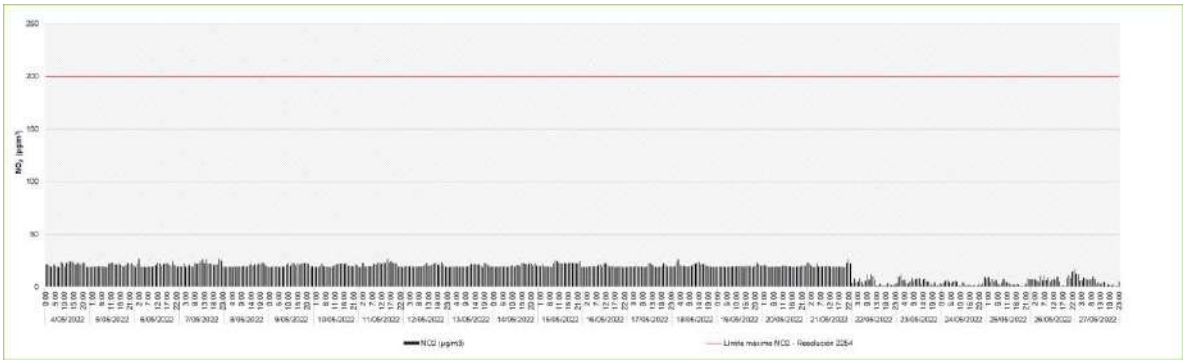


Figura 883. Concentraciones horarias de NO2 – CA 24. Quintas de Santa Rita II
Fuente: Ambienciq Ingenieros S. A.S. 2022.

5.2.3.3.4. Modelo de dispersión de contaminantes

Por medio de simulaciones computacionales, y a partir de la identificación de las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos, (y de sus respectivas emisiones), es posible identificar cuál es el área en la cual estas sustancias nocivas alcanzan concentraciones perjudiciales para la población expuesta en un periodo determinado. Esta herramienta técnica permite evaluar las condiciones específicas de un lugar, brindar un diagnóstico de la calidad del aire previa a la intervención de un proyecto en particular, así como también permiten establecer un impacto derivado de su operación o puesta en marcha.

En el proyecto de la Línea 2 del metro de Bogotá, se requiere de la simulación de tres (3) escenarios: línea base (sin proyecto), proyecto en la etapa de construcción y proyecto en la etapa de operación y mantenimiento. A continuación, se establecen los criterios de selección del software para las respectivas simulaciones.

5.2.3.3.4.1. Elección del software para el modelo de dispersión

Con el fin de simular la dispersión de los contaminantes atmosféricos, partículas ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) y gases (CO, SO_2, NO_2 y VOC), y determinar cuál podría ser la concentración de estas sustancias en cada una de las fases del proyecto y su área de influencia, se desarrolló un análisis comparativo de los dos software especializados para las respectivas simulaciones que son avalados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) como se muestra a continuación, en la Tabla 406.

Tabla 407. Comparación entre softwares de modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos.

Software	Desarrollador	Descripción	Ventajas	Limitaciones
CALPUFF	Sigma Research Corporation, ahora parte de Earth Tech, Inc.	Modelo Gaussiano de pluma como Puff (soplos o bocanadas de contaminante) en estado no estacionario. Modelo regulatorio preferido por la US-EPA para aplicaciones de visibilidad de largo alcance. También es utilizado para escenarios complejos de campos de viento.	Capacidad para trabajar con información meteorológica tridimensional. Modelación a gran escala, rangos entre 200 y 300 kilómetros de la fuente. Modelamiento en condiciones meteorológicas no estacionarias. Algoritmo de viento en calma para velocidades de viento cercanas a cero.	Riesgo de subestimar las concentraciones al no considerar varios Puff para representar adecuadamente el efecto de las plumas de dispersión. Única opción de Terreno Elevado, procesado por TERREL.. Los Tipos de fuente están limitados a sus versiones: Punto, área, volumen, línea, bengala (solo V7), carretera (Solo V7). Su utilización requiere al menos 20 GB de espacio disponible en el disco duro y 2 GB de RAM.
AERMOD View	AERMIC - (American Meteorological Society (AMS) and US-EPA.	Modelo Gaussiano de pluma en estado estacionario. Modelo regulatorio preferido por la US-EPA para aplicaciones de campo cercano (menos de 50 kilómetros de la fuente).	Es adecuado para escenarios complejos de dispersión urbana y de terreno. Opciones de Terreno Plano o elevado (procesado por AERMAP). Visualización en tercera dimensión tanto de la información de entrada como de los resultados. Modela la dispersión de múltiples parámetros en forma simultánea.	Recomendado para aplicaciones menores a 50 kilómetros de distancia de la fuente, en donde se ha visto un mejor desempeño del software.

Fuente: LAKES ENVIRONMENTAL. SOFTWARE, 2022[2]

De acuerdo con la información presentada, el software especializado que más se ajusta a las necesidades y características del proyecto es AERMOD View, dado que se considera un software integral, el cual simula la dispersión de los contaminantes en el aire y su deposición en campos cercanos menores a 50 kilómetros de distancia con respecto a la fuente; realiza los cálculos tomando en cuenta las características del terreno y la presencia de obstáculos (edificios) cercanos a la fuente de emisión que afecten la dispersión de la pluma contaminante; utiliza datos meteorológicos de la

[2] Consultado de: https://www.weblakes.com/products/aermod/specs.html

capa superior de la atmósfera, acepta información del terreno en siete formatos diferentes, visualiza en tercera dimensión la información de entrada y los resultados, tiene facilidades para modelar varios parámetros simultáneamente en periodos de tiempo establecidos, así como también puede incorporar las técnicas más avanzadas de parametrización de la capa límite planetaria, dispersión convectiva, formulación de la elevación de la pluma e interacciones complejas del terreno.

A partir de lo anteriormente expuesto, se decide desarrollar el modelo de dispersión para las siguientes especies contaminantes del aire: material particulado menor o igual a 2.5 micrómetros de diámetro aerodinámico ($PM_{2.5}$), material particulado menor o igual a 10 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM_{10}), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2) y compuestos orgánicos volátiles (VOC) mediante el uso del software de tipo Gaussiano AERMOD View con el fin de estimar el aporte atribuible por el proyecto durante la fase de construcción en comparación a la condición actual sin proyecto (línea base).

Con respecto al impacto generado en la fase de operación y mantenimiento del proyecto, no se realizó una simulación de dispersión de contaminantes por cuanto la fuente de energía del tren es eléctrica y no emite contaminantes atmosféricos en ninguno de los segmentos del trazado del proyecto como se explicará posteriormente.

5.2.3.3.4.2. Descripción del modelo de dispersión

En 1991, la Sociedad Meteorológica Americana (AMS) y la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (US-EPA) iniciaron un trabajo en conjunto cuyo principal objetivo era actualizar los modelos de dispersión de la US-EPA, de acuerdo con el nivel del estado del arte en el tema. A través del AERMIC (AMS / US-EPA Regulatory Model Improvement Committee) se incorporó al sistema de modelos el software AERMOD View, que maneja la dispersión de contaminantes en el aire basado en la estructura de turbulencia de la capa límite planetaria y en conceptos de escala.

El modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos AERMOD View es un modelo Gaussiano de pluma en estado estacionario que simula la dispersión de los contaminantes en el aire y su deposición. Realiza sus cálculos tomando en cuenta las características del terreno y la presencia de edificios cercanos a la fuente de emisión que pudieran afectar la dispersión de la pluma; usa datos meteorológicos de la capa superior atmosférica, incorpora conceptos avanzados de modelación y algoritmos de dispersión basados en conceptos de escalamiento y de estructura de la turbulencia de la capa límite planetaria, incluyendo el tratamiento de fuentes elevadas y de superficie, y de terreno simple y complejo, es aplicable a áreas rurales y urbanas y a múltiples tipos de fuentes (puntuales, de área, de volumen, lineales).

Este modelo tiene dos preprocesadores de datos de entrada: AERMET, un preprocesador de información meteorológica que analiza la dispersión en el aire usando conceptos de escalamiento y de estructura de la turbulencia de la capa límite planetaria, genera dos archivos que posteriormente alimentan la interfaz principal de AERMOD View: un archivo de parámetros en la capa límite superficial (*surface*) y otro de perfiles verticales (*upper aire*); y AERMAP, un preprocesador de datos de topografía que analiza terrenos complejos (no planos) usando información digital de elevaciones, genera un archivo que permite en la interfaz principal de AERMOD View importar las elevaciones para todas las fuentes y los receptores dentro del área de estudio o el dominio de modelación, tal y como se puede ver en la Figura 879.

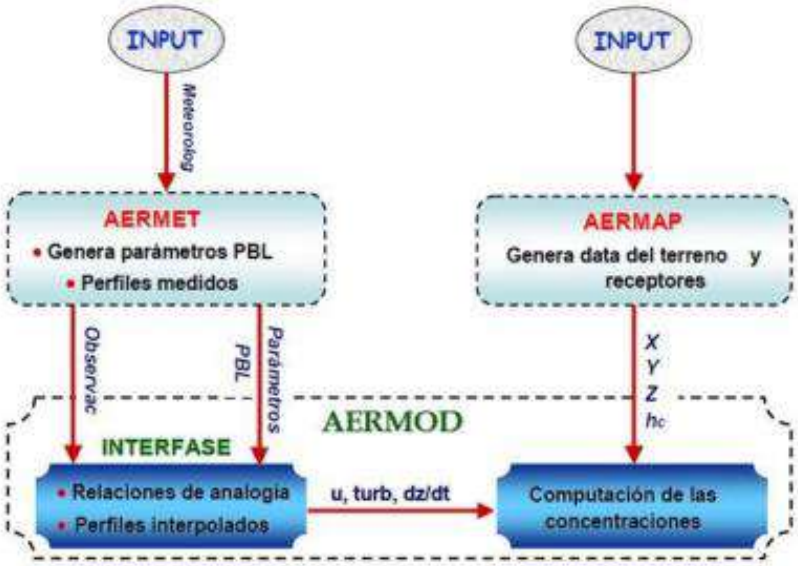


Figura 884. Esquema del sistema de modelación del software AERMOD View.
Fuente: LAKES ENVIRONMENTAL. SOFTWARE, 2022

Así mismo, como se describió anteriormente, el software incorpora las técnicas más avanzadas de parametrización de la capa límite planetaria, dispersión convectiva, formulación de la elevación de la pluma e interacciones complejas del terreno con la pluma, incluyendo algoritmos para:

- Dispersión tanto en la capa límite estable como convectiva.
- Flotabilidad y elevación de la pluma.
- Penetración de la pluma en inversiones elevadas.
- Tratamiento de receptores en todo tipo de terrenos complejos.
- Cálculo de perfiles verticales de viento, temperatura y turbulencia.

Por lo cual, a partir de octubre de 2005 la US-EPA establece el software AERMOD View como el modelo de uso recomendado para la dispersión de contaminantes atmosféricos, reemplazando el ISC, que hasta el momento era usado.

Adicionalmente, el modelo también permite la entrada de los siguientes datos para la simulación de la dispersión de los contaminantes en el aire:

- Opciones de fuente: se identifican los tipos de fuente, se define su localización, las emisiones promedio a partir de las emisiones estimadas dependiendo la metodología de selección y otras características adicionales que permiten identificar cada una de las fuentes de emisión.
- Opción de receptores: se definen las principales áreas de interés para determinar cómo se van a ver afectadas o impactadas por los niveles de inmisión a partir de la emisión de los contaminantes en estudio, así como también los receptores discretos.
- Opción de terreno: introduce la información topográfica del dominio de la modelación o el área de estudio.
- Opciones meteorológicas: se introduce el archivo meteorológico que contiene toda la información relacionada con la velocidad y dirección de los vientos, altura de capa de mezcla, temperatura y estabilidad atmosférica, entre otros.
- Opciones de control: se definen las características principales del modelo, así como también se determina el tipo de contaminante a modelar y los parámetros predefinidos que van a ser utilizados en cada simulación.

- Opciones de salida: se definen los parámetros de salida de los datos para las diferentes concentraciones del contaminante analizado.

Por lo anterior, el software de modelación utilizado para el estudio es AERMOD View, de la compañía canadiense Lakes Environmental.

5.2.3.3.4.3. Definición de los escenarios de modelación

Atendiendo los requerimientos presentados en los Términos de Referencia del Proyecto, la definición de los escenarios de modelación para cada una de las fases del proyecto (línea base, construcción y operación), se desarrolló a partir de la identificación de los procesos o actividades del proyecto susceptibles a generar emisiones atmosféricas. Para esto se consideró el tiempo de duración de cada una de las fases del proyecto expresado en los años establecidos por la Empresa Metro de Bogotá.

A partir de lo anterior, con el objeto de identificar el comportamiento de los contaminantes en el área de estudio del proyecto, se definieron los siguientes escenarios de modelación:

- Escenario 1. Línea base: Simula la dispersión de gases y partículas para las condiciones actuales en la zona de estudio (sin proyecto), considerando únicamente las emisiones del tráfico rodado aforado en el año 2022.
- Escenario 2. Construcción (crítico): Simula la dispersión de gases y partículas emitidas durante la ejecución de las actividades constructivas propias del proyecto (jornadas diurnas y nocturnas), considerando todos los frentes de trabajo de forma simultánea independientemente del momento de ejecución de la actividad, modelando bajo la condición más crítica.
- Escenario 3. Operación del proyecto: Teniendo en cuenta que el sistema de funcionamiento del metro no genera ningún tipo de emisión atmosférica en su trazado, para este escenario no se realizó una simulación con el software especializado, debido a que su interpretación sería una proyección del tráfico medido en el escenario de Línea base y no habrá un impacto asociado a la operación y/o mantenimiento del metro.

Para los escenarios de simulación, se realizó la modelación bajo las condiciones más críticas posibles en cada una de las etapas del proyecto, considerando la ejecución de las actividades de forma simultánea a lo largo del trazado.

5.2.3.3.4.4. Procesos de generación de emisiones atmosféricas en el área de estudio del proyecto

A continuación, en la Tabla 407 se describen los principales procesos o actividades del proyecto que generan emisiones atmosféricas incluidas en el modelo de dispersión de contaminantes.

Tabla 408. Inventario de fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos asociados con las fases del proyecto.

Fase del proyecto	Nombre de la fuente	Proceso de emisión	Unidad generadora
Línea base (sin proyecto)	Malla vial sobre la cual se sitúa el trazado de la extensión de la L2MB.	Tráfico vehicular sobre las vías existentes. Todas se encuentran pavimentadas.	Autos, Buses, Camiones y Motos (vehículos motorizados).

Fase del proyecto	Nombre de la fuente	Proceso de emisión	Unidad generadora
Construcción	Área de intervención conexas (galerías, puntos de acopio)	Remoción de suelos, carga de material, descarga de camiones (nivelación). Combustión interna de equipos de construcción y/o maquinaria amarilla fuera de ruta.	Retroexcavadora, retroexcavadora pequeña, carrotanque, compactador manual, compactador de rodillo, motoniveladora, vibrocompactador, volqueta, volqueta de gran capacidad, mixer, finisher, camioneta, camioneta con estacas, compactador tipo canguro.
	Estaciones.	Remoción de suelos, carga de material, descarga de materiales (suelos, concreto). Combustión interna de fuentes móviles en ruta y fuera de ruta.	Retro Excavadora, retroexcavadora pequeña, bulldozer, carrotanque, compactador manual, compactador de rodillo, motoniveladora, vibrocompactador, volqueta, volqueta de gran capacidad, mixer, finisher, equipo de perforación, compactador tipo canguro, posicionador de carriles, piloteadora, grúa móvil, grúa fija, vibrador de concreto, equipo de soldadura.
	Pozos de ventilación.	Remoción de suelos, carga de material, descargue de materiales (relleno, material granular y concretos), perforación. Combustión interna de equipos de construcción y/o maquinaria amarilla fuera de ruta.	Retro Excavadora, retroexcavadora pequeña, bulldozer, carrotanque, compactador manual, compactador de rodillo, vibrocompactador, volqueta, volqueta de gran capacidad, mixer, finisher, equipo de perforación, compactador tipo canguro, piloteadora, vibrador de concreto.
	Patio taller.	Remoción de suelos, carga de materia, actividades de construcción, adecuación y rehabilitación de vías internas. Combustión interna de equipos de construcción y/o maquinaria amarilla fuera de ruta. Transporte de material.	Motoniveladora, volqueta, volqueta de gran capacidad, finisher, viga lanzadora, posicionador de carriles, fijadora de riel, grúa móvil, grúa fija, equipo de soldadura.

Fuente: UT MOVIUS 2022

Del mismo modo, como se mencionó en apartados anteriores, en el recorrido al área de estudio se identificaron 21 fuentes fijas de emisión. No obstante, debido al alcance del inventario, se imposibilita obtener datos de producción, dimensionamiento u operación de las diferentes industrias identificadas. Por lo tanto, no fue posible realizar un estimativo de las emisiones atmosféricas asociadas.

5.2.3.3.4.5. Parámetros analizados en las simulaciones

Debido a los efectos nocivos del material particulado sobre la salud humana, así como algunos gases, los parámetros evaluados mediante el modelo de dispersión corresponden a los regulados por la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS):

- Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 µm (PM_{10}).
- Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5 µm ($PM_{2.5}$).
- Dióxido de nitrógeno (NO_2).
- Dióxido de azufre (SO_2).
- Monóxido de carbono (CO).
- Compuestos orgánicos volátiles (VOC), entendido como la agrupación de varias especies químicas, tanto alifáticas como aromáticas. La normativa nacional únicamente regula las especies Benceno y Tolueno.

5.2.3.3.4.6. Dominio de modelación

El dominio de modelación corresponde al área donde se encuentran las fuentes de emisión identificadas a partir de las actividades que se desarrollarán en el proyecto y los receptores discretos. Con el fin de tener mayor detalle en el área del proyecto, se definió una grilla para la modelación de partículas y gases en el tramo completo del proyecto, posteriormente, se definieron las intersecciones de la grilla como receptores discretos.

La grilla para la modelación se estableció con el fin de tener mayor detalle en el área de influencia del proyecto, en cuanto a las emisiones de gases y partículas, por lo tanto, se definió una grilla uniforme cartesiana con una resolución de 8,45 kilómetros por 12,54 kilómetros (UCART1) que generó 441 receptores, los cuales se convirtieron en receptores discretos para mejorar la resolución de las simulaciones. En la Tabla 408 se presentan las coordenadas de la grilla.

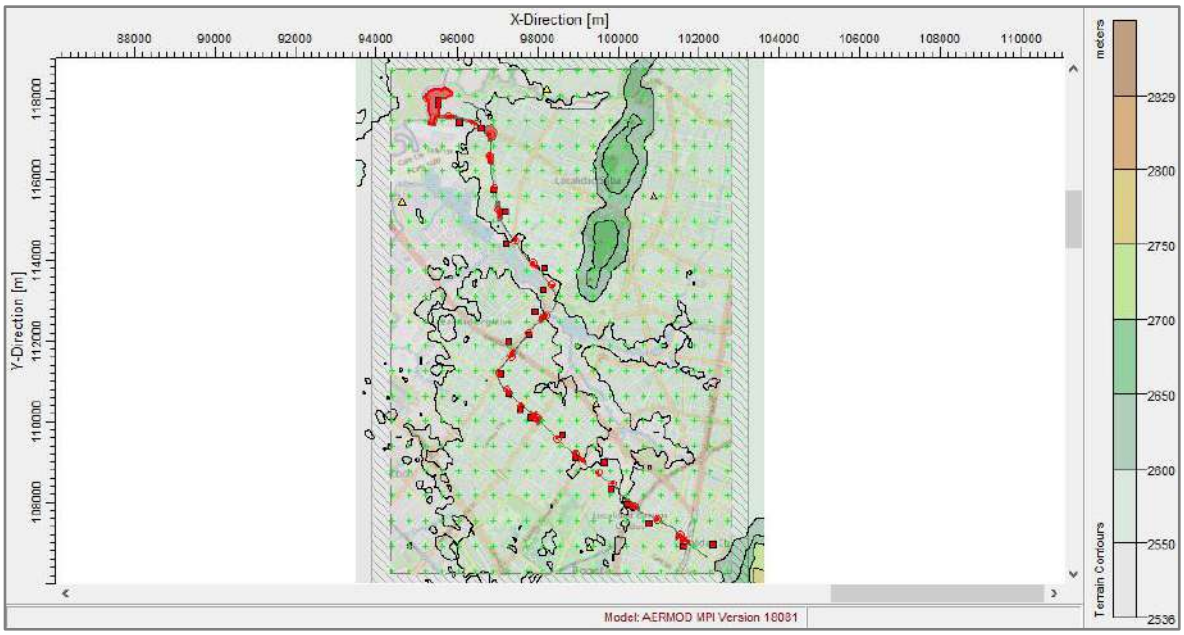


Figura 885. Receptores determinados a partir de la cuadrícula generada.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 409. Cuadrícula establecida para la grilla de modelación.

Grilla		Coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá
UCART1	Esquina suroeste	94387,2 Este, 106310,1 Norte
Área: 106,34 km^2	Esquina noreste	102715,0 Este, 118690,1 Norte

Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.3.4.7. Incertidumbre del modelo

Los factores que afectan en mayor grado la precisión de los modelos son, el modelo matemático en sí y la calidad de los datos de entrada. En los modelos de dispersión, se utilizan dos tipos de variables: variables conocidas, que pueden ser medidas, como por ejemplo la velocidad y dirección del viento, temperatura, altura de mezcla, factores de emisión, características de receptores y fuentes, entre otras; así mismo, existen otras variables que no se pueden medir, como son algunos detalles no resueltos del flujo atmosférico en Condiciones convectivas. Cuando se corre cada simulación, la cual es una representación de la realidad, estas variables desconocidas le hacen perder precisión en las concentraciones de contaminantes finales. Estos errores se denominan como incertidumbre inherente.

Para la simulación de la dispersión de contaminantes se utilizó información extraída del modelo regional Weather Research and Forecasting (WRF), la cual fue procesada posteriormente en el preprocesador AERMET del modelo AERMOD View, obteniendo una proyección aproximada de las condiciones meteorológicas de la zona de estudio, tanto a nivel superficial como en el perfil vertical de la atmósfera.

Varios autores coinciden en que los errores típicamente para un modelo que da resultados horarios se encuentran alrededor de -67% a +200%. Otras fuentes atribuyen errores de ±50% para un receptor en un punto específico. (Hanna, 1998; Hanna, 2000; Seibert, 2000; Yegnan et al., 2002; Shankar, 2005). Los parámetros bajo los cuales se mide la exactitud de un modelo son los errores en las bases de datos y lo concerniente a la física y formulación del modelo.

Varios estudios realizados en múltiples países, realizados con el objetivo de medir la exactitud de los modelos han confirmado que los modelos son más fiables para medir concentraciones promedio a largo plazo que para estimar concentraciones a corto plazo en un punto específico. Los modelos son bastante fiables estimando picos de concentraciones en un área determinada (los errores para este caso típicamente están entre ±10% a ±40%).

Entre más se ajuste el modelo matemático a la física y, particularmente, a la química de la atmósfera, el modelo presentará mayor precisión. Lo mismo sucede con los datos de entrada, entre mayor sea la calidad de los datos, las concentraciones de salida serán mejores y más aproximadas a la realidad. De acuerdo a las anteriores observaciones, las simulaciones realizadas deben ser leídas en sus capacidades reales teniendo en cuenta su información de la siguiente forma:

- El modelo es fiable estimando los puntos de mayor concentración.
- Los resultados dan un orden de magnitud probable y solo en esas dimensiones puede ser interpretado.
- Además de las limitaciones comunes a los modelos de dispersión atmosférica (error inherente), el presente modelo evidencia las siguientes limitaciones que deben ser corregidas en estudios posteriores: la altura de mezcla se obtuvo de manera numérica a partir de datos meteorológicos de superficie y perfil vertical de la atmósfera simulados por un modelo regional climatológico y de pronóstico; la altura de mezcla tiene generalmente un efecto notorio en las concentraciones máximas, ya que de esta depende la dilución o confinamiento de las emisiones generadas.
- El modelo debe ser considerado como una aproximación semicuantitativa, teniendo en cuenta que en la zona del proyecto no se disponen estudios que suministren información precisa sobre las principales fuentes de emisión existentes, externas al proyecto.
- Las predicciones halladas por parte de un modelo de dispersión son útiles para identificar fuentes principales, las áreas más sensibles, así como también las fuentes que deben ser objeto de los principales controles. No obstante, no deben tomarse como conclusiones definitivas desde el punto de vista cuantitativo.

A continuación, se presenta el proceso de calibración que se realizó para el desarrollo del modelo de dispersión de los contaminantes atmosféricos ($PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, SO_2, VOC y CO).

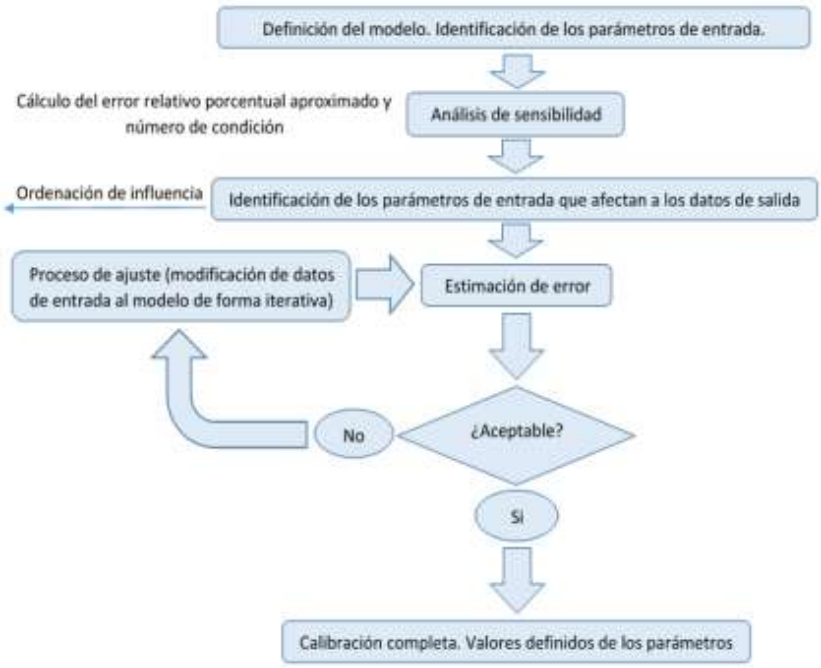


Figura 886. Esquema del procedimiento para la calibración del modelo.
Fuente: UT MOVIUS 2022

De acuerdo con lo anterior, después de varias iteraciones, se determinó un factor de calibración para las fuentes simuladas de 1.0 para los contaminantes modelados, gases (NO_2, SO_2, VOC y CO) y material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}), por lo cual, no fue necesario realizar ajustes.

5.2.3.3.4.8. Inventario de receptores sensibles

Durante la ejecución del inventario de fuentes de emisión atmosférica, se realizó paralelamente el inventario de receptores sensibles dentro del área de influencia del proyecto. Los receptores sensibles se entienden como los sitios de interés social o ambiental que son altamente vulnerables ante la presencia de un impacto por contaminación atmosférica, dadas sus condiciones de salud, importancia ecológica o social.
En el inventario se resalta un número importante de institutos educativos, unidades hospitalarias, centros de recreación y deporte y bibliotecas, para un total de 639 receptores sensibles identificados. En el Anexo 5.2 - 12.1 se presenta el inventario completo con el registro fotográfico, en la tabla a continuación se presentan los receptores sensibles identificados. …En el numeral 5.2.3.4.2.3. Inventario de receptores sensibles…, se describe cada uno de los receptores evidenciados durante el levantamiento de información correspondiente, los cuales se incluyeron en el análisis de las respectivas simulaciones, así mismo, a continuación se ilustra la ubicación de cada uno de ellos. En el Plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0033_V01 se ilustra la localización de los receptores sensibles identificados.

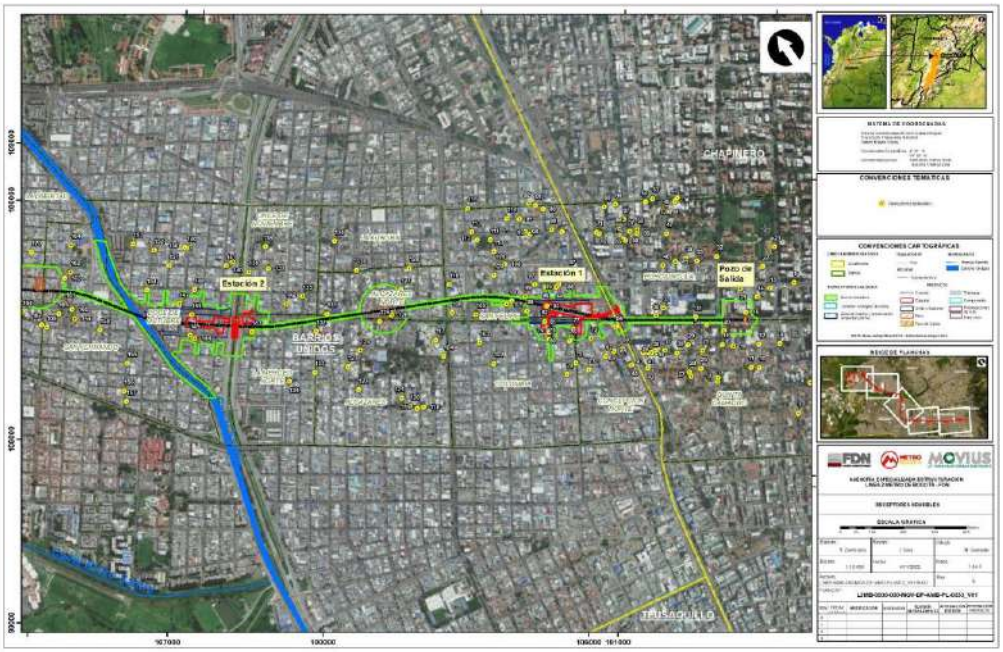


Figura 887. Ubicación de los potenciales receptores sensibles de interés. Tramo 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022

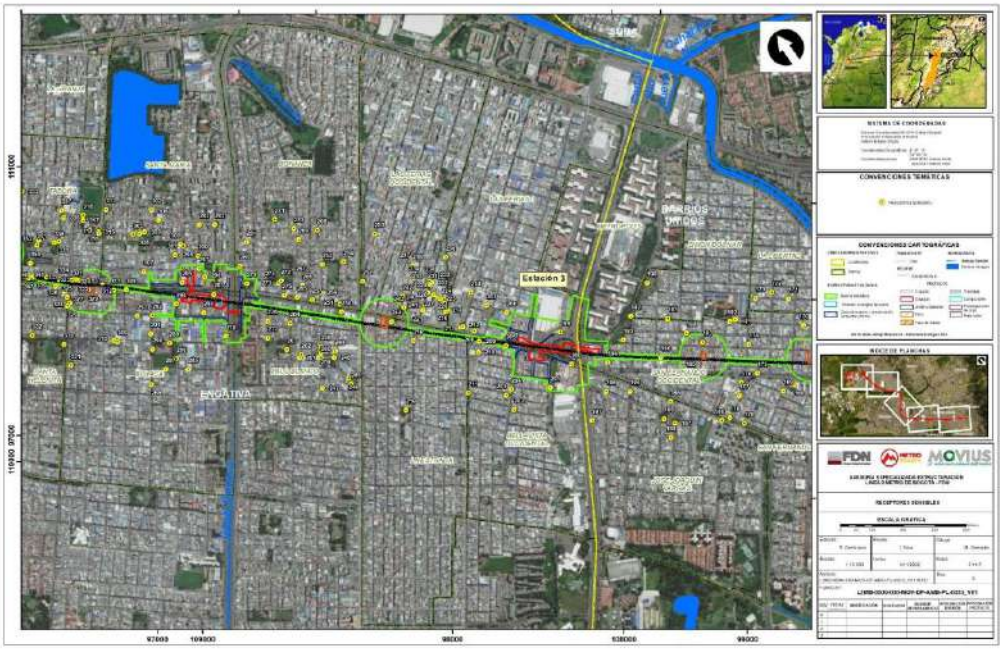


Figura 888. Ubicación de los potenciales receptores sensibles de interés. Tramo 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

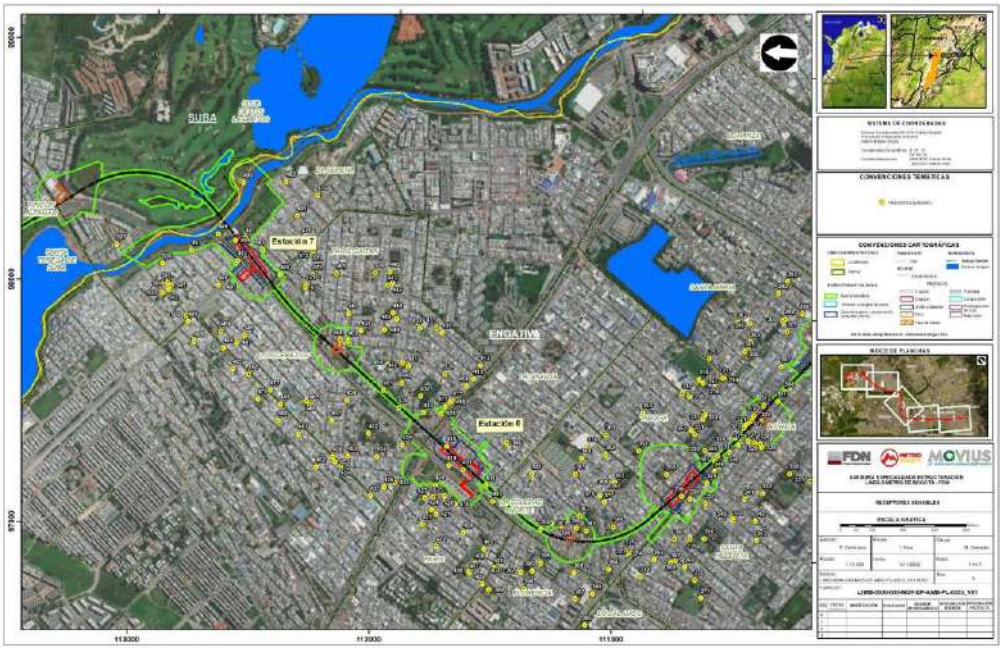


Figura 889. Ubicación de los potenciales receptores sensibles de interés. Tramo 3.
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 890. Ubicación de los potenciales receptores sensibles de interés. Tramo 4.
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 891. Ubicación de los potenciales receptores sensibles de interés. Tramo 5.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.3.4.9. Topografía y relieve del dominio de modelación

El preprocesador AERMAP fue alimentado con un modelo digital del terreno SRTM (NASA Shuttle Radar Topographic Mission), el cual fue descargado a través de la opción webGIS de la Nasa con el uso del software AERMOD View. Los resultados se muestran a continuación.

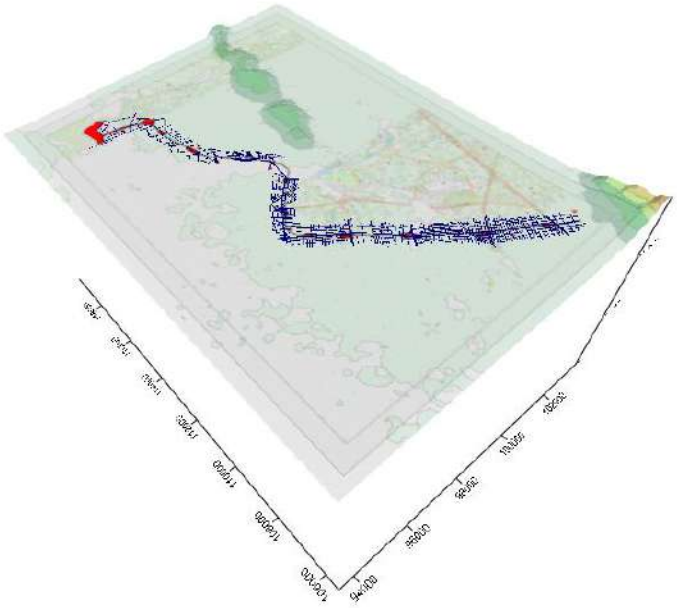


Figura 892. Relieve topográfico de la zona de estudio.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.3.4.10. Meteorología en el área de influencia del proyecto

Para el análisis meteorológico se utilizó el modelo de simulación de última generación Weather Research and Forecasting (WRF), por no encontrarse una estación meteorológica de altura en cercanía de las fuentes de emisión evaluadas en este estudio, que presente los parámetros y datos necesarios para la modelación con el software AERMOD View. La resolución temporal de los parámetros evaluados está dada por las condiciones topográficas y uso del suelo de la zona. Toda la información empleada en este capítulo corresponde a datos meteorológicos entre el 1 de enero de 2021 y el 1 de enero de 2022.

La información resultante del modelo WRF corresponde a un modelamiento de datos de un año completo, mientras la meteorología de los monitoreos comprende datos puntuales de superficie con intervalos de tiempo más cortos. Se debe tener presente que la información meteorológica que se muestra en esta sección difiere de los resultados de los monitoreos realizados en campo. AERMOD View requiere datos de 8760 horas (un año completo como mínimo) de variables meteorológicas que no son posibles medir con equipos localizados en superficies, como por ejemplo, la altura de mezcla de la tropósfera.

Los datos fueron procesados en las tres etapas de AERMET. Los archivos entregados son de tipo superficie y perfil vertical de la atmósfera, generados a partir de los archivos tipo SAMSON (Solar And Meteorological Surface Observation Network) y *Upper Air*, según la siguiente parametrización en AERMET.

Tabla 410. Parametrización en AERMET

Etapa 1: Extracción	
Upper Air: ● Intervalo de tiempo (yy/mm/dd) ● Ubicación de la estación (grados decimales) ● Ajuste de tiempo a hora local (ajusta positivo en coordenadas oeste)	21/01/01 - 22/01/01 4.701636 N, 74.085888 W 5
Surface: ● Intervalo de tiempo (yy/mm/dd) ● Ubicación de la estación (grados decimales) ● Ajuste de tiempo a hora local (ajusta positivo en coordenadas oeste)	21/01/01 - 22/01/01 4.701636 N, 74.085888 W 0
Etapa 2: Compilación	
Merge: ● Intervalo de tiempo (yy/mm/dd)	21/01/01 - 22/01/01
Etapa 3: Preparación de datos para AERMOD	
Sectors: ● Número de sectores ● Periodo de sectores	1 Anual

Fuente: UT MOVIUS 2022

La información meteorológica sectorial utilizada contempla la clasificación del uso de suelo a 3 kilómetros a la redonda del punto de origen (ubicación de la estación): Sector 1 - Segmento comprendido entre 0º a 360º, uso de suelos predominantemente residencial de alta intensidad.

- Climograma de Gaussen.

Para la caracterización del albedo, radio de bowen y rugosidad superficial, se realizó el Climograma de Gaussen (Figura 888) para determinar si el mes corresponde a un mes seco o a un mes húmedo.

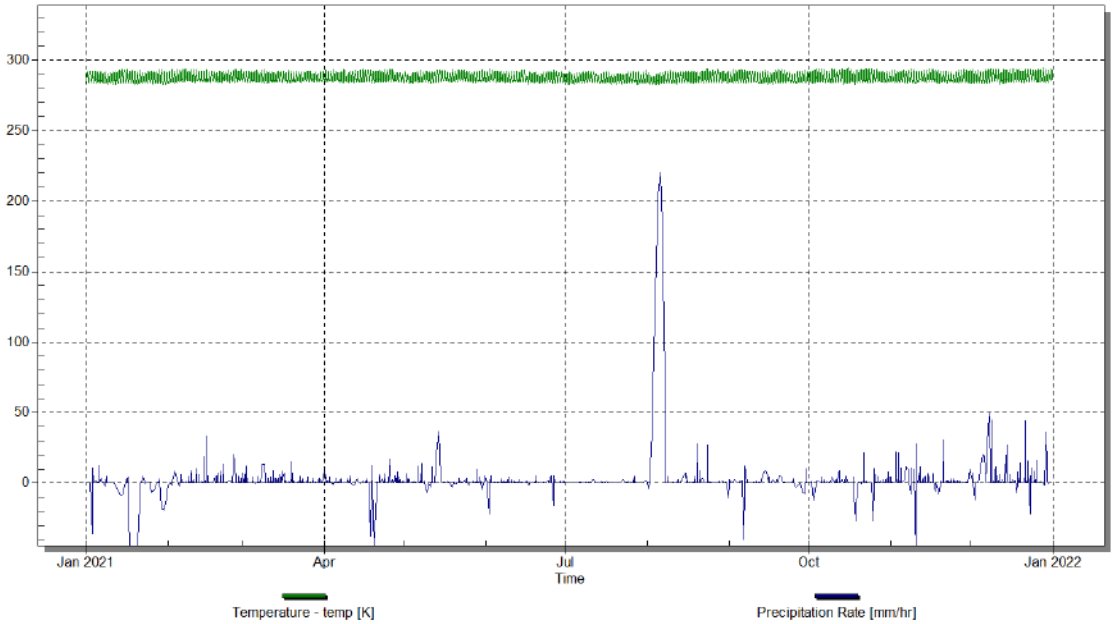


Figura 893. Climograma de Gaussen.
Fuente: UT MOVIUS 2022

El climograma relaciona la precipitación acumulada mensual y la temperatura promedio mensual, donde si la precipitación es menor a dos veces la temperatura, se considera un mes seco. Según dicho climograma, todos los meses se consideraron húmedos, por lo cual se parametriza AERMET únicamente con condiciones de temporada húmeda.

Los valores de albedo (0,18), radio de bowen (1,5) y rugosidad superficial (1,0) fueron tomados del manual de AERSURFACE, de la US-EPA.[3]

- Temperatura superficial.

La Figura 889 muestra el comportamiento de la temperatura promedio horaria. A nivel general, se observa que la temperatura media del periodo evaluado es de 14,85 °C con una variación mensual de ± 1,2 °C.

La temperatura máxima promedio mensual estimada se presentó durante el mes de octubre de 2021 y el registro promedio mensual mínimo fue determinado para el mes de agosto. El perfil de temperatura horario presenta sus mayores promedios entre las 12 y 15 horas, durante este mismo periodo se esperan valores de radiación solar más elevados. La dispersión de contaminantes atmosféricos se genera con mayor facilidad cuando se presentan temperaturas altas asociadas a máximas alturas de mezcla.

[3] Manual disponible en: http://www.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aersurface_userguide.pdf

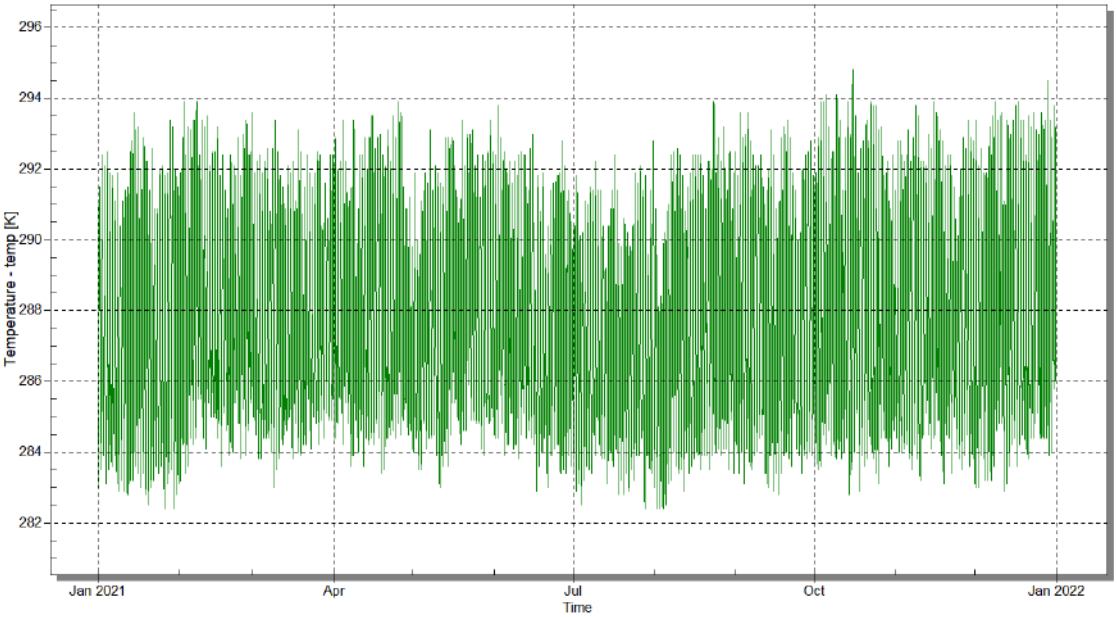


Figura 894. Promedio horario de temperatura en la zona de estudio.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Precipitación.

En la Figura 890 se presenta el análisis climatológico horario para el año 2021 de la variable precipitación, como se mencionó anteriormente no se presentan meses secos a lo largo del año. Durante los meses de agosto y noviembre se registran las mayores precipitaciones. En los meses con mayores precipitaciones se espera mayor remoción húmeda de material particulado del ambiente.

Se indica que la tendencia de las lluvias en la hora 19 es donde se presentaron las mayores precipitaciones, allí se puede observar una tendencia respecto a la ocurrencia de presentarse las mayores precipitaciones en horas de la noche.

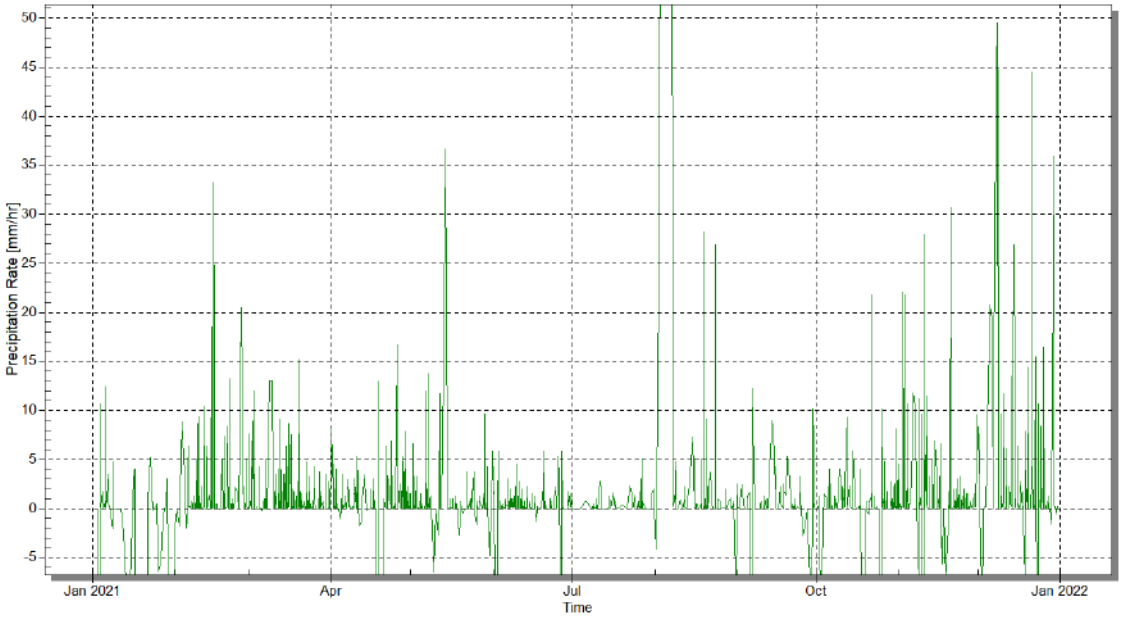


Figura 895. Intensidad horaria de precipitación en la zona de estudio.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Velocidad y dirección de los vientos.

En la Figura 891 se presenta la rosa de los vientos para el periodo de estudio. El preprocesador no tiene en cuenta velocidades con valores de cero (0,0) reportados por la modelación meteorológica en WRF, ya que para velocidades cero, no se obtiene dirección.

Se aprecia un componente mayoritario proveniente de la dirección sureste (SE), con un porcentaje de registros cercanos al 10%. El registro horario de velocidad máximo para el año 2021 fue cercano a los 8 m/s. Existe una marcada predominancia de los vientos catalogados como Ventolina con el 56,2% de los registros, seguido por brisa leve 19,2%. Los periodos de calma representan el 7,0% de los registros.

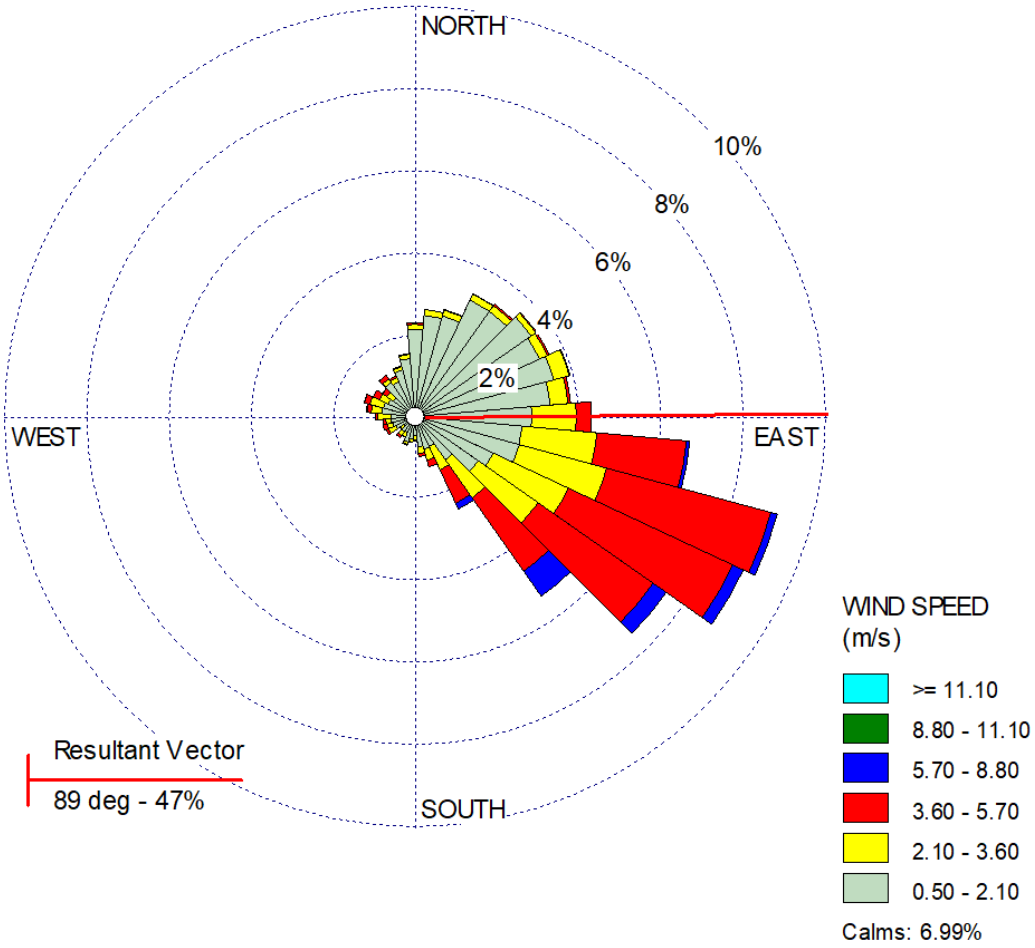


Figura 896. Rosa de los vientos en la zona de estudio.
Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Figura 891 se muestra el comportamiento de la velocidad promedio mensual para el área del proyecto. Las velocidades más altas se presentan en septiembre y los meses de mitad de año, mientras los promedios más bajos se observan entre octubre y noviembre.

La tendencia de vientos horaria presenta las más altas velocidades entre las horas 9 a 17 (9:00 A.M – 5:00 P.M), con velocidades superiores a 4 m/s. Esta condición hace posible el arrastre de los contaminantes, cuanto mayor sea la velocidad del viento mayor será la dispersión de los contaminantes. Por otra parte, los límites inferiores (velocidades por debajo de 3 m/s) se establecen alrededor de las 21 a 6 horas (9:00 P.M – 6:00 A.M).

Las velocidades se presentaron en un rango desde 0 m/s hasta 7.65 m/s. Con relación a esta gráfica, en el mes de abril y septiembre se presentaron los valores más altos de velocidades del viento.

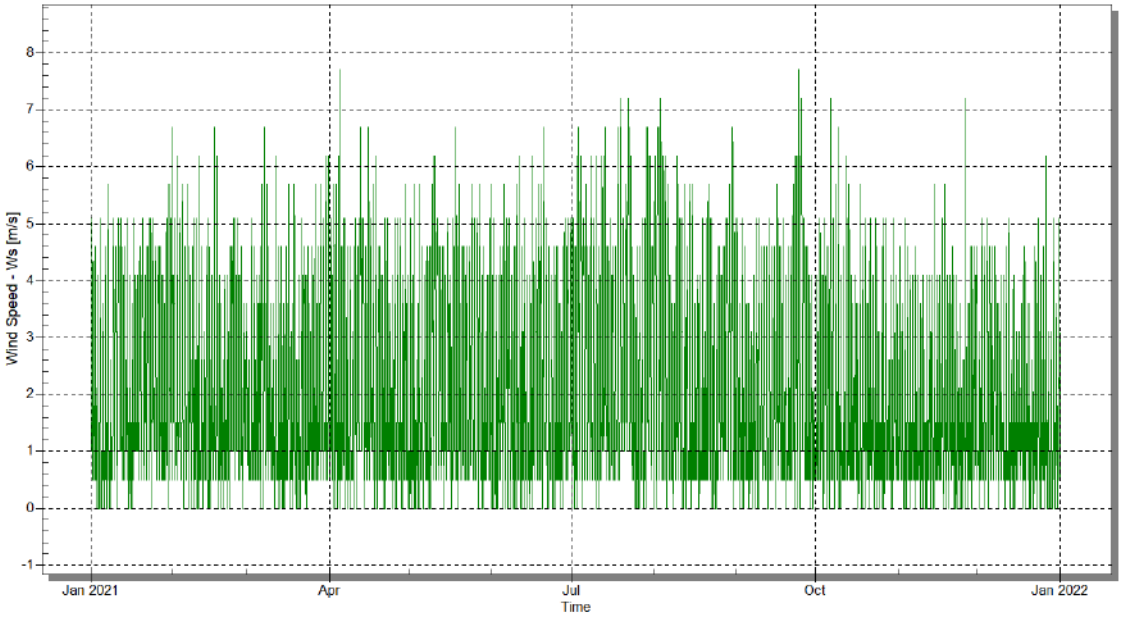


Figura 897. Velocidad del viento promedio horario en la zona de estudio.
Fuente: UT MOVIUS 2022

La tendencia de vientos horaria presenta las más altas velocidades entre las 9:00 A.M. y las 5:00 P.M., con velocidades superiores a 4 m/s. Esta condición hace posible el arrastre de los contaminantes, cuanto mayor sea la velocidad del viento, mayor será la dispersión de los contaminantes. Por otra parte, los límites inferiores (velocidades por debajo de 3 m/s) se establecen alrededor de las 9:00 P.M. y las 6:00 A.M.

- Nubosidad.

Los meses en que se presentó mayor nubosidad fueron abril (por encima de las 5 décimas) y octubre, para el resto de meses la nubosidad fue en promedio menor a 2 décimas. Como se puede ver en la Figura 893, se presentó nubosidad superior entre las 8:00 P.M. y las 11:00 P.M., mientras que el resto de horas presentaron, en promedio, nubosidad menor a 3 décimas.

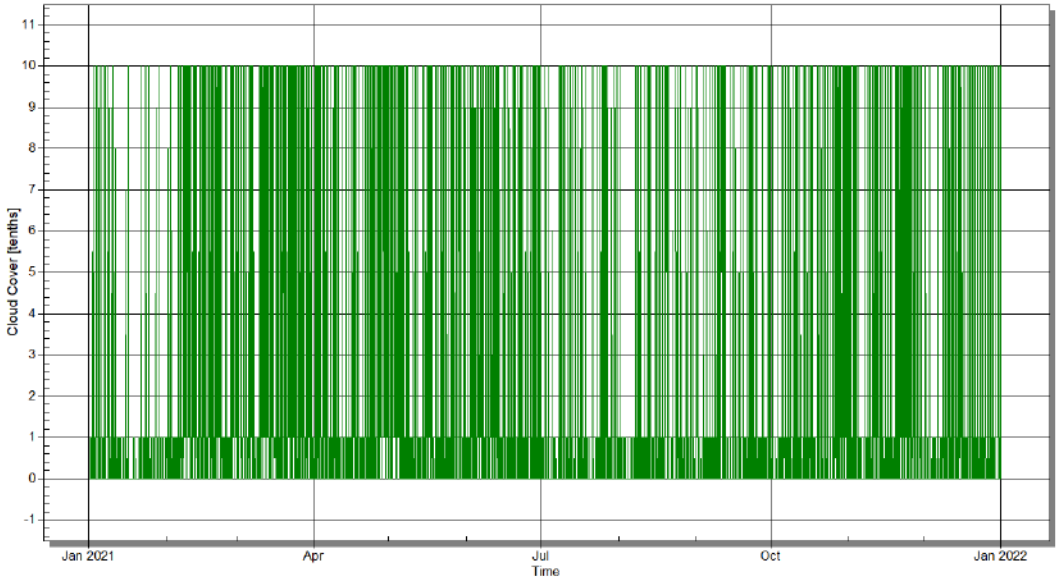


Figura 898. Nubosidad promedio horaria en la zona de estudio.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Humedad relativa.

La humedad relativa, en la zona de estudio, para el periodo anual de 2021, varió entre el 60% y el 80% presentando en el mes de junio el promedio de porcentaje de humedad más alto, mientras que en enero el más bajo. (Ver Figura 894).

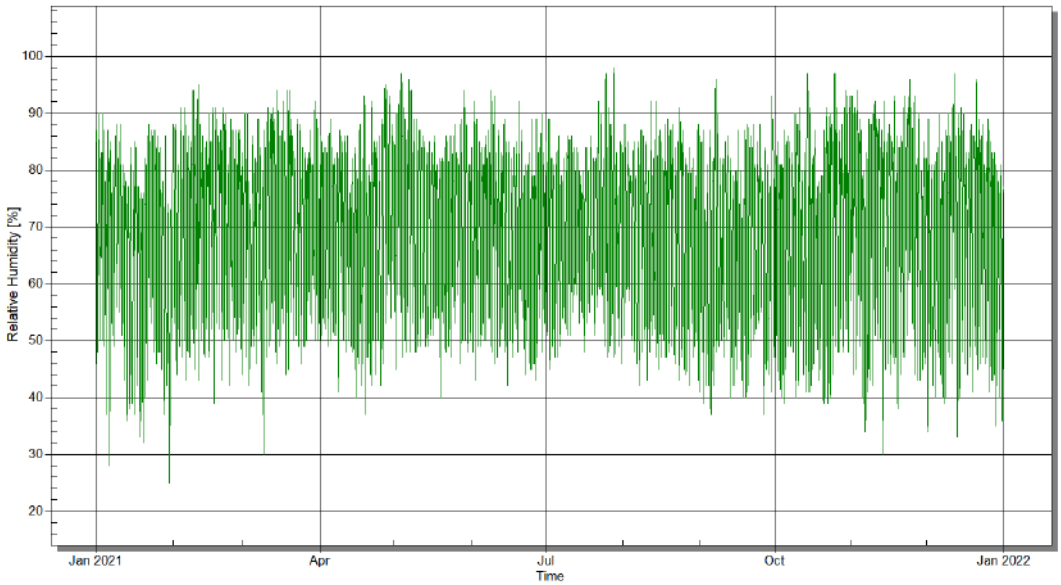


Figura 899. Humedad relativa promedio horaria en la zona de estudio.
Fuente: UT MOVIUS 2022

El perfil horario de humedad relativa presenta los valores de menor valor entre las 10:00 A.M., hasta aproximadamente las 04:00 P.M., debido a que en este rango de tiempo se obtienen los valores de temperaturas más altos. Por el contrario, los valores más altos se presentaron en las horas de la noche hasta el amanecer (6:00 A.M), con un valor máximo muy cercano al 100%.

- Presión barométrica.

La presión barométrica registrada durante este periodo estuvo alrededor de los 753 mbar (±10 mbar). Estos valores muestran que no se presentaron grandes cambios en esta variable meteorológica, dejando en claro un comportamiento constante ya que las diferencias de un día para otro no fueron mayores a los 2 mbar.

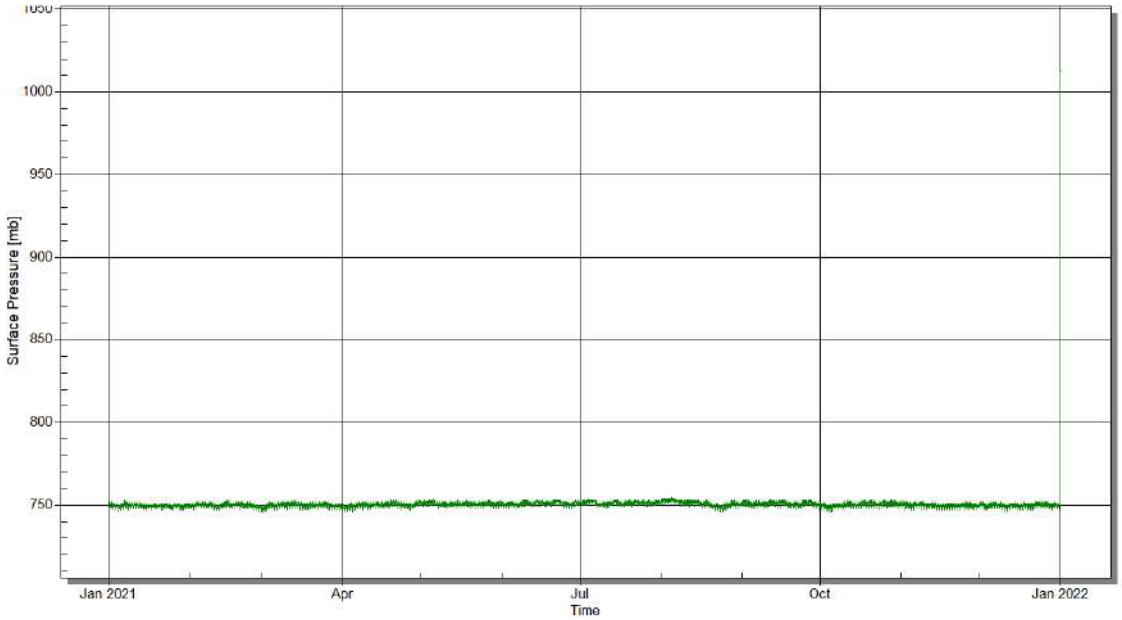


Figura 900. Presión barométrica promedio horaria en la zona de estudio.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Altura de la capa de mezcla (convectiva y mecánica).

La altura de la capa de mezcla constituye un parámetro básico en la modelación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos, por cuanto es la zona inferior de la atmósfera donde ocurre fundamentalmente el transporte turbulento de masa y energía y donde los contaminantes se trasladan e interaccionan.

La altura de la capa de mezcla es la altura de la capa adyacente a la tierra en la que los contaminantes se dispersan verticalmente por convección o por turbulencia mecánica en un período de aproximadamente una hora, es decir, la elevación sobre la superficie hasta la cual se considera que ocurre un mezclado vertical vigoroso de los gases en la atmósfera.

En otras palabras, la altura de la capa de mezcla representa el grado de dispersión de los contaminantes. En este sentido, entre mayor sea la altura de mezcla mayor será la dispersión de los contaminantes. En la Figura 896 se presenta la altura de mezcla calculada a partir de la modelación meteorológica (WRF) para el año 2021; como puede observarse en la figura en las horas del mediodía y la tarde se alcanzan las mayores alturas de mezcla, y en las horas de noche y madrugada las más bajas, que es también donde se presenta la mayor estabilidad atmosférica, y, por ende, donde los valores de mezcla son bajos.

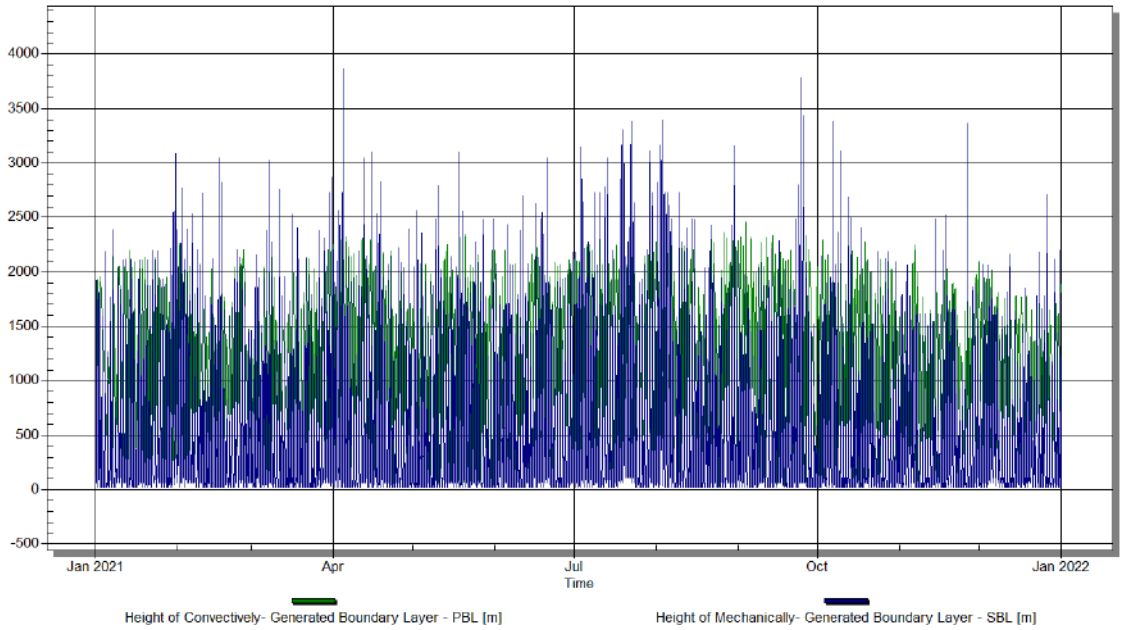


Figura 901. Altura de la capa de mezcla (convectiva y mecánica) promedio horaria en la zona de estudio.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.3.4.11. Factores de emisión

- Línea base.

Para la estimación de las emisiones atmosféricas en el escenario actual sin proyecto (línea base), únicamente se determinaron las emisiones atmosféricas generadas por fuente móviles en carretera de la flota vehicular que transita por las vías principales en el área de influencia del proyecto. Se estimaron las emisiones por cuatro procesos: combustión interna de motores (gases y partículas), resuspensión de material particulado, desgaste de frenos y desgaste de neumáticos (únicamente para aerosoles), a partir de factores de emisión como se muestra en la Ecuación 59 .

$$E_{i,j} = FE_{i,j} \times FA_j \times N_j$$

Ecuación 59. Emisiones atmosféricas de fuentes móviles

En donde:

E: Emisión para cada contaminante (i) y para cada categoría vehicular (j). (masa/tiempo)
FE: Factor de Emisión para cada contaminante (i) y para cada categoría vehicular (j). (masa/actividad)
FA: Factor de Actividad (rodamiento o distancia recorrida por unidad de tiempo) para cada categoría vehicular (j). (actividad/tiempo)
N: Número total de vehículos pertenecientes a la categoría vehicular (j). (número de vehículos)

Los factores de emisión corresponden a la relación de generación del contaminante (i) (g/km) para cada una de las categorías vehiculares (j). Los factores de emisión utilizados en el cálculo del inventario de fuentes móviles por combustión interna de motores corresponden a una recopilación de los factores de emisión estimados para la ciudad de Bogotá D.C.[4]

Para todo efecto de cálculo, debido a que los aforos vehiculares no segregan las categorías de vehículos por cilindraje, sistema de control de emisiones o combustible, se utilizó el Registro Distrital Automotor (RDA) administrado por la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM) con corte al 31 de diciembre de 2020. Este registro es la base de datos oficial de los vehículos registrados en la ciudad.

El resumen de los factores de emisión utilizados para estimar las emisiones asociadas a la combustión interna de motores de la flota vehicular que transita por el área de influencia del proyecto se muestra a continuación en la Tabla 410.

Tabla 411. Factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones

Tipología o categoría	Combustible	Estándar de emisión o tipo de motor	CO (g/veh-km)	VOC (g/veh-km)	NO_X (g/veh-km)	SO_2 (g/veh-km)	PM_{10} (g/veh-km)	$PM_{2.5}$ (g/veh-km)
Automóvil	Diésel	Todos	1,39	0,79	1,01	0,560	0,100	0,090
	Eléctrico	—	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000
	Gasolina	Todos	9,24	9,00	1,48	0,060	0,030	0,020
	GNV	> 1400 cc	13,00	5,00	3,70	0,000	0,003	0,003
		< 1400 cc	13,00	5,00	3,70	0,000	0,000	0,000
Campero y camioneta	Diésel	Todos	10,91	0,28	3,83	0,020	0,270	0,250
	Eléctrico	—	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000
	Gasolina	Todos	18,27	2,38	2,49	0,080	0,020	0,020

[4] SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE (SDA). Inventario de emisiones de Bogotá. Contaminantes atmosféricos. Año: 2020. Bogotá D.C. 2022.

Tipología o categoría	Combustible	Estándar de emisión o tipo de motor	CO (g/veh-km)	VOC (g/veh-km)	NO_X (g/veh-km)	SO_2 (g/veh-km)	PM_{10} (g/veh-km)	$PM_{2.5}$ (g/veh-km)
	GNV	Todos	40,00	4,00	3,00	0,000	0,003	0,003
Motocicleta	Eléctrico	—	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000
	Gasolina	2 Tiempos	23,20	18,30	0,10	0,050	0,220	0,200
		4 Tiempos > 150 cc	20,23	2,80	0,58	0,050	0,020	0,020
		4 Tiempos < 150 cc	38,00	2,60	0,80	0,050	0,010	0,010
Camión de 2 ejes	Diésel	EURO I 1 - 3 t	1,17	0,17	5,00	0,001	0,290	0,260
		EURO I 3 - 5 t	1,17	0,17	5,00	0,001	0,280	0,250
	Gasolina	EURO I - PRE-EURO	57,34	8,44	1,55	0,010	0,010	0,010
	Diésel	EURO II 1 - 3 t	1,00	0,11	5,30	0,001	0,240	0,210
		EURO II 3 - 5 t	1,00	0,11	5,30	0,001	0,230	0,210
		EURO II 5 - 7 t	2,33	0,67	4,94	0,001	0,370	0,330
	Gasolina	EURO II 1 - 5 t	3,52	0,38	0,43	0,010	0,004	0,003

Tipología o categoría	Combustible	Estándar de emisión o tipo de motor	CO (g/veh-km)	VOC (g/veh-km)	NO_X (g/veh-km)	SO_2 (g/veh-km)	PM_{10} (g/veh-km)	$PM_{2.5}$ (g/veh-km)
	Diésel	EURO IV 1 - 5 t	0,21	0,03	0,96	0,001	0,060	0,060
		EURO IV 5 - 7 t	0,21	0,03	2,29	0,001	0,040	0,040
	GNV	EURO IV 1 - 3 t	9,25	0,06	0,86	0,001	0,000	0,000
		EURO IV 3 - 5 t	9,25	0,07	0,87	0,001	0,004	0,004
	Diésel	PRE-EURO 1 - 3 t	1,03	0,68	1,14	0,001	0,820	0,740
		PRE-EURO 3 - 5 t	1,03	0,68	1,14	0,001	0,810	0,730
		PRE-EURO 5 - 7 t	2,23	0,75	8,06	0,001	1,410	1,270
	Gasolina	PRE-EURO 3 - 5 t	58,01	10,31	2,55	0,010	0,080	0,070
Camión de 3 ejes	Gasolina	EURO I - PRE-EURO	362,64	16,70	4,95	0,010	0,100	0,090
		EURO I	98,59	5,88	5,22	0,010	0,110	0,100
		EURO II	68,44	4,76	4,02	0,010	0,020	0,020
	GNV	EURO IV	5,39	0,03	0,20	0,001	0,010	0,005

Tipología o categoría	Combustible	Estándar de emisión o tipo de motor	CO (g/veh-km)	VOC (g/veh-km)	NO_X (g/veh-km)	SO_2 (g/veh-km)	PM_{10} (g/veh-km)	$PM_{2.5}$ (g/veh-km)
Camión de 4 o más ejes	Diésel	EURO II	3,43	0,99	7,28	0,002	0,640	0,580
		EURO IV	0,31	0,04	3,37	0,002	0,070	0,060
		PRE-EURO	4,63	1,14	14,78	0,002	1,700	1,530
Bus	Diésel	EURO II - PRE-EURO	11,04	0,23	27,96	0,030	0,240	0,210
		EURO IV - EURO V	1,08	0,01	11,40	0,030	0,080	0,070
	Eléctrico	—	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000
	Gasolina	EURO I - EURO II - PRE-EURO	99,76	9,69	5,89	0,220	0,040	0,040
	GNV	EURO IV - PRE-EURO	402,89	0,93	6,04	0,002	0,010	0,010
Buseta	Gasolina	EURO I - EURO II - PRE-EURO	99,76	9,69	5,22	0,220	0,040	0,040
	Diésel	EURO IV - EURO VI - PRE-EURO	402,89	0,93	6,04	0,030	0,010	0,010
	GNV	PRE-EURO	402,89	0,93	6,04	0,002	0,010	0,010
Microbús	Diésel	EURO II - PRE-EURO	33,79	0,44	31,65	0,020	0,490	0,440
		EURO IV	6,76	0,03	11,82	0,030	0,130	0,120

Tipología o categoría	Combustible	Estándar de emisión o tipo de motor	CO (g/veh-km)	VOC (g/veh-km)	NO_X (g/veh-km)	SO_2 (g/veh-km)	PM_{10} (g/veh-km)	$PM_{2.5}$ (g/veh-km)
	Gasolina	EURO I - EURO II - PRE-EURO	65,20	3,70	3,90	0,060	0,040	0,040
	GNV	EURO IV - PRE-EURO	402,89	0,93	6,04	0,002	0,010	0,010
Buseta	Eléctrico	—	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000
	Diésel	EURO IV - EURO V	6,76	0,03	11,82	0,030	0,130	0,120
Padrón	Diésel	EURO III	27,89	0,21	14,14	0,030	0,140	0,130
		EURO IV - EURO V	13,83	0,16	10,31	0,030	0,080	0,070
Articulado	Diésel	EURO II	28,87	0,23	21,50	0,030	0,210	0,190
		EURO III	33,36	0,22	17,14	0,030	0,190	0,170
		EURO IV	15,30	0,14	15,02	0,030	0,090	0,080
		EURO V	10,76	0,03	15,98	0,030	0,040	0,040
		EURO V FILTRO	10,76	0,03	15,98	0,030	0,030	0,030
	GNV	EURO VI	1,79	0,07	0,00	0,003	0,000	0,000
Biarticulado	Diésel	EURO III	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000
		EURO IV	16,96	0,19	16,38	0,030	0,050	0,040

Tipología o categoría	Combustible	Estándar de emisión o tipo de motor	CO (g/veh-km)	VOC (g/veh-km)	NO_X (g/veh-km)	SO_2 (g/veh-km)	PM_{10} (g/veh-km)	$PM_{2.5}$ (g/veh-km)
		EURO V	7,27	0,11	16,66	0,030	0,070	0,070
		EURO V FILTRO	7,27	0,11	16,66	0,030	0,060	0,050
	GNV	EURO VI	1,79	0,07	0,00	0,030	0,000	0,000
Padrón Dual	Diésel	EURO V	13,83	0,16	6,54	0,030	0,080	0,070
	Diésel - Eléctrico	HÍBRIDO EURO V	6,34	0,16	14,32	0,960	0,030	0,030

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). Inventario de emisiones de Bogotá, contaminantes atmosféricos. Año: 2020. (2022).

Para la estimación del factor de actividad se utiliza la distancia de cada una de las vías por donde transitan los vehículos medidos en los aforos. Debido a que la red vial analizada es reducida, se asume que todo el tránsito vehicular se distribuye por las mismas vías, y por ende, el factor de actividad, en términos de kilómetros recorridos, va a ser el mismo para todas las categorías vehiculares censadas (principio de balance y conservación de masas).

- Construcción.

Para la construcción del proyecto se establecen como fuentes fijas de área los frentes de obra, integrando fuentes móviles de emisión fuera de carretera (fuera de ruta), asociada a la maquinaria móvil terrestre para la construcción de cuatro frentes principales: áreas de urbanización, adecuación de estaciones, cimentación de pozos y construcción del patio taller.

Este tipo de fuentes de emisión de emisión no requieren de la solicitud de permiso de emisiones atmosféricas, no obstante, deben cumplir la normatividad ambiental de emisiones atmosféricas por fuentes móviles, correspondiente a la Resolución 910 de 2008 y Resolución 1111 de 2013 del MAVDT, Decreto 019 de 2012 del MinTransporte y el DUR sector ambiente Decreto 1075 de 2015 del MADS.

Las emisiones asociadas a este tipo de fuentes están directamente influenciadas por el tipo de control de emisiones instalado en el equipo o automotor, la calidad y tipo de combustible utilizado, la frecuencia y vida media del equipo y, particularmente, la potencia asociada.

Las metodologías disponibles para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes móviles fuera de carretera se encuentran agrupadas de acuerdo con la siguiente clasificación[5]:

1. Equipos o maquinaria móvil para agricultura y silvicultura.
2. Equipos de apoyo y servicios aeroportuarios (aéreos y terrestres).

[5] Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT). Modelo metodológico para el inventario de emisiones fuera de carretera. 24 de febrero de 2016.

3. Equipos o maquinaria móvil para usos institucionales o comerciales (incluyendo vehículos recreativos).
4. Equipos industriales y de manufactura (taladros, perforadores, entre otros).
5. Equipos o maquinaria móvil para áreas residenciales, domésticas y de jardinería (cortadoras de césped, motosierras, entre otros).
6. Equipos de carga (manlift, grúas, montacargas, entre otros).
7. Equipos o maquinaria móvil de uso militar (aéreos y terrestres).
8. Equipos de actividades petroleras y de extracción subsuperficial.
9. Equipos de minería y explotación forestal.
10. Equipos de construcción y obras civiles.

De acuerdo con los requisitos de construcción del proyecto, la maquinaria que se utilizará corresponde únicamente a la categoría de Equipos de construcción y obras civiles. Para estimar la cantidad de contaminantes atmosféricos que generarán los equipos vinculados al proyecto, se determinarán los frentes de obra como se mencionó con anterioridad, y así, poder estimar la magnitud, duración y trabajos requeridos durante su operación.

A continuación, se encuentra una breve descripción del tipo de maquinaria Diésel requerida para el desarrollo del proyecto, agrupada por funcionalidad del equipo o maquinaria asociada.

1. Vibrocompactadoras, cargadores o motoniveladoras: este tipo de maquinaria cuenta con rodillos que, mediante procesos de vibración, permite compactar el suelo para lograr alta resistencia del terreno.
2. Camiones, camionetas o volquetas: generalmente son utilizados para el transporte de grandes cantidades de material. A diferencia de otros tipos de vehículos automotores, tienen restricciones para su movilización en carreteras, ya que se encuentran catalogados como vehículos pesados o muy pesados. La potencia del motor oscila entre los 350 HP y 670 HP.
3. Retroexcavadoras de baja y alta capacidad: en cuanto al aspecto físico y mecánico, son una combinación entre excavadoras hidráulicas y cargadores. Dependiendo de su fabricante, su desplazamiento puede ser sobre orugas o ruedas. Se componen principalmente de brazos hidráulicos articulados y baldes o palas de excavación. Normalmente, cuentan con motores que tienen una potencia entre 13 HP y 174 HP.
4. Bombas, finisher o mezcladoras: este tipo de equipos se utiliza para el transporte, bombeo y mezcla de hormigón, concreto o mezclas de construcción. La potencia del motor normalmente varía entre 0,6 HP y 94 HP.

La estimación de las emisiones atmosféricas de fuente móviles fuera de carretera, producto de la combustión interna de motores de los equipos y/o maquinaria asociada al proyecto, se estimaron a partir de factores de emisión por medio de la Ecuación 60.

$$E_{i,k} = FE_{i,k} \times FC_k \times HP_k \times HR_k \times N_k$$

Ecuación 60. Emisiones atmosféricas para fuentes móviles fuera de ruta

En donde:

$E_{i,k}$: Emisión para cada contaminante (i) y para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (masa/tiempo)
$FE_{i,k}$: Factor de Emisión para cada contaminante (i) y para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (masa/(potencia nominal*horas de uso))
FC_k: Factor de Carga típico para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (factor adimensional que relaciona el uso medio del equipo con respecto a su máxima capacidad de trabajo)
HP_k: Potencia nominal promedio para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (potencia nominal)
HR_k: Horas de uso para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (horas de uso)
N_k: Número total de equipos o maquinaria motorizada pertenecientes al tipo (k). (número de equipos)

Los factores de emisión corresponden a la relación de generación del contaminante (i) (g/(hp*hr)) para cada una de los equipos o maquinaria motorizada (k). Para efectos de estimar las emisiones atmosféricas para fuentes móviles fuera de

ruta, los factores de emisión se calculan a partir de los siguientes algoritmos establecidos en el complemento NON-ROAD del Simulador de Emisiones de Vehículos MOtorizados (MOVES) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA).[6]

1. Para el cálculo de los Factores de Emisión de los contaminantes HC, CO y NO_X, se utiliza la Ecuación 61:

$$FE_{adj(HC,CO,NO_X)} = FE_{SS} \times FAT \times FD$$

Ecuación 61. Factor de Emisión ajustado para HC, CO y NO_X

En donde:

$FE_{adj(HC,CO,NOx)}$: Factor de Emisión ajustado para los contaminantes HC, CO y NO_X, después de incluir las correcciones por operación transitoria y deterioro del motor para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (g/(HP*HR))
FE_{SS}: Factor de Emisión en estado estable u hora cero para los contaminantes HC, CO y NO_X, el cual se determina a partir del modelo, la potencia, tecnología y año de fabricación para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (g/(HP*HR))
FAT: Factor de Ajuste Transitorio, el cual representa la realidad operativa para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (factor adimensional que relaciona la carga, velocidad, entre otros) (Ecuación 62).

$$FAT = \frac{FE_{trans}}{FE_{SS}} \ (para\ motores\ con\ estándar\ de\ emisiones\ Tier\ 4, FAT = 1)$$

Ecuación 62. Factor de Ajuste Transitorio (FAT)

FD: Factor de deterioro para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (factor adimensional que es función del tipo de tecnología y edad del motor) (Ecuación 63).

$$FD = 1 + (A \times (factor\ de\ edad)^b)\ ;\ para\ factor\ de\ edad \leq 1$$
$$FD = 1 + A\ ;\ para\ factor\ de\ edad > 1$$

Ecuación 63. Factor de Deterioro (FD) del motor

En donde:

A, ^{b}: Factor de deterioro relativo, el cual se estima para cada equipo o maquinaria motorizada (k) y para cada contaminante (i). Para motores Diésel (ignición por compresión), (b) es igual a 1.
factor de edad: Fracción de la vida media gastada para cada equipo o maquinaria motorizada (k), el cual se calcula con base en las horas acumuladas de trabajo, el factor de carga al que es sometido y su vida útil (Ecuación 64).

$$factor\ de\ edad = \frac{horas\ acumuladas \times FC_k}{vida\ media\ a\ su\ máxima\ capacidad\ de\ trabajo[horas]}$$

Ecuación 64. Factor de edad

Las horas acumuladas se calculan con base en el promedio de las horas de trabajo al año y la edad para cada equipo o maquinaria motorizada (k) (Ecuación 65).

[6] Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA). Simulador de Emisiones de Vehículos Motorizados: MOVES 3.0.1. Ann Arbor, MI. 2021.

$$horas\ acumuladas = edad\ de\ la\ maquinaria[años] \times trabajo\ promedio\left[\frac{horas}{año}\right]$$

Ecuación 65. Horas acumuladas

2. Para el cálculo de los Factores de Emisión de partículas (PM), se utiliza la Ecuación 66 :

$$FE_{adj(PM)} = FE_{SS} \times FAT \times FD \times S_{PMadj}$$

Ecuación 66. Factor de Emisión ajustado para PM

En donde:

$FE_{adj(PM)}$: Factor de Emisión ajustado para partículas (PM), después de incluir las correcciones por operación transitoria, deterioro del motor para cada equipo o maquinaria motorizada (k) y contenido de azufre en el combustible. (g/(HP*HR))
FE_{SS}: Factor de Emisión en estado estable u hora cero para partículas (PM), el cual se determina a partir del modelo, la potencia, tecnología y año de fabricación para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (g/(HP*HR))
FAT: Factor de Ajuste Transitorio, el cual representa la realidad operativa para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (factor adimensional que relaciona la carga, velocidad, entre otros).
FD: Factor de deterioro para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (factor adimensional que es función del tipo de tecnología y edad del motor).
S_{PMadj}: Ajuste del Factor de Emisión para partículas (PM) con base en la variación del contenido de azufre en el combustible (Ecuación 67).

$$S_{PMadj}\left[\frac{g}{HP \star HR}\right] = BSFC \times 453{,}6 \times 7{,}0 \times soxcnv \times 0{,}01 \times (soxbas - soxdsl)$$

Ecuación 67. Ajuste del factor de emisión por contenido de azufre

En donde:

BSFC: Consumo Específico de Combustible. Más adelante se muestra el cálculo de este parámetro. (lb de combustible/(HP*HR))
453,6: Factor de conversión de libras (lb) a gramos (g).
7,0: gramos de sulfatos de PM/gramos de azufre en PM.
soxcnv: gramos de azufre en PM/gramos de azufre en el combustible consumido (0,022247).
0,01: Factor de conversión de porcentaje a fracción.
soxbas: Certificación del porcentaje de azufre en el combustible en peso (0,33 para motores Diésel).
soxdsl: Peso específico porcentual de azufre en el combustible.

3. Para el cálculo del Consumo Específico de Combustible (BSFC), se utiliza la Ecuación 68:

$$BSFC = FE_{SS} \times FAT$$

Ecuación 68. Consumo Específico de Combustible

En donde:

BSFC: Consumo Específico de Combustible, el cual es la medida de la eficiencia de consumo de cualquier fuerza motriz que quema combustibles para producir rotación. (lb de combustible/(HP*HR))
FE_{SS}: Consumo Específico de Combustible en estado estable u hora cero. (lb de combustible/(HP*HR))

FAT: Factor de Ajuste Transitorio, el cual representa la realidad operativa para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (factor adimensional que relaciona la carga, velocidad, entre otros).

4. Para el cálculo de los Factores de Emisión de CO_2, se utiliza la Ecuación 69:

$$FE_{(CO_2)} = \left((BSFC \times 453{,}6) - FE_{adj(HC)}\right) \times 0{,}87 \times \frac{44}{12}$$

Ecuación 69. Factor de Emisión para CO_2

En donde:

$FE(CO_2)$: Factor de Emisión para el contaminante CO2. (g/(HP*HR))
BSFC: Consumo Específico de Combustible. (lb de combustible/(HP*HR))
453,6: Factor de conversión de libras (lb) a gramos (g).
$FE_{adj(HC)}$: Factor de Emisión ajustado para el contaminante Hidrocarburos (HC), después de incluir las correcciones por operación transitoria y deterioro del motor para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (g/(HP*HR))
0,87: Fracción másica de carbono del Diésel.
44/12: Relación entre la masa de CO_2 y la masa del carbono.

5. Para el cálculo de los Factores de Emisión de SO_2, se utiliza la Ecuación 70:

$$FE_{(SO_2)} = \left(\left(BSFC \times 453{,}6 \times (1 - soxcnv)\right) - FE_{adj(HC)}\right) \times 0{,}01 \times soxdsl \times 2$$

Ecuación 70. Factor de emisión ajustado para SO_2

En donde:

$FE(SO_2)$: Factor de Emisión para el contaminante SO_2. (g/(HP*HR))
BSFC: Consumo Específico de Combustible. (lb de combustible/(HP*HR))
453,6: Factor de conversión de libras (lb) a gramos (g).
soxcnv: gramos de azufre en PM/gramos de azufre en el combustible consumido (0,022247).
$FE_{adj(HC)}$: Factor de Emisión ajustado para el contaminante Hidrocarburos (HC), después de incluir las correcciones por operación transitoria y deterioro del motor para cada equipo o maquinaria motorizada (k). (g/(HP*HR))
0,01: Factor de conversión de porcentaje a fracción.
soxdsl: Peso específico porcentual de azufre en el combustible.
2,0: gramos de SO_2 formados de un gramo de azufre.

5.2.3.3.4.12. Resultados de la modelación con AERMOD View

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la modelación de cada contaminante, para el periodo anual, diario, 8 horas y 1 hora según el contaminante. Con el propósito de facilitar el desarrollo del numeral, los resultados se agrupan de la siguiente manera: resultados escenario de línea base, resultados escenario de construcción y aportes resultantes para los escenarios con proyecto respecto a las concentraciones de fondo establecidas.

- Escenario sin proyecto (línea base)

Para el escenario de la etapa de línea base, los resultados corresponden al aforo vehicular (volúmenes de tráfico). A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Como se observa en la siguiente tabla, las concentraciones máximas simuladas respecto a las concentraciones obtenidas en la campaña de monitoreo para un tiempo de exposición promedio anual representan una desviación promedio de 69% para PM_{10} y 40% para $PM_{2.5}$.

A partir de lo anterior, las emisiones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) generadas por las fuentes lineales identificadas en la zona del proyecto podrían tener mayor influencia sobre las estaciones en superficie que se establecieron en el monitoreo de campo.

Tabla 412. Resultados de material particulado ($PM_{2.5}$) promedio anual y máximo diario - escenario de línea base.

Estación	$PM_{2.5}$ (µg/m³) promedio anual			$PM_{2.5}$ (µg/m³) máximo diario		
	Modelado	Medido	Desviación	Modelado	Medido	Desviación
CA1 Gimnasio Moderno	1,25	12,01	90%	6,27	24,59	75%
CA2 Casa José Galo	7,96	10,74	26%	15,68	21,78	28%
CA3 Colegio San Felipe Neri	5,91	8,63	32%	11,73	18,82	38%
CA4 Colegio Liceo Val	12,37	13,32	7%	23,85	22,06	8%
CA5 Casa Luis Yomayusa	10,99	13,28	17%	21,13	24,21	13%
CA6 Ofidrogas	5,65	11,23	50%	11,18	22,65	51%
CA7 Casa Edilberto	16,84	17,30	3%	32,16	37,01	13%
CA8 Bomberos	9,04	13,85	35%	17,34	24,31	29%
CA9 Casa Luz Dary	6,15	16,36	62%	11,93	30,90	61%
CA10 Universidad Pedagógica	5,10	10,34	51%	9,84	28,87	66%
CA11 Sala de negocios	12,58	11,87	6%	23,74	27,03	12%
CA12 Salón comunal Almería	4,80	11,74	59%	9,43	20,63	54%

Estación	$PM_{2.5}$ (µg/m³) promedio anual			$PM_{2.5}$ (µg/m³) máximo diario		
	Modelado	Medido	Desviación	Modelado	Medido	Desviación
CA13 Casa Paulina García	11,68	12,64	8%	22,36	22,35	0%
CA14 Casa Yeison Chitiva	3,66	13,17	72%	7,58	22,14	66%
CA15 Uniminuto	13,98	14,61	4%	26,35	23,31	13%
CA16 Punta del este	4,84	13,79	65%	9,65	21,89	56%
CA17 Casa Hilvar	10,84	13,66	21%	21,01	22,56	7%
CA18 Casa Graciela	4,47	11,69	62%	8,74	29,53	70%
CA19 Fama	4,46	20,34	78%	8,68	37,80	77%
CA20 Conjunto Tibabuyes	10,65	12,58	15%	20,18	20,70	3%
CA21 Conjunto Yaití	9,97	10,23	3%	19,59	18,02	9%
CA22 Conjunto Alicante	9,05	20,65	56%	17,30	37,00	53%
CA23 Quintas de Santa Rita III	2,64	18,58	86%	5,23	35,93	85%
CA24 Quintas de Santa Rita II	2,01	5,13	61%	4,02	10,70	62%

Fuente: UT MOVIUS 2022

De acuerdo con la Tabla 411, los resultados de material particulado menor o igual a 10 micras (PM_{10}), promedio anual obtenidos mediante la simulación no superan los 30 µg/m³ siendo el valor más alto obtenido en la estación CA7 Casa Edilberto, respecto al material particulado menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$) se obtuvieron concentraciones por debajo de 17 µg/m³ (promedio anual), obtenido en la misma estación de monitoreo (CA7 Casa Edilberto).

Tabla 413. Resultados de material particulado (PM_{10}) promedio anual y máximo diario - escenario de línea base.

Estación	PM_{10} (µg/m³) promedio anual			PM_{10} (µg/m³) máximo diario		
	Modelado	Medido	Desviación	Modelado	Medido	Desviación
CA1 Gimnasio Moderno	2,40	51,69	95%	11,75	98,93	88%

Estación	PM_{10} (µg/m³) promedio anual			PM_{10} (µg/m³) máximo diario		
	Modelado	Medido	Desviación	Modelado	Medido	Desviación
CA2 Casa José Galo	16,32	39,42	59%	32,06	89,93	64%
CA3 Colegio San Felipe Neri	10,91	39,49	72%	21,59	76,91	72%
CA4 Colegio Liceo Val	22,11	54,82	60%	42,61	93,06	54%
CA5 Casa Luis Yomayusa	19,09	47,96	60%	36,70	71,22	48%
CA6 Ofidrogas	9,94	42,87	77%	19,67	70,43	72%
CA7 Casa Edilberto	29,56	59,79	51%	56,44	98,64	43%
CA8 Bomberos	16,48	47,33	65%	31,56	77,24	59%
CA9 Casa Luz Dary	10,38	77,87	87%	20,11	123,61	84%
CA10 Universidad Pedagógica	8,79	40,27	78%	16,96	162,02	90%
CA11 Sala de negocios	20,95	46,01	54%	39,55	109,44	64%
CA12 Salón comunal Almería	7,96	45,24	82%	15,67	76,11	79%
CA13 Casa Paulina García	19,17	93,12	79%	36,72	175,23	79%
CA14 Casa Yeison Chitiva	6,14	49,17	88%	12,69	80,89	84%
CA15 Uniminuto	23,54	44,65	47%	44,39	67,85	35%
CA16 Punta del este	8,04	63,93	87%	16,03	108,50	85%
CA17 Casa Hilvar	18,73	45,83	59%	36,27	75,31	52%
CA18 Casa Graciela	7,72	29,27	74%	15,13	41,88	64%

Estación	PM_{10} (µg/m³) promedio anual			PM_{10} (µg/m³) máximo diario		
	Modelado	Medido	Desviación	Modelado	Medido	Desviación
CA19 Fama	9,30	69,77	87%	18,02	99,66	82%
CA20 Conjunto Tibabuyes	18,57	53,44	65%	35,21	85,83	59%
CA21 Conjunto Yaití	18,62	29,89	38%	36,59	67,60	46%
CA22 Conjunto Alicante	17,22	46,17	63%	32,92	115,25	71%
CA23 Quintas de Santa Rita III	5,13	43,58	88%	10,11	68,06	85%
CA24 Quintas de Santa Rita II	3,87	25,94	85%	7,72	64,25	88%

Fuente: UT MOVIUS 2022

A continuación, se muestran los resultados de las simulaciones para los contaminantes que más afectación tuvieron sobre el medio, refiriéndose exclusivamente a los aerosoles, material particulado menor o igual a 10 micras (PM_{10}) y material particulado menor o igual a 2.5 micras ($PM_{2.5}$). Para ver los resultados de las simulaciones de otros contaminantes, los detalles desagregados se pueden encontrar en el Anexo 5.2 - 12.5 Modelo calidad del aire.

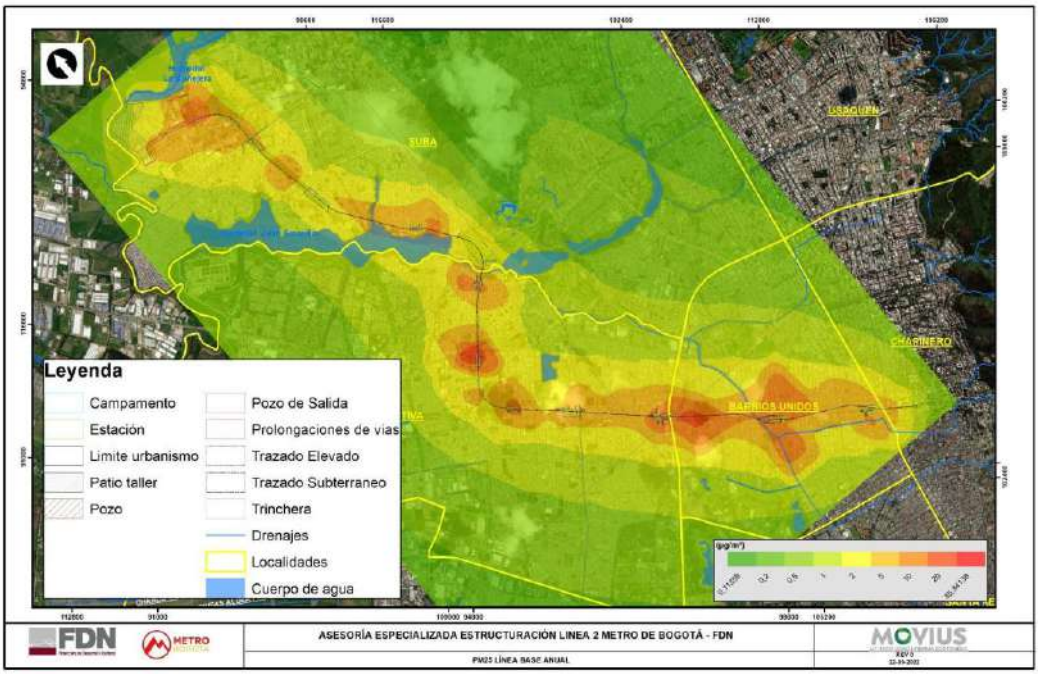


Figura 902. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 2.5 micras ($PM_{2.5}$). Promedio anual. Línea base.
Fuente: UT MOVIUS 2022

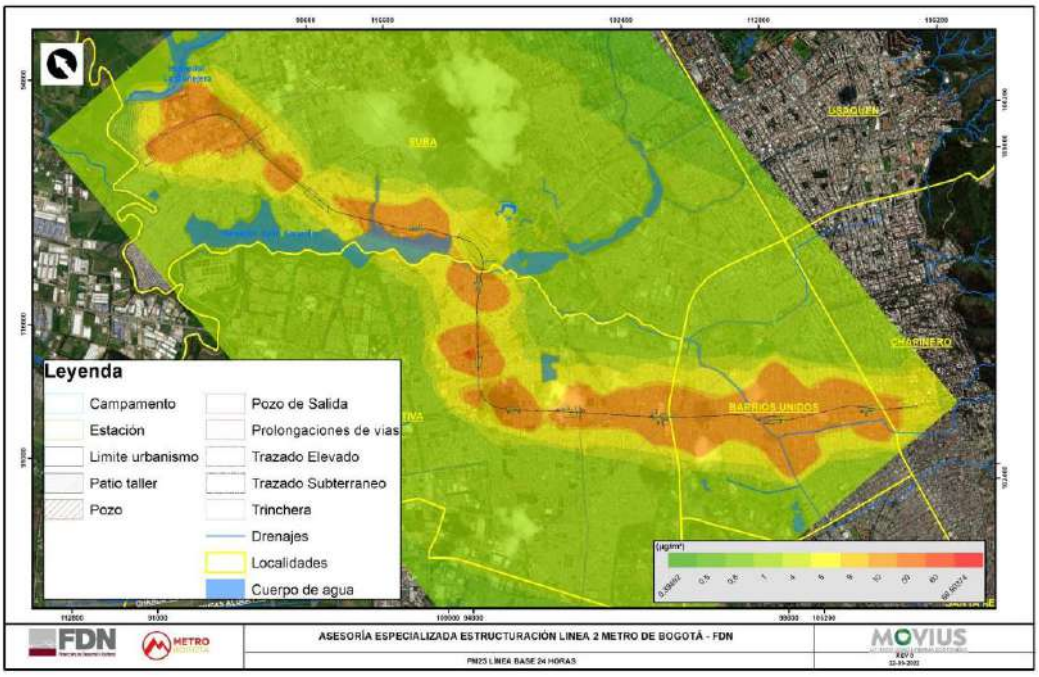


Figura 903. Isopletas de concentración. Material Particulado menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$). Máximo diario. Línea base.
Fuente: UT MOVIUS 2022

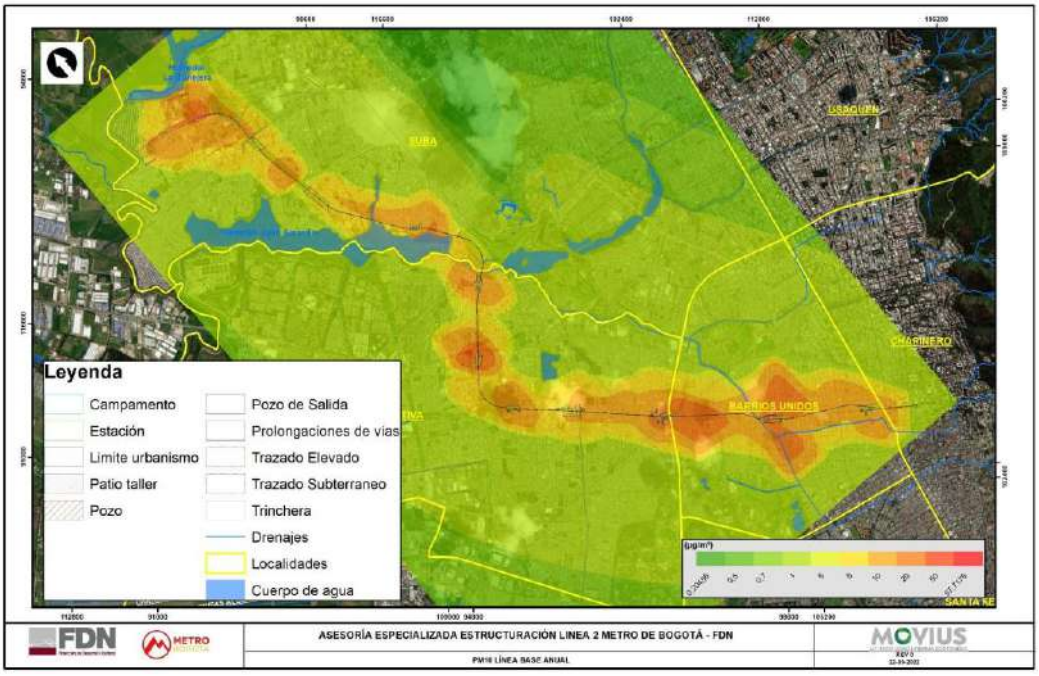


Figura 904. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 10 micras (PM_{10}). Promedio anual. Línea base.
Fuente: UT MOVIUS 2022

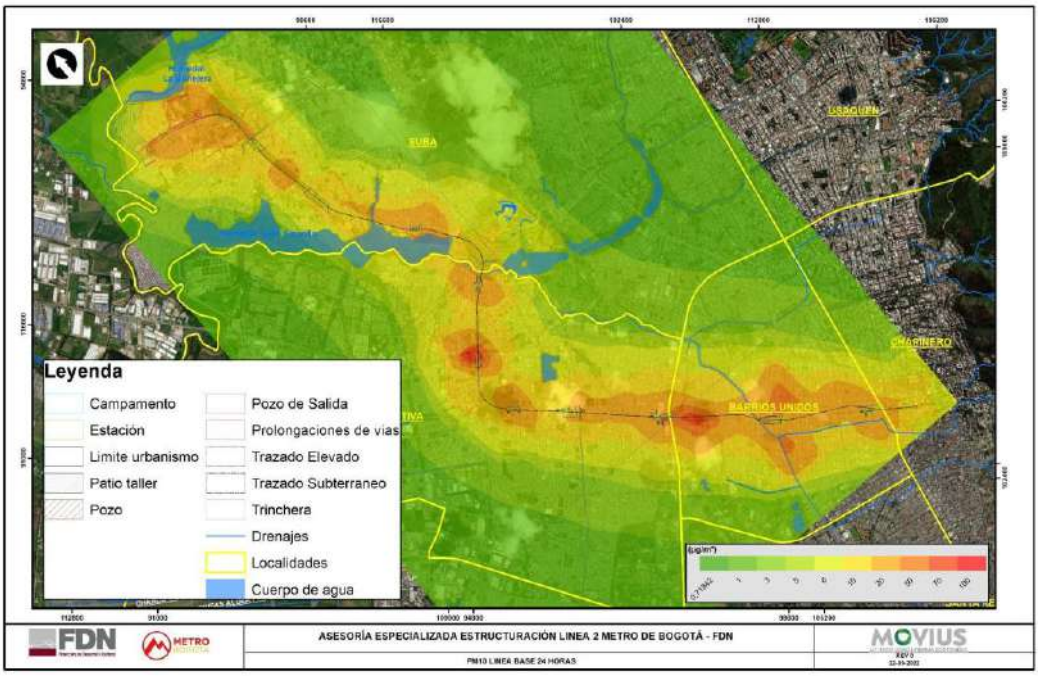


Figura 905. Isopletas de concentración. Material Particulado menor a 10 micras (PM_{10}). Máximo diario. Línea base. Fuente: UT MOVIUS 2022

- Construcción del proyecto (escenario crítico)

Para el escenario de la etapa de construcción del proyecto, denominado como el escenario crítico, los resultados corresponden a la proyección del tráfico vehicular y las diferentes actividades desarrolladas e identificadas en el numeral 5.2.3.3.4.11. A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la estimación de las emisiones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), ya que fueron los contaminantes que determinaron las áreas de influencia para el componente atmosférico (calidad del aire).

Tabla 414. Resultados de material particulado ($PM_{2.5}$) promedio anual y máximo diario - escenario de construcción.

Estación	$PM_{2.5}$ (µg/m³) promedio anual			$PM_{2.5}$ (µg/m³) máximo diario		
	Línea base	Construcción	Aporte	Línea base	Construcción	Aporte
CA1 Gimnasio Moderno	1,25	1,38	10%	6,27	8,72	39%
CA2 Casa José Galo	7,96	9,08	14%	15,68	27,71	77%
CA3 Colegio San Felipe Neri	5,91	6,31	7%	11,73	16,33	39%
CA4 Colegio Liceo Val	12,37	16,75	35%	23,85	41,38	74%

Estación	$PM_{2.5}$ (µg/m³) promedio anual			$PM_{2.5}$ (µg/m³) máximo diario		
	Línea base	Construcción	Aporte	Línea base	Construcción	Aporte
CA5 Casa Luis Yomayusa	10,99	11,35	3%	21,13	24,61	16%
CA6 Ofidrogas	5,65	5,81	3%	11,18	13,52	21%
CA7 Casa Edilberto	16,84	20,87	24%	32,16	64,17	100%
CA8 Bomberos	9,04	9,26	2%	17,34	19,38	12%
CA9 Casa Luz Dary	6,15	10,02	63%	11,93	29,77	150%
CA10 Universidad Pedagógica	5,10	5,67	11%	9,84	16,29	66%
CA11 Sala de negocios	12,58	29,92	138%	23,74	98,11	313%
CA12 Salón comunal Almería	4,80	6,71	40%	9,43	34,09	262%
CA13 Casa Paulina García	11,68	9,73	-17%	22,36	18,77	-16%
CA14 Casa Yeison Chitiva	3,66	9,00	146%	7,58	47,85	531%
CA15 Uniminuto	13,98	13,55	-3%	26,35	27,40	4%
CA16 Punta del este	4,84	6,43	33%	9,65	14,55	51%
CA17 Casa Hilvar	10,84	11,53	6%	21,01	26,91	28%
CA18 Casa Graciela	4,47	4,67	4%	8,74	11,09	27%
CA19 Fama	4,46	5,18	16%	8,68	15,73	81%
CA20 Conjunto Tibabuyes	10,65	11,14	5%	20,18	28,31	40%
CA21 Conjunto Yaití	9,97	11,54	16%	19,59	61,70	215%

Estación	$PM_{2.5}$ (µg/m³) promedio anual			$PM_{2.5}$ (µg/m³) máximo diario		
	Línea base	Construcción	Aporte	Línea base	Construcción	Aporte
CA22 Conjunto Alicante	9,05	11,30	25%	17,30	32,11	86%
CA23 Quintas de Santa Rita III	2,64	6,85	159%	5,23	37,52	617%
CA24 Quintas de Santa Rita II	2,01	7,92	294%	4,02	43,86	991%

Fuente: UT MOVIUS 2022

Como se observa en la Tabla 413, las concentraciones promedio, en general, se mantuvieron por debajo de los 30 µg/m³, evidenciando las concentraciones más altas en el sector de la Calle 72 en proximidades a la Avenida Ciudad de Cali y en la zona donde se desplegará el frente de obra del patio taller. El aporte en las concentraciones por la construcción del proyecto, al compararlo con la línea base, es variable en toda la zona de estudio, incluso en algunos puntos (barrio Primavera Norte y barrio Meissen Norte), las concentraciones son más altas en línea base que en el escenario de construcción, lo que estaría dado por la disminución en la proyección de flujo de vehículos en esas áreas específicas.

Las zonas donde se presentaron mayores aportes en la concentración, porcentualmente, no determinan un cambio en el estado de la calidad del aire en ninguno de los receptores sensibles evaluados. Incluso, dentro del área de influencia determinada por la construcción del proyecto, las concentraciones suelen ser similares a las observadas en la simulación del escenario sin proyecto (línea base).

Con respecto a la fracción gruesa de las partículas suspendidas en el aire (PM_{10}), el escenario de modelación crítico (construcción del proyecto), tuvo una tendencia similar a la observada con la evaluación de $PM_{2.5}$, si bien las concentraciones promedio anuales se mantuvieron por debajo de los 50 µg/m³, las zonas de mayor afectación se sitúan en los alrededores de la Calle 72 con Avenida Ciudad de Cali y donde se situará el Patio Taller. A continuación, en la Tabla 414, se evidencia el aporte para este contaminante que tiene la construcción del proyecto, destacando una variación alta a lo largo del trazado del proyecto en función de cada uno de los frentes de obra establecidos. No obstante, se reitera que no se percibe un cambio significativo en el estado de la calidad del aire en el área de influencia del proyecto, por más alto que haya sido la proporción de aporte en el escenario constructivo.

Tabla 415. Resultados de material particulado (PM_{10}) promedio anual y máximo diario - escenario de construcción.

Estación	PM_{10} (µg/m³) promedio anual			PM_{10} (µg/m³) máximo diario		
	Línea base	Construcción	Aporte	Línea base	Construcción	Aporte
CA1 Gimnasio Moderno	2,40	2,61	9%	11,75	15,75	34%
CA2 Casa José Galo	16,32	18,17	11%	32,06	51,84	62%
CA3 Colegio San Felipe Neri	10,91	11,52	6%	21,59	28,97	34%
CA4 Colegio Liceo Val	22,11	29,27	32%	42,61	71,12	67%

Estación	PM_{10} (µg/m³) promedio anual			PM_{10} (µg/m³) máximo diario		
	Línea base	Construcción	Aporte	Línea base	Construcción	Aporte
CA5 Casa Luis Yomayusa	19,09	19,63	3%	36,70	42,24	15%
CA6 Ofidrogas	9,94	10,18	2%	19,67	23,33	19%
CA7 Casa Edilberto	29,56	35,91	21%	56,44	108,58	92%
CA8 Bomberos	16,48	16,75	2%	31,56	34,54	9%
CA9 Casa Luz Dary	10,38	16,81	62%	20,11	49,56	146%
CA10 Universidad Pedagógica	8,79	9,66	10%	16,96	27,45	62%
CA11 Sala de negocios	20,95	49,42	136%	39,55	161,8	309%
CA12 Salón comunal Almería	7,96	11,08	39%	15,67	56,18	259%
CA13 Casa Paulina García	19,17	15,97	-17%	36,72	30,82	-16%
CA14 Casa Yeison Chitiva	6,14	14,70	139%	12,69	78,53	519%
CA15 Uniminuto	23,54	22,79	-3%	44,39	45,95	4%
CA16 Punta del este	8,04	10,76	34%	16,03	24,3	52%
CA17 Casa Hilvar	18,73	19,83	6%	36,27	45,71	26%
CA18 Casa Graciela	7,72	8,06	4%	15,13	19.00	26%
CA19 Fama	9,30	10,48	13%	18,02	28,75	60%
CA20 Conjunto Tibabuyes	18,57	19,36	4%	35,21	48,55	38%
CA21 Conjunto Yaití	18,62	21,17	14%	36,59	105,7	189%

Estación	PM_{10} (µg/m³) promedio anual			PM_{10} (µg/m³) máximo diario		
	Línea base	Construcción	Aporte	Línea base	Construcción	Aporte
CA22 Conjunto Alicante	17,22	20,96	22%	32,92	57,1	73%
CA23 Quintas de Santa Rita III	5,13	12,10	136%	10,11	63,26	526%
CA24 Quintas de Santa Rita II	3,87	13,62	252%	7,72	73,29	849%

Fuente: UT MOVIUS 2022

Del mismo modo que se expuso para el escenario previo a la construcción del proyecto (línea base), a continuación, se muestran los resultados de las simulaciones para los contaminantes que más afectación tuvieron sobre el medio, refiriéndose exclusivamente a los aerosoles, material particulado menor o igual a 10 micras (PM_{10}) y material particulado menor o igual a 2.5 micras ($PM_{2.5}$). Para ver los resultados de las simulaciones de otros contaminantes, los detalles desagregados se pueden encontrar en el Anexo 5.2 - 12.5 Modelo calidad del aire.

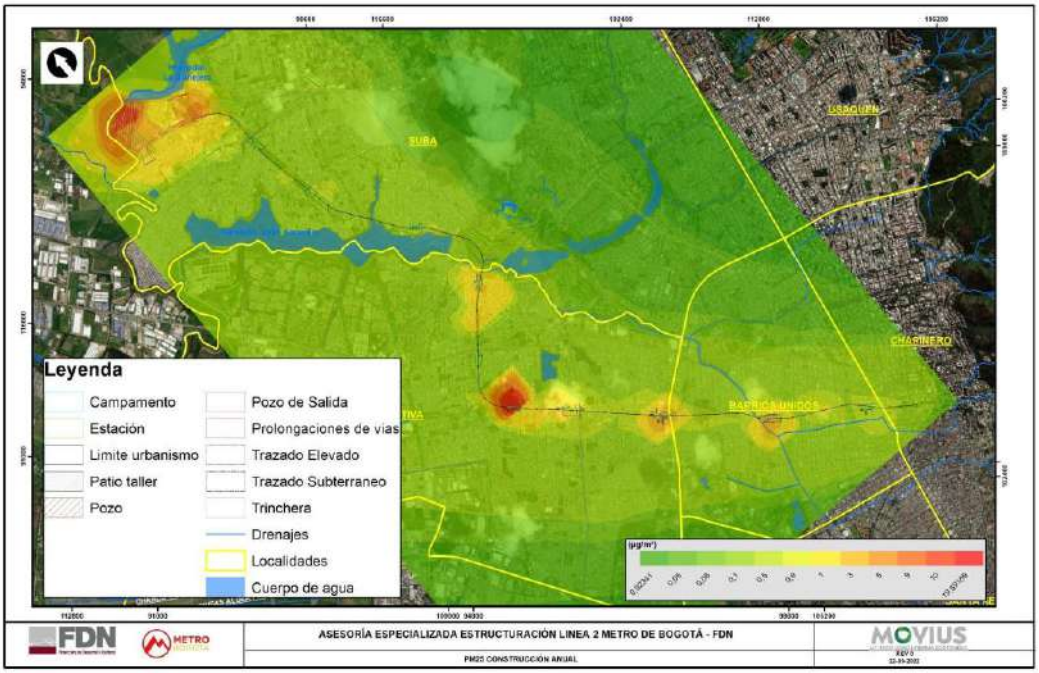


Figura 906. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 2.5 micras ($PM_{2.5}$). Promedio anual. Construcción.
Fuente: UT MOVIUS 2022

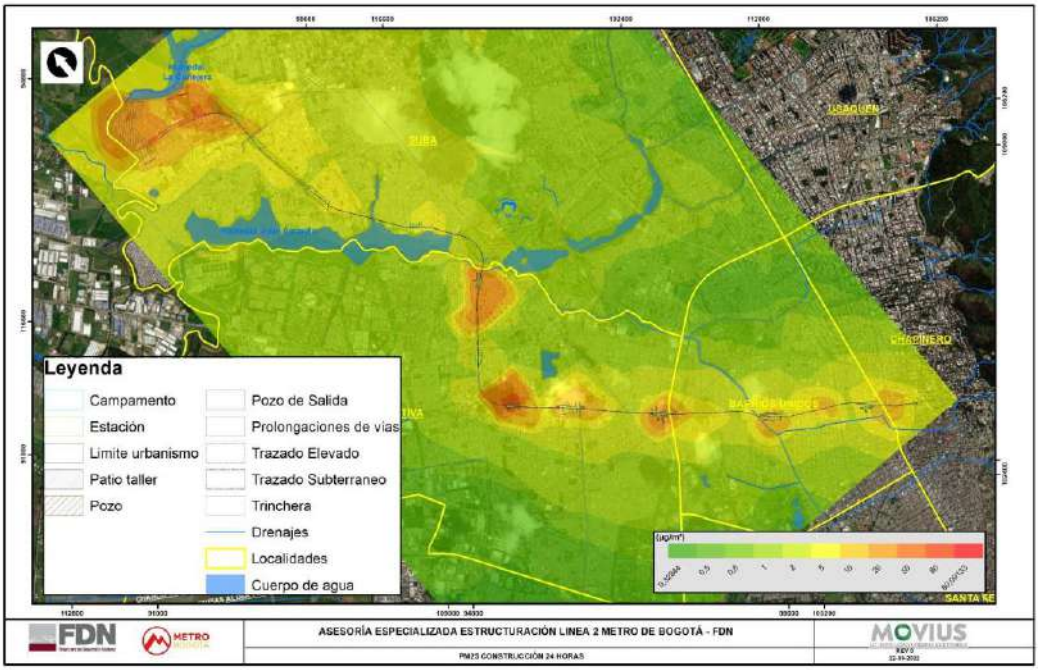


Figura 907. Isopletas de concentración. Material Particulado menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$). Máximo diario. Construcción.
Fuente: UT MOVIUS 2022

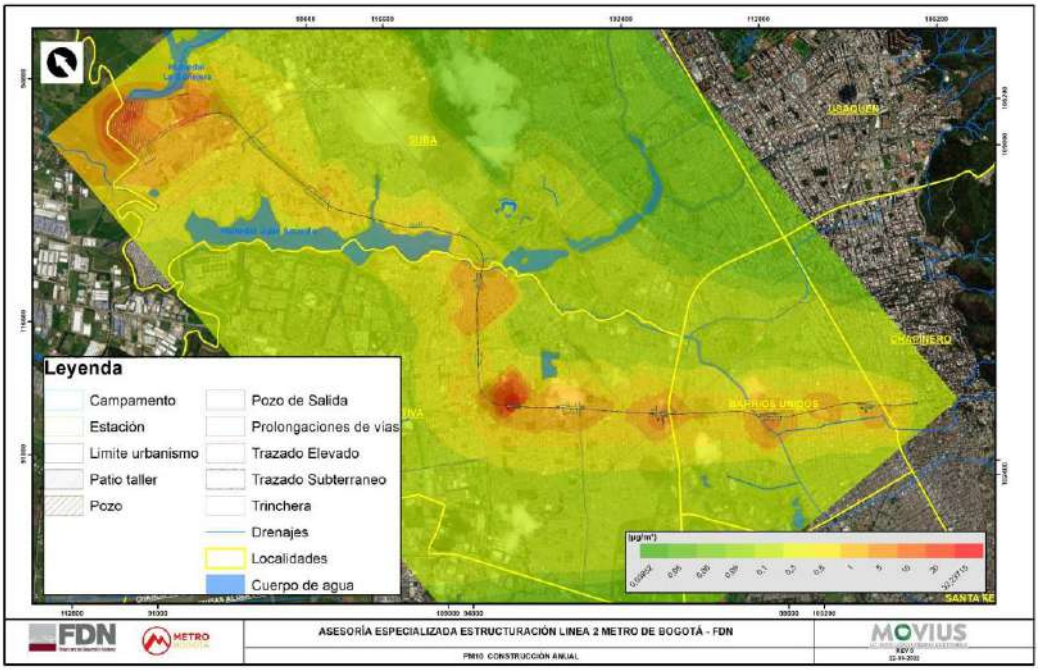


Figura 908. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 10 micras (PM_{10}). Promedio anual. Construcción.
Fuente: UT MOVIUS 2022

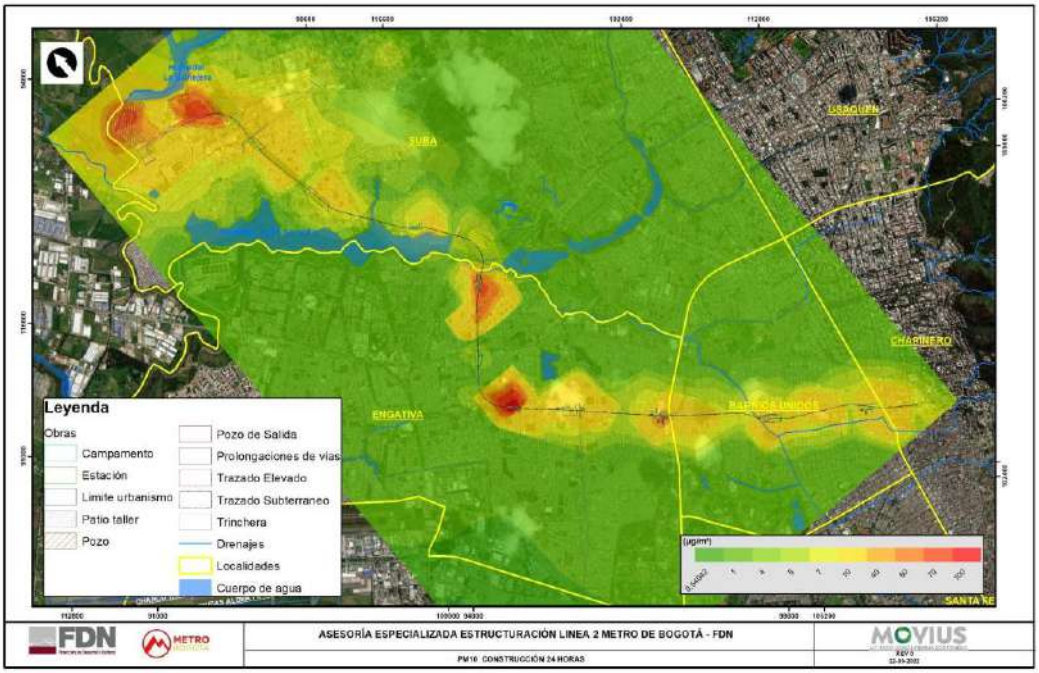


Figura 909. Isopletas de concentración. Material Particulado menor a 10 micras (PM_{10}). Máximo diario. Construcción. Fuente: UT MOVIUS 2022

- Escenario de operación del proyecto

Teniendo en cuenta que el sistema de funcionamiento del metro no genera ningún tipo de emisión atmosférica en su etapa operativa, para este escenario no se realizó una simulación con el software especializado, debido a que su interpretación sería una proyección del tráfico medido en el escenario de Línea base y no se lograría identificar un impacto asociado a la operación y/o mantenimiento del metro.

La estimación de fuentes de emisiones atmosféricas en el escenario de operación y mantenimiento del proyecto se limita al tráfico vehicular alrededor del trazado de la línea del metro, por lo tanto, la configuración de este escenario sería idéntica a la configuración establecida para el escenario de línea base, y por ende, serían los mismos resultados en las respectivas simulaciones computacionales. En ese orden de ideas, no se requiere presentar el desarrollo del escenario de operación y mantenimiento, así como tampoco la identificación de fuentes de emisión para esta etapa ya que el sistema de energía que suple al metro no genera emisiones.

Para ejemplificar lo anteriormente descrito, a continuación se presentan los resultados de la simulación realizada para el contaminante criterio Material Particulado menor o igual a 2.5 micras ($PM_{2.5}$), para un tiempo de exposición promedio anual, tomado de los resultados de simulación de la línea base, cuya configuración sería idéntica para representar las condiciones del escenario de operación y mantenimiento. Nótese que las áreas de mayor afectación siguen siendo las mismas, y, en general, el comportamiento alrededor del trazado del metro es exactamente igual.

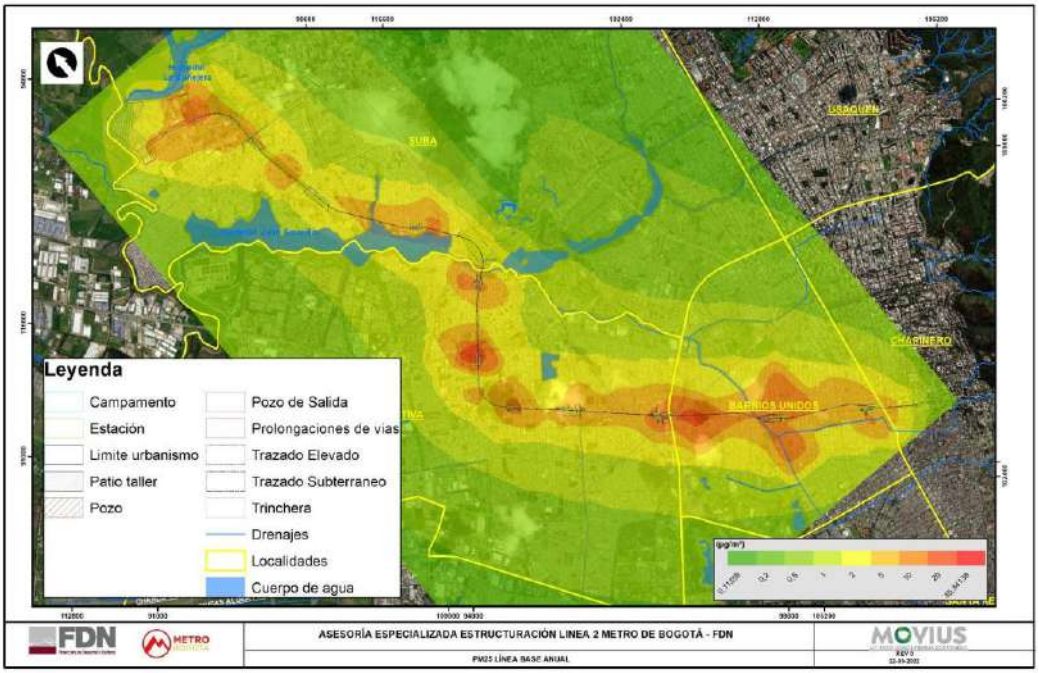


Figura 910. Isopletas de concentración. Material Particulado menor o igual a 2.5 micras ($PM_{2.5}$). Promedio anual. Escenario de operación y mantenimiento, tomado de línea base.
Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.3.4.13. Análisis de resultados con respecto a los valores guía de la IFC

A partir de los resultados de las simulaciones computacionales, tanto para el escenario de Línea Base (sin proyecto) como para la construcción del proyecto (escenario crítico), a continuación se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los contaminantes evaluados, con respecto a los valores guía establecidos en las GUÍAS GENERALES DE MEDIO AMBIENTE, SALUD Y SEGURIDAD - GRUPO DEL BANCO MUNDIAL (IFC).

Tabla 416. Comparación de los resultados del escenario de línea base y su cumplimiento normativo en áreas de excedencia.

Contaminante evaluado	Normativa nacional (Resolución 2254 de 2017)			Guías de calidad del aire ambiente (IFC)		
	Tiempo de exposición	Límite máximo permisible [µg/m³]	Área de excedencia [ha]	Tiempo de exposición	Límite máximo permisible [µg/m³]	Área de excedencia [ha]
Material Particulado $PM_{2.5}$	24 horas	37	20,60	24 horas	25 (valor guía)	99,18
	1 año	25	4,35	1 año	10 (valor guía)	210,22
Material Particulado PM_{10}	24 horas	75	6,90	24 horas	50 (valor guía)	67,16

Contaminante evaluado	Normativa nacional (Resolución 2254 de 2017)			Guías de calidad del aire ambiente (IFC)		
	Tiempo de exposición	Límite máximo permisible [µg/m³]	Área de excedencia [ha]	Tiempo de exposición	Límite máximo permisible [µg/m³]	Área de excedencia [ha]
	1 año	50	0,89	1 año	20 (valor guía)	152,28
Dióxido de azufre SO_2	1 hora	100	15,51	10 minutos	500 (valor guía)	N.E.
	24 horas	50	0,00	24 horas	20 (valor guía)	15,54
Dióxido de nitrógeno NO_2	1 hora	200	12,51	1 hora	200 (valor guía)	12,51
	1 año	60	3,87	1 año	40 (valor guía)	53,13

N.E.: No Evaluado.

Fuente: UT MOVIUS 2022

5.2.3.3.4.14. Conclusiones

- Todas las simulaciones se realizaron teniendo en cuenta los supuestos de que las únicas fuentes aportantes en el dominio de modelación corresponden a las fuentes vinculadas directa o indirectamente al proyecto: línea base contempla tránsito de la flota vehicular y construcción contempla la proyección del tránsito más la construcción del proyecto. Es decir que, cualquier otra fuente adyacente al proyecto, transporte de contaminantes a gran escala o eventos específicos de contaminación del aire (incendios, quemas, entre otros), no hacen parte del análisis integral presentado en este estudio.
- Con respecto a los gases orgánicos: en ambos escenarios de modelación, los valores de concentración simulados sobre los receptores discretos, mediante el software del modelo de dispersión AERMOD View, muestran el cumplimiento de la norma de calidad del aire establecida únicamente para monóxido de carbono (CO), en los diferentes periodos de exposición aplicables. Las concentraciones simuladas para los compuestos orgánicos volátiles (VOC) no son comparables con la normativa nacional, pues los VOC agrupan sustancias de cadenas alifáticas y aromáticas, dentro de las que se encuentran las especies químicas Benceno y Tolueno, cuyo estándar normativo es distinto al de los periodos de simulación y por ende su comparación no sería coherente.
- Con respecto a los gases inorgánicos: la información de los monitoreos ejecutados de calidad del aire, permite considerar concentraciones anuales de fondo (indicativo) para los contaminantes NO_2 y SO_2. Así mismo, es evidente que todas las concentraciones medidas en campo, para el contaminante dióxido de azufre (SO_2), son inferiores al límite de detección de la técnica analítica, lo cual abre un amplio margen de incertidumbre para los niveles de inmisión reales, dentro de los que se encuentran los valores simulados por el software de modelación, es por eso que son moderadas las desviaciones en los resultados obtenidos.
- Por el contrario, al analizar las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO_2), las cuales provienen de la estimación de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_X), (incluyendo NO, NO_2 y otros en menor proporción), las concentraciones simuladas exceden considerablemente el estándar normativo en gran parte del área de estudio. Esto se debe principalmente a tres razones: primero que todo, las emisiones de NO_X, las cuales contienen NO_2, normalmente sobreestiman la tasa de emisión del dióxido de nitrógeno; en segundo lugar, el

software de modelación contempla únicamente la dispersión del contaminante seleccionado, asumiendo que este no se transforma químicamente en la atmósfera para dar lugar a otras sustancias; y, finalmente, a pesar de que el software es capaz de limitar la concentración de este gas, debido a la interacción que tiene con otros gases como el Ozono y los VOC, estos mecanismos siguen siendo insuficientes para reducir la incertidumbre en los cálculos del modelo.

- Con respecto a la concentración de partículas en el área de estudio (PM_{10} y $PM_{2.5}$), en el escenario de construcción, se presentaron excedencias del estándar normativo anual y diario en los receptores más cercanos al trazado del metro, particularmente hacia el sector del patio taller, situación que es explicada por la inclusión de los frentes de obra, principalmente el del área de intervención, cuya geometría se amplía hacia esta zona. No obstante, las emisiones consideradas para cada escenario de modelación, están fuertemente dominadas por el tráfico vehicular, y en una menor proporción cada uno de los frentes de obra durante la construcción del proyecto.
- A partir del análisis de los resultados, y su comparación con los valores guía de calidad del aire ambiente (IFC), se observa que al reducir significativamente el límite máximo permisible, las áreas en las que habrían excedencias normativas aumentarían notablemente. Este efecto es evidente incluso solo evaluando los resultados del escenario de Línea Base (sin el proyecto), donde es evidente que hay zonas críticas como la Calle 72 con Avenida Ciudad de Cali que es fuertemente impactada por el alto tráfico vehicular, con una flota predominantemente de vehículos pesados. Los contaminantes en los que se vería mayor impacto serían los aerosoles (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y el dióxido de nitrógeno para un periodo de exposición anual.

Contrato interadministrativo 136 de 2021
Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legales, de riesgos, técnico y financiero

Capítulo 5.2 Línea Base
Medio Abiótico
Parte 6

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-IN-001-VD

Elaborado por:

Financiera de Desarrollo Nacional

U.T. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE

Bogotá D.C.
2022

5.2.3.4. Ruido

Para la elaboración del escenario de la Línea base, el ejercicio se sustenta con base a la dinámica actual de propagación de ruido asociado a las emisiones establecidas por el tráfico vehicular. De esta manera, se puede entender los aportes en una primera instancia, de las fuentes vehiculares y establecer como es la tendencia de cumplimiento o incumplimiento en las zonas aledañas al proyecto. Este ejercicio permite generar una diferenciación entre los aportes actuales de ruido y los proyectados en los escenarios de construcción y operación del proyecto. Entonces, una vez entendido estos aportes de ruido, los cuales se pueden establecer por medio de monitoreos y modelaciones de ruido, se puede analizar si actualmente las zonas aledañas al proyecto ya cuentan con alguna excedencia de los límites máximos permisibles y confrontar estos incumplmientos a la puesta en marcha de las diferentes actividades del proyecto.

Es de suma importancia conocer de primera mano que la resolución 0627 del 2006 del MADS establece que, según la zona donde se esté haciendo la evaluación de los niveles de ruido, existen límites máximos permisibles asociados a la vulnerabilidad del receptor. Es decir, que entre más vulnerable es el receptor los límites de ruido ambiental o de propagación de ruido serán más escritos protegiendo así a los receptores de estos excesos de ruido que pueden afectar la salud de las personas.

Finalmente, por medio de información secundaria la cual se ha recopilado del ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ, DE LAS ESTACIONES, PATIOS Y TALLER, EN EL MARCO DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO -SITP- PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C., asimismo de los mapas estratégicos de ruido de la Secretaría de Ambiente de Bogotá, se establecen los criterios para la determinación de la dinámica de ruido ambiental en la zona de estudio.

5.2.3.4.1. Monitoreo de ruido

El monitoreo de ruido se llevó a cabo para 30 puntos ejecutados desde el 17 hasta el 26 de abril del año 2022. En conformidad a lo establecido dentro del marco de la Resolución 0627 del 2006 del MADS, el monitoreo se llevó a cabo para un día hábil y festivo para un periodo diurno y nocturno durante un total de 1 hora y 15 minutos en cada una de las estaciones con intervalos de 15 minutos hacia los cuatro puntos cardinales y un periodo con el micrófono en posición vertical.

Con respecto a lo determinado por la Resolución 627 de 2006 en la Tabla 1, los puntos de monitoreo se clasificaron con el fin de identificar los principales receptores sensibles como centros de interés, centros poblados que estuvieron posiblemente afectados por las actividades, así mismo su clasificación conforme al Artículo 17 de la Resolución 627 de Abril de 2006 del hoy MADS, se estableció según su ubicación y relación con el entorno, donde se determinó comparar los resultados con el Sector B, subsector de zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes, subsector de parques en zonas urbanas, diferentes a los parques mecánicos al aire libre y el Sector C, subsector zonas con usos permitidos de oficinas con un límite máximo de ruido de 65 dB(A) en periodo diurno y 50 dB(A) en periodo nocturno para los tres subsectores mencionados.

Por otro lado, se determinó la comparación para dos (2) puntos con el sector C, subsector zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales con un límite máximo de ruido de 80 dB(A) en periodo diurno y 70 dB(A) en periodo nocturno.

5.2.3.4.1.1. Objetivo general

Determinar los niveles de ruido ambiental en 30 puntos de monitoreo ubicados a lo largo de LA SEGUNDA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ.

5.2.3.4.1.2. Objetivos específicos

- Medir los niveles de sonido continuo equivalente para ruido ambiental, en los puntos de monitoreo ubicados a lo largo del proyecto de LA SEGUNDA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ.
- Calcular los niveles de ruido ambiental en 30 puntos de monitoreo para las mediciones realizadas, correspondientes a día hábil y día no hábil con jornada diurna y jornada nocturna.
- Comparar los niveles de ruido ambiental generados, con los límites máximos establecidos en la Resolución 627 de abril de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

5.2.3.4.1.3. Normatividad

La normatividad colombiana actual establece valores máximos permisibles de presión sonora de ruido ambiental, mediante la Resolución 627 de 2006. Los estándares máximos permisibles de ruido ambiental se establecen en el Artículo 17 de la resolución en mención y se especifican en la a continuación. Así mismo, se describe el sector y subsector de clasificación de la zona de estudio.

Tabla 417. Límites máximos permisibles de ruido ambiental

Sector	**Subsector**	**Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)**	
		Día	**Noche**
Sector A. Tranquilidad y silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre		

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)	
		Día	Noche
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques y reservas naturales.		

Fuente: Resolución 0627 del 2006 del MADS

5.2.3.4.1.4. Coordenadas de los puntos de monitoreo

Los puntos de monitoreo se ubican a lo largo del proyecto de L2MB. Alrededor de los puntos de monitoreo se evidencian principalmente viviendas, zonas comerciales, parques en zonas urbanas, vías troncales y vías principales. Los puntos de monitoreo de ruido ambiental se indican en la siguiente tabla.

Tabla 418. Coordenadas de los puntos de monitoreo

Punto de monitoreo	Coordenadas Origen Único Nacional	
	Y	X
RA 1	2.072.682,421	4.882.644,012
RA 2	2.073.098,820	4.882.122,087
RA 3	2.073.530,335	4.881.500,8506
RA 4	2.073.926,768	4.880.842,256
RA 5	2.074.388,498	4.880.434,986
RA 6	2.074.683,967	4.880.057,342
RA 7	2.075.075,464	4.879.548,088
RA 8	2.075.554,684	4.879.050,342
RA 9	2.076.074,639	4.878.498,146
RA 10	2.076.360,878	4.878.123,503
RA 11	2.076.693,335	4.877.820,307
RA 12	2.076.950,932	4.877.529,909
RA 13	2.077.191,866	4.877.582,027
RA 14	2.077.463,932	4.877.706,445
RA 15	2.077.673,842	4.877.911,122
RA 16	2.078.162,329	4.878.317,513
RA 17	2.078.541,224	4.878.677,257
RA 18	2.079.294,713	4.878.880,088
RA 19	2.079.774,691	4.878.515,848
RA 20	2.080.101,569	4.878.179,520
RA 21	2.080.427,655	4.877.974,129
RA 22	2.080.773,058	4.877.755,291
RA 23	2.081.106,783	4.877.591,917
RA 24	2.081.785,882	4.877.477,043

Punto de monitoreo	Coordenadas Origen Único Nacional	
	Y	X
RA 25	2.082.494,422	4.877.383,085
RA 26	2.083.118,060	4.877.346,185
RA 27	2.083.381,952	4.876.891,679
RA 28	2.083.499,999	4.876.405,921
RA 29	2.084.171,442	4.876.313,334
RA 30	2.083.537,189	4.876.117,451

Fuente: UT MOVIUS 2022.

5.2.3.4.1.5. Descripción y localización de los puntos de monitoreo

La ubicación geográfica de los puntos de monitoreo se presenta en la siguiente figura. Por otro lado, se presenta una descripción general de cada punto de monitoreo con las características más representativas obtenidas en la labor de campo, incluyendo las coordenadas en origen nacional único.

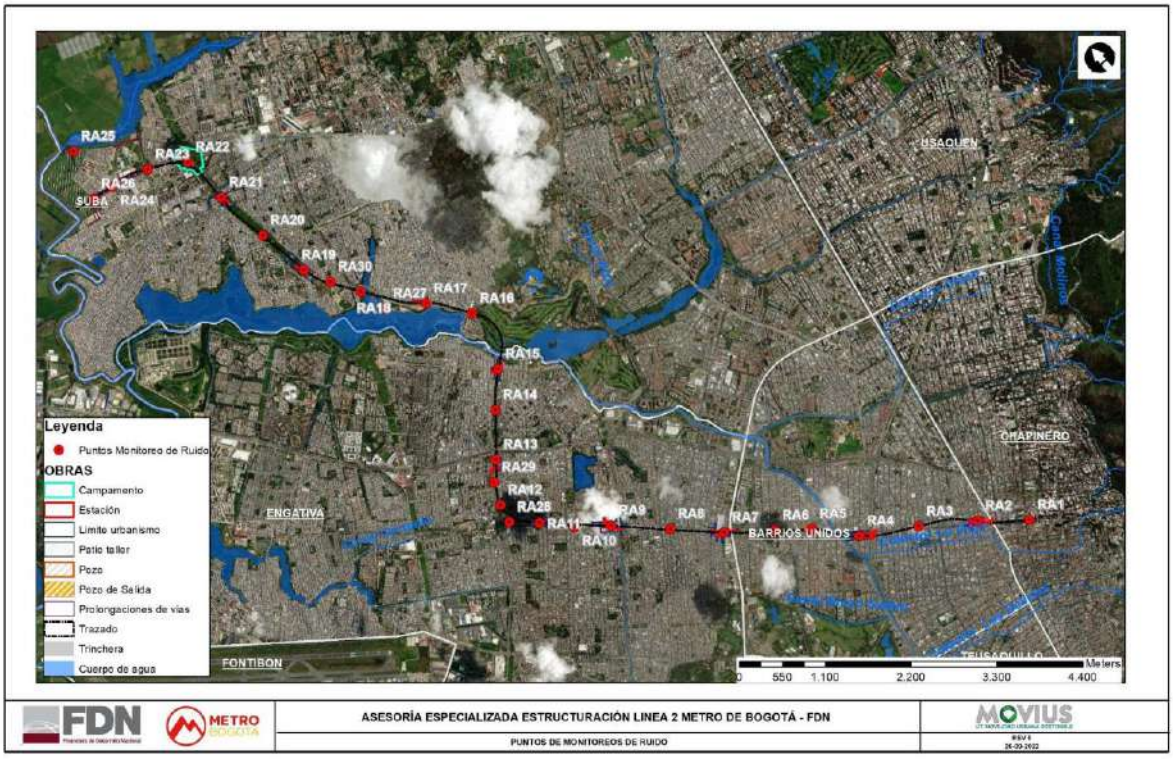


Figura 911. Ubicación de los puntos de monitoreo
Fuente: UT MOVIUS 2022.

Tabla 419. Descripción de los punto de monitoreo

Punto RA 1	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado paralelo a la carrera 11, a 25 metros aproximadamente se encuentra la iglesia La porciúncula, a 65 metros se ubica la Universidad Pedagógica Nacional y a 70 metros se ubican los bancos Davivienda y Pichincha, en dirección sur se encuentran ubicados edificios comerciales y empresariales (oficinas). Durante el monitoreo en día hábil se evidencia afluencia de peatones y vehículos. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 3 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2570 m.s.n.m.	

Punto RA 2	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado paralelo a la carrera 51. Cerca al punto hay diferentes establecimientos comerciales como gimnasios, papelerías, centros de estética, establecimientos agrícolas y ortopédicos. Se evidencia alto flujo vehicular (fuentes móviles) y de personas durante el monitoreo en día hábil. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 6 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2560 m.s.n.m.	
Punto RA 3	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado en la esquina de la carrera 27 A con calle 72. Frente al punto se observa una iglesia. Al norte se ubica una zona residencial, al oeste se identifica una zona comercial donde se encuentran locales como tiendas de repuestos vehiculares, restaurantes, droguerías y salones de belleza. Durante el monitoreo en día hábil se observa alto flujo vehicular y de personas sobre la calle 72. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 6 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2560 m.s.n.m.	
Punto RA 4	
Descripción del punto	**Fotografía**

El punto de monitoreo se ubica paralelo a la carrera 51. Hacia el norte se encuentra la calle 72 con flujo moderado de fuentes móviles, sobre la carrera 51 se evidencia una gran cantidad de vehículos parqueados. Cerca al punto de monitoreo se evidencian viviendas y locales comerciales como una vidriería, carpinterías, droguerías, panaderías y algunas tiendas de muebles. Se perciben sonidos de sierras eléctricas, pulidoras, pitos, motores de automóviles y flujo vehicular constante. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 5 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2550 m.s.n.m.	
Punto RA 5	
Descripción del punto	**Fotografía**
El punto se ubica paralelo a la calle 72 A. La zona es principalmente residencial, sin embargo, se encuentran algunos locales comerciales como algunas tiendas, una panadería, una latonería y una iglesia. Se evidencia importante flujo peatonal y presencia de vehículos alrededor de la zona. Cabe resaltar que el punto fue movido aproximadamente 15 metros dado que el lugar asignado inicialmente se encontraba obstruido por un camión durante el monitoreo. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 4 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2548 m.s.n.m.	
Punto RA 6	
Descripción del punto	**Fotografía**

Punto de monitoreo ubicado en la calle 72 A con carrera 63 en una zona residencial y comercial principalmente. Se evidencia presencia de vehículos y personal de salud de la secretaría distrital. No se evidencia ningún tipo de vegetación en la zona de monitoreo. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 3 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2550 m.s.n.m.	
Punto RA 7	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado en la Carrera 115ª Nº106A - 56 al frente conjunto residencial Akantos 108, en la Calle 108 sentido occidente está ubicado el edificio empresarial Paralelo 108. A 50 m aproximadamente se encuentra la autopista norte, sentido norte-sur. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 5 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2335 m.s.n.m.	
Punto RA 8	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado paralelo a la carrera 69; alrededor del punto hay presencia de comercio principalmente de servicio de ploteo, estampados, venta de ropa, calzado y juguetería, sin embargo, también es una zona residencial. Al noreste del punto encontramos la calle 72 donde el flujo vehicular es constante. Se evidencia flujo peatonal y vehicular alto y constante. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 4 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido.	

Altitud: 2553 m.s.n.m.	
Punto RA 9	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado en la esquina de la carrera 72 A con avenida calle 72, rodeado por un sector Comercial enfocado en tapicería y muebles, cocinas integrales, latonería, servicios automovilísticos y tiendas de alimentos. Se evidencia flujo vehicular constante tanto sobre la carrera 72 A como sobre la avenida calle 72. El flujo peatonal es constante. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 4 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2554 m.s.n.m.	
Punto RA 10	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado sobre la calle 72. El punto está rodeado por una zona comercial con presencia de tiendas de ropa, casino, banco, locales de comidas, ópticas, salones de bellezas y almacenes de tecnología. Es importante resaltar que todo el comercio se ubica sobre la vía principal correspondiente a la calle 72. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 4 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2554 m.s.n.m.	
Punto RA 11	
Descripción del punto	**Fotografía**

Punto de monitoreo ubicado paralelo a la calle 72, frente a una frutería. La zona en general es un sector comercial donde se encuentran restaurantes, supermercados, ferreterías, cerámicas (venta de baldosas), tiendas de ropa, cocinas integrales y bancos. Se evidencia alto flujo vehicular, peatonal y presencia de vegetación arbórea en los separadores de la calle. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 5 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2552 m.s.n.m.	
Punto RA 12	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo localizado en una cuadra cerrada, la cual se evidencia que es una zona residencial, sin embargo, se evidencia una peluquería, un taller de confección y una tienda. Se observa también a aproximadamente 25 metros una vía principal con flujo vehicular y peatonal constante. En la zona se evidencia vegetación arbustiva y arbórea. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 25 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2552 m.s.n.m.	
Punto RA 13	
Descripción del punto	**Fotografía**

Punto de monitoreo ubicado sobre la calle 74, en una zona residencial, sin embargo, hacia el oeste se puede encontrar la avenida carrera 86, una peluquería y un local de venta de canecas. Se observa en dirección sureste del punto un colegio. Se evidencia flujo peatonal y vehicular bajo sobre la calle 74. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 4 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2552 m.s.n.m.	
Punto RA 14	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado paralelo a la avenida carrera 86 en una zona residencial – comercial, con presencia de droguería, vidriería, talleres mecánicos y de bicicletas y tiendas de comida. La vía principal se encuentra en buen estado, sin ningún tipo de obra actual en esta. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 4 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2552 m.s.n.m.	
Punto RA 15	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado de forma paralela a la calle 78 en un sector residencial, sin embargo, se evidencian y hay ruido proveniente de carpinterías, tiendas de mercado, cigarrerías y papelerías. Cerca del punto se encuentran dos vías principales (la calle 80 y la avenida carrera 86) donde se presenta paso frecuente de alimentadores del sistema Transmilenio. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 15 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2553 m.s.n.m.	

Punto RA 16	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado sobre la diagonal 85 cerca a la Avenida Ciudad de Cali, en una zona residencial con presencia de locales comerciales como tiendas de mercado, carpintería y fábrica de lavaderos. Se evidencia flujo vehicular sobre la diagonal 85 y paso de transeúntes. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 15 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2553 m.s.n.m.	
Punto RA 17	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado en la esquina de la avenida carrera 86 con calle 90, en una zona residencial con presencia de puntos comerciales como droguerías, minimercados, venta de accesorios para motos, restaurantes, entre otros. Aproximadamente a 250 metros en dirección norte se encuentra una universidad y 100 metros al este se encuentra el parque La Serena. Frente al punto se ubica el CAI de La Serena. Entre las principales fuentes de ruido, se evidencia flujo vehicular y peatonal alto. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 2 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2550 m.s.n.m.	
Punto RA 18	
Descripción del punto	**Fotografía**

Punto de monitoreo ubicado paralelo a la Avenida Ciudad de Cali , en una zona principalmente residencial, sin embargo, se evidencia un lavadero de autos, una bomba de gasolina, parqueadero, el humedal Juan Amarillo, el club de golf Los Largatos y vendedores ambulantes. Se observa paso vehicular constante sobre la avenida principal. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 3 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2547 m.s.n.m.	
Punto RA 19	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado sobre la Avenida Ciudad de Cali en una zona residencial, a aproximadamente 200 metros hay un lavadero de autos y frente al punto se encuentra el ecosistema del humedal Juan Amarillo. En la zona hay presencia de ventas informales. Se evidencia flujo vehicular, de ciclistas y peatones alto. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 5 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2548 m.s.n.m.	
Punto RA 20	
Descripción del punto	**Fotografía**

Punto de monitoreo ubicado paralelamente a la Avenida Ciudad de Cali, en una zona residencial con presencia de algunos locales comerciales como taller de motos y tiendas de barrio. También se evidencia hacia el sentido oeste, el humedal Juan Amarillo y alto flujo vehicular. Sobre la acera en la que se ubica el punto de monitoreo pasa una cicloruta con alto flujo y con paso moderado de peatones en la zona. Se evidencia vegetación arbórea. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 3,5 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2548 m.s.n.m.	
Punto RA 21	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado en una zona residencial rodeada por zona vegetativa debido a la presencia del humedal Juan Amarillo. En la dirección noreste pasa la Avenida Ciudad de Cali donde el flujo vehicular es medio y el flujo peatonal es bajo. En la zona se percibe únicamente presencia de habitantes, y aunque no logra observarse, se escucha una cortadora de madera en dirección sureste. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 6 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2545 m.s.n.m.	
Punto RA 22	
Descripción del punto	**Fotografía**

Punto de monitoreo localizado en un parque con zona verde, se evidencian especies arbóreas y arbustivas. El punto se ubica cerca de la carrera 118 A, la cual se encuentra pavimentada y de la carrera 118 (vía destapada). En dirección oeste se evidencia un parqueadero que parece ser de SITP. La zona es residencial, aunque en ella se encuentra un lavadero de autos y motos al noroeste, una miscelánea hacia el sureste y una cigarrería. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 5 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2549 m.s.n.m.	
Punto RA 23	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado en una vía cerrada la cual no está pavimentada; la zona es residencial con bajo flujo vehicular, sin embargo, hay un parqueadero ubicado en dirección norte, una zona verde en dirección oeste, conjuntos residenciales, además se escucha, lo que se infiere son carpinterías. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 15 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2550 m.s.n.m.	
Punto RA 24	
Descripción del punto	**Fotografía**

Punto de monitoreo ubicado en una zona residencial y comercial, donde se localizan puntos comerciales como talleres mecánicos, chatarrería, restaurantes, hipermercado, montallantas, tiendas de barrio y un billar; se evidencia también un potrero. La vía principal presenta alto flujo vehicular y peatonal. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 3 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2552 m.s.n.m.	
Punto RA 25	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado paralelo a la carrera 118 en una zona residencial donde se ubica también un colegio. Hacia la dirección suroeste se observa comercio y la calle 139. Se evidencia flora (especies arbóreas) y fauna (especies bovinas). El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 10 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2552 m.s.n.m.	
Punto RA 26	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado de forma paralela a la calle 144, en dirección sur frente al punto donde se ubica un colegio. La zona es residencial en la cual se encuentran algunos conjuntos y sin construcciones, con ganado bovino. El flujo vehicular en la zona es medio y el peatonal es constante. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 1 metro aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2551 m.s.n.m.	

Punto RA 27	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado paralelo a la carrera 136 A, en una zona residencial con varios conjuntos alrededor y donde se ubica el parque distrital Fontanar del Río y el CAI de la zona. Se evidencian especies vegetales como árboles y arbustos y fauna local que habita en la zona. La vía principal de la zona se encuentra en buen estado. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 10 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2548 m.s.n.m.	
Punto RA 28	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado de forma paralela a la calle 145 C y en dirección noreste de la Cra 141 C donde el flujo peatonal y vehicular es alto. La zona es residencial; hacia el este se encuentra el parque distrital Fontanar del Río y hacia el norte se encuentra un supermercado D1 y un fruver. Frente al punto de monitoreo se estaba realizando una construcción. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 5 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2548 m.s.n.m.	
Punto RA 29	
Descripción del punto	**Fotografía**

Punto de monitoreo ubicado sobre un pastizal cerca a la diagonal 151, una parte de la zona es residencial urbana mientras que la otra es rural. Cerca del punto se encuentra el humedal La Conejera por lo cual se observa gran diversidad de fauna y flora. Se evidencian algunas canchas de fútbol donde practican escuelas. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 60 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2547 m.s.n.m.	
Punto RA 30	
Descripción del punto	**Fotografía**
Punto de monitoreo ubicado cerca a la diagonal carrera 147 en una zona residencial urbana la cual cuenta con una parte rural. Se evidencia presencia de fauna como aves, animales caprinos, ovinos, porcinos y bovinos. El flujo vehicular en la zona de monitoreo es bajo mientras que el flujo peatonal es alto. El micrófono se ubicó a 4 metros sobre el nivel del suelo. A una distancia de 100 metros aproximadamente de la fuente principal de generación de ruido. Altitud: 2547 m.s.n.m.	

Fuente: UT MOVIUS 2022.

5.2.3.4.1.6. Tiempos de medición

La descripción de la fecha, hora inicial y final de las mediciones de ruido ambiental realizadas a lo largo de la L2MB se observan en las siguientes tablas.

Tabla 420. Fecha y hora de medición – Jornada diurna día hábil – Ruido Ambiental

Jornada Diurna - Día hábil			
Punto	**Fecha**	**Hora de Inicio**	**Hora final**
RA 1	2022-04-18	09:00	10:00

Jornada Diurna - Día hábil			
Punto	**Fecha**	**Hora de Inicio**	**Hora final**
RA 2	2022-04-18	10:25	11:25
RA 3	2022-04-18	12:39	13:39
RA 4	2022-04-19	09:13	10:13
RA 5	2022-04-19	13:02	14:02
RA 6	2022-04-19	15:43	16:43
RA 7	2022-04-20	11:34	12:35
RA 8	2022-04-20	15:07	16:07
RA 9	2022-04-20	16:35	17:35
RA 10	2022-04-21	09:23	10:23
RA 11	2022-04-21	11:19	12:19
RA 12	2022-04-21	12:42	13:42
RA 13	2022-04-21	14:02	15:02
RA 14	2022-04-21	16:09	17:09
RA 15	2022-04-22	08:57	09:57
RA 16	2022-04-22	10:14	11:15
RA 17	2022-04-22	11:36	12:36
RA 18	2022-04-22	14:02	15:02
RA 19	2022-04-23	07:49	08:49
RA 20	2022-04-22	15:55	16:55
RA 21	2022-04-23	09:29	10:29
RA 22	2022-04-23	10:52	11:52
RA 23	2022-04-23	12:21	13:21
RA 24	2022-04-26	08:27	09:27
RA 25	2022-04-26	09:53	10:53

Jornada Diurna - Día hábil			
Punto	**Fecha**	**Hora de Inicio**	**Hora final**
RA 26	2022-04-23	15:06	16:06
RA 27	2022-04-23	16:56	17:56
RA 28	2022-04-26	11:22	12:22
RA 29	2022-04-26	14:21	15:21
RA 30	2022-04-26	16:22	17:22

Fuente: UT MOVIUS 2022.

Tabla 421. Fecha y hora de medición – Jornada diurna día no hábil – Ruido Ambiental

Jornada Diurna - Día no hábil			
Punto	**Fecha**	**Hora de Inicio**	**Hora final**
RA 1	2022-04-17	09:48	10:48
RA 2	2022-04-17	11:29	12:29
RA 3	2022-04-17	16:32	17:32
RA 4	2022-04-17	17:48	18:48
RA 5	2022-04-17	19:17	20:17
RA 6	2022-04-24	07:52	08:52
RA 7	2022-04-24	08:03	09:03
RA 8	2022-04-24	09:13	10:13
RA 9	2022-04-24	09:23	10:23
RA 10	2022-04-24	10:36	11:36
RA 11	2022-04-24	10:34	11:34
RA 12	2022-04-24	11:51	12:51
RA 13	2022-04-24	11:51	12:51
RA 14	2022-04-24	15:17	16:16
RA 15	2022-04-24	15:17	16:17

Jornada Diurna - Día no hábil			
Punto	**Fecha**	**Hora de Inicio**	**Hora final**
RA 16	2022-04-24	16:30	17:30
RA 17	2022-04-24	16:30	17:30
RA 18	2022-04-24	17:51	18:51
RA 19	2022-04-24	17:50	18:50
RA 20	2022-05-01	08:01	09:01
RA 21	2022-05-01	09:26	10:26
RA 22	2022-05-01	10:51	11:51
RA 23	2022-05-01	12:10	13:10
RA 24	2022-05-08	07:38	08:38
RA 25	2022-05-08	08:59	09:59
RA 26	2022-05-01	14:39	15:39
RA 27	2022-05-01	15:57	16:57
RA 28	2022-05-01	17:17	18:17
RA 29	2022-05-08	11:50	12:50
RA 30	2022-05-08	10:34	11:34

Fuente: UT MOVIUS 2022.

Tabla 422. Fecha y hora de medición – Jornada nocturna día hábil – Ruido Ambiental

Jornada Diurna - Día hábil			
Punto	**Fecha**	**Hora de Inicio**	**Hora final**
RA 1	2022-04-20	21:29	22:29
RA 2	2022-04-20	23:10	00:10
RA 3	2022-04-21	01:05	02:05
RA 4	2022-04-21	02:29	03:29
RA 5	2022-04-21	04:16	05:16

Jornada Diurna - Día hábil			
Punto	**Fecha**	**Hora de Inicio**	**Hora final**
RA 6	2022-04-21	21:01	22:01
RA 7	2022-04-21	22:31	23:31
RA 8	2022-04-21	23:57	00:57
RA 9	2022-04-22	05:56	06:56
RA 10	2022-04-22	21:07	22:07
RA 11	2022-04-22	22:38	23:38
RA 12	2022-04-23	00:02	01:02
RA 13	2022-04-23	01:23	02:23
RA 14	2022-04-23	05:04	06:04
RA 15	2022-04-23	21:01	22:01
RA 16	2022-04-23	21:28	22:28
RA 17	2022-04-23	22:33	22:34
RA 18	2022-04-23	22:50	23:50
RA 19	2022-04-25	00:01	01:01
RA 20	2022-05-25	00:00	01:00
RA 21	2022-05-25	02:13	03:13
RA 22	2022-05-25	02:13	03:13
RA 23	2022-05-25	05:04	06:04
RA 24	2022-05-25	05:05	06:05
RA 25	2022-05-25	21:40	22:40
RA 26	2022-05-25	21:51	22:51
RA 27	2022-05-25	23:26	00:26
RA 28	2022-05-25	23:25	00:25
RA 29	2022-05-26	01:06	02:06

Jornada Diurna - Día hábil			
Punto	**Fecha**	**Hora de Inicio**	**Hora final**
RA 30	2022-05-26	00:57	01:57

Fuente: UT MOVIUS 2022.

Tabla 423. Fecha y hora de medición – Jornada nocturna día no hábil – Ruido Ambiental

Jornada Diurna - Día hábil			
Punto	**Fecha**	**Hora de Inicio**	**Hora final**
RA 1	2022-05-01	12:01	01:01
RA 2	2022-05-01	00:02	01:02
RA 3	2022-05-01	01:21	02:21
RA 4	2022-05-01	01:24	02:24
RA 5	2022-05-01	02:40	03:40
RA 6	2022-05-01	02:41	03:41
RA 7	2022-05-01	04:00	05:00
RA 8	2022-05-01	03:58	04:58
RA 9	2022-05-01	05:23	06:23
RA 10	2022-05-01	05:23	06:23
RA 11	2022-05-01	21:01	22:01
RA 12	2022-04-24	05:50	06:50
RA 13	2022-04-24	02:44	03:44
RA 14	2022-04-24	03:08	04:08
RA 15	2022-04-24	01:20	02:20
RA 16	2022-04-24	01:45	02:45
RA 17	2022-04-24	00:01	01:01

Jornada Diurna - Día hábil			
Punto	**Fecha**	**Hora de Inicio**	**Hora final**
RA 18	2022-04-24	00:00	01:00
RA 19	2022-04-24	04:15	05:15
RA 20	2022-04-24	04:29	05:29
RA 21	2022-04-24	05:38	06:38
RA 22	2022-05-01	22:34	23:34
RA 23	2022-05-08	00:03	01:03
RA 24	2022-05-08	00:06	01:06
RA 25	2022-05-08	01:33	02:33
RA 26	2022-05-08	01:37	02:37
RA 27	2022-05-08	03:00	04:00
RA 28	2022-05-08	02:57	03:57
RA 29	2022-05-08	04:36	05:36
RA 30	2022-05-08	04:23	05:23

Fuente: UT MOVIUS 2022.

5.2.3.4.1.7. Equipos utilizados para la medición

El sonómetro empleado para los monitoreos del presente estudio es un SoundTrack LxT1 Larson Davis con código 612-C y serial 0006599 el cual está calibrado eléctrica y acústicamente, con filtro de ponderación A y de respuesta lenta en forma continua. Los equipos cuentan con calibración vigente y tienen la capacidad de medir el nivel equivalente de presión sonora con ponderación frecuencia A, LAeq1* directa e indirectamente.

Se utilizó un pistófono con un patrón de 114 dB(A) a una frecuencia de 1.000 Hz, para la calibración del sonómetro. Los equipos mencionados cumplen con los requerimientos establecidos en el Capítulo IV de la Resolución 627 de abril de 2006, y cuentan con el respectivo calibrador y pantalla anti-viento, para su soporte; se utiliza un trípode a 4,0 metros de altura al nivel del piso para la medición de ruido. El equipo de calibrador es un calibrador acústico CAL200 Larson Davis con código 611-C y serial 19253.

Los sonómetros cumplen con los requerimientos del American National Standards Institute (ANSI), especificación estándar S1.4 de medidores de niveles de sonido para propósitos generales tipo I; y la International Electro-Technical Commision (IEC) 651, 804; y también cumple con los procedimientos de la Ocupational Safety and Health Act (OSHA) establecidos

para determinar los niveles de ruido. A continuación, se observan las especificaciones del anemómetro utilizado en la medición.

Tabla 424. Especificaciones anemómetro

Especificaciones anemómetro	
Display	8 mm LCD display
Medición	Velocidad del aire
Marca	LT LUTRON
Operación de humedad	Mx. 80%
Operación de temperatura	0 a 50°C

Fuente: UT MOVIUS 2022.

5.2.3.4.1.8. Procedimiento de medición de ruido ambiental

Para este monitoreo se realizaron cuatro jornadas de medición, siguiendo los lineamientos de la Resolución 0627 del 7 de abril de 2006, en el anexo 3, capítulo II. El procedimiento de medición para ruido ambiental que se ejecutó fue para cada uno de los puntos seleccionados, el micrófono se ubicó a una altura de cuatro metros medidos a partir del suelo terrestre y a una distancia equidistante de las fachadas, barreras o muros existentes que encontraron en cada uno de los puntos donde se llevó a cabo la medida. Para la medición de los ruidos ambientales, y con el fin de prevenir posibles errores de medición se adoptaron las siguientes medidas:

- El micrófono siempre se protege con pantalla anti-viento y se coloca sobre un trípode a la altura definida de 4 m.
- Se identificaron las condiciones ambientales y se realizaron las medidas únicamente en tiempo seco.
- Se verificó el sonómetro de acuerdo con las instrucciones del fabricante utilizando el calibrador

.

Se tomaron 5 mediciones parciales distribuidas en tiempos iguales de 11 minutos, orientando el micrófono en las siguientes direcciones: Norte, Sur, Este, Oeste y Vertical hasta completar 1 hora en cada uno de los puntos. El resultado final de la medición se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$LAeq = 10 * log\left((1/3) * (10\,L_{primera\ medición}/10 + 10\,L_{segunda\ medición}/10 + 10\,L_{tercera\ medición}/10) + 10\,L_{tercera\ medición}/10\right)$$

Ecuación 71. Nivel equivalente resultante de la medición

El resultado de la medición es obtenido finalmente mediante la siguiente expresión:

$$LAeq = 10 * log\left((1/5) * (10^{LN/10} + 10^{LO/10} + 10^{LS/10} + 10^{LE/10} + 10^{LV/10})\right)$$

Ecuación 72. Nivel equivalente resultante de la medición

Donde:

LAeq: Nivel equivalente resultante de la medición.
LN: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido norte.
LO: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido oeste.
LS: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido sur.
LE: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido este.
LV: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido vertical.

Los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderados A, (LAeq,T) para cada uno de los monitoreos de ruido fueron ajustados o corregido de acuerdo con lo estipulado en el Artículo 8 de la Resolución 0627 de 2006, utilizando la metodología presentada en el Anexo II de la citada Resolución, de la siguiente manera.

$$L_{RA(X),T} = L_{RA(X),T} + (KI, KT, KS)$$

Ecuación 73. Nivel de presión sonora continuo equivalente corregido

Donde:

LRA(X),T: Nivel de presión sonora continuo equivalente corregido. (X) corresponde a cualquiera de los parámetros de medida
KI: Ajuste por impulsos (dB(A))
KT: Ajuste por tono y contenido de información (dB(A))
KS: Ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones (ej. bajas frecuencias)

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, $L_{Aeq,T}$, solo se corrige por un solo factor K, el de mayor valor en dB(A). El cálculo de los Factores de K se describe a continuación.

Para el ajuste por impulsos, en cada horario y punto de monitoreo se realizó una lectura por impulsos (L_{AI}). Posteriormente se determinó la diferencia entre la lectura por impulsos (L_{AI}) y el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado del punto de monitoreo ($L_{Aeq,T}$).

$$L_I = (L_{AI} - L_{Aeq,Ti})$$

Ecuación 74. Ajuste por impulsos

Si la diferencia (L_I) es menor a 3 decibeles no hay componentes impulsivos, si se encuentra entre 3 y 6 decibeles hay percepción neta de componentes impulsivos y si es superior a 6 decibeles hay percepción fuerte de componentes impulsivos: Según lo anterior se realizan las siguientes correcciones. Para la ausencia de percepción no se adicionan decibeles, si la percepción es neta se adicionan 3 dB(A) y si es fuerte se adicionan 6 dB(A).

El siguiente ajuste corresponde a las tonalidades, para lo cual en campo se realizó una lectura por filtros de tercios de octava. Con los resultados obtenidos en el espectro de tercios de octava se calcula la diferencia:

$$L = L_t - L_s$$

Ecuación 75. Tonalidades

Donde:

Lt: Es el nivel de presión sonora de la banda f que contiene el tono puro.
Ls: Es la media de los niveles de las dos bandas situadas inmediatamente por encima y por debajo de f (L_{encima} y L_{debajo}).

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 20 a 125 Hz:

- Si L < 8 dB(A), no hay componentes tonales.
- Si 8 dB(A) < L < 12 dB(A), hay componente tonal neto.
- Si L > 12 dB(A), hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 160 a 400 Hz:

- Si L < 5 dB(A), no hay componentes tonales.
- Si 5 dB(A) < L < 8 dB(A), hay componente tonal neto.
- Si L > 8 dB(A), hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales a partir de 500 Hz:

- Si L < 3 dB(A), no hay componentes tonales.
- Si 3 dB(A) < L < 5 dB(A), hay componente tonal neto.
- Si L > 5 dB(A), hay componente tonal fuerte.

Para la ausencia de componentes tonales no se adicionan decibeles, si hay componentes tonales netos se adicionan 3 dB(A) y si es fuerte se adicionan 6 dB(A).

Por último, la corrección de nivel KS se aplica de la siguiente manera. Si el ruido proviene de las instalaciones de ventilación y climatización, bajas frecuencias: 5 dB(A) en período diurno; 8 dB(A) en período nocturno.

5.2.3.4.1.9. Meteorología

A continuación, se consignan los datos promedio de temperatura y humedad y la sumatoria de precipitación durante el tiempo de las siete mediciones de ruido ambiental.

Tabla 425. Resultados mediciones de meteorología L2MB

Lugar de monitoreo	Fecha	Meteorología Lugar de monitoreo Fecha Humedad Promedio (%)	Temperatura Promedio (°C)	Precipitación Total (mm)
SEGUNDA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ	2022-04-17	73,50	19,22	0
	2022-04-18	73,10	20,47	0
	2022-04-19	81,17	17,81	0
	2022-04-20	82,58	17,32	0

Lugar de monitoreo	Fecha	Meteorología Lugar de monitoreo Fecha Humedad Promedio (%)	Temperatura Promedio (°C)	Precipitación Total (mm)
	2022-04-21	78,58	18,10	0
	2022-04-22	78,17	18,88	0
	2022-04-23	80,48	17,74	0
	2022-04-24	81,32	17,38	0
	2022-04-25	85,80	16,69	0
	2022-04-26	80,37	17,62	0
	2022-05-01	82,11	16,84	0
	2022-05-08	80,78	18,00	0
Mínimo		73,10	16,69	0
Máximo		85,80	20,47	0
Promedio/Total		79,83	18,00	0

Fuente: UT MOVIUS 2022.

En el momento en que se realizó la medición de ruido ambiental para la jornada diurna, día hábil y no hábil, se presentaron velocidades de viento entre 0,0 m/s y 3,6 m/s. Por otro lado, para el periodo nocturno, día hábil, se registraron velocidades de viento entre 0,0 m/s y 2,1 m/s, mientras que para el periodo nocturno en día no hábil se registraron velocidades de viento entre 0,0 m/s y 1,4 m/s.

- Velocidad del viento

Según los datos procesados en la estación reportada, los vientos tienen una predominancia principalmente hacia el Oeste (O) como se puede observar en la siguiente figura. Del total de mediciones del viento, el 11,33% de los vientos proyectados para la estación de monitoreo provienen de dichas direcciones. Adicionalmente, durante el monitoreo fue mayor la presencia de calmas (vientos con velocidades inferiores a 0,3 m/s).

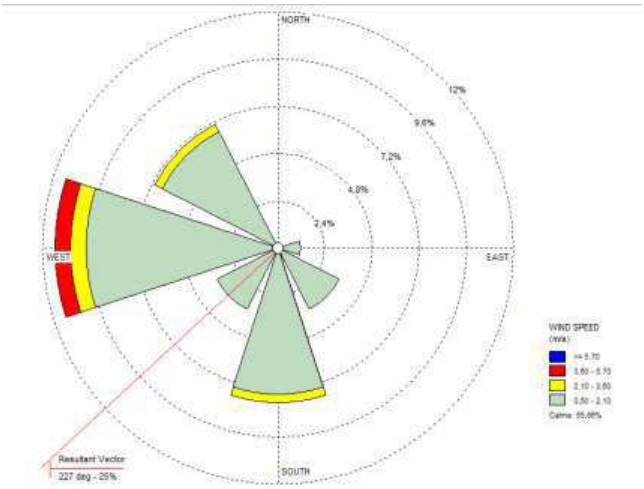


Figura 912. Datos procesados en la estación reportada
Fuente: UT MOVIUS 2022.

Tabla 426. Porcentaje de procedencia del viento

Dirección	Porcentaje
Norte	0%
Noreste	0%
Este	1,17%
Sureste	3,52%
Sur	7,81%
Suroeste	3,52%
Oeste	11,33%
Noreste	7,03%
Calmas	55,86%

Fuente: UT MOVIUS 2022.

A continuación, se indica la clasificación de las velocidades según Beaufort por las cuales se analiza las condiciones del viento para el monitoreo de ruido ambiental.

Tabla 427. clasificación de las velocidades según Beaufort

Nombre	Velocidad (m/s)	Observaciones sobre tierra
Calma	0,0-0,30	Calma, el humo se eleva verticalmente
Ventolina	0,30-1,5	La dirección del viento se revela por el humo, pero no por las veletas del anemómetro.

Brisa muy débil	1,6-3,3	El viento se percibe en el rostro, las hojas se agitan, la veleta se mueve.
Brisa débil	3,3-5,4	Hojas y ramas agitadas constantemente
Brisa moderada	5,5-7,9	El viento levanta polvo y hojas de papel
Brisa fresca	8,0-10,7	Los arbustos con hojas se balancean

Fuente: UT MOVIUS 2022.

- Niveles de precipitación

No se presentaron eventos de precipitación en el monitoreo de ruido ambiental ejecutado desde el 17 hasta el 26 de abril 2022 y los días 1 y 8 de mayo de 2022.

- Temperatura ambiente

A continuación se presenta la temperatura diaria reportada durante los monitoreos de ruido ambiental por la estación meteorológica la cual fue en promedio de 18,00 °C.

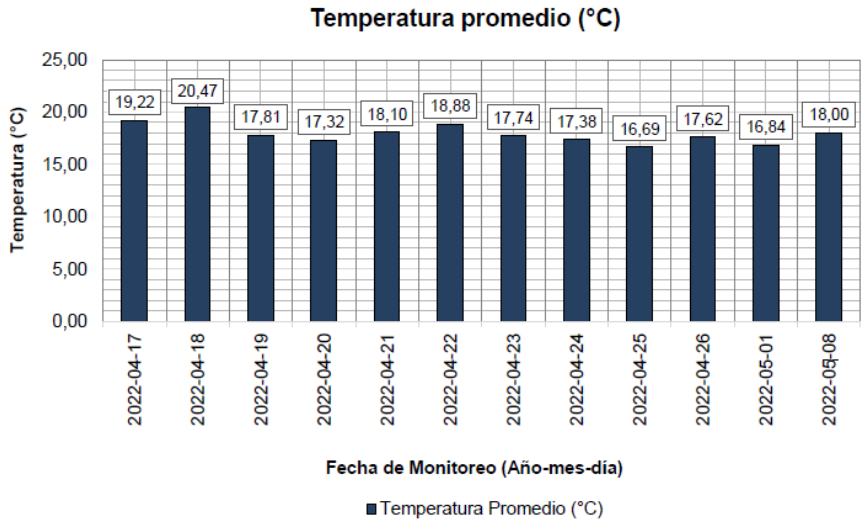


Figura 913. Temperatura promedio C°
Fuente: UT MOVIUS 2022.

A continuación se presenta el porcentaje de humedad relativa promedio en la medición durante los monitoreos la cual fue de 76,98 %.

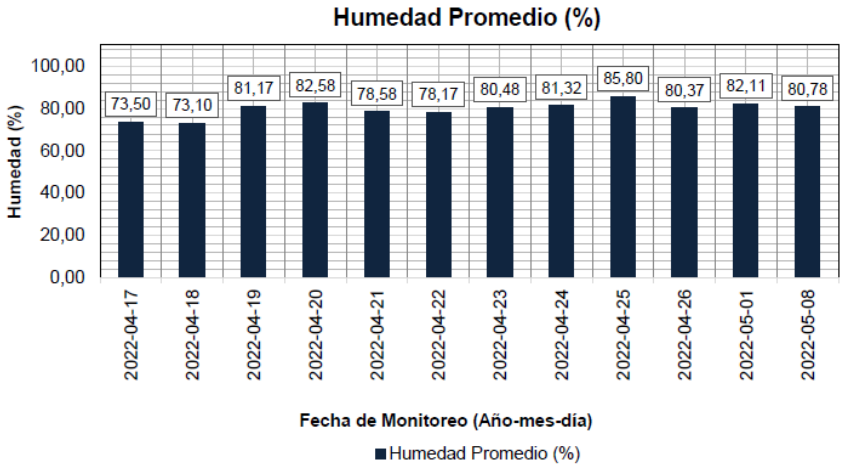


Figura 914. Humedad promedio (%)
Fuente: UT MOVIUS 2022.

5.2.3.4.1.10. Resultados de los monitoreo de ruido

Para el cálculo de los niveles de ruido ambiental se tomaron los datos obtenidos directamente del sonómetro e integrados por cada punto. A continuación, en la siguientes tablas se presentan los valores obtenidos de las mediciones de ruido ambiental realizadas en los siete puntos contemplados en los periodos de día hábil y no hábil, en jornada diurna y nocturna.

- Resultados jornada diurno hábil

Tabla 428. Resultados jornada diurno hábil

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90}	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre	
		L_{peak}	L_{max}	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	L_{max}	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt		Corregido	Intervalo	Horario	Combinada	
RA 1	Vertical	107,54	85,78	62,20	66,10	71,10	74,82	85,78	62,20	71,10	0,0	0,0	3,0	3,0	69,1	74,1	74,38	+/-	0,62
	Norte	101,02	87,45	63,49	66,40	71,97	73,98	87,45	63,49	71,97	0,0	0,0	0,0	0,0	66,4	72,0			
	Sur	98,82	79,92	61,08	66,90	71,58	73,17	79,92	61,08	71,58	0,0	0,0	0,0	0,0	66,9	71,6			
	Este	101,29	88,51	62,69	66,90	72,41	74,60	88,51	62,69	72,41	0,0	0,0	0,0	0,0	66,9	72,4			
	Oeste	106,33	94,36	62,62	67,10	75,04	77,54	94,36	62,62	75,04	0,0	0,0	3,0	3,0	70,1	78,0			
RA 2	Vertical	98,91	85,71	52,58	57,10	67,03	70,98	85,71	52,58	67,03	0,0	0,0	6,0	6,0	63,1	73,0	72,45	+/-	0,62
	Norte	98,71	84,53	55,44	61,50	69,75	71,48	84,53	55,44	69,75	0,0	0,0	3,0	3,0	64,5	72,7			
	Sur	97,14	80,13	54,37	58,40	67,91	70,36	80,13	54,37	67,91	0,0	0,0	0,0	0,0	58,4	67,9			
	Este	110,50	88,17	56,88	60,50	68,82	74,24	88,17	56,88	68,82	0,0	0,0	6,0	6,0	66,5	74,8			
	Oeste	104,08	83,87	53,89	58,20	67,94	73,15	83,87	53,89	67,94	0,0	0,0	3,0	3,0	61,2	70,9			
RA 3	Vertical	108,35	76,54	47,12	53,00	62,52	69,94	76,54	47,12	62,52	0,0	0,0	0,0	0,0	53,0	62,5	68,95	+/-	0,62
	Norte	97,01	78,22	50,58	58,30	66,66	68,35	78,22	50,58	66,66	0,0	0,0	0,0	0,0	58,3	66,7			
	Sur	99,12	84,77	50,91	57,50	67,58	69,68	84,77	50,91	67,58	0,0	0,0	6,0	6,0	63,5	73,6			
	Este	98,47	81,65	50,93	58,00	66,80	67,87	81,65	50,93	66,80	0,0	0,0	0,0	0,0	58,0	66,8			
	Oeste	102,23	85,17	51,27	56,90	67,25	69,93	85,17	51,27	67,25	0,0	0,0	0,0	0,0	56,9	67,2			
RA 4	Vertical	97,44	83,57	58,52	61,20	67,05	70,72	83,57	58,52	67,05	0,0	0,0	0,0	0,0	61,2	67,1	66,85	+/-	0,62
	Norte	98,68	82,87	57,68	60,50	66,98	70,14	82,87	57,68	66,98	0,0	0,0	0,0	0,0	60,5	67,0			
	Sur	98,10	82,00	59,52	62,20	66,45	68,39	82,00	59,52	66,45	0,0	0,0	0,0	0,0	62,2	66,4			
	Este	96,37	81,77	57,33	62,00	67,46	70,52	81,77	57,33	67,46	0,0	0,0	0,0	0,0	62,0	67,5			
	Oeste	93,15	78,65	58,69	62,20	66,18	67,47	78,65	58,69	66,18	0,0	0,0	0,0	0,0	62,2	66,2			
RA 5	Vertical	93,25	75,38	50,62	54,50	60,19	63,66	75,38	50,62	60,19	0,0	0,0	3,0	3,0	57,5	63,2	64,41	+/-	0,62
	Norte	91,61	74,90	50,28	53,10	60,71	63,15	74,90	50,28	60,71	0,0	0,0	0,0	0,0	53,1	60,7			
	Sur	96,35	80,68	49,15	53,70	62,87	64,85	80,68	49,15	62,87	0,0	0,0	6,0	6,0	59,7	68,9			
	Este	88,61	67,62	50,75	53,40	58,46	60,91	67,62	50,75	58,46	0,0	0,0	3,0	3,0	56,4	61,5			
	Oeste	92,44	74,04	51,86	54,20	61,60	64,46	74,04	51,86	61,60	0,0	0,0	0,0	0,0	54,2	61,6			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 6	Vertical	99,91	85,25	51,57	55,70	67,46	69,56	85,25	51,57	67,46	0,0	0,0	0,0	0,0	55,7	67,5	68,78	+/-	0,62
	Norte	104,75	88,79	52,84	55,80	68,89	71,31	88,79	52,84	68,89	0,0	0,0	0,0	0,0	55,8	68,9			
	Sur	104,00	89,13	52,81	56,00	69,90	71,57	89,13	52,81	69,90	0,0	0,0	0,0	0,0	56,0	69,9			
	Este	92,30	78,73	52,23	54,80	64,92	67,17	78,73	52,23	64,92	0,0	0,0	6,0	6,0	60,8	70,9			
	Oeste	95,46	80,56	52,44	55,80	63,59	65,31	80,56	52,44	63,59	0,0	0,0	0,0	0,0	55,8	63,6			
RA 7	Vertical	106,50	84,35	65,08	68,80	72,13	74,73	84,35	65,08	72,13	0,0	0,0	0,0	0,0	68,8	72,1	73,19	+/-	0,62
	Norte	99,55	81,91	66,57	69,90	72,45	73,76	81,91	66,57	72,45	0,0	0,0	3,0	3,0	72,9	75,5			
	Sur	103,73	81,99	63,97	69,30	72,58	74,58	81,99	63,97	72,58	0,0	0,0	0,0	0,0	69,3	72,6			
	Este	101,40	82,86	67,89	70,10	72,93	74,30	82,86	67,89	72,93	0,0	0,0	0,0	0,0	70,1	72,9			
	Oeste	95,97	78,73	65,71	68,60	71,79	72,96	78,73	65,71	71,79	0,0	0,0	0,0	0,0	68,6	71,8			
RA 8	Vertical	99,01	80,90	61,38	63,90	72,27	76,35	80,90	61,38	72,27	0,0	0,0	3,0	3,0	66,9	75,3	73,52	+/-	0,62
	Norte	109,65	83,03	60,43	63,40	68,00	72,82	83,03	60,43	68,00	0,0	0,0	0,0	0,0	63,4	68,0			
	Sur	94,46	77,79	61,62	64,40	68,06	70,94	77,79	61,62	68,06	0,0	0,0	0,0	0,0	64,4	68,1			
	Este	94,24	80,22	60,47	64,30	68,89	72,42	80,22	60,47	68,89	0,0	0,0	6,0	6,0	70,3	74,9			
	Oeste	99,51	85,46	60,86	63,00	69,48	72,94	85,46	60,86	69,48	0,0	0,0	6,0	6,0	69,0	75,5			
RA 9	Vertical	98,03	82,93	63,40	66,50	71,92	73,86	82,93	63,40	71,92	0,0	0,0	0,0	0,0	66,5	71,9	71,68	+/-	0,62
	Norte	103,13	84,59	60,96	65,80	71,29	72,87	84,59	60,96	71,29	0,0	0,0	0,0	0,0	65,8	71,3			
	Sur	101,04	82,92	62,82	66,50	70,62	72,62	82,92	62,82	70,62	0,0	0,0	0,0	0,0	66,5	70,6			
	Este	108,63	90,94	61,76	66,00	72,50	73,92	90,94	61,76	72,50	0,0	0,0	0,0	0,0	66,0	72,5			
	Oeste	102,98	84,97	64,33	67,30	71,85	74,31	84,97	64,33	71,85	0,0	0,0	0,0	0,0	67,3	71,8			
RA 10	Vertical	109,05	92,60	66,70	69,30	76,07	78,01	92,60	66,70	76,07	0,0	0,0	3,0	3,0	72,3	79,1	75,91	+/-	0,62
	Norte	104,29	82,49	63,37	67,00	73,54	75,51	82,49	63,37	73,54	0,0	0,0	0,0	0,0	67,0	73,5			
	Sur	97,53	86,88	65,29	67,80	74,06	75,99	86,88	65,29	74,06	0,0	0,0	3,0	3,0	70,8	77,1			
	Este	101,84	84,43	62,29	66,20	72,98	74,94	84,43	62,29	72,98	0,0	0,0	0,0	0,0	66,2	73,0			
	Oeste	103,36	82,51	64,98	67,80	73,19	75,88	82,51	64,98	73,19	0,0	0,0	0,0	0,0	67,8	73,2			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 11	Vertical	107,49	92,89	65,08	67,70	76,70	80,53	92,89	65,08	76,70	0,0	0,0	3,0	3,0	70,7	79,7	76,60	+/-	0,62
	Norte	106,67	87,15	62,63	68,10	72,97	79,33	87,15	62,63	72,97	0,0	0,0	3,0	3,0	71,1	76,0			
	Sur	98,86	82,24	60,59	66,60	71,79	73,58	82,24	60,59	71,79	0,0	0,0	0,0	0,0	66,6	71,8			
	Este	103,27	90,57	61,10	66,50	72,60	76,30	90,57	61,10	72,60	0,0	0,0	0,0	0,0	66,5	72,6			
	Oeste	100,34	84,02	66,42	69,40	74,95	77,46	84,02	66,42	74,95	0,0	0,0	3,0	3,0	72,4	78,0			
RA 12	Vertical	84,38	70,20	50,72	52,80	58,79	60,70	70,20	50,72	58,79	0,0	0,0	0,0	0,0	52,8	58,8	58,71	+/-	0,62
	Norte	98,97	71,03	50,66	52,90	58,78	63,19	71,03	50,66	58,78	0,0	0,0	0,0	0,0	52,9	58,8			
	Sur	82,55	67,68	52,44	54,10	57,92	59,35	67,68	52,44	57,92	0,0	0,0	0,0	0,0	54,1	57,9			
	Este	85,42	70,25	51,04	53,50	58,90	60,82	70,25	51,04	58,90	0,0	0,0	0,0	0,0	53,5	58,9			
	Oeste	85,96	69,38	51,51	53,60	59,09	61,36	69,38	51,51	59,09	0,0	0,0	0,0	0,0	53,6	59,1			
RA 13	Vertical	94,37	77,40	49,19	53,40	60,67	63,57	77,40	49,19	60,67	0,0	0,0	3,0	3,0	56,4	63,7	62,75	+/-	0,62
	Norte	106,31	76,06	49,60	54,70	61,42	66,77	76,06	49,60	61,42	0,0	0,0	0,0	0,0	54,7	61,4			
	Sur	90,46	76,58	50,69	54,10	60,59	63,15	76,58	50,69	60,59	0,0	0,0	0,0	0,0	54,1	60,6			
	Este	94,24	80,02	48,69	54,30	61,99	65,21	80,02	48,69	61,99	0,0	0,0	3,0	3,0	57,3	65,0			
	Oeste	91,86	73,99	50,20	54,70	61,49	63,28	73,99	50,20	61,49	0,0	0,0	0,0	0,0	54,7	61,5			
RA 14	Vertical	103,81	85,05	64,41	67,40	74,96	76,60	85,05	64,41	74,96	0,0	0,0	0,0	0,0	67,4	75,0	78,19	+/-	0,62
	Norte	107,85	96,27	63,03	66,60	77,37	80,08	96,27	63,03	77,37	0,0	0,0	3,0	3,0	69,6	80,4			
	Sur	111,28	97,79	62,95	66,20	77,85	80,39	97,79	62,95	77,85	0,0	0,0	3,0	3,0	69,2	80,8			
	Este	104,00	84,76	62,24	66,90	75,14	77,46	84,76	62,24	75,14	0,0	0,0	0,0	0,0	66,9	75,1			
	Oeste	105,91	89,30	63,40	66,70	75,43	77,06	89,30	63,40	75,43	0,0	0,0	0,0	0,0	66,7	75,4			
RA 15	Vertical	89,50	66,37	47,32	48,70	51,92	57,66	66,37	47,32	51,92	0,0	0,0	6,0	6,0	54,7	57,9	59,23	+/-	0,62
	Norte	83,33	63,81	48,46	49,40	55,12	57,63	63,81	48,46	55,12	0,0	0,0	6,0	6,0	55,4	61,1			
	Sur	86,37	64,14	49,26	50,80	52,73	58,55	64,14	49,26	52,73	0,0	0,0	6,0	6,0	56,8	58,7			
	Este	84,52	67,73	46,65	48,00	54,10	60,78	67,73	46,65	54,10	0,0	0,0	6,0	6,0	54,0	60,1			
	Oeste	87,11	65,42	48,70	49,40	51,07	56,01	65,42	48,70	51,07	0,0	0,0	6,0	6,0	55,4	57,1			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 16	Vertical	86,90	57,87	48,59	50,30	51,30	52,82	57,87	48,59	51,30	0,0	0,0	6,0	6,0	56,3	57,3	56,39	+/-	0,62
	Norte	86,80	62,45	46,95	47,90	49,08	51,78	62,45	46,95	49,08	0,0	0,0	6,0	6,0	53,9	55,1			
	Sur	86,85	63,62	48,14	49,00	51,80	58,29	63,62	48,14	51,80	0,0	0,0	6,0	6,0	55,0	57,8			
	Este	93,48	55,77	47,35	48,20	49,01	52,04	55,77	47,35	49,01	0,0	0,0	6,0	6,0	54,2	55,0			
	Oeste	88,68	57,18	48,03	48,90	50,02	52,39	57,18	48,03	50,02	0,0	0,0	6,0	6,0	54,9	56,0			
RA 17	Vertical	91,47	62,43	45,66	48,90	50,55	52,99	62,43	45,66	50,55	0,0	0,0	6,0	6,0	54,9	56,6	59,12	+/-	0,62
	Norte	84,70	65,03	49,72	51,00	55,37	62,42	65,03	49,72	55,37	0,0	0,0	6,0	6,0	57,0	61,4			
	Sur	90,39	66,36	47,31	47,90	54,37	62,97	66,36	47,31	54,37	0,0	0,0	6,0	6,0	53,9	60,4			
	Este	91,95	58,41	48,85	50,00	51,01	53,70	58,41	48,85	51,01	0,0	0,0	6,0	6,0	56,0	57,0			
	Oeste	84,28	63,95	47,49	48,70	52,25	59,08	63,95	47,49	52,25	0,0	0,0	6,0	6,0	54,7	58,3			
RA 18	Vertical	102,85	74,58	46,44	47,20	56,73	65,34	74,58	46,44	56,73	0,0	0,0	6,0	6,0	53,2	62,7	62,63	+/-	0,62
	Norte	84,03	57,12	48,00	48,70	50,18	51,25	57,12	48,00	50,18	0,0	0,0	6,0	6,0	54,7	56,2			
	Sur	87,67	61,55	48,31	48,90	50,47	53,94	61,55	48,31	50,47	0,0	0,0	6,0	6,0	54,9	56,5			
	Este	87,86	61,53	46,43	47,60	50,16	52,51	61,53	46,43	50,16	0,0	0,0	6,0	6,0	53,6	56,2			
	Oeste	91,99	75,63	46,63	47,60	61,80	70,26	75,63	46,63	61,80	0,0	0,0	6,0	6,0	53,6	67,8			
RA 19	Vertical	96,82	68,60	45,50	56,50	59,51	63,12	68,60	45,50	59,51	0,0	0,0	3,0	3,0	59,5	62,5	59,56	+/-	0,62
	Norte	87,55	63,97	44,74	47,60	52,20	58,94	63,97	44,74	52,20	0,0	0,0	6,0	6,0	53,6	58,2			
	Sur	87,66	60,27	43,17	47,30	51,23	56,20	60,27	43,17	51,23	0,0	0,0	6,0	6,0	53,3	57,2			
	Este	87,55	64,30	42,96	48,30	53,55	59,24	64,30	42,96	53,55	0,0	0,0	6,0	6,0	54,3	59,6			
	Oeste	100,87	62,06	44,19	47,80	52,12	57,04	62,06	44,19	52,12	0,0	0,0	6,0	6,0	53,8	58,1			
RA 20	Vertical	79,06	60,77	41,50	42,20	46,17	52,19	60,77	41,50	46,17	0,0	0,0	6,0	6,0	48,2	52,2	54,31	+/-	0,62
	Norte	84,84	59,65	45,74	46,60	48,03	50,81	59,65	45,74	48,03	0,0	0,0	6,0	6,0	52,6	54,0			
	Sur	83,52	59,57	46,05	46,40	49,11	51,22	59,57	46,05	49,11	0,0	0,0	6,0	6,0	52,4	55,1			
	Este	95,27	80,38	47,30	47,90	49,75	75,83	80,38	47,30	49,75	0,0	0,0	6,0	6,0	53,9	55,7			
	Oeste	83,72	62,70	42,43	43,50	47,62	50,78	62,70	42,43	47,62	0,0	0,0	6,0	6,0	49,5	53,6			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90}	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt		Corregido	Intervalo	Horario	Combinada	
RA 21	Vertical	96,68	65,91	42,06	44,70	51,52	59,27	65,91	42,06	51,52	0,0	0,0	6,0	6,0	50,7	57,5	62,12	+/-	0,62
	Norte	97,72	67,72	48,47	56,10	59,81	63,08	67,72	48,47	59,81	0,0	0,0	3,0	3,0	59,1	62,8			
	Sur	99,04	70,90	41,91	56,40	60,37	63,93	70,90	41,91	60,37	0,0	0,0	3,0	3,0	59,4	63,4			
	Este	96,67	67,20	45,58	56,20	58,70	62,04	67,20	45,58	58,70	0,0	0,0	3,0	3,0	59,2	61,7			
	Oeste	98,36	68,97	46,60	56,10	60,04	63,47	68,97	46,60	60,04	0,0	0,0	3,0	3,0	59,1	63,0			
RA 22	Vertical	102,01	76,93	53,74	66,00	70,78	74,85	76,93	53,74	70,78	0,0	0,0	3,0	3,0	69,0	73,8	67,01	+/-	0,62
	Norte	92,60	61,94	38,08	44,20	48,78	54,26	61,94	38,08	48,78	0,0	0,0	6,0	6,0	50,2	54,8			
	Sur	94,80	62,47	41,98	45,70	50,47	58,73	62,47	41,98	50,47	0,0	0,0	3,0	3,0	48,7	53,5			
	Este	103,50	60,28	40,83	45,00	50,09	56,00	60,28	40,83	50,09	0,0	0,0	6,0	6,0	51,0	56,1			
	Oeste	96,29	74,69	42,72	45,70	52,40	61,29	74,69	42,72	52,40	0,0	0,0	3,0	3,0	48,7	55,4			
RA 23	Vertical	95,66	67,69	41,35	45,20	51,05	57,35	67,69	41,35	51,05	0,0	0,0	6,0	6,0	51,2	57,1	74,95	+/-	0,62
	Norte	96,07	81,44	60,97	68,10	71,14	75,11	81,44	60,97	71,14	0,0	0,0	3,0	3,0	71,1	74,1			
	Sur	93,83	76,35	54,63	68,60	71,37	75,38	76,35	54,63	71,37	0,0	0,0	6,0	6,0	74,6	77,4			
	Este	95,42	80,46	38,23	67,30	70,91	75,60	80,46	38,23	70,91	0,0	0,0	6,0	6,0	73,3	76,9			
	Oeste	96,26	76,65	57,58	67,90	71,16	74,99	76,65	57,58	71,16	0,0	0,0	3,0	3,0	70,9	74,2			
RA 24	Vertical	95,25	79,53	53,93	57,30	65,73	67,97	79,53	53,93	65,73	0,0	0,0	0,0	0,0	57,3	65,7	72,49	+/-	0,62
	Norte	105,40	82,73	52,80	56,90	67,46	70,54	82,73	52,80	67,46	0,0	0,0	3,0	3,0	59,9	70,5			
	Sur	105,90	84,08	52,09	59,70	69,39	72,35	84,08	52,09	69,39	0,0	0,0	6,0	6,0	65,7	75,4			
	Este	97,50	78,40	53,63	58,40	68,59	71,91	78,40	53,63	68,59	0,0	0,0	6,0	6,0	64,4	74,6			
	Oeste	100,71	77,38	54,27	57,90	67,26	70,74	77,38	54,27	67,26	0,0	0,0	3,0	3,0	60,9	70,3			
RA 25	Vertical	108,60	74,64	52,21	55,90	61,08	65,79	74,64	52,21	61,08	0,0	0,0	0,0	0,0	55,9	61,1	60,87	+/-	0,62
	Norte	102,96	79,67	50,49	52,70	59,94	66,55	79,67	50,49	59,94	0,0	0,0	3,0	3,0	55,7	62,9			
	Sur	93,69	75,15	48,71	51,70	59,50	61,96	75,15	48,71	59,50	0,0	0,0	0,0	0,0	51,7	59,5			
	Este	95,10	77,18	48,94	52,70	60,04	63,18	77,18	48,94	60,04	0,0	0,0	0,0	0,0	52,7	60,0			
	Oeste	92,00	74,22	48,86	51,00	59,80	62,97	74,22	48,86	59,80	0,0	0,0	0,0	0,0	51,0	59,8			
RA 26	Vertical	100,30	77,87	48,88	52,30	65,71	67,38	77,87	48,88	65,71	0,0	0,0	0,0	0,0	52,3	65,7	68,49	+/-	0,62
	Norte	99,70	79,10	46,13	52,20	65,90	68,08	79,10	46,13	65,90	0,0	0,0	0,0	0,0	52,2	65,9			
	Sur	100,41	79,89	47,80	52,70	65,83	67,67	79,89	47,80	65,83	0,0	0,0	0,0	0,0	52,7	65,8			
	Este	101,26	80,83	48,51	53,70	66,70	69,23	80,83	48,51	66,70	0,0	0,0	6,0	6,0	59,7	72,7			
	Oeste	105,50	82,12	47,62	52,20	67,23	70,25	82,12	47,62	67,23	0,0	0,0	0,0	0,0	52,2	67,2			
RA 27	Vertical	89,74	70,85	44,81	50,50	57,99	62,68	70,85	44,81	57,99	0,0	0,0	0,0	0,0	50,5	58,0	63,12	+/-	0,62
	Norte	101,97	74,57	51,84	55,10	61,28	65,73	74,57	51,84	61,28	0,0	0,0	6,0	6,0	61,1	67,3			
	Sur	88,81	67,49	48,90	51,40	58,13	61,70	67,49	48,90	58,13	0,0	0,0	3,0	3,0	54,4	61,1			
	Este	94,89	73,55	48,34	53,90	61,31	64,79	73,55	48,34	61,31	0,0	0,0	0,0	0,0	53,9	61,3			
	Oeste	91,64	70,78	46,96	51,10	59,09	60,80	70,78	46,96	59,09	0,0	0,0	3,0	3,0	54,1	62,1			
RA 28	Vertical	95,54	62,10	41,93	45,80	53,02	57,73	62,10	41,93	53,02	0,0	0,0	0,0	0,0	45,8	53,0	57,13	+/-	0,62
	Norte	98,04	68,57	47,34	51,30	56,17	61,03	68,57	47,34	56,17	0,0	0,0	0,0	0,0	51,3	56,2			
	Sur	103,21	70,45	44,93	50,90	57,92	65,64	70,45	44,93	57,92	0,0	0,0	3,0	3,0	53,9	60,9			
	Este	93,14	63,48	45,78	51,60	55,62	59,01	63,48	45,78	55,62	0,0	0,0	0,0	0,0	51,6	55,6			
	Oeste	98,92	65,75	44,80	50,20	55,61	61,50	65,75	44,80	55,61	0,0	0,0	0,0	0,0	50,2	55,6			
RA 29	Vertical	99,40	71,37	41,89	43,50	49,19	57,48	71,37	41,89	49,19	0,0	0,0	6,0	6,0	49,5	55,2	55,67	+/-	0,62
	Norte	101,20	65,37	45,34	48,30	52,63	56,75	65,37	45,34	52,63	0,0	0,0	0,0	0,0	48,3	52,6			
	Sur	100,91	66,87	44,08	46,40	52,40	57,56	66,87	44,08	52,40	0,0	0,0	3,0	3,0	49,4	55,4			
	Este	100,19	73,04	44,98	47,00	52,57	60,54	73,04	44,98	52,57	0,0	0,0	6,0	6,0	53,0	58,6			
	Oeste	109,46	75,24	42,53	46,10	54,27	64,63	75,24	42,53	54,27	0,0	0,0	0,0	0,0	46,1	54,3			
RA 30	Vertical	99,81	65,21	41,94	44,00	50,30	56,38	65,21	41,94	50,30	0,0	0,0	0,0	0,0	44,0	50,3	49,36	+/-	0,62
	Norte	101,60	69,07	40,10	43,30	48,45	59,05	69,07	40,10	48,45	0,0	0,0	3,0	3,0	46,3	51,4			
	Sur	83,87	52,26	40,16	43,60	46,54	50,70	52,26	40,16	46,54	0,0	0,0	0,0	0,0	43,6	46,5			
	Este	88,83	58,29	40,42	42,20	46,41	51,90	58,29	40,42	46,41	0,0	0,0	3,0	3,0	45,2	49,4			
	Oeste	80,70	55,29	41,75	43,70	47,22	51,32	55,29	41,75	47,22	0,0	0,0	0,0	0,0	43,7	47,2			

Fuente: UT MOVIUS 2022.

- Resultados Jornada diurno no hábil

Tabla 429. Resultados Jornada diurno no hábil

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90}	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt		Corregido	Intervalo	Horario	Combinada	
RA 1	Vertical	94,93	79,87	55,84	58,70	67,12	69,51	79,87	55,84	67,12	0,0	0,0	3,0	3,0	61,7	70,1	68,54	+/-	0,62
	Norte	104,94	87,89	54,98	58,30	69,92	71,60	87,89	54,98	69,92	0,0	0,0	0,0	0,0	58,3	69,9			
	Sur	96,56	81,46	54,46	57,80	67,18	68,82	81,46	54,46	67,18	0,0	0,0	0,0	0,0	57,8	67,2			
	Este	99,31	78,86	55,32	58,70	66,91	68,48	78,86	55,32	66,91	0,0	0,0	0,0	0,0	58,7	66,9			
	Oeste	94,89	77,86	54,35	57,60	67,43	69,16	77,86	54,35	67,43	0,0	0,0	0,0	0,0	57,6	67,4			
RA 2	Vertical	91,48	77,01	44,42	47,50	61,04	62,96	77,01	44,42	61,04	0,0	0,0	0,0	0,0	47,5	61,0	63,90	+/-	0,62
	Norte	93,27	80,73	44,58	48,50	64,55	66,95	80,73	44,58	64,55	0,0	0,0	0,0	0,0	48,5	64,5			
	Sur	93,50	79,82	45,54	49,20	63,21	64,95	79,82	45,54	63,21	0,0	0,0	0,0	0,0	49,2	63,2			
	Este	97,64	76,10	43,69	47,20	62,44	65,23	76,10	43,69	62,44	0,0	0,0	3,0	3,0	50,2	65,4			
	Oeste	91,02	77,36	45,22	47,70	64,06	65,41	77,36	45,22	64,06	0,0	0,0	0,0	0,0	47,7	64,1			
RA 3	Vertical	87,10	71,29	45,29	51,30	62,31	63,31	71,29	45,29	62,31	0,0	0,0	0,0	0,0	51,3	62,3	63,67	+/-	0,62
	Norte	89,07	73,10	49,04	53,40	63,58	64,50	73,10	49,04	63,58	0,0	0,0	0,0	0,0	53,4	63,6			
	Sur	90,41	77,20	46,00	53,10	64,02	65,29	77,20	46,00	64,02	0,0	0,0	0,0	0,0	53,1	64,0			
	Este	93,77	75,75	46,93	53,60	64,45	66,00	75,75	46,93	64,45	0,0	0,0	0,0	0,0	53,6	64,4			
	Oeste	87,05	72,03	46,30	53,50	63,72	64,86	72,03	46,30	63,72	0,0	0,0	0,0	0,0	53,5	63,7			
RA 4	Vertical	102,77	85,95	52,62	55,10	64,19	70,02	85,95	52,62	64,19	0,0	0,0	3,0	3,0	58,1	67,2	65,23	+/-	0,62
	Norte	90,78	73,54	50,39	53,50	60,30	62,42	73,54	50,39	60,30	0,0	0,0	0,0	0,0	53,5	60,3			
	Sur	92,73	79,27	51,64	54,40	64,23	66,20	79,27	51,64	64,23	0,0	0,0	0,0	0,0	54,4	64,2			
	Este	94,10	79,60	51,42	55,30	63,23	68,18	79,60	51,42	63,23	0,0	0,0	0,0	0,0	55,3	63,2			
	Oeste	98,92	82,49	51,35	54,20	61,51	67,75	82,49	51,35	61,51	0,0	0,0	6,0	6,0	60,2	67,5			
RA 5	Vertical	90,10	75,92	43,99	48,80	57,48	61,90	75,92	43,99	57,48	0,0	0,0	0,0	0,0	48,8	57,5	62,28	+/-	0,62
	Norte	90,45	75,21	45,82	48,20	61,33	66,57	75,21	45,82	61,33	0,0	0,0	0,0	0,0	48,2	61,3			
	Sur	92,00	74,82	43,81	49,40	59,66	65,04	74,82	43,81	59,66	0,0	0,0	3,0	3,0	52,4	62,7			
	Este	95,44	75,29	43,36	47,10	60,52	68,26	75,29	43,36	60,52	0,0	0,0	6,0	6,0	53,1	66,5			
	Oeste	83,22	67,36	42,97	47,00	53,36	56,65	67,36	42,97	53,36	0,0	0,0	0,0	0,0	47,0	53,4			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 6	Vertical	103,48	74,53	45,68	52,50	61,65	64,43	74,53	45,68	61,65	0,0	0,0	0,0	0,0	52,5	61,6	61,24	+/-	0,62
	Norte	99,49	80,28	44,85	48,70	63,24	64,54	80,28	44,85	63,24	0,0	0,0	0,0	0,0	48,7	63,2			
	Sur	98,14	80,14	45,91	48,60	61,16	62,72	80,14	45,91	61,16	0,0	0,0	0,0	0,0	48,6	61,2			
	Este	96,95	76,80	44,75	48,60	59,40	62,13	76,80	44,75	59,40	0,0	0,0	0,0	0,0	48,6	59,4			
	Oeste	95,42	76,74	44,69	47,60	59,53	62,01	76,74	44,69	59,53	0,0	0,0	0,0	0,0	47,6	59,5			
RA 7	Vertical	99,59	81,33	61,32	65,60	70,30	71,20	81,33	61,32	70,30	0,0	0,0	3,0	3,0	68,6	73,3	73,82	+/-	0,62
	Norte	105,58	87,02	58,55	63,10	70,48	71,63	87,02	58,55	70,48	0,0	0,0	0,0	0,0	63,1	70,5			
	Sur	105,89	92,67	56,40	63,10	72,11	75,55	92,67	56,40	72,11	0,0	0,0	3,0	3,0	66,1	75,1			
	Este	102,72	83,35	57,83	64,60	70,46	71,57	83,35	57,83	70,46	0,0	0,0	0,0	0,0	64,6	70,5			
	Oeste	98,70	81,11	60,48	66,20	70,48	71,71	81,11	60,48	70,48	0,0	0,0	6,0	6,0	72,2	76,5			
RA 8	Vertical	98,38	78,04	57,09	62,10	65,66	68,29	78,04	57,09	65,66	0,0	0,0	3,0	3,0	65,1	68,7	70,87	+/-	0,62
	Norte	101,75	77,13	56,99	59,70	65,51	68,37	77,13	56,99	65,51	0,0	0,0	3,0	3,0	62,7	68,5			
	Sur	105,61	85,18	58,77	61,30	68,73	71,72	85,18	58,77	68,73	0,0	0,0	6,0	6,0	67,3	74,7			
	Este	104,28	84,68	56,54	59,90	68,14	70,08	84,68	56,54	68,14	0,0	0,0	3,0	3,0	62,9	71,1			
	Oeste	101,60	77,69	57,50	61,10	65,94	69,17	77,69	57,50	65,94	0,0	0,0	0,0	0,0	61,1	65,9			
RA 9	Vertical	108,71	85,30	60,87	67,40	72,73	74,07	85,30	60,87	72,73	0,0	0,0	0,0	0,0	67,4	72,7	75,05	+/-	0,62
	Norte	120,04	88,12	60,15	67,10	73,54	76,76	88,12	60,15	73,54	0,0	0,0	3,0	3,0	70,1	76,5			
	Sur	106,61	87,67	65,46	69,90	74,86	81,04	87,67	65,46	74,86	0,0	0,0	3,0	3,0	72,9	77,9			
	Este	112,90	86,62	61,96	67,20	72,39	74,68	86,62	61,96	72,39	0,0	0,0	0,0	0,0	67,2	72,4			
	Oeste	105,31	83,20	62,20	67,40	72,48	74,01	83,20	62,20	72,48	0,0	0,0	0,0	0,0	67,4	72,5			
RA 10	Vertical	105,25	84,08	62,69	69,30	72,22	74,62	84,08	62,69	72,22	0,0	0,0	3,0	3,0	72,3	75,2	76,39	+/-	0,62
	Norte	99,28	82,69	61,05	65,10	70,79	73,25	82,69	61,05	70,79	0,0	0,0	0,0	0,0	65,1	70,8			
	Sur	107,99	86,44	65,29	67,30	72,68	75,74	86,44	65,29	72,68	0,0	0,0	6,0	6,0	73,3	78,7			
	Este	107,36	88,30	62,96	66,00	72,62	74,34	88,30	62,96	72,62	0,0	0,0	6,0	6,0	72,0	78,6			
	Oeste	100,15	82,14	62,04	65,20	71,14	73,25	82,14	62,04	71,14	0,0	0,0	3,0	3,0	68,2	74,1			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 11	Vertical	107,07	83,12	61,30	65,40	70,07	73,57	83,12	61,30	70,07	0,0	0,0	0,0	0,0	65,4	70,1	71,40	+/-	0,62
	Norte	107,87	85,35	62,07	64,90	70,03	72,81	85,35	62,07	70,03	0,0	0,0	0,0	0,0	64,9	70,0			
	Sur	106,12	78,67	63,29	65,10	70,48	73,00	78,67	63,29	70,48	0,0	0,0	3,0	3,0	68,1	73,5			
	Este	103,42	83,19	62,90	64,90	70,55	72,24	83,19	62,90	70,55	0,0	0,0	0,0	0,0	64,9	70,6			
	Oeste	107,88	85,53	61,90	65,10	71,80	74,13	85,53	61,90	71,80	0,0	0,0	0,0	0,0	65,1	71,8			
RA 12	Vertical	100,97	66,96	47,72	50,90	56,51	58,61	66,96	47,72	56,51	0,0	0,0	3,0	3,0	53,9	59,5	62,84	+/-	0,62
	Norte	100,49	84,00	45,30	49,40	61,46	93,01	84,00	45,30	61,46	0,0	0,0	6,0	6,0	55,4	67,5			
	Sur	89,60	69,29	46,53	50,10	56,12	58,96	69,29	46,53	56,12	0,0	0,0	0,0	0,0	50,1	56,1			
	Este	94,01	75,17	45,55	50,20	57,83	63,01	75,17	45,55	57,83	0,0	0,0	6,0	6,0	56,2	63,8			
	Oeste	91,42	65,22	45,82	50,20	55,22	59,09	65,22	45,82	55,22	0,0	0,0	0,0	0,0	50,2	55,2			
RA 13	Vertical	96,23	72,20	48,69	51,50	60,24	62,00	72,20	48,69	60,24	0,0	0,0	0,0	0,0	51,5	60,2	63,82	+/-	0,62
	Norte	101,39	73,39	41,88	48,10	60,62	64,17	73,39	41,88	60,62	0,0	0,0	0,0	0,0	48,1	60,6			
	Sur	104,36	81,90	43,81	47,80	63,26	66,20	81,90	43,81	63,26	0,0	0,0	3,0	3,0	50,8	66,3			
	Este	92,93	73,26	44,06	48,50	59,71	62,66	73,26	44,06	59,71	0,0	0,0	0,0	0,0	48,5	59,7			
	Oeste	106,17	84,92	44,93	50,80	63,70	66,70	84,92	44,93	63,70	0,0	0,0	3,0	3,0	53,8	66,7			
RA 14	Vertical	108,56	95,05	64,44	67,10	77,95	80,68	95,05	64,44	77,95	0,0	0,0	3,0	3,0	70,1	81,0	78,25	+/-	0,62
	Norte	103,26	83,99	61,48	65,20	76,08	76,83	83,99	61,48	76,08	0,0	0,0	0,0	0,0	65,2	76,1			
	Sur	102,92	83,90	60,45	65,30	75,58	76,71	83,90	60,45	75,58	0,0	0,0	0,0	0,0	65,3	75,6			
	Este	102,37	87,82	62,74	66,70	75,99	76,92	87,82	62,74	75,99	0,0	0,0	0,0	0,0	66,7	76,0			
	Oeste	113,27	95,90	61,25	65,90	76,70	80,28	95,90	61,25	76,70	0,0	0,0	3,0	3,0	68,9	79,7			
RA 15	Vertical	101,56	75,77	55,10	58,50	65,14	68,24	75,77	55,10	65,14	0,0	0,0	0,0	0,0	58,5	65,1	63,31	+/-	0,62
	Norte	94,34	72,88	53,23	57,30	62,86	64,67	72,88	53,23	62,86	0,0	0,0	0,0	0,0	57,3	62,9			
	Sur	94,12	73,81	54,94	57,80	62,34	63,55	73,81	54,94	62,34	0,0	0,0	0,0	0,0	57,8	62,3			
	Este	94,18	71,86	54,08	57,20	62,22	63,29	71,86	54,08	62,22	0,0	0,0	0,0	0,0	57,2	62,2			
	Oeste	95,03	75,06	52,20	58,20	63,30	64,60	75,06	52,20	63,30	0,0	0,0	0,0	0,0	58,2	63,3			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 16	Vertical	104,35	84,82	53,81	57,40	66,41	68,03	84,82	53,81	66,41	0,0	0,0	0,0	0,0	57,4	66,4	66,05	+/-	0,62
	Norte	103,19	79,90	55,53	58,40	67,01	69,69	79,90	55,53	67,01	0,0	0,0	0,0	0,0	58,4	67,0			
	Sur	104,58	82,51	53,64	56,20	65,63	67,27	82,51	53,64	65,63	0,0	0,0	0,0	0,0	56,2	65,6			
	Este	99,01	77,44	53,95	56,40	65,56	66,48	77,44	53,95	65,56	0,0	0,0	0,0	0,0	56,4	65,6			
	Oeste	98,05	75,96	52,50	56,00	65,42	66,76	75,96	52,50	65,42	0,0	0,0	0,0	0,0	56,0	65,4			
RA 17	Vertical	104,00	84,40	61,25	64,00	71,58	73,65	84,40	61,25	71,58	0,0	0,0	3,0	3,0	67,0	74,6	78,10	+/-	0,62
	Norte	108,06	89,45	62,50	66,10	75,13	77,49	89,45	62,50	75,13	0,0	0,0	6,0	6,0	72,1	81,1			
	Sur	102,28	80,67	60,16	63,80	71,72	73,69	80,67	60,16	71,72	0,0	0,0	6,0	6,0	69,8	77,7			
	Este	104,78	82,77	60,57	64,50	72,60	74,84	82,77	60,57	72,60	0,0	0,0	3,0	3,0	67,5	75,6			
	Oeste	103,76	84,26	61,15	63,90	72,38	73,98	84,26	61,15	72,38	0,0	0,0	6,0	6,0	69,9	78,4			
RA 18	Vertical	106,20	86,33	53,44	58,50	67,95	76,87	86,33	53,44	67,95	0,0	0,0	3,0	3,0	61,5	71,0	72,32	+/-	0,62
	Norte	99,79	84,23	61,53	64,20	70,16	72,70	84,23	61,53	70,16	0,0	0,0	3,0	3,0	67,2	73,2			
	Sur	104,74	85,49	61,35	64,80	69,75	74,34	85,49	61,35	69,75	0,0	0,0	3,0	3,0	67,8	72,8			
	Este	104,90	77,14	60,87	65,30	68,78	70,71	77,14	60,87	68,78	0,0	0,0	3,0	3,0	68,3	71,8			
	Oeste	103,15	86,90	62,29	64,90	69,61	72,71	86,90	62,29	69,61	0,0	0,0	3,0	3,0	67,9	72,6			
RA 19	Vertical	103,04	86,60	49,66	58,90	72,75	77,72	86,60	49,66	72,75	0,0	0,0	6,0	6,0	64,9	78,7	75,67	+/-	0,62
	Norte	112,80	93,01	61,57	65,60	74,64	76,17	93,01	61,57	74,64	0,0	0,0	0,0	0,0	65,6	74,6			
	Sur	104,63	86,05	54,76	65,70	73,67	74,73	86,05	54,76	73,67	0,0	0,0	0,0	0,0	65,7	73,7			
	Este	103,67	83,42	57,65	65,90	72,76	74,14	83,42	57,65	72,76	0,0	0,0	3,0	3,0	68,9	75,8			
	Oeste	104,22	84,14	60,72	65,10	72,91	73,80	84,14	60,72	72,91	0,0	0,0	0,0	0,0	65,1	72,9			
RA 20	Vertical	101,41	82,93	48,56	56,70	73,27	74,39	82,93	48,56	73,27	0,0	0,0	0,0	0,0	56,7	73,3	73,60	+/-	0,62
	Norte	108,52	91,95	48,94	57,50	73,99	76,11	91,95	48,94	73,99	0,0	0,0	0,0	0,0	57,5	74,0			
	Sur	102,32	83,56	48,32	55,60	73,54	74,67	83,56	48,32	73,54	0,0	0,0	0,0	0,0	55,6	73,5			
	Este	108,45	88,78	50,16	56,80	74,13	75,74	88,78	50,16	74,13	0,0	0,0	0,0	0,0	56,8	74,1			
	Oeste	107,86	86,35	51,04	56,80	72,93	74,36	86,35	51,04	72,93	0,0	0,0	0,0	0,0	56,8	72,9			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90}	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt		Corregido	Intervalo	Horario	Combinada	
RA 21	Vertical	98,95	73,81	54,99	59,30	62,85	64,95	73,81	54,99	62,85	0,0	0,0	0,0	0,0	59,3	62,8	63,12	+/-	0,62
	Norte	105,93	77,88	49,64	56,20	61,92	66,73	77,88	49,64	61,92	0,0	0,0	0,0	0,0	56,2	61,9			
	Sur	98,59	78,32	53,40	57,60	63,52	69,29	78,32	53,40	63,52	0,0	0,0	0,0	0,0	57,6	63,5			
	Este	96,09	75,41	52,72	57,50	62,20	64,16	75,41	52,72	62,20	0,0	0,0	0,0	0,0	57,5	62,2			
	Oeste	95,20	76,99	52,88	57,20	61,56	66,16	76,99	52,88	61,56	0,0	0,0	3,0	3,0	60,2	64,6			
RA 22	Vertical	97,48	74,67	46,93	53,90	60,24	61,86	74,67	46,93	60,24	0,0	0,0	6,0	6,0	59,9	66,2	65,10	+/-	0,62
	Norte	101,57	83,50	47,24	51,70	62,33	67,12	83,50	47,24	62,33	0,0	0,0	3,0	3,0	54,7	65,3			
	Sur	96,69	74,10	43,57	51,60	59,19	61,97	74,10	43,57	59,19	0,0	0,0	0,0	0,0	51,6	59,2			
	Este	101,97	79,58	46,76	50,70	62,89	67,12	79,58	46,76	62,89	0,0	0,0	3,0	3,0	53,7	65,9			
	Oeste	98,54	80,05	48,36	52,90	59,84	65,31	80,05	48,36	59,84	0,0	0,0	6,0	6,0	58,9	65,8			
RA 23	Vertical	96,79	59,00	34,39	44,50	47,85	53,92	59,00	34,39	47,85	0,0	0,0	0,0	0,0	44,5	47,8	58,99	+/-	0,62
	Norte	102,00	86,80	42,25	44,70	53,34	70,01	86,80	42,25	53,34	0,0	0,0	6,0	6,0	50,7	59,3			
	Sur	97,51	62,76	43,15	43,70	63,68	70,11	62,76	43,15	63,68	0,0	0,0	0,0	0,0	43,7	63,7			
	Este	99,71	62,95	40,65	44,70	50,52	54,80	62,95	40,65	50,52	0,0	0,0	0,0	0,0	44,7	50,5			
	Oeste	114,47	80,61	18,14	44,50	57,73	63,73	80,61	18,14	57,73	0,0	0,0	0,0	0,0	44,5	57,7			
RA 24	Vertical	97,71	77,73	47,78	53,60	64,40	68,78	77,73	47,78	64,40	0,0	0,0	0,0	0,0	53,6	64,4	66,89	+/-	0,62
	Norte	103,76	80,52	46,67	52,70	64,37	68,22	80,52	46,67	64,37	0,0	0,0	0,0	0,0	52,7	64,4			
	Sur	97,77	75,34	47,61	51,50	62,12	65,51	75,34	47,61	62,12	0,0	0,0	0,0	0,0	51,5	62,1			
	Este	113,24	81,26	44,70	52,10	65,00	71,24	81,26	44,70	65,00	0,0	0,0	0,0	0,0	52,1	65,0			
	Oeste	104,25	84,87	48,89	52,90	65,50	68,61	84,87	48,89	65,50	0,0	0,0	6,0	6,0	58,9	71,5			
RA 25	Vertical	112,15	75,69	46,17	51,00	57,75	65,44	75,69	46,17	57,75	0,0	0,0	3,0	3,0	54,0	60,7	58,09	+/-	0,62
	Norte	98,65	67,97	45,77	50,40	56,93	60,76	67,97	45,77	56,93	0,0	0,0	0,0	0,0	50,4	56,9			
	Sur	89,37	66,95	48,95	52,40	57,33	59,77	66,95	48,95	57,33	0,0	0,0	0,0	0,0	52,4	57,3			
	Este	99,33	70,83	47,62	51,80	57,19	61,52	70,83	47,62	57,19	0,0	0,0	0,0	0,0	51,8	57,2			
	Oeste	91,83	68,16	47,43	50,40	56,79	59,25	68,16	47,43	56,79	0,0	0,0	0,0	0,0	50,4	56,8			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90}	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt		Corregido	Intervalo	Horario	Combinada	
RA 26	Vertical	120,52	96,07	56,78	60,10	75,78	79,48	96,07	56,78	75,78	0,0	0,0	0,0	0,0	60,1	75,8	75,92	+/-	0,62
	Norte	111,90	90,55	56,33	63,50	75,76	81,76	90,55	56,33	75,76	0,0	0,0	3,0	3,0	66,5	78,8			
	Sur	109,89	85,52	57,07	61,40	73,44	75,74	85,52	57,07	73,44	0,0	0,0	0,0	0,0	61,4	73,4			
	Este	117,93	96,90	56,20	61,00	76,30	79,91	96,90	56,20	76,30	0,0	0,0	0,0	0,0	61,0	76,3			
	Oeste	102,34	94,76	58,34	68,50	72,44	73,26	94,76	58,34	72,44	0,0	0,0	0,0	0,0	68,5	72,4			
RA 27	Vertical	107,93	73,15	58,00	59,30	62,00	66,12	73,15	58,00	62,00	0,0	0,0	0,0	0,0	59,3	62,0	62,54	+/-	0,62
	Norte	104,46	80,97	48,22	49,40	57,64	67,05	80,97	48,22	57,64	0,0	0,0	6,0	6,0	55,4	63,6			
	Sur	94,21	73,50	58,36	59,80	62,37	65,16	73,50	58,36	62,37	0,0	0,0	3,0	3,0	62,8	65,4			
	Este	92,26	66,96	48,04	49,60	54,83	57,59	66,96	48,04	54,83	0,0	0,0	0,0	0,0	49,6	54,8			
	Oeste	93,94	69,38	58,36	59,30	61,26	63,75	69,38	58,36	61,26	0,0	0,0	0,0	0,0	59,3	61,3			
RA 28	Vertical	109,69	80,30	48,99	53,80	58,29	67,12	80,30	48,99	58,29	0,0	0,0	0,0	0,0	53,8	58,3	57,51	+/-	0,62
	Norte	107,76	76,50	49,13	52,70	56,61	64,70	76,50	49,13	56,61	0,0	0,0	0,0	0,0	52,7	56,6			
	Sur	97,49	71,87	47,73	53,50	57,26	62,56	71,87	47,73	57,26	0,0	0,0	0,0	0,0	53,5	57,3			
	Este	97,32	66,35	50,25	52,10	54,93	58,52	66,35	50,25	54,93	0,0	0,0	0,0	0,0	52,1	54,9			
	Oeste	99,30	69,09	50,76	52,60	56,26	60,13	69,09	50,76	56,26	0,0	0,0	3,0	3,0	55,6	59,3			
RA 29	Vertical	104,31	77,95	43,87	47,50	55,87	66,38	77,95	43,87	55,87	0,0	0,0	0,0	0,0	47,5	55,9	54,39	+/-	0,62
	Norte	103,10	64,19	39,79	43,20	52,40	56,41	64,19	39,79	52,40	0,0	0,0	6,0	6,0	49,2	58,4			
	Sur	98,13	59,62	41,07	44,00	49,04	55,35	59,62	41,07	49,04	0,0	0,0	0,0	0,0	44,0	49,0			
	Este	91,55	62,37	39,61	43,10	50,14	56,41	62,37	39,61	50,14	0,0	0,0	0,0	0,0	43,1	50,1			
	Oeste	103,87	67,66	42,08	44,90	50,46	57,95	67,66	42,08	50,46	0,0	0,0	0,0	0,0	44,9	50,5			
RA 30	Vertical	88,11	61,04	46,66	50,00	52,54	55,06	61,04	46,66	52,54	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	52,5	57,60	+/-	0,62
	Norte	106,58	83,91	44,54	47,00	54,57	69,04	83,91	44,54	54,57	0,0	0,0	6,0	6,0	53,0	60,6			
	Sur	92,16	71,74	43,97	48,10	56,40	62,63	71,74	43,97	56,40	0,0	0,0	0,0	0,0	48,1	56,4			
	Este	90,84	69,26	44,68	47,80	55,70	60,40	69,26	44,68	55,70	0,0	0,0	0,0	0,0	47,8	55,7			
	Oeste	89,46	71,65	46,04	48,80	55,75	61,90	71,65	46,04	55,75	0,0	0,0	3,0	3,0	51,8	58,7			

Fuente: UT MOVIUS 2022.

- Resultados jornada nocturna hábil

Tabla 430. Resultados jornada nocturna hábil

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 1	Vertical	94,76	77,00	60,11	62,00	68,39	71,90	77,00	60,11	68,39	0,0	0,0	0,0	0,0	62,0	68,4	72,73	+/-	0,62
	Norte	93,93	79,69	55,46	62,20	69,32	70,55	79,69	55,46	69,32	0,0	0,0	0,0	0,0	62,2	69,3			
	Sur	110,28	88,34	58,19	63,60	72,51	74,37	88,34	58,19	72,51	0,0	0,0	0,0	0,0	63,6	72,5			
	Este	97,49	84,33	60,62	64,10	70,32	71,87	84,33	60,62	70,32	0,0	0,0	3,0	3,0	67,1	73,3			
	Oeste	99,07	78,77	59,38	64,20	69,90	71,68	78,77	59,38	69,90	0,0	0,0	6,0	6,0	70,2	75,9			
RA 2	Vertical	98,56	85,25	39,25	43,10	61,03	65,73	85,25	39,25	61,03	0,0	0,0	6,0	6,0	49,1	67,0	65,25	+/-	0,62
	Norte	99,49	82,72	42,63	46,60	63,81	65,78	82,72	42,63	63,81	0,0	0,0	0,0	0,0	46,6	63,8			
	Sur	95,93	80,33	40,00	46,90	61,16	64,04	80,33	40,00	61,16	0,0	0,0	0,0	0,0	46,9	61,2			
	Este	93,45	80,63	41,05	46,30	60,74	62,06	80,63	41,05	60,74	0,0	0,0	3,0	3,0	49,3	63,7			
	Oeste	93,72	79,52	42,69	45,60	61,51	63,78	79,52	42,69	61,51	0,0	0,0	6,0	6,0	51,6	67,5			
RA 3	Vertical	88,40	76,10	42,60	53,00	55,95	56,57	76,10	42,60	55,95	0,0	0,0	3,0	3,0	56,0	58,9	60,41	+/-	0,62
	Norte	89,31	73,65	37,50	41,00	58,10	59,80	73,65	37,50	58,10	0,0	0,0	3,0	3,0	44,0	61,1			
	Sur	91,82	78,87	34,70	36,70	58,22	60,12	78,87	34,70	58,22	0,0	0,0	6,0	6,0	42,7	64,2			
	Este	88,44	73,93	35,90	37,90	55,27	57,69	73,93	35,90	55,27	0,0	0,0	0,0	0,0	37,9	55,3			
	Oeste	87,57	66,39	33,72	36,20	53,47	55,58	66,39	33,72	53,47	0,0	0,0	3,0	3,0	39,2	56,5			
RA 4	Vertical	85,40	65,92	39,97	42,70	51,36	54,52	65,92	39,97	51,36	0,0	0,0	0,0	0,0	42,7	51,4	50,86	+/-	0,62
	Norte	86,27	62,30	37,56	42,00	52,09	56,66	62,30	37,56	52,09	0,0	0,0	0,0	0,0	42,0	52,1			
	Sur	76,85	62,95	37,56	41,60	49,70	51,04	62,95	37,56	49,70	0,0	0,0	0,0	0,0	41,6	49,7			
	Este	98,08	69,57	34,86	38,40	49,02	56,89	69,57	34,86	49,02	0,0	0,0	0,0	0,0	38,4	49,0			
	Oeste	84,15	67,87	36,85	40,40	51,39	53,65	67,87	36,85	51,39	0,0	0,0	0,0	0,0	40,4	51,4			
RA 5	Vertical	92,37	74,63	40,78	44,10	55,75	58,79	74,63	40,78	55,75	0,0	0,0	0,0	0,0	44,1	55,7	52,30	+/-	0,62
	Norte	86,24	62,89	32,53	34,30	48,85	53,64	62,89	32,53	48,85	0,0	0,0	0,0	0,0	34,3	48,9			
	Sur	89,92	65,90	33,02	36,90	48,87	53,21	65,90	33,02	48,87	0,0	0,0	0,0	0,0	36,9	48,9			
	Este	94,36	61,40	32,76	35,10	48,50	54,06	61,40	32,76	48,50	0,0	0,0	3,0	3,0	38,1	51,5			
	Oeste	81,83	66,04	36,44	44,10	52,49	55,36	66,04	36,44	52,49	0,0	0,0	0,0	0,0	44,1	52,5			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 6	Vertical	87,30	72,60	45,95	49,70	60,53	62,40	72,60	45,95	60,53	0,0	0,0	0,0	0,0	49,7	60,5	62,61	+/-	0,62
	Norte	101,54	85,73	47,62	50,80	66,96	68,89	85,73	47,62	66,96	0,0	0,0	0,0	0,0	50,8	67,0			
	Sur	93,68	80,50	46,26	48,40	60,96	62,47	80,50	46,26	60,96	0,0	0,0	0,0	0,0	48,4	61,0			
	Este	85,31	71,59	45,94	49,40	58,22	59,90	71,59	45,94	58,22	0,0	0,0	0,0	0,0	49,4	58,2			
	Oeste	90,04	74,94	44,02	48,60	60,48	62,54	74,94	44,02	60,48	0,0	0,0	0,0	0,0	48,6	60,5			
RA 7	Vertical	95,39	77,44	54,15	59,90	66,94	68,12	77,44	54,15	66,94	0,0	0,0	0,0	0,0	59,9	66,9	70,08	+/-	0,62
	Norte	93,47	81,20	57,55	62,80	68,08	69,29	81,20	57,55	68,08	0,0	0,0	6,0	6,0	68,8	74,1			
	Sur	101,95	85,46	57,45	61,70	68,66	70,39	85,46	57,45	68,66	0,0	0,0	0,0	0,0	61,7	68,7			
	Este	95,32	82,48	55,50	62,80	68,42	69,32	82,48	55,50	68,42	0,0	0,0	0,0	0,0	62,8	68,4			
	Oeste	96,85	79,54	56,21	62,30	67,86	68,80	79,54	56,21	67,86	0,0	0,0	0,0	0,0	62,3	67,9			
RA 8	Vertical	86,33	73,65	42,44	63,30	63,56	64,03	73,65	42,44	63,56	0,0	0,0	6,0	6,0	69,3	69,6	64,93	+/-	0,62
	Norte	90,45	76,99	46,60	50,10	63,18	64,12	76,99	46,60	63,18	0,0	0,0	0,0	0,0	50,1	63,2			
	Sur	91,33	71,09	46,15	52,40	60,86	62,80	71,09	46,15	60,86	0,0	0,0	0,0	0,0	52,4	60,9			
	Este	88,68	70,16	47,02	50,60	60,78	62,88	70,16	47,02	60,78	0,0	0,0	0,0	0,0	50,6	60,8			
	Oeste	94,22	71,67	44,83	47,80	60,12	62,00	71,67	44,83	60,12	0,0	0,0	3,0	3,0	50,8	63,1			
RA 9	Vertical	99,13	87,61	61,37	64,30	71,67	73,22	87,61	61,37	71,67	0,0	0,0	3,0	3,0	67,3	74,7	70,93	+/-	0,62
	Norte	96,31	75,93	58,65	64,70	68,36	69,32	75,93	58,65	68,36	0,0	0,0	0,0	0,0	64,7	68,4			
	Sur	92,62	78,65	61,01	65,00	68,69	69,73	78,65	61,01	68,69	0,0	0,0	0,0	0,0	65,0	68,7			
	Este	97,18	82,60	61,24	65,00	69,68	70,86	82,60	61,24	69,68	0,0	0,0	0,0	0,0	65,0	69,7			
	Oeste	97,40	80,33	62,12	65,00	69,63	71,51	80,33	62,12	69,63	0,0	0,0	0,0	0,0	65,0	69,6			
RA 10	Vertical	102,88	83,16	62,73	69,30	71,36	72,56	83,16	62,73	71,36	0,0	0,0	6,0	6,0	75,3	77,4	74,50	+/-	0,62
	Norte	94,14	70,63	67,55	67,60	69,32	73,03	70,63	67,55	69,32	0,0	0,0	3,0	3,0	70,6	72,3			
	Sur	107,01	84,02	62,73	65,10	72,71	74,19	84,02	62,73	72,71	0,0	0,0	0,0	0,0	65,1	72,7			
	Este	109,24	84,47	62,11	65,00	71,94	73,56	84,47	62,11	71,94	0,0	0,0	3,0	3,0	68,0	74,9			
	Oeste	102,95	83,84	62,19	64,90	72,93	75,10	83,84	62,19	72,93	0,0	0,0	0,0	0,0	64,9	72,9			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 11	Vertical	98,17	76,29	48,34	53,80	67,09	68,16	76,29	48,34	67,09	0,0	0,0	0,0	0,0	53,8	67,1	69,17	+/-	0,62
	Norte	100,14	80,83	55,28	59,60	69,07	71,17	80,83	55,28	69,07	0,0	0,0	0,0	0,0	59,6	69,1			
	Sur	100,08	80,66	52,48	57,00	69,12	70,41	80,66	52,48	69,12	0,0	0,0	0,0	0,0	57,0	69,1			
	Este	102,16	81,89	50,61	55,40	69,14	70,37	81,89	50,61	69,14	0,0	0,0	0,0	0,0	55,4	69,1			
	Oeste	105,67	82,36	51,85	56,60	70,70	72,07	82,36	51,85	70,70	0,0	0,0	0,0	0,0	56,6	70,7			
RA 12	Vertical	93,11	71,02	44,45	47,20	54,03	55,72	71,02	44,45	54,03	0,0	0,0	0,0	0,0	47,2	54,0	61,02	+/-	0,62
	Norte	86,22	60,79	43,81	47,80	52,19	53,68	60,79	43,81	52,19	0,0	0,0	0,0	0,0	47,8	52,2			
	Sur	96,54	66,51	44,26	47,40	52,66	56,59	66,51	44,26	52,66	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	52,7			
	Este	89,43	75,06	45,51	47,30	55,73	59,55	75,06	45,51	55,73	0,0	0,0	3,0	3,0	50,3	58,7			
	Oeste	97,03	82,60	44,98	47,80	60,96	66,54	82,60	44,98	60,96	0,0	0,0	6,0	6,0	53,8	67,0			
RA 13	Vertical	108,67	78,66	41,03	47,20	58,43	66,56	78,66	41,03	58,43	0,0	0,0	0,0	0,0	47,2	58,4	57,78	+/-	0,62
	Norte	100,21	79,46	39,34	43,60	59,97	63,17	79,46	39,34	59,97	0,0	0,0	0,0	0,0	43,6	60,0			
	Sur	96,46	73,45	34,67	39,40	55,57	58,06	73,45	34,67	55,57	0,0	0,0	0,0	0,0	39,4	55,6			
	Este	96,00	72,35	34,97	39,30	56,19	58,87	72,35	34,97	56,19	0,0	0,0	0,0	0,0	39,3	56,2			
	Oeste	94,96	75,70	37,10	41,70	57,28	60,89	75,70	37,10	57,28	0,0	0,0	0,0	0,0	41,7	57,3			
RA 14	Vertical	106,24	84,77	58,04	66,80	76,09	77,02	84,77	58,04	76,09	0,0	0,0	0,0	0,0	66,8	76,1	75,96	+/-	0,62
	Norte	104,81	84,43	62,66	68,40	75,45	76,49	84,43	62,66	75,45	0,0	0,0	0,0	0,0	68,4	75,5			
	Sur	109,43	87,47	62,16	68,60	76,00	78,06	87,47	62,16	76,00	0,0	0,0	0,0	0,0	68,6	76,0			
	Este	107,66	87,66	63,92	68,40	75,63	76,72	87,66	63,92	75,63	0,0	0,0	0,0	0,0	68,4	75,6			
	Oeste	109,86	90,11	65,82	69,60	76,55	77,82	90,11	65,82	76,55	0,0	0,0	0,0	0,0	69,6	76,6			
RA 15	Vertical	95,99	79,23	54,80	59,10	64,86	66,23	79,23	54,80	64,86	0,0	0,0	6,0	6,0	65,1	70,9	68,19	+/-	0,62
	Norte	96,60	72,83	58,91	60,70	64,96	65,76	72,83	58,91	64,96	0,0	0,0	0,0	0,0	60,7	65,0			
	Sur	94,91	76,99	56,20	59,50	64,34	65,15	76,99	56,20	64,34	0,0	0,0	6,0	6,0	65,5	70,3			
	Este	101,26	82,20	55,69	59,10	65,53	66,77	82,20	55,69	65,53	0,0	0,0	0,0	0,0	59,1	65,5			
	Oeste	99,30	76,86	55,00	59,70	65,11	66,19	76,86	55,00	65,11	0,0	0,0	0,0	0,0	59,7	65,1			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 16	Vertical	96,71	79,54	54,55	56,70	65,88	67,50	79,54	54,55	65,88	0,0	0,0	0,0	0,0	56,7	65,9	65,33	+/-	0,62
	Norte	95,75	74,90	53,96	55,80	64,45	66,15	74,90	53,96	64,45	0,0	0,0	0,0	0,0	55,8	64,4			
	Sur	98,38	77,31	52,13	55,20	64,89	66,35	77,31	52,13	64,89	0,0	0,0	0,0	0,0	55,2	64,9			
	Este	95,40	76,69	51,21	55,60	64,39	65,87	76,69	51,21	64,39	0,0	0,0	0,0	0,0	55,6	64,4			
	Oeste	100,51	79,38	52,67	57,20	66,60	67,95	79,38	52,67	66,60	0,0	0,0	0,0	0,0	57,2	66,6			
RA 17	Vertical	105,16	83,85	57,20	62,20	70,56	72,07	83,85	57,20	70,56	0,0	0,0	0,0	0,0	62,2	70,6	75,41	+/-	0,63
	Norte	115,94	90,23	60,35	63,60	72,57	75,67	90,23	60,35	72,57	0,0	0,0	0,0	0,0	63,6	72,6			
	Sur	101,59	83,34	60,26	64,60	71,60	74,43	83,34	60,26	71,60	0,0	0,0	6,0	6,0	70,6	77,6			
	Este	106,91	86,28	60,64	65,00	72,89	74,46	86,28	60,64	72,89	0,0	0,0	6,0	6,0	71,0	78,9			
	Oeste	95,47	72,10	65,14	66,60	69,60	70,68	72,10	65,14	69,60	0,0	0,0	0,0	0,0	66,6	69,6			
RA 18	Vertical	100,64	80,86	60,13	63,70	68,76	70,03	80,86	60,13	68,76	0,0	0,0	0,0	0,0	63,7	68,8	73,43	+/-	0,62
	Norte	103,58	82,54	62,01	65,00	70,36	73,18	82,54	62,01	70,36	0,0	0,0	0,0	0,0	65,0	70,4			
	Sur	114,40	93,26	60,61	64,20	72,47	75,44	93,26	60,61	72,47	0,0	0,0	3,0	3,0	67,2	75,5			
	Este	105,50	83,05	60,44	64,00	69,78	72,03	83,05	60,44	69,78	0,0	0,0	6,0	6,0	70,0	75,8			
	Oeste	106,00	86,31	60,77	64,00	69,74	72,16	86,31	60,77	69,74	0,0	0,0	3,0	3,0	67,0	72,7			
RA 19	Vertical	96,32	78,06	50,48	56,50	66,71	68,02	78,06	50,48	66,71	0,0	0,0	0,0	0,0	56,5	66,7	72,43	+/-	0,62
	Norte	99,29	79,27	44,07	54,90	68,95	69,85	79,27	44,07	68,95	0,0	0,0	0,0	0,0	54,9	68,9			
	Sur	102,82	82,91	51,53	57,80	69,98	70,96	82,91	51,53	69,98	0,0	0,0	6,0	6,0	63,8	76,0			
	Este	96,15	85,20	49,47	59,70	74,40	77,31	85,20	49,47	74,40	0,0	0,0	0,0	0,0	59,7	74,4			
	Oeste	99,49	82,61	48,21	54,20	68,93	70,11	82,61	48,21	68,93	0,0	0,0	0,0	0,0	54,2	68,9			
RA 20	Vertical	97,49	79,27	41,21	50,70	67,52	68,37	79,27	41,21	67,52	0,0	0,0	0,0	0,0	50,7	67,5	68,89	+/-	0,62
	Norte	100,44	78,51	45,21	53,50	68,68	69,61	78,51	45,21	68,68	0,0	0,0	0,0	0,0	53,5	68,7			
	Sur	96,87	79,43	41,11	50,30	68,36	69,19	79,43	41,11	68,36	0,0	0,0	0,0	0,0	50,3	68,4			
	Este	105,06	85,78	48,16	53,90	70,99	72,07	85,78	48,16	70,99	0,0	0,0	0,0	0,0	53,9	71,0			
	Oeste	101,47	82,34	39,28	50,50	67,99	69,22	82,34	39,28	67,99	0,0	0,0	0,0	0,0	50,5	68,0			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 21	Vertical	96,86	67,60	37,89	39,80	51,90	56,22	67,60	37,89	51,90	0,0	0,0	0,0	0,0	39,8	51,9	52,20	+/-	0,62
	Norte	86,39	62,60	38,03	41,40	51,43	52,96	62,60	38,03	51,43	0,0	0,0	0,0	0,0	41,4	51,4			
	Sur	86,42	60,75	37,17	41,30	51,95	53,58	60,75	37,17	51,95	0,0	0,0	0,0	0,0	41,3	52,0			
	Este	92,06	63,17	38,25	42,90	51,83	53,52	63,17	38,25	51,83	0,0	0,0	0,0	0,0	42,9	51,8			
	Oeste	94,60	69,19	37,42	41,90	53,55	56,14	69,19	37,42	53,55	0,0	0,0	0,0	0,0	41,9	53,6			
RA 22	Vertical	91,02	66,47	31,40	32,50	48,83	49,62	66,47	31,40	48,83	0,0	0,0	0,0	0,0	32,5	48,8	47,34	+/-	0,62
	Norte	86,99	59,09	31,52	32,30	42,71	45,60	59,09	31,52	42,71	0,0	0,0	3,0	3,0	35,3	45,7			
	Sur	77,43	52,22	30,66	31,30	38,38	41,59	52,22	30,66	38,38	0,0	0,0	0,0	0,0	31,3	38,4			
	Este	101,22	69,57	31,12	31,80	49,60	53,89	69,57	31,12	49,60	0,0	0,0	0,0	0,0	31,8	49,6			
	Oeste	88,51	63,00	30,87	31,60	47,73	48,85	63,00	30,87	47,73	0,0	0,0	0,0	0,0	31,6	47,7			
RA 23	Vertical	93,65	65,35	41,39	44,10	49,84	58,87	65,35	41,39	49,84	0,0	0,0	0,0	0,0	44,1	49,8	52,75	+/-	0,62
	Norte	87,93	62,22	45,55	46,50	51,65	54,39	62,22	45,55	51,65	0,0	0,0	6,0	6,0	52,5	57,6			
	Sur	84,28	61,49	42,82	44,80	48,18	52,47	61,49	42,82	48,18	0,0	0,0	0,0	0,0	44,8	48,2			
	Este	84,40	65,15	38,44	40,80	52,26	53,83	65,15	38,44	52,26	0,0	0,0	0,0	0,0	40,8	52,3			
	Oeste	90,47	71,26	42,99	43,70	44,79	47,48	71,26	42,99	44,79	0,0	0,0	0,0	0,0	43,7	44,8			
RA 24	Vertical	106,41	80,78	48,42	53,30	66,70	68,93	80,78	48,42	66,70	0,0	0,0	0,0	0,0	53,3	66,7	66,62	+/-	0,62
	Norte	101,50	80,92	50,52	55,80	67,29	68,88	80,92	50,52	67,29	0,0	0,0	0,0	0,0	55,8	67,3			
	Sur	102,33	79,99	18,16	54,90	64,86	67,12	79,99	18,16	64,86	0,0	0,0	0,0	0,0	54,9	64,9			
	Este	105,90	87,74	50,25	58,00	66,91	68,92	87,74	50,25	66,91	0,0	0,0	0,0	0,0	58,0	66,9			
	Oeste	109,70	86,08	49,78	57,10	66,97	73,91	86,08	49,78	66,97	0,0	0,0	0,0	0,0	57,1	67,0			
RA 25	Vertical	88,46	67,75	43,84	47,90	55,93	57,54	67,75	43,84	55,93	0,0	0,0	0,0	0,0	47,9	55,9	57,92	+/-	0,62
	Norte	92,73	68,53	45,70	48,80	56,92	58,61	68,53	45,70	56,92	0,0	0,0	0,0	0,0	48,8	56,9			
	Sur	98,58	72,95	43,46	48,10	57,20	58,54	72,95	43,46	57,20	0,0	0,0	0,0	0,0	48,1	57,2			
	Este	107,25	82,63	43,88	48,30	60,95	64,29	82,63	43,88	60,95	0,0	0,0	0,0	0,0	48,3	60,9			
	Oeste	89,62	70,24	42,25	47,60	56,51	57,86	70,24	42,25	56,51	0,0	0,0	0,0	0,0	47,6	56,5			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 26	Vertical	102,58	82,83	46,81	51,40	64,48	66,24	82,83	46,81	64,48	0,0	0,0	0,0	0,0	51,4	64,5	64,97	+/-	0,62
	Norte	98,97	79,01	49,15	54,20	63,52	64,64	79,01	49,15	63,52	0,0	0,0	0,0	0,0	54,2	63,5			
	Sur	95,80	75,86	49,35	53,70	63,01	64,44	75,86	49,35	63,01	0,0	0,0	0,0	0,0	53,7	63,0			
	Este	98,78	77,94	50,57	54,40	63,98	65,57	77,94	50,57	63,98	0,0	0,0	0,0	0,0	54,4	64,0			
	Oeste	110,86	89,92	47,57	51,00	67,88	70,20	89,92	47,57	67,88	0,0	0,0	0,0	0,0	51,0	67,9			
RA 27	Vertical	91,14	73,11	39,07	44,70	53,81	60,83	73,11	39,07	53,81	0,0	0,0	3,0	3,0	47,7	56,8	59,25	+/-	0,62
	Norte	89,31	64,90	42,22	44,90	52,40	54,57	64,90	42,22	52,40	0,0	0,0	0,0	0,0	44,9	52,4			
	Sur	91,65	64,53	45,56	50,20	55,79	57,45	64,53	45,56	55,79	0,0	0,0	3,0	3,0	53,2	58,8			
	Este	86,54	67,97	42,72	45,50	54,63	55,87	67,97	42,72	54,63	0,0	0,0	3,0	3,0	48,5	57,6			
	Oeste	92,81	73,09	43,54	46,80	60,45	68,72	73,09	43,54	60,45	0,0	0,0	3,0	3,0	49,8	63,4			
RA 28	Vertical	88,26	56,23	37,69	38,90	41,76	45,68	56,23	37,69	41,76	0,0	0,0	0,0	0,0	38,9	41,8	46,83	+/-	0,62
	Norte	87,12	57,57	38,72	40,20	46,18	50,74	57,57	38,72	46,18	0,0	0,0	0,0	0,0	40,2	46,2			
	Sur	87,90	60,60	38,50	39,60	47,43	50,06	60,60	38,50	47,43	0,0	0,0	0,0	0,0	39,6	47,4			
	Este	87,57	58,29	37,89	39,40	44,55	48,77	58,29	37,89	44,55	0,0	0,0	0,0	0,0	39,4	44,6			
	Oeste	97,19	61,55	38,00	39,60	47,04	53,84	61,55	38,00	47,04	0,0	0,0	3,0	3,0	42,6	50,0			
RA 29	Vertical	94,50	64,77	35,80	36,40	40,50	52,67	64,77	35,80	40,50	0,0	0,0	0,0	0,0	36,4	40,5	41,48	+/-	0,61
	Norte	95,55	66,29	35,62	36,40	46,43	58,88	66,29	35,62	46,43	0,0	0,0	0,0	0,0	36,4	46,4			
	Sur	84,88	52,11	35,03	35,60	36,90	41,57	52,11	35,03	36,90	0,0	0,0	0,0	0,0	35,6	36,9			
	Este	79,03	51,94	35,08	35,60	37,15	40,87	51,94	35,08	37,15	0,0	0,0	0,0	0,0	35,6	37,1			
	Oeste	78,60	52,71	35,41	35,80	37,02	39,88	52,71	35,41	37,02	0,0	0,0	0,0	0,0	35,8	37,0			
RA 30	Vertical	86,25	59,94	35,02	36,50	43,77	45,88	59,94	35,02	43,77	0,0	0,0	0,0	0,0	36,5	43,8	42,31	+/-	0,62
	Norte	86,24	56,77	36,91	38,30	42,62	45,85	56,77	36,91	42,62	0,0	0,0	0,0	0,0	38,3	42,6			
	Sur	92,85	64,30	37,57	38,40	44,83	51,97	64,30	37,57	44,83	0,0	0,0	0,0	0,0	38,4	44,8			
	Este	84,27	53,80	35,28	36,20	38,31	42,67	53,80	35,28	38,31	0,0	0,0	0,0	0,0	36,2	38,3			
	Oeste	79,31	47,66	35,39	36,10	37,73	40,01	47,66	35,39	37,73	0,0	0,0	0,0	0,0	36,1	37,7			

Fuente: UT MOVIUS 2022.

- Resultados jornada nocturno no hábil

Tabla 431. Resultados jornada nocturno no hábil

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90}	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt		Corregido	Intervalo	Horario	Combinada	
RA 1	Vertical	105,03	80,72	53,04	57,90	67,77	69,58	80,72	53,04	67,77	0,0	0,0	0,0	0,0	57,9	67,8	67,33	+/-	0,62
	Norte	100,64	79,40	54,08	60,30	67,77	69,66	79,40	54,08	67,77	0,0	0,0	0,0	0,0	60,3	67,8			
	Sur	98,85	77,22	53,65	60,00	67,27	68,68	77,22	53,65	67,27	0,0	0,0	0,0	0,0	60,0	67,3			
	Este	99,37	79,63	52,89	58,60	67,41	69,02	79,63	52,89	67,41	0,0	0,0	0,0	0,0	58,6	67,4			
	Oeste	99,42	79,22	55,49	59,40	66,26	67,59	79,22	55,49	66,26	0,0	0,0	0,0	0,0	59,4	66,3			
RA 2	Vertical	119,92	97,68	74,11	75,70	81,30	84,91	97,68	74,11	81,30	0,0	0,0	3,0	3,0	78,7	84,3	84,12	+/-	0,62
	Norte	117,83	92,53	74,19	75,80	80,83	82,72	92,53	74,19	80,83	0,0	0,0	3,0	3,0	78,8	83,8			
	Sur	120,28	98,36	74,51	76,90	81,94	85,73	98,36	74,51	81,94	0,0	0,0	0,0	0,0	76,9	81,9			
	Este	119,35	93,54	73,23	75,80	80,21	83,17	93,54	73,23	80,21	0,0	0,0	6,0	6,0	81,8	86,2			
	Oeste	117,64	89,00	74,15	76,00	80,15	82,16	89,00	74,15	80,15	0,0	0,0	3,0	3,0	79,0	83,2			
RA 3	Vertical	99,31	81,88	38,19	43,90	62,36	64,66	81,88	38,19	62,36	0,0	0,0	3,0	3,0	46,9	65,4	62,76	+/-	0,62
	Norte	93,16	75,93	40,32	42,20	61,34	62,88	75,93	40,32	61,34	0,0	0,0	0,0	0,0	42,2	61,3			
	Sur	91,96	72,81	40,15	43,70	61,14	62,11	72,81	40,15	61,14	0,0	0,0	0,0	0,0	43,7	61,1			
	Este	100,18	76,87	40,02	42,30	62,08	63,29	76,87	40,02	62,08	0,0	0,0	0,0	0,0	42,3	62,1			
	Oeste	97,63	74,00	38,62	42,30	62,36	63,36	74,00	38,62	62,36	0,0	0,0	0,0	0,0	42,3	62,4			
RA 4	Vertical	114,65	90,02	64,98	68,50	76,23	77,78	90,02	64,98	76,23	0,0	0,0	0,0	0,0	68,5	76,2	76,48	+/-	0,62
	Norte	109,49	86,23	65,36	68,30	75,27	77,16	86,23	65,36	75,27	0,0	0,0	0,0	0,0	68,3	75,3			
	Sur	114,38	93,87	64,56	67,10	75,76	81,26	93,87	64,56	75,76	0,0	0,0	3,0	3,0	70,1	78,8			
	Este	112,19	89,59	64,83	67,90	75,56	77,35	89,59	64,83	75,56	0,0	0,0	0,0	0,0	67,9	75,6			
	Oeste	110,90	85,43	63,89	67,70	75,49	77,23	85,43	63,89	75,49	0,0	0,0	0,0	0,0	67,7	75,5			
RA 5	Vertical	96,60	77,72	34,64	37,90	53,64	62,34	77,72	34,64	53,64	0,0	0,0	6,0	6,0	43,9	59,6	54,45	+/-	0,62
	Norte	87,12	66,78	36,72	40,60	50,40	53,67	66,78	36,72	50,40	0,0	0,0	0,0	0,0	40,6	50,4			
	Sur	83,97	65,78	34,84	39,50	49,76	53,84	65,78	34,84	49,76	0,0	0,0	3,0	3,0	42,5	52,8			
	Este	83,94	61,24	36,82	40,90	49,09	51,34	61,24	36,82	49,09	0,0	0,0	0,0	0,0	40,9	49,1			
	Oeste	89,90	67,03	34,94	37,80	49,63	51,87	67,03	34,94	49,63	0,0	0,0	0,0	0,0	37,8	49,6			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90}	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt		Corregido	Intervalo	Horario		
RA 6	Vertical	109,79	87,39	55,63	64,60	73,96	76,40	87,39	55,63	73,96	0,0	0,0	0,0	0,0	64,6	74,0	81,52	+/-	0,62
	Norte	131,43	108,49	65,42	70,60	87,76	90,83	108,49	65,42	87,76	0,0	0,0	0,0	0,0	70,6	87,8			
	Sur	110,73	90,67	59,39	67,00	75,10	76,79	90,67	59,39	75,10	0,0	0,0	0,0	0,0	67,0	75,1			
	Este	113,95	85,36	58,24	64,50	73,00	76,13	85,36	58,24	73,00	0,0	0,0	3,0	3,0	67,5	76,0			
	Oeste	106,65	81,91	59,69	66,90	71,86	73,69	81,91	59,69	71,86	0,0	0,0	0,0	0,0	66,9	71,9			
RA 7	Vertical	93,38	75,19	53,33	59,20	64,77	66,01	75,19	53,33	64,77	0,0	0,0	0,0	0,0	59,2	64,8	69,45	+/-	0,62
	Norte	87,90	72,56	51,06	58,60	64,44	65,14	72,56	51,06	64,44	0,0	0,0	0,0	0,0	58,6	64,4			
	Sur	94,72	72,76	51,12	57,80	64,88	65,62	72,76	51,12	64,88	0,0	0,0	0,0	0,0	57,8	64,9			
	Este	111,16	91,67	51,00	57,30	70,89	74,74	91,67	51,00	70,89	0,0	0,0	3,0	3,0	60,3	73,9			
	Oeste	95,42	74,75	50,26	56,50	64,28	65,23	74,75	50,26	64,28	0,0	0,0	6,0	6,0	62,5	70,3			
RA 8	Vertical	113,72	90,98	66,46	70,70	80,95	82,17	90,98	66,46	80,95	0,0	0,0	3,0	3,0	73,7	84,0	84,51	+/-	0,62
	Norte	111,90	90,88	66,30	71,60	81,18	82,85	90,88	66,30	81,18	0,0	0,0	0,0	0,0	71,6	81,2			
	Sur	121,75	99,08	66,59	72,70	82,78	84,92	99,08	66,59	82,78	0,0	0,0	3,0	3,0	75,7	85,8			
	Este	128,55	105,03	69,17	73,70	87,31	90,10	105,03	69,17	87,31	0,0	0,0	0,0	0,0	73,7	87,3			
	Oeste	114,00	89,83	65,67	70,50	80,64	82,21	89,83	65,67	80,64	0,0	0,0	0,0	0,0	70,5	80,6			
RA 9	Vertical	101,04	79,31	55,70	63,10	68,86	70,35	79,31	55,70	68,86	0,0	0,0	6,0	6,0	69,1	74,9	70,00	+/-	0,62
	Norte	94,68	77,96	52,73	57,30	65,87	67,02	77,96	52,73	65,87	0,0	0,0	0,0	0,0	57,3	65,9			
	Sur	99,01	79,45	54,33	59,90	66,75	68,21	79,45	54,33	66,75	0,0	0,0	0,0	0,0	59,9	66,7			
	Este	97,76	77,25	53,04	59,70	66,52	68,29	77,25	53,04	66,52	0,0	0,0	0,0	0,0	59,7	66,5			
	Oeste	97,72	79,75	57,47	62,10	67,98	70,06	79,75	57,47	67,98	0,0	0,0	0,0	0,0	62,1	68,0			
RA10	Vertical	126,78	105,41	75,13	69,30	91,14	92,60	105,41	75,13	91,14	0,0	0,0	0,0	0,0	69,3	91,1	90,56	+/-	0,62
	Norte	126,53	106,23	72,90	79,00	90,13	93,62	106,23	72,90	90,13	0,0	0,0	0,0	0,0	79,0	90,1			
	Sur	120,12	99,65	70,90	79,10	88,71	90,58	99,65	70,90	88,71	0,0	0,0	0,0	0,0	79,1	88,7			
	Este	118,41	100,23	71,55	77,70	88,87	90,22	100,23	71,55	88,87	0,0	0,0	0,0	0,0	77,7	88,9			
	Oeste	118,23	99,68	74,94	80,70	89,64	90,54	99,68	74,94	89,64	0,0	0,0	3,0	3,0	83,7	92,6			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90}	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt		Corregido	Intervalo	Horario		
RA 11	Vertical	105,26	85,61	50,29	57,70	69,56	71,19	85,61	50,29	69,56	0,0	0,0	0,0	0,0	57,7	69,6	73,94	+/-	0,62
	Norte	104,26	91,46	52,02	56,10	72,89	74,71	91,46	52,02	72,89	0,0	0,0	3,0	3,0	59,1	75,9			
	Sur	106,20	86,02	54,23	57,90	69,82	71,44	86,02	54,23	69,82	0,0	0,0	6,0	6,0	63,9	75,8			
	Este	100,79	81,60	52,03	57,60	69,76	70,95	81,60	52,03	69,76	0,0	0,0	0,0	0,0	57,6	69,8			
	Oeste	102,06	82,68	52,46	57,10	68,54	70,25	82,68	52,46	68,54	0,0	0,0	6,0	6,0	63,1	74,5			
RA 12	Vertical	91,20	67,79	47,30	51,40	58,81	59,86	67,79	47,30	58,81	0,0	0,0	0,0	0,0	51,4	58,8	58,26	+/-	0,62
	Norte	89,23	62,42	45,43	48,80	53,04	54,66	62,42	45,43	53,04	0,0	0,0	0,0	0,0	48,8	53,0			
	Sur	91,76	74,43	46,33	50,40	57,89	61,21	74,43	46,33	57,89	0,0	0,0	0,0	0,0	50,4	57,9			
	Este	93,79	70,84	46,70	49,10	59,23	60,69	70,84	46,70	59,23	0,0	0,0	0,0	0,0	49,1	59,2			
	Oeste	95,17	74,97	44,53	51,20	59,71	61,47	74,97	44,53	59,71	0,0	0,0	0,0	0,0	51,2	59,7			
RA 13	Vertical	89,96	69,31	39,55	43,10	55,78	57,55	69,31	39,55	55,78	0,0	0,0	0,0	0,0	43,1	55,8	56,71	+/-	0,62
	Norte	91,00	67,83	36,97	42,80	55,37	57,38	67,83	36,97	55,37	0,0	0,0	0,0	0,0	42,8	55,4			
	Sur	89,23	68,25	36,93	44,70	56,49	59,22	68,25	36,93	56,49	0,0	0,0	0,0	0,0	44,7	56,5			
	Este	100,42	79,16	39,42	45,50	58,63	63,72	79,16	39,42	58,63	0,0	0,0	0,0	0,0	45,5	58,6			
	Oeste	89,74	66,89	40,01	46,60	56,48	59,47	66,89	40,01	56,48	0,0	0,0	0,0	0,0	46,6	56,5			
RA 14	Vertical	99,62	81,56	56,99	62,20	71,39	72,26	81,56	56,99	71,39	0,0	0,0	6,0	6,0	68,2	77,4	73,97	+/-	0,62
	Norte	103,08	85,48	51,70	61,30	72,48	73,38	85,48	51,70	72,48	0,0	0,0	0,0	0,0	61,3	72,5			
	Sur	107,80	82,69	54,41	61,50	72,70	73,77	82,69	54,41	72,70	0,0	0,0	0,0	0,0	61,5	72,7			
	Este	102,71	81,33	53,65	61,90	72,01	73,05	81,33	53,65	72,01	0,0	0,0	0,0	0,0	61,9	72,0			
	Oeste	103,40	84,85	56,51	62,30	72,49	73,58	84,85	56,51	72,49	0,0	0,0	0,0	0,0	62,3	72,5			
RA 15	Vertical	97,09	78,74	46,08	53,10	60,00	61,26	78,74	46,08	60,00	0,0	0,0	0,0	0,0	53,1	60,0	66,19	+/-	0,62
	Norte	92,00	65,92	49,60	53,50	57,89	58,98	65,92	49,60	57,89	0,0	0,0	0,0	0,0	53,5	57,9			
	Sur	99,71	86,08	46,81	51,60	65,16	67,73	86,08	46,81	65,16	0,0	0,0	6,0	6,0	57,6	71,2			
	Este	93,06	74,73	49,03	53,10	59,74	62,22	74,73	49,03	59,74	0,0	0,0	6,0	6,0	59,1	65,7			
	Oeste	91,99	67,72	46,80	51,20	57,73	58,63	67,72	46,80	57,73	0,0	0,0	6,0	6,0	57,2	63,7			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 16	Vertical	99,51	78,62	49,19	54,90	62,85	64,64	78,62	49,19	62,85	0,0	0,0	3,0	3,0	57,9	65,9	64,73	+/-	0,62
	Norte	93,81	70,24	49,17	53,30	61,59	62,58	70,24	49,17	61,59	0,0	0,0	0,0	0,0	53,3	61,6			
	Sur	99,87	78,68	49,66	52,60	62,28	63,90	78,68	49,66	62,28	0,0	0,0	0,0	0,0	52,6	62,3			
	Este	92,09	70,53	47,40	55,70	62,95	64,56	70,53	47,40	62,95	0,0	0,0	0,0	0,0	55,7	63,0			
	Oeste	97,64	83,94	49,54	54,90	64,70	67,23	83,94	49,54	64,70	0,0	0,0	3,0	3,0	57,9	67,7			
RA 17	Vertical	99,82	80,81	55,81	60,00	67,53	69,30	80,81	55,81	67,53	0,0	0,0	0,0	0,0	60,0	67,5	69,72	+/-	0,62
	Norte	104,97	83,95	58,26	60,90	69,83	71,10	83,95	58,26	69,83	0,0	0,0	0,0	0,0	60,9	69,8			
	Sur	101,16	78,09	57,45	61,30	68,34	69,66	78,09	57,45	68,34	0,0	0,0	0,0	0,0	61,3	68,3			
	Este	102,75	81,12	55,81	61,30	69,64	71,41	81,12	55,81	69,64	0,0	0,0	0,0	0,0	61,3	69,6			
	Oeste	104,82	85,05	53,35	58,80	68,92	70,74	85,05	53,35	68,92	0,0	0,0	3,0	3,0	61,8	71,9			
RA 18	Vertical	99,57	77,89	57,65	61,80	67,72	69,44	77,89	57,65	67,72	0,0	0,0	6,0	6,0	67,8	73,7	71,74	+/-	0,62
	Norte	103,85	79,43	60,29	63,60	68,98	70,80	79,43	60,29	68,98	0,0	0,0	0,0	0,0	63,6	69,0			
	Sur	101,56	74,34	60,76	63,30	67,71	68,74	74,34	60,76	67,71	0,0	0,0	6,0	6,0	69,3	73,7			
	Este	99,64	79,89	57,92	62,50	68,31	69,86	79,89	57,92	68,31	0,0	0,0	0,0	0,0	62,5	68,3			
	Oeste	102,60	77,78	58,05	62,30	68,08	70,50	77,78	58,05	68,08	0,0	0,0	3,0	3,0	65,3	71,1			
RA 19	Vertical	101,40	83,58	55,02	62,30	70,27	71,24	83,58	55,02	70,27	0,0	0,0	0,0	0,0	62,3	70,3	69,81	+/-	0,62
	Norte	102,64	83,01	52,30	58,80	69,60	70,72	83,01	52,30	69,60	0,0	0,0	0,0	0,0	58,8	69,6			
	Sur	101,45	82,00	51,78	58,20	70,08	71,32	82,00	51,78	70,08	0,0	0,0	0,0	0,0	58,2	70,1			
	Este	100,08	79,22	49,78	59,20	69,48	70,59	79,22	49,78	69,48	0,0	0,0	0,0	0,0	59,2	69,5			
	Oeste	100,50	79,45	50,84	57,90	69,53	70,45	79,45	50,84	69,53	0,0	0,0	0,0	0,0	57,9	69,5			
RA 20	Vertical	103,87	81,58	49,94	57,10	71,12	72,14	81,58	49,94	71,12	0,0	0,0	0,0	0,0	57,1	71,1	70,14	+/-	0,62
	Norte	97,05	78,48	44,14	49,40	69,43	70,29	78,48	44,14	69,43	0,0	0,0	0,0	0,0	49,4	69,4			
	Sur	99,54	78,20	47,26	52,80	68,92	69,80	78,20	47,26	68,92	0,0	0,0	0,0	0,0	52,8	68,9			
	Este	101,95	86,52	42,74	53,90	70,30	71,72	86,52	42,74	70,30	0,0	0,0	0,0	0,0	53,9	70,3			
	Oeste	101,99	79,93	46,90	55,30	70,57	71,62	79,93	46,90	70,57	0,0	0,0	0,0	0,0	55,3	70,6			

ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 21	Vertical	92,10	71,78	41,83	54,50	60,27	61,45	71,78	41,83	60,27	0,0	0,0	0,0	0,0	54,5	60,3	59,72	+/-	0,62
	Norte	100,97	74,95	42,48	50,00	57,39	63,32	74,95	42,48	57,39	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	57,4			
	Sur	96,75	76,67	42,00	51,20	60,56	66,03	76,67	42,00	60,56	0,0	0,0	0,0	0,0	51,2	60,6			
	Este	96,46	75,79	46,27	52,20	58,62	59,78	75,79	46,27	58,62	0,0	0,0	0,0	0,0	52,2	58,6			
	Oeste	89,65	66,47	43,66	51,80	57,84	59,16	66,47	43,66	57,84	0,0	0,0	3,0	3,0	54,8	60,8			
RA 22	Vertical	92,52	68,62	38,33	44,60	55,66	58,59	68,62	38,33	55,66	0,0	0,0	0,0	0,0	44,6	55,7	59,09	+/-	0,62
	Norte	97,73	68,26	42,30	45,50	56,67	57,97	68,26	42,30	56,67	0,0	0,0	0,0	0,0	45,5	56,7			
	Sur	95,15	75,57	38,20	40,80	55,95	57,48	75,57	38,20	55,95	0,0	0,0	0,0	0,0	40,8	56,0			
	Este	96,68	75,64	38,60	40,30	55,13	57,67	75,64	38,60	55,13	0,0	0,0	0,0	0,0	40,3	55,1			
	Oeste	103,23	83,18	39,48	42,20	63,98	66,82	83,18	39,48	63,98	0,0	0,0	0,0	0,0	42,2	64,0			
RA 23	Vertical	75,14	58,49	35,61	37,80	44,29	49,76	58,49	35,61	44,29	0,0	0,0	0,0	0,0	37,8	44,3	46,12	+/-	0,62
	Norte	87,39	52,44	38,36	39,50	41,70	44,01	52,44	38,36	41,70	0,0	0,0	0,0	0,0	39,5	41,7			
	Sur	77,79	52,73	37,17	38,60	40,93	43,60	52,73	37,17	40,93	0,0	0,0	0,0	0,0	38,6	40,9			
	Este	79,93	58,39	37,10	38,20	42,89	48,93	58,39	37,10	42,89	0,0	0,0	0,0	0,0	38,2	42,9			
	Oeste	89,57	62,90	36,31	37,90	48,18	57,10	62,90	36,31	48,18	0,0	0,0	3,0	3,0	40,9	51,2			
RA 24	Vertical	95,63	77,90	47,35	50,20	60,43	62,79	77,90	47,35	60,43	0,0	0,0	0,0	0,0	50,2	60,4	64,82	+/-	0,62
	Norte	96,02	77,63	49,75	54,00	62,88	65,96	77,63	49,75	62,88	0,0	0,0	0,0	0,0	54,0	62,9			
	Sur	103,73	80,44	50,62	53,30	63,83	67,59	80,44	50,62	63,83	0,0	0,0	6,0	6,0	59,3	69,8			
	Este	97,63	75,39	48,83	51,30	61,05	63,49	75,39	48,83	61,05	0,0	0,0	0,0	0,0	51,3	61,0			
	Oeste	99,63	74,05	46,95	51,50	60,89	63,30	74,05	46,95	60,89	0,0	0,0	0,0	0,0	51,5	60,9			
RA 25	Vertical	86,52	63,29	50,34	54,00	57,12	60,52	63,29	50,34	57,12	0,0	0,0	3,0	3,0	57,0	60,1	59,86	+/-	0,62
	Norte	90,83	68,74	47,68	53,00	56,67	60,11	68,74	47,68	56,67	0,0	0,0	3,0	3,0	56,0	59,7			
	Sur	85,94	65,47	45,71	53,20	57,44	61,21	65,47	45,71	57,44	0,0	0,0	3,0	3,0	56,2	60,4			
	Este	86,06	65,82	49,68	55,10	58,22	61,96	65,82	49,68	58,22	0,0	0,0	3,0	3,0	58,1	61,2			
	Oeste	87,64	65,76	50,77	53,50	56,66	59,82	65,76	50,77	56,66	0,0	0,0	0,0	0,0	53,5	56,7			

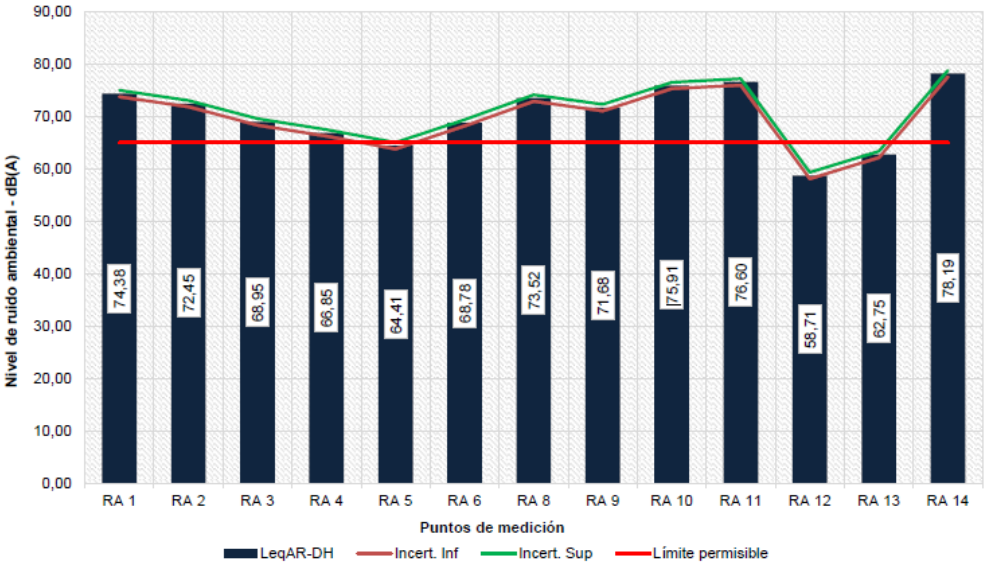
ID	Dirección	Medidor 1					Medidor 2				Ajustes			Corrección	L_{90} Corregido	L_{EQ} Corregido		Incertidumbre Combinada	
		L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{90}	L_{EQ}	L_{peak}	$L_{máx}$	L_{min}	L_{EQ}	Li	Ki	Kt			Intervalo	Horario		
RA 26	Vertical	113,70	80,50	43,48	49,20	60,30	70,76	80,50	43,48	60,30	0,0	0,0	3,0	3,0	52,2	63,3	59,88	+/-	0,62
	Norte	94,81	70,05	44,16	49,20	56,86	59,20	70,05	44,16	56,86	0,0	0,0	3,0	3,0	52,2	59,9			
	Sur	92,51	67,77	42,72	49,80	56,58	58,96	67,77	42,72	56,58	0,0	0,0	0,0	0,0	49,8	56,6			
	Este	96,56	74,07	43,91	48,50	59,44	61,72	74,07	43,91	59,44	0,0	0,0	0,0	0,0	48,5	59,4			
	Oeste	94,55	67,46	45,27	49,20	56,23	58,09	67,46	45,27	56,23	0,0	0,0	0,0	0,0	49,2	56,2			
RA 27	Vertical	84,23	63,42	35,43	38,70	48,87	51,13	63,42	35,43	48,87	0,0	0,0	0,0	0,0	38,7	48,9	51,19	+/-	0,62
	Norte	89,95	61,84	36,31	39,20	48,94	53,25	61,84	36,31	48,94	0,0	0,0	0,0	0,0	39,2	48,9			
	Sur	84,21	65,25	37,07	44,20	53,59	58,52	65,25	37,07	53,59	0,0	0,0	0,0	0,0	44,2	53,6			
	Este	84,85	63,25	36,74	41,90	51,79	56,34	63,25	36,74	51,79	0,0	0,0	0,0	0,0	41,9	51,8			
	Oeste	88,17	65,24	35,96	40,30	50,88	52,80	65,24	35,96	50,88	0,0	0,0	0,0	0,0	40,3	50,9			
RA 28	Vertical	99,18	63,56	35,57	36,70	43,30	53,40	63,56	35,57	43,30	0,0	0,0	3,0	3,0	39,7	46,3	43,47	+/-	0,62
	Norte	86,31	59,74	34,48	35,50	41,33	46,22	59,74	34,48	41,33	0,0	0,0	0,0	0,0	35,5	41,3			
	Sur	84,13	55,77	34,64	35,50	41,16	45,29	55,77	34,64	41,16	0,0	0,0	0,0	0,0	35,5	41,2			
	Este	81,74	59,05	34,87	36,10	44,18	50,31	59,05	34,87	44,18	0,0	0,0	0,0	0,0	36,1	44,2			
	Oeste	79,01	55,96	35,14	36,60	41,98	45,76	55,96	35,14	41,98	0,0	0,0	0,0	0,0	36,6	42,0			
RA 29	Vertical	88,14	52,90	38,68	41,60	45,21	48,36	52,90	38,68	45,21	0,0	0,0	3,0	3,0	44,6	48,2	47,09	+/-	0,62
	Norte	75,90	49,10	36,79	38,10	40,05	41,42	49,10	36,79	40,05	0,0	0,0	0,0	0,0	38,1	40,1			
	Sur	80,40	52,75	34,86	36,00	39,91	42,50	52,75	34,86	39,91	0,0	0,0	0,0	0,0	36,0	39,9			
	Este	74,08	43,74	35,37	36,10	38,16	39,32	43,74	35,37	38,16	0,0	0,0	0,0	0,0	36,1	38,2			
	Oeste	80,27	53,85	36,59	39,30	46,13	50,46	53,85	36,59	46,13	0,0	0,0	6,0	6,0	45,3	52,1			
RA 30	Vertical	73,65	55,97	36,13	38,70	44,91	49,39	55,97	36,13	44,91	0,0	0,0	3,0	3,0	41,7	47,9	47,77	+/-	0,62
	Norte	85,80	58,25	37,66	39,10	42,67	47,77	58,25	37,66	42,67	0,0	0,0	0,0	0,0	39,1	42,7			
	Sur	85,07	68,57	34,70	36,70	48,22	51,38	68,57	34,70	48,22	0,0	0,0	3,0	3,0	39,7	51,2			
	Este	80,89	55,97	38,16	39,80	45,20	49,10	55,97	38,16	45,20	0,0	0,0	3,0	3,0	42,8	48,2			
	Oeste	80,95	54,02	35,37	37,60	43,06	47,54	54,02	35,37	43,06	0,0	0,0	0,0	0,0	37,6	43,1			

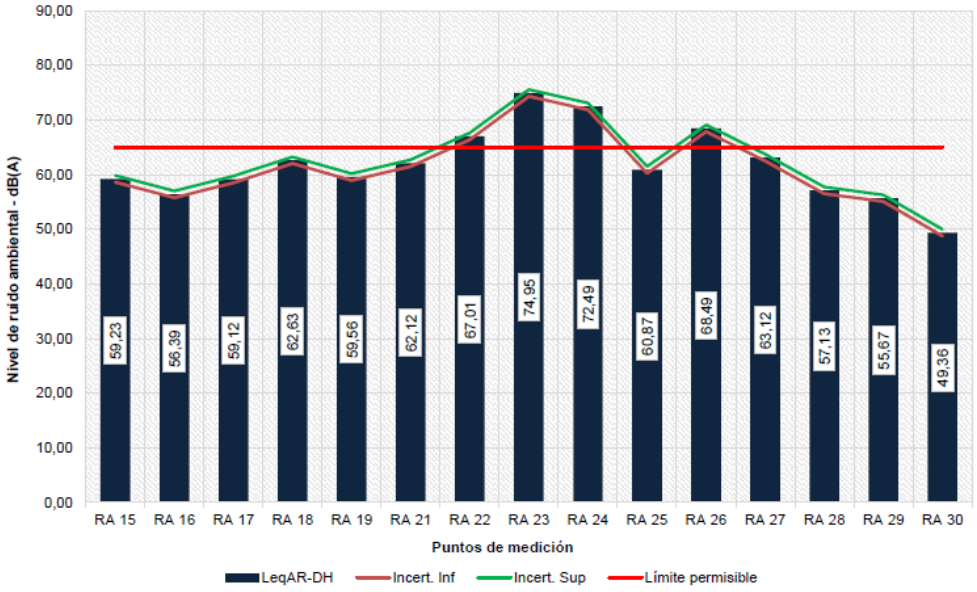
Fuente: UT MOVIUS 2022.

5.2.3.4.1.11. Análisis de los resultado del monitoreo de ruido

Los resultados obtenidos en las mediciones de ruido ambiental en los treinta puntos de monitoreo se observan en las gráficas a continuación. Adicionalmente, conforme al Artículo 17 de la Resolución 627 de Abril de 2006 del hoy MADS, se estableció según su ubicación y relación con el entorno comparar los resultados con el Sector B, subsector de zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes, subsector de parques en zonas urbanas, diferentes a los parques mecánicos al aire libre y el Sector C, subsector zonas con usos permitidos de oficinas con un límite máximo de ruido de 65 dB(A) en periodo diurno y 50 dB(A) en periodo nocturno para los tres subsectores mencionados.
Por otro lado, se determinó la comparación para dos puntos de monitoreo con el sector C, subsector zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales con un límite máximo de ruido de 80 dB(A) en periodo diurno y 70 dB(A) en periodo nocturno.

- Análisis de resultados Jornada diurna hábil


Nivel de ruido ambiental - dB(A)
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
74,38
72,45
68,95
66,85
64,41
68,78
73,52
71,68
75,91
76,60
58,71
62,75
78,19
RA 1
RA 2
RA 3
RA 4
RA 5
RA 6
RA 8
RA 9
RA 10
RA 11
RA 12
RA 13
RA 14
Puntos de medición
LeqAR-DH
Incert. Inf
Incert. Sup
Límite permisible


Nivel de ruido ambiental - dB(A)
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
59,23
56,39
59,12
62,63
59,56
62,12
67,01
74,95
72,49
60,87
68,49
63,12
57,13
55,67
49,36
RA 15
RA 16
RA 17
RA 18
RA 19
RA 21
RA 22
RA 23
RA 24
RA 25
RA 26
RA 27
RA 28
RA 29
RA 30
Puntos de medición
LeqAR-DH
Incert. Inf
Incert. Sup
Límite permisible

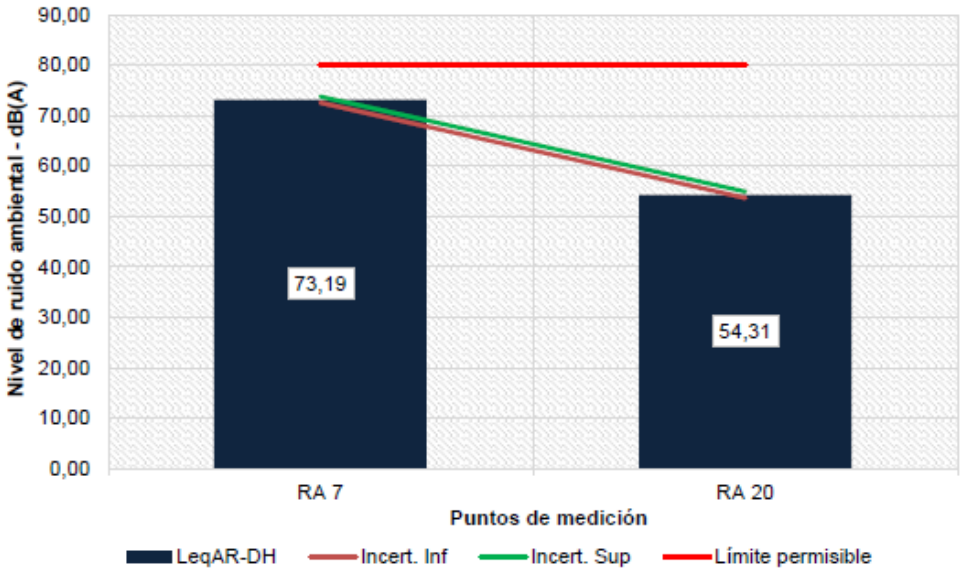
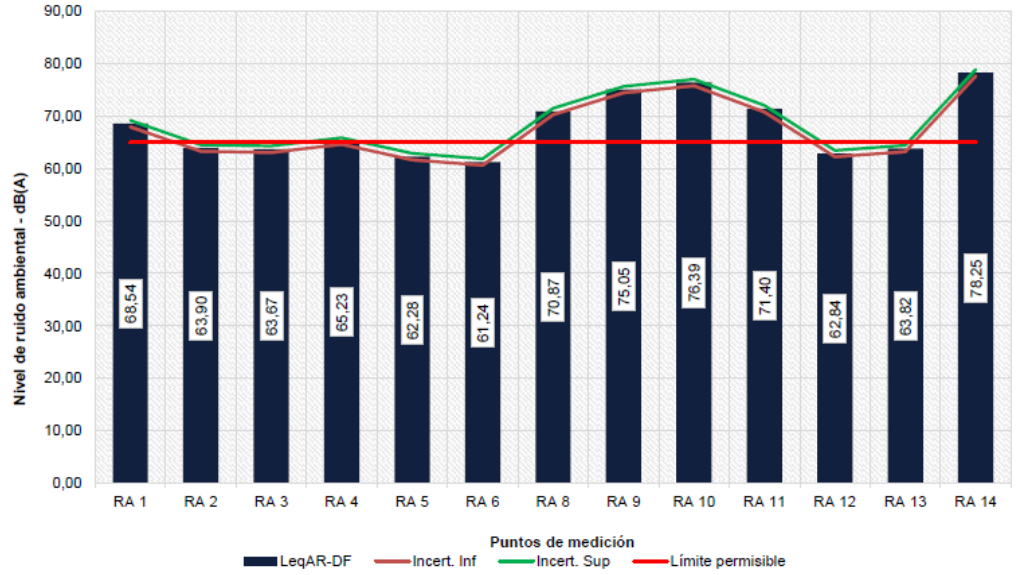


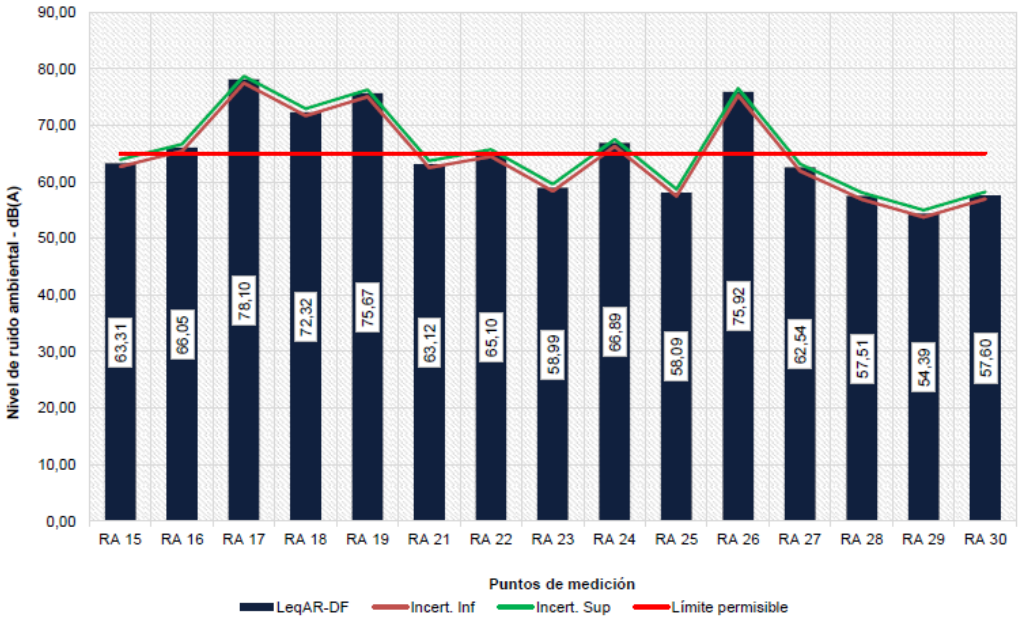
Figura 915. Nivel de ruido ambiental – Jornada diurna – Día hábil
Fuente: UT MOVIUS 2022.

De los resultados de ruido ambiental medidos en los 30 puntos de monitoreo durante la jornada diurna, en día hábil, fueron reportados valores que oscilan entre 49,36 dB(A) (RA 30) y 78,19 dB(A) (RA 14), tal y como se observa en las anteriores gráficas. Desde el punto de vista normativo, 14 de 28 puntos de monitoreo se encuentran por debajo del límite normativo fijado en 65 dB (A) para la jornada diurna en los subsectores: zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes (sector B), parques en zonas urbanas, diferentes a los parques mecánicos al aire libre (sector B) y zonas con usos permitidos de oficinas (sector C). Con referencia a los 2 puntos restantes (RA 7 y RA 20), se observa que los dos puntos de monitoreo se encuentran por debajo del límite normativo fijado en 80 dB (A) para el subsector zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales (sector C).

Las principales fuentes de ruido evidenciadas durante el monitoreo en la jornada diurna hábil corresponden a fuentes móviles (motos de alto cilindraje, vehículos particulares, buses de transporte público tradicionales y del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), vehículos de carga media y pesada y bicimotores) que transitan sobre las vías aledañas a los puntos de monitoreo. Asimismo, se registran sonidos provenientes de sitios específicos como colegios, universidades, parques, sectores comerciales concurridos por gran cantidad de personas y de los cuales se emiten sonidos como música y vociferación de transeúntes, vendedores que anuncian sus productos a través de megáfonos, pitos y alarmas de vehículos en la zona, sonidos producidos por vecinos del sector como música en las casas aledañas,
conversaciones con tonos de voz elevados y el uso de herramientas al interior de las mismas; sonidos de maquinaria como cortadoras, compresores y remachadoras, sobrevuelo de aviones, tránsito de vehículos ruidosos como ambulancias y carros de policías con la sirena activa, ladridos de perros en el sector, cantos de aves y gallos, y, únicamente en el punto RA 29, sonidos de animales como bovinos y ovejas.

- Análisis de resultados Jornada diurna no hábil


Nivel de ruido ambiental - dB(A)
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
68,54
63,90
63,67
65,23
62,28
61,24
70,87
75,05
76,39
71,40
62,84
63,82
78,25
RA 1
RA 2
RA 3
RA 4
RA 5
RA 6
RA 8
RA 9
RA 10
RA 11
RA 12
RA 13
RA 14
Puntos de medición
LeqAR-DF
Incert. Inf
Incert. Sup
Límite permisible


Nivel de ruido ambiental - dB(A)
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
63,31
66,05
78,10
72,32
75,67
63,12
65,10
58,99
66,89
58,09
75,92
62,54
57,51
54,39
57,60
RA 15
RA 16
RA 17
RA 18
RA 19
RA 21
RA 22
RA 23
RA 24
RA 25
RA 26
RA 27
RA 28
RA 29
RA 30
Puntos de medición
LeqAR-DF
Incert. Inf
Incert. Sup
Límite permisible

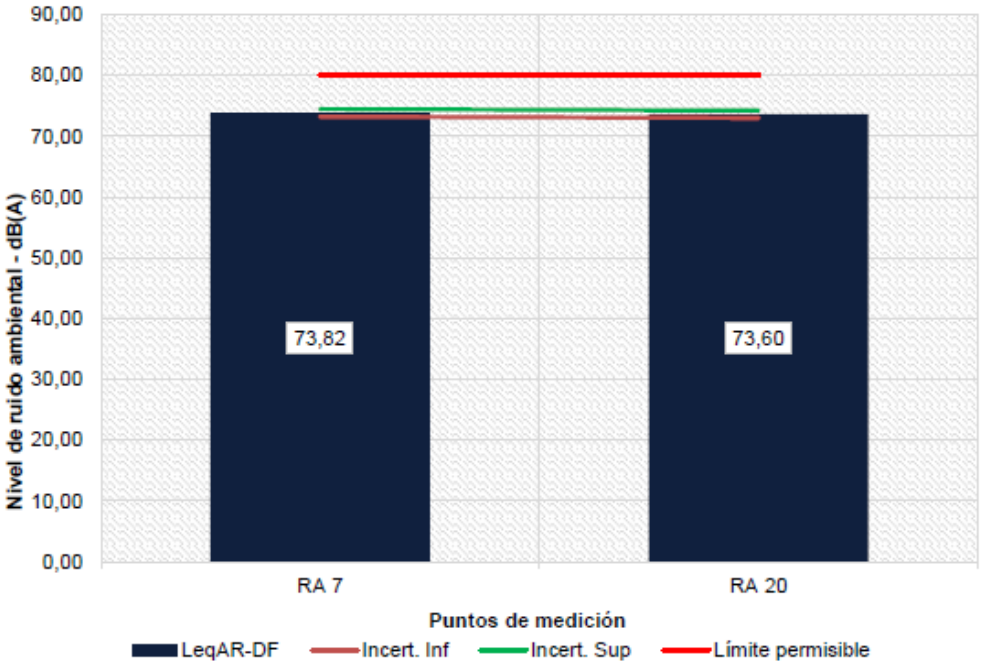


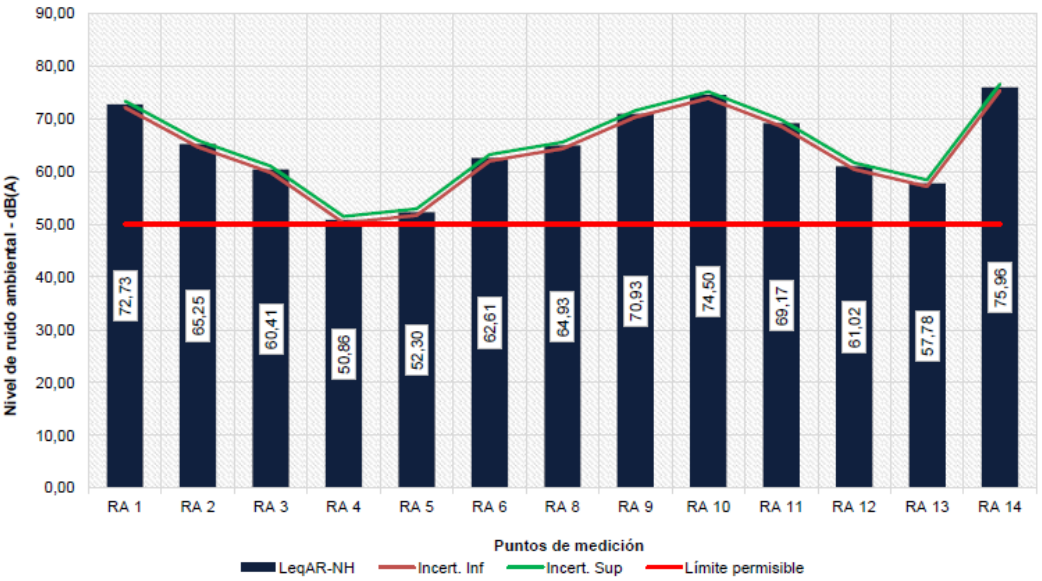
Figura 916. Nivel de ruido ambiental – Jornada diurna – Día no hábil
Fuente: UT MOVIUS 2022.

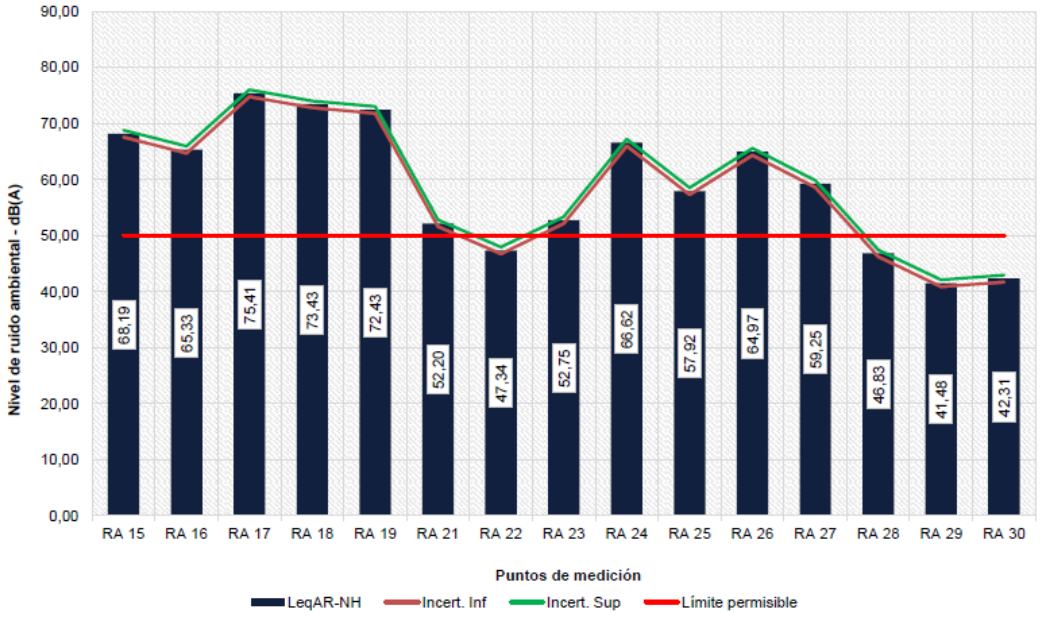
A partir de los resultados de ruido ambiental medidos en los 30 puntos de monitoreo durante la jornada diurna, en día no hábil, se puede evidenciar que los valores reportados se encontraron entre 54,39 dB(A) (RA 29) y 78,25 dB(A) (RA 14). De acuerdo con las anteriores figuras, se evidencia que 14 de 28 puntos reportaron valores que se encuentran por debajo del límite normativo fijado en 65 dB (A) para la jornada diurna en los subsectores: zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes (sector B), parques en zonas urbanas, diferentes a los parques mecánicos al aire libre. (sector B) y zonas con usos permitidos de oficinas (sector C).

Con respecto a los puntos RA 7 y RA 20, en la Gráfica 8 se evidencia que los resultados obtenidos se encuentran por debajo del límite normativo fijado en 80 dB (A) para el subsector zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales (sector C).

Entre las principales fuentes de ruido evidenciadas de acuerdo a observaciones de campo durante la jornada diurna no hábil, se resaltan las correspondientes a fuentes móviles como lo son motos de alto cilindraje, vehículos particulares, buses de transporte público tradicionales y del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), vehículos de carga media y pesada como camiones y tractomulas y bicimotores, las cuales transitan sobre la vías aledañas a los puntos donde se llevaron a cabo las mediciones, pitos y alarmas de vehículos que transitan en la zona, alarma de local, sonidos producidos por transeúntes, y vecinos del sector como música en las casas aledañas, conversaciones con tonos de voz elevados, paso de vehículos con música y “chivas rumberas”. También se evidenciaron fiestas cerca de los puntos de monitoreo, sobrevuelo de aviones, tránsito de vehículos ruidosos como ambulancias y carros de policías con la sirena activa, ladridos de perros en el sector, cantos de aves y gallos.

- Análisis de resultados Jornada nocturna hábil


90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Nivel de ruido ambiental - dB(A)
72,73
65,25
60,41
50,86
52,30
62,61
64,93
70,93
74,50
69,17
61,02
57,78
75,96
RA 1
RA 2
RA 3
RA 4
RA 5
RA 6
RA 8
RA 9
RA 10
RA 11
RA 12
RA 13
RA 14
Puntos de medición
LeqAR-NH
Incert. Inf
Incert. Sup
Límite permisible


90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Nivel de ruido ambiental - dB(A)
68,19
65,33
75,41
73,43
72,43
52,20
47,34
52,75
66,62
57,92
64,97
59,25
46,83
41,48
42,31
RA 15
RA 16
RA 17
RA 18
RA 19
RA 21
RA 22
RA 23
RA 24
RA 25
RA 26
RA 27
RA 28
RA 29
RA 30
Puntos de medición
LeqAR-NH
Incert. Inf
Incert. Sup
Límite permisible

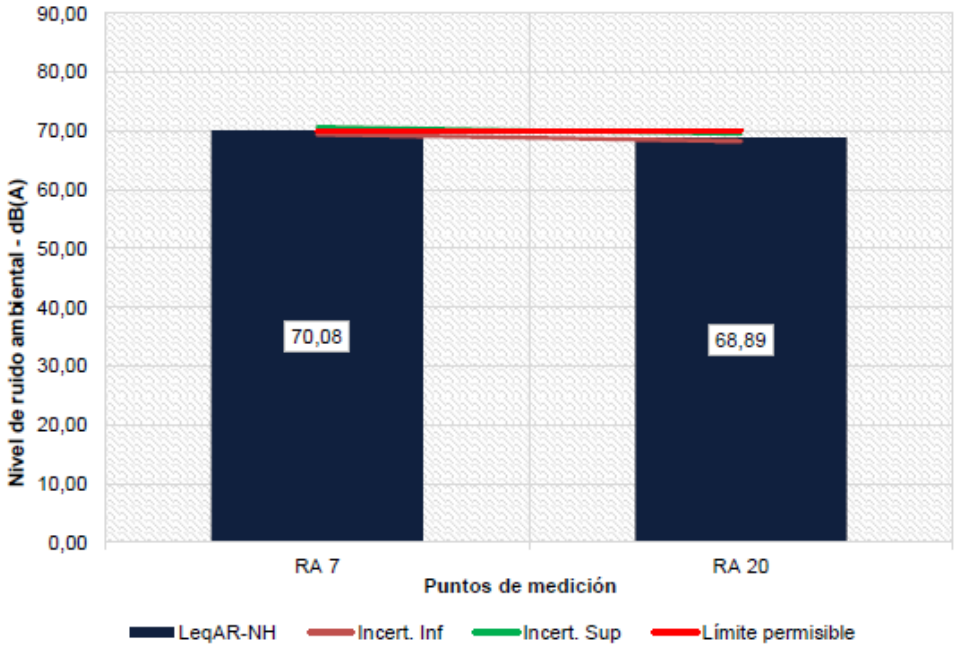
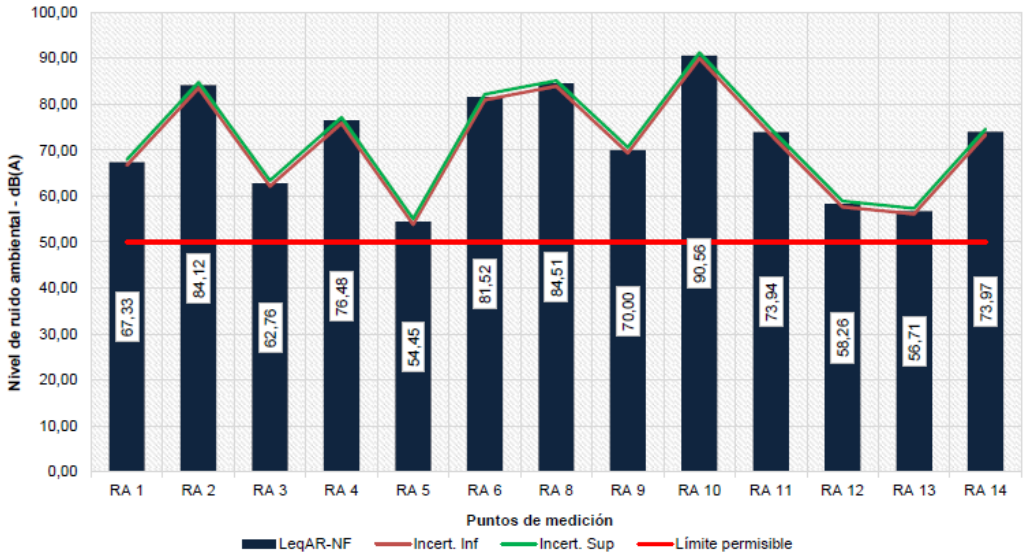


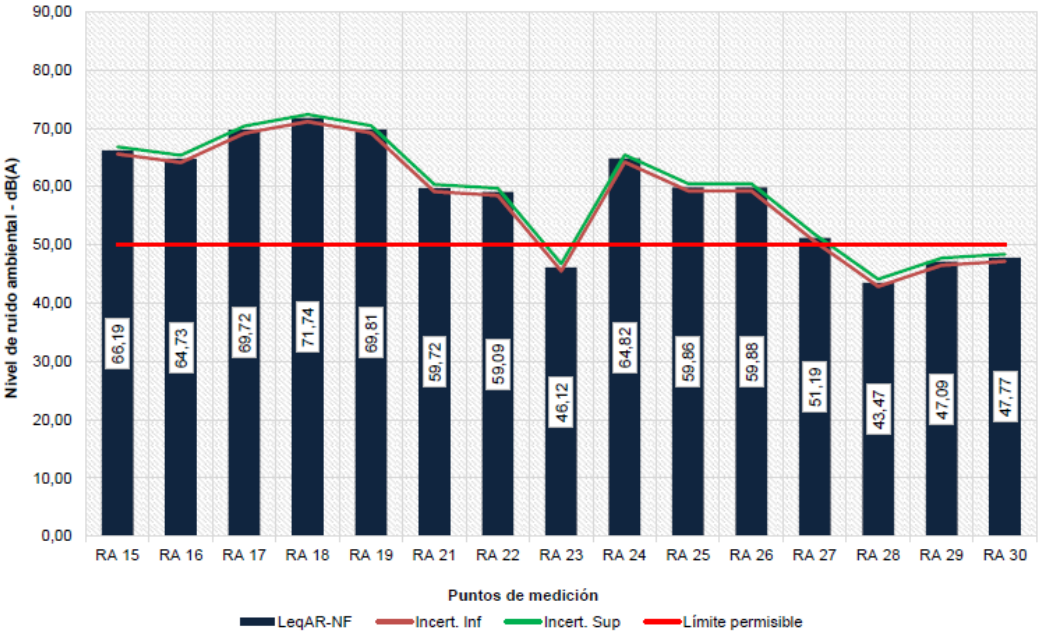
Figura 917. Nivel de ruido ambiental – Jornada nocturna – Día hábil
Fuente: UT MOVIUS 2022.

Por otra parte, únicamente el punto RA 20 se encuentra por debajo de lo establecido en el límite máximo permisible fijado en 70 dB (A) para el subsector zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales (sector C), mientras que, el punto RA 7 se encuentra por encima del límite normativo en
mención.

Se resalta que las principales fuentes de ruido evidenciadas en campo corresponden a fuentes móviles (motos de alto cilindraje, vehículos particulares, buses de transporte público tradicionales y del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), vehículos de carga media y pesada y bicimotores) que transitan sobre la vías cercanas a los puntos de monitoreo, sonidos provenientes de lugares aledaños como parques, sectores comerciales concurridos por gran cantidad de personas y de los que se emiten sonidos como música o gritos, vendedores que anuncian sus productos a través de megáfonos, pitos de carros debido a trancones en el tráfico y alarmas de vehículos en la zona, sonidos producidos por transeúntes y vecinos del sector como música en las casas aledañas, conversaciones con tonos de voz elevados y el uso de herramientas al interior de las mismas; sonidos de maquinaria como cortadoras, compresores y remachadoras, sobrevuelo de aviones, tránsito de ambulancias y carros de policías con la sirena activa, ladridos de perros en el sector, cantos de fauna local (aves y gallos).

- Análisis de resultados Jornada nocturna no hábil


Nivel de ruido ambiental - dB(A)
100,00
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
67,33
84,12
62,76
76,48
54,45
81,52
84,51
70,00
90,56
73,94
58,26
56,71
73,97
RA 1
RA 2
RA 3
RA 4
RA 5
RA 6
RA 8
RA 9
RA 10
RA 11
RA 12
RA 13
RA 14
Puntos de medición
LeqAR-NF
Incert. Inf
Incert. Sup
Límite permisible


Nivel de ruido ambiental - dB(A)
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
66,19
64,73
69,72
71,74
69,81
59,72
59,09
46,12
64,82
59,86
59,88
51,19
43,47
47,09
47,77
RA 15
RA 16
RA 17
RA 18
RA 19
RA 21
RA 22
RA 23
RA 24
RA 25
RA 26
RA 27
RA 28
RA 29
RA 30
Puntos de medición
LeqAR-NF
Incert. Inf
Incert. Sup
Límite permisible

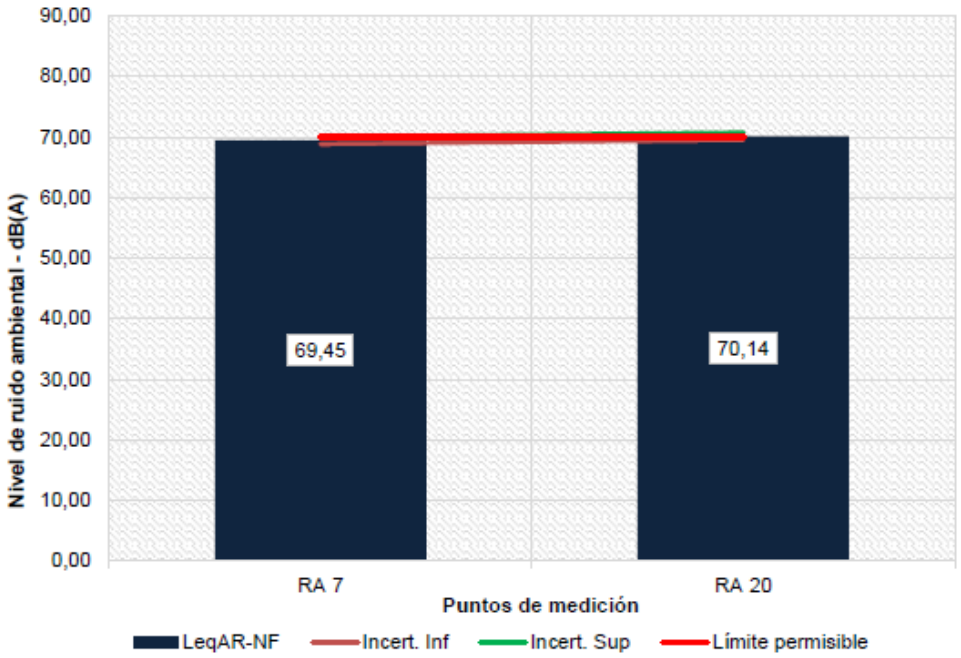


Figura 918. Nivel de ruido ambiental – Jornada nocturna – Día no hábil
Fuente: UT MOVIUS 2022.

Teniendo en cuenta los resultados de ruido ambiental obtenidos en los 30 puntos de monitoreo durante la jornada nocturna, en día no hábil, se evidencia que los valores de presión sonora oscilaron entre 43,47 dB(A) (RA 28) y 90,56 dB(A) (RA 10). En relación con la normativa objeto de comparación, se observa que 24 de 28 puntos de monitoreo se encuentran por encima del límite normativo fijado en 50 dB (A) para la jornada nocturna en los subsectores: zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes (sector B), parques en zonas urbanas, diferentes a los parques mecánicos al aire libre. (sector B) y zonas con usos permitidos de oficinas (sector C). Únicamente los puntos RA 23, RA 28, RA 29 y RA 30 se encuentran por debajo de lo establecido en la normativa de referencia

Por otra parte, el punto RA 7 se encuentra por debajo del límite máximo permisible fijado en 80 dB (A) para el subsector zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales (sector C), mientras que el punto RA 20 se encuentra por encima del límite establecido en la normativa de referencia.

Cabe resaltar, que los valores de influencia directa en las mediciones durante la jornada corresponden a fuentes móviles (motos de alto cilindraje, vehículos particulares, buses de transporte público tradicionales y del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), vehículos de carga media y pesada y bicimotores) que transitan sobre las vías aledañas a los puntos de monitoreo, sonidos provenientes de discotecas aledañas, pitos de vehículos cerca de los puntos de monitoreo, paso de chivas con música elevada, sirenas de ambulancia y de policía, música proveniente de casas del sector, perros ladrando, voces de residentes y transeúntes, sobrevuelos de aviones, carreras de motos, sonidos de silbatos, carros que pasan a alta velocidad o con música, sonidos de canto de aves y fauna local, sonidos de pólvora y demás sonidos desarrollados dentro del sector.

5.2.3.4.1.12. Conclusiones

Una vez realizado el monitoreo de ruido ambiental y de acuerdo con los límites establecidos en la Resolución 627 de 2006, Sector B, zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes, subsector parques en zonas urbanas, diferentes a los parques mecánicos al aire libre y Sector C, subsector zonas con usos permitidos de oficinas, subsector de zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales, Ambienciq Ingenieros S.A., concluye:

- De los resultados reportados para la jornada diurna, en día hábil y en día no hábil,dieciséis (16) de los treinta (30) puntos de monitoreo se encuentran por debajo del respectivo límite normativo para la jornada diurna en los subsectores correspondientes a cada uno de los puntos de monitoreo.

- Con respecto a los resultados obtenidos durante la jornada nocturna en día hábil, se evidencia que veinticinco (25) de treinta (30) puntos de monitoreo se encuentran por encima del límite normativo establecido para cada subsector objeto de comparación, con excepción de los puntos RA 20, RA 22, RA 28, RA 29 y RA 30.

- Con respecto a los resultados obtenidos durante la jornada nocturna en día no hábil, se evidencia que veinticinco (25) de treinta (30) puntos de monitoreo presentaron resultados por que se encuentran por encima de los respectivos límites normativos para cada subsector, con excepción de los puntos RA 7, RA 23, RA 28, RA 29 y RA 30.
- Las principales fuentes de ruido evidenciadas durante el monitoreo realizado corresponden a fuentes móviles, sonidos producidos por habitantes y transeúntes de la zona, música cerca de los puntos de monitoreo, sobrevuelos de avión, y sonidos de sirenas y alarmas.

5.2.3.4.2. Modelos de ruido

5.2.3.4.2.1. Inventario de fuentes de emisión de ruido de la visita técnica

En el recorrido se identificaron 21 fuentes fijas de emisión de ruido, en su gran mayoría fuentes puntuales. Algunas de las industrias más comunes fueron las procesadoras de alimentos, textiles, metalurgia, transformación de plásticos. Debido al alcance del inventario, se imposibilita obtener datos de producción, dimensionamiento u operación de las diferentes industrias identificadas. Por lo tanto, no fue posible realizar un estimativo de las emisiones atmosféricas asociadas.

A continuación, en las siguiente figuras se presenta la ubicación de las fuentes de emisión de ruido inventariadas en campo las cuales corresponden al plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0020_V01.

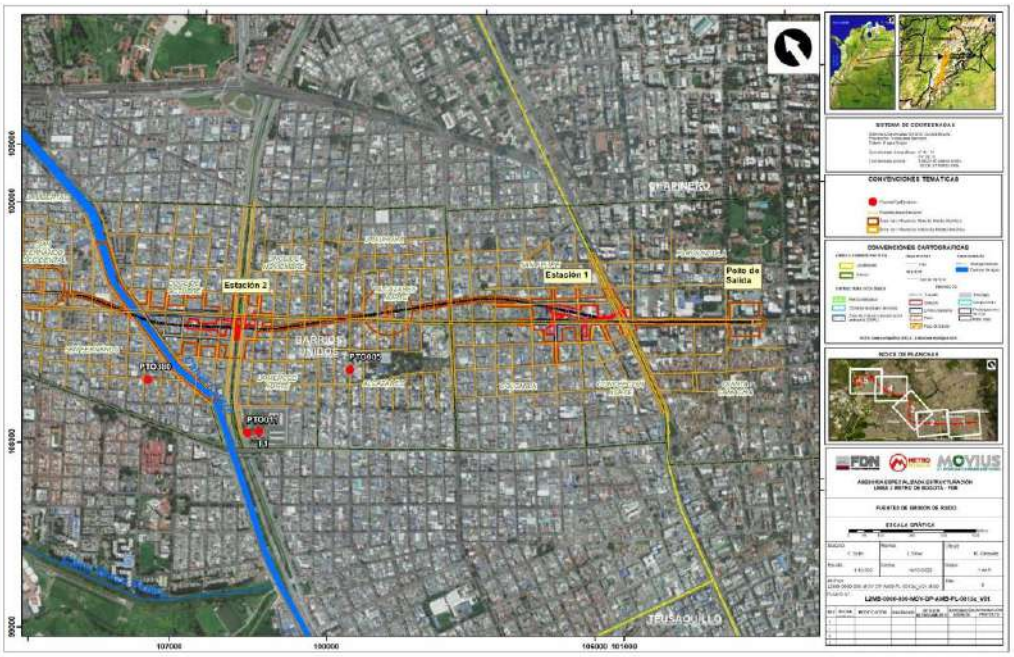


Figura 919. Ubicación de las fuentes emisión de ruido tramo 1
Fuente: UT MOVIUS 2022.



Figura 920. Ubicación de las fuentes emisión de ruido tramo 2
Fuente: UT MOVIUS 2022.

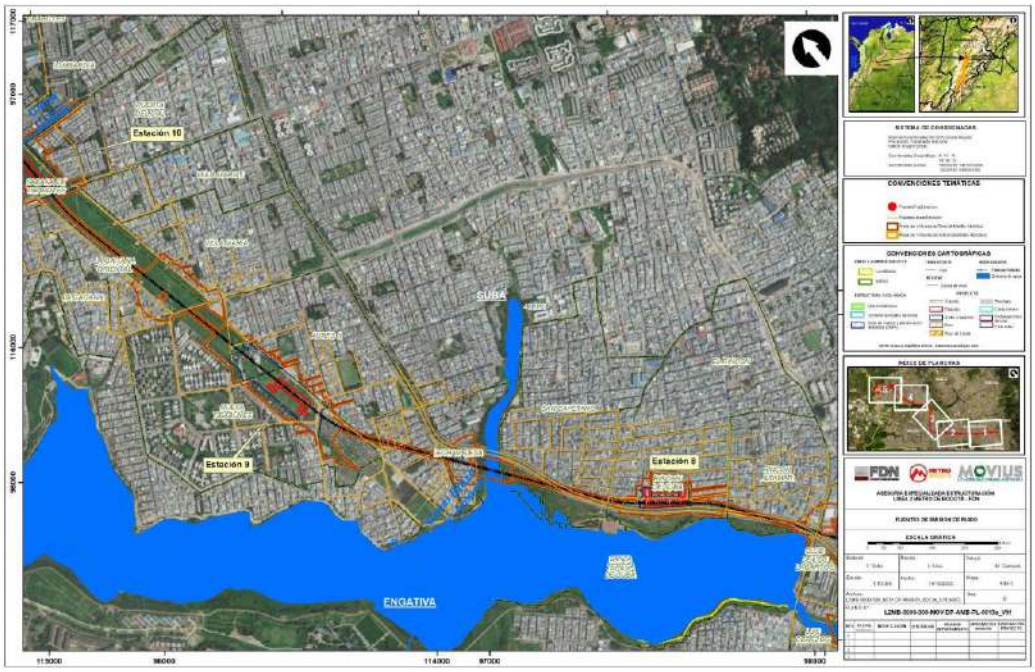


Figura 921. Ubicación de las fuentes emisión de ruido tramo 3
Fuente: UT MOVIUS 2022.

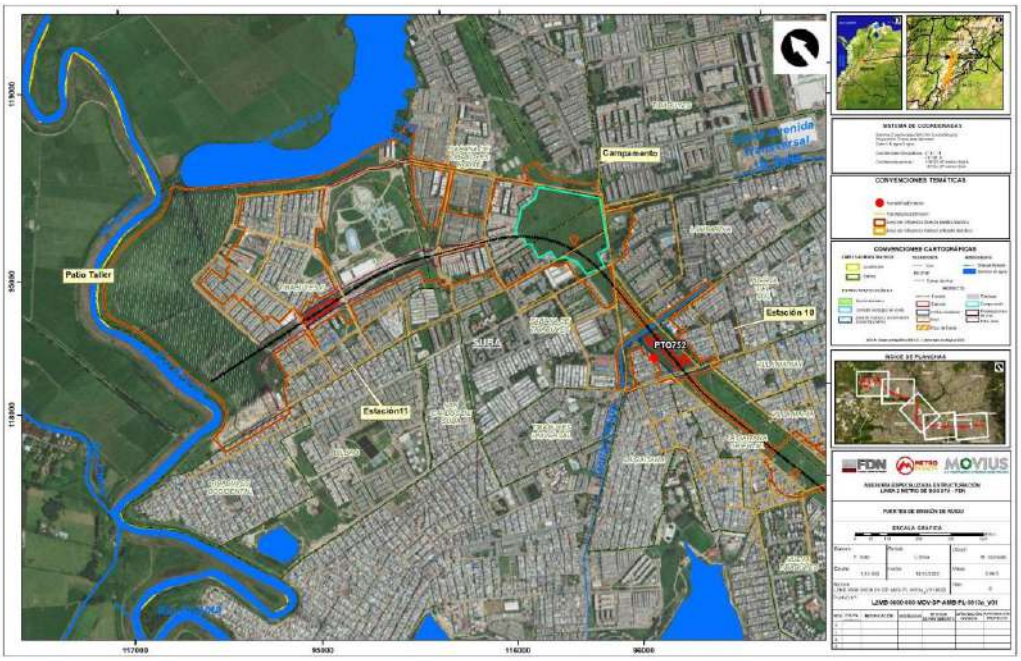


Figura 922. Ubicación de las fuentes emisión de ruido tramo 4
Fuente: UT MOVIUS 2022.

Tabla 432. Inventario de fuentes de emisión de ruido visita técnica

ID	Nombre	Actividad Económica	Cota	Coordenadas MAGNA SIRGAS Ciudad Bogotá	
				Norte	Este
PTO 752	Fuente fija en la carrera 82b con calle 82a	No se tiene información de la actividad económica.	2550,33	116 527,81	96 773,79
PTO 005	Fuente fija Kink SAS.	Elaboración de productos de decoración para Falabella.	2552,45	107 473,18	100 706,29
PTO 011	Fuente fija Cementerio Chapinero la 30.	Hornos crematorios.	2548,70	107 502,99	100 214,24
PTO 366	Fuente fija Calle 72a #63-47.	No se tiene información de la actividad económica.	2553,79	108 698,79	99 533,04
PTO 380	Fuente fija Funeraria para mascotas Funeravet.	Hornos crematorios.	2551,00	107 914,83	100 004,41
PTO 417	Fuente fija Carrera 70g #71-74.	Empresa de muebles.	2556,86	109 771,53	98 180,26
PTO 418	Fuente fija Carrera 70g #71-48.	Hornos crematorios.	2556,13	109 734,91	98 158,28
PTO 487	Fuente fija Plantas Alkosto.	Almacén de cadena.	2551,82	109 258,29	98 989,45
PTO 489	Fuente fija Carrera 72a #70-25.	No se tiene información de la actividad económica.	2551,19	109 913,66	97 793,76
PTO 496	Fuente fija Tiber Calle 70 #72-32.	Diseña y fabrica accesorios metálicos para la industria de la moda en cuero, confección, calzado, accesorios para mascotas y publicidad.	2555,91	109 902,81	97 747,59
PTO 502	Fuente fija Planta eléctrica Calle 71a #73a-53/57.	No se tiene información de la actividad económica.	2555,84	110 160,90	97 758,89
PTO 506	Eaceiplas SAS.	Transformación y comercialización de materiales plásticos.	2554,50	110 132,57	97 622,15
PTO 509	Fuente fija Calle 71 con Carrera 75.	No se tiene información de la actividad económica.	2555,24	110 288,55	97 583,40
PTO 552	Iglesia de Dios Ministerial de Jesucristo InterNacional.	Iglesia cristiana.	2555,01	111 135,27	97 430,95
PTO 574	Clínica infantil Santa María del Lago.	Clínica infantil.	2553,00	110 653,51	97 679,61
PTO 593	Fuente fija Centro de cuidado Renal Davita.	IPS.	2553,01	110 255,51	98 038,26
PTO 604	Fuente fija Carrera 83 #77a-	No se tiene información de la	2553,81	111 518,71	97 541,59

ID	Nombre	Actividad Económica	Cota	Coordenadas MAGNA SIRGAS Ciudad Bogotá	
				Norte	Este
	35.	actividad económica.			
PTO 611	Fuente fija Calle 75 #83a-36.	No se tiene información de la actividad económica.	2555,30	111 254,08	97 252,69
PTO 612	Fuente fija Calle 74a #84-13.	No se tiene información de la actividad económica.	2555,63	111 237,70	97 177,77
PTO 621	Fuente fija Calle 72a #86-14.	No se tiene información de la actividad económica.	2552,93	111 150,39	96 835,04
PTO 643	Fuente fija Herrería la 80.	No se tiene información de la actividad económica.	2552,16	111 947,92	97 197,60

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.4.2.2. Inventario de edificaciones

Partiendo de la categorización de estructuras definidas en el Estándar DIN 4150 (véase Tabla 472), se clasificaron las estructuras ubicadas, con mayor cercanía, a lo largo del alineamiento del L2MB. Lo anterior, con el fin de identificar su vulnerabilidad ante una posible variación en los niveles de vibración que pueden presentarse por la construcción y operación del mismo.

El Anexo 5.2 - 15.4 presenta el listado con el tipo de estructuras identificadas donde se establecen los límites máximos de ruido ambiental. En general, se detalla Número de Identificación de Edificación / Estructura, la distancia al eje del alineamiento del L2MB, las coordenadas con su ubicación, la dirección, el uso actual de la edificación, la altura, el número de pisos, el tipo de cimentación, la características de la estructuras, el estado general de las mismas y los niveles máximos permisibles de ruido ambiental establecidos por la Resolución 0627 del 2006 del MADS. Cada una de esta información acompañada de un registro fotográfico que ayuda a su identificación.

5.2.3.4.2.3. Aforos Vehiculares

Para la determinación de las características de tránsito y caracterización física de los tramos viales, inicialmente se realizó una identificación del área de influencia del proyecto para análisis de aire, 16 zonas de estudio para análisis de ruido.

Definidas el área de influencia y zonas de análisis de ruido, se procedió a realizar una identificación y codificación de los tramos viales localizados dentro de estas, con el fin de manejar un base de datos con la información requerida. La codificación y relación de tramos se presenta en tablas posteriores.

Para la caracterización, se partió de la siguiente información:

- Aforos vehiculares tomados para el Estudio de Movilidad, los cuales se localizan en la zona de influencia del proyecto
- Caracterización física de los tramos viales identificados en al área de influencia
- Velocidades de Operación en los tramos viales identificados en al área de influencia

- **Aforos Vehiculares**

A partir de la información primaria de estaciones maestras, intermedias y complementarias tomadas para desarrollo del Estudio de Movilidad, con base en la cual, se procedió al cálculo de volúmenes para vehículos livianos(Autos), pesados (Bus, BRT, C2, C3, C4, C5 y C>5) y motos.

A Continuación se relacionan las estaciones y horario de toma de información:

Tabla 433. Estaciones maestras de aforo para estudio de movilidad L2MB

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos aforados	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
1	AC 72 con Av. Caracas	24 Horas	1, 1T (BRT), 91, 2, 2A, 2T (BRT), 92, 3, 93, 4, 94, 94A 21, 22, 23, 24	17-03-2022	26-03-2022
2	AC 72 con Av. NQS		1, 1A (BRT), 2, 2A (BRT), 3, 4 21, 22, 23, 24 / 41, 42	17-03-2022	02-04-2022
3	AC 72 con Av. Boyacá		1, 1A, 2, 2A, 3, 4 21, 22, 23, 24	17-03-2022	26-03-2022
4	AC 90 con Av. Ciudad de Cali		1, 91, 2, 6, 92, 3, 93, 4, 94 21, 22, 23, 24 / 41, 42	17-03-2022	26-03-2022
5	CL 145 con Carrera 145		1, 5, 91, 2, 6, 92, 8, 94, 7, 93 21, 22, 23, 24	17-03-2022	26-03-2022

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

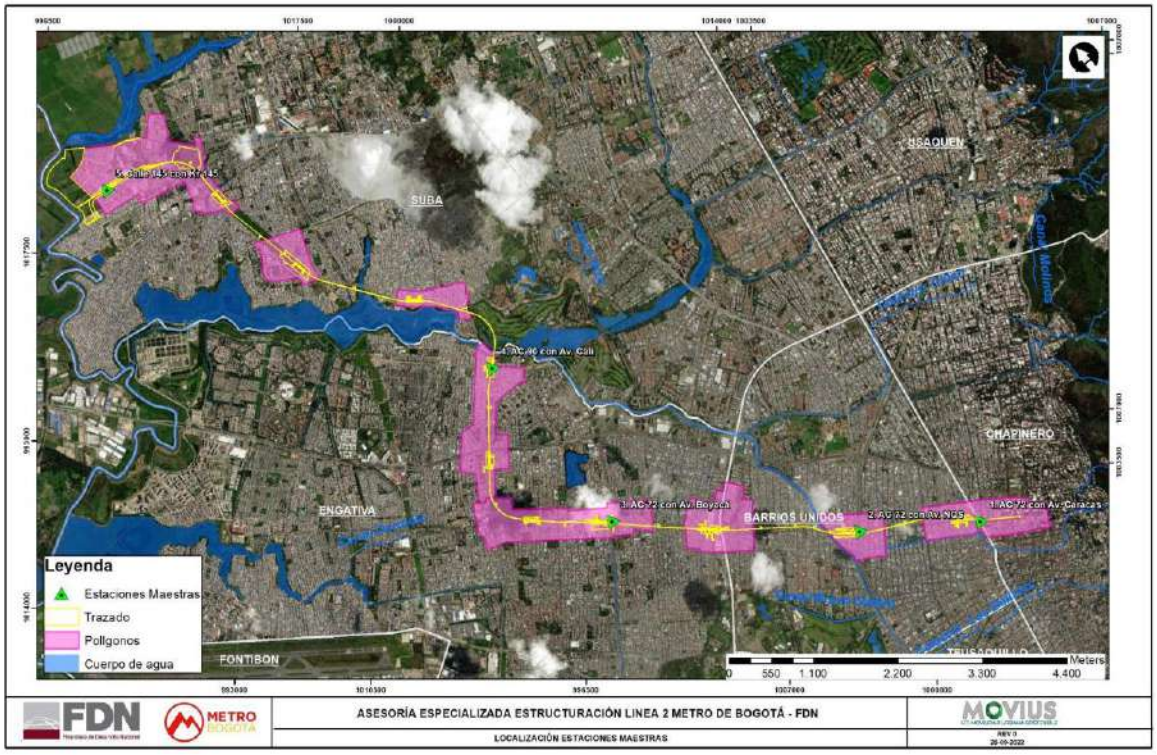


Figura 923. Localización estaciones maestras.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Se tomó de información de 18 estaciones intermedias, las cuales se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 434. Estaciones intermedias de aforo para estudio de movilidad L2MB

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos aforados	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
1	AC 72 con KR 19	5:00 - 21:00	1, 5, 91, 3, 93, 4, 21, 31, 23, 24	17-03-2022	26-03-2022
2	AC 72 con KR 28B		2, 6, 92, 3, 93, 4, 94, 32, 22, 23, 24	23-03-2022	02-04-2022
3	AC 72 con KR 53		1, 91, 2, 92, 3, 93, 4, 94 21, 22, 23, 24	23-03-2022	02-04-2022
4	AC 72 con KR 65		2, 6, 92, 3, 4, 94 32, 22, 23, 24	17-03-2022	02-04-2022

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos aforados	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
5	AC 72 con KR 68H		2, 6, 92, 3, 4, 94 32, 22, 23, 24	17-03-2022	02-04-2022
6	AC 72 con AK 70		1, 91, 2, 6, 92, 3, 93, 4, 94, 21, 22, 23, 24	17-03-2022	02-04-2022
7	AC 72 con KR 76		5, 91, 3, 7, 103, 4, 94, 21, 23, 24	17-03-2022	02-04-2022
8	AC 72 con KR 81A		1, 5, 91, 6, 92, 3, 93, 4, 21, 22, 23, 24	17-03-2022	02-04-2022
9	AC 72 con Av. Cali		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 93, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 24, 41, 42	17-03-2022	02-04-2022
10	Av. Cali con DG 74B y CL 75	5:00 - 21:00	1, 91, 2, 92, 3, 93, 93A, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 33, 34, 24, 41, 42	31-03-2022	02-04-2022
11	AC 80 con Av. Cali		1, 91, 5, 2, 92, 3, 3A, 93, 4, 4A, 94 21, 22, 24, 41, 42, 43, 44	17-03-2022	02-04-2022
12	Av. Cali con KR 91		5, 91, 2, 6, 92, 3, 4, 94, 21, 22, 23, 24, 43, 43A, 44, 44A	17-03-2022	02-04-2022
13	Av. Cali con KR 93		5, 91, 3, 4, 21, 23, 24, 43, 43A, 44, 44A	17-03-2022	23-04-2022
14	KR 119D entre KR 118 y CL 129D		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 24	17-03-2022	09-04-2022
15	CL 132 con KR 118		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 24	17-03-2022	09-04-2022
16	CL 139 con Tv 127		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 21, 22,	17-03-2022	09-04-2022

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos aforados	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
			23, 24, 43, 44		
17	KR 115 con Av. Suba		1, 5, 2, 92, 8, 94, 104 21, 22, 24	17-03-2022	23-04-2022
18	CL 145 con KR 141B		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 24	17-03-2022	23-04-2022

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

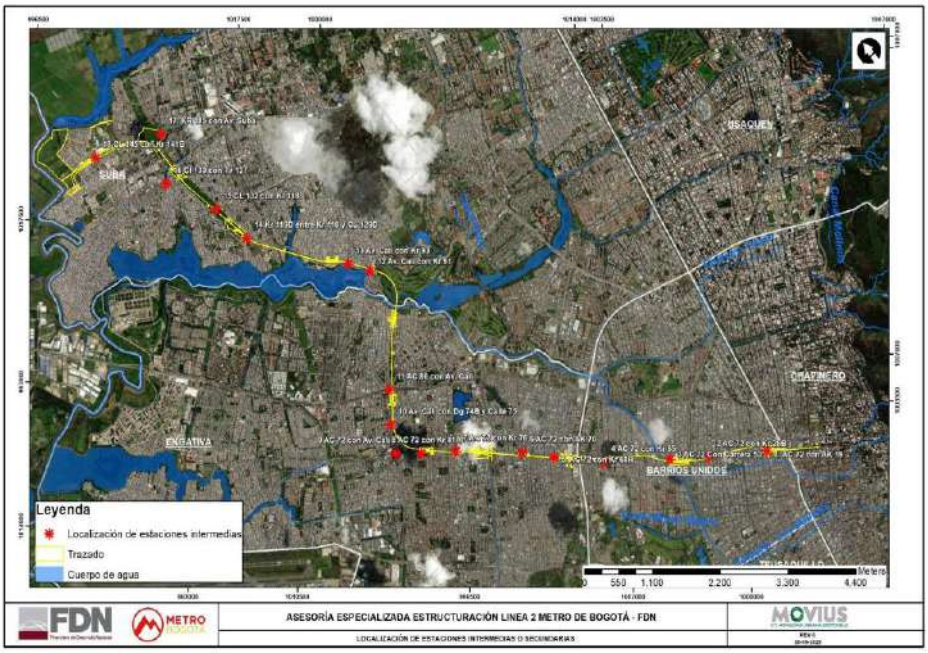


Figura 924. Localización de estaciones intermedias o secundarias.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Se tomó de información en 41 estaciones complementarias, las cuales se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 435. Estaciones complementarias de aforo para estudio de movilidad L2MB

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
1	AK 7 con AC 72	**Día Típico** AM: 7:00 - 10:00	1, 91, 2, 92, 3, 7, 93, 4, 94, 21, 22, 23, 24	23-03-2022	09-04-2022

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
		PM: 16:00 - 19:00	(Diagonal), 41, 42		
2	AC 72 con AK 9	**Día Atípico** 9:30 - 15:30	2, 6, 92, 3, 7, 4, 94, 32, 22, 23, 24	23-03-2022	09-04-2022
3	CL 74 con AK 11		1, 5, 3, 93, 21, 31, 23, 33, 41, 42	23-03-2022	09-04-2022
4	CL 70A con AK 11		1, 5, 3, 93, 21, 31, 23, 33	23-03-2022	09-04-2022
5	AC 72 con AK 13		5, 91, 3, 7, 103, 4, 94, 21, 23, 24	23-03-2022	09-04-2022
6	AC 72 con KR 17		2, 6, 92, 3, 4, 94, 32, 22, 23, 24	23-03-2022	09-04-2022
7	CL 71 con KR 19		1, 5, 3, 93, 21, 31, 23, 33	23-03-2022	23-04-2022
8	AC 72 con KR 20		2, 6, 92, 3, 4, 94, 32, 22, 23, 24, 41, 42	23-03-2022	23-04-2022
9	CL 74 con KR 20C		2, 92, 92A, 3, 3A, 7, 94, 32, 22, 23, 24, 41, 42	23-03-2022	23-04-2022
10	KR 24 con AC 72		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 93, 4, 94, 21, 22, 23, 24	23-03-2022	23-04-2022
11	KR 29C con AC 72	**Día Típico** AM 6:15 - 9:15 PM 16:00 - 19:00 **Día Atípico** 10:00 - 16:00	6, 92, 94, 32, 22, 23	23-03-2022	23-04-2022
12	KR 29C con CL 71		2, 6, 92, 3, 7, 4, 94, 32, 22, 23, 24	23-03-2022	23-04-2022
13	CL 73 con KR 50		1,91, 21, 31, 34, 24	23-03-2022	23-04-2022
14	AC 72 con KR 51		3A, 93, 22	31-03-2022	23-04-2022

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
15	AC 72 con KR 58	**Día Típico** AM: 5:30 - 8:30 PM: 16:00 - 19:00 **Día Atípico** AM: 7:00 - 9:00 PM: 12:30 - 16:30	1, 5, 91, 3, 93, 4 21, 31, 23, 24	23-03-2022	23-04-2022
16	CL 67G con AK 68		1, 1A, 91, 2, 2A, 94, 34, 24, 41, 42	23-03-2022	23-04-2022
17	KR 68B con CL 71		1, 91, 2, 6, 4, 8, 94, 21, 22, 34, 24	23-03-2022	23-04-2022
21	AK 68 con Conectante AC 72		91, 91A, 8, 22	23-03-2022	23-04-2022
19	CL 71A con KR 73A	**Día Típico** AM: 5:15 - 8:15 PM: 16:15 - 19:15 **Día Atípico** AM: 6:15 - 9:15 PM: 11:45 - 14:45	2, 6, 4, 94,32, 22, 34, 24	23-03-2022	23-04-2022
20	KR 80 con AC 72		2, 6, 92, 3, 7, 103, 4, 94 32, 22, 23, 24	23-03-2022	23-04-2022
18	CL 73 con KR 73A		1, 5, 2, 92, 3, 7, 93 21, 22, 23, 33	31-03-2022	23-04-2022
22	KR 83 con AC 72		92, 93, 94,21, 22	31-03-2022	30-04-2022
23	KR 84 con CL 77	**Día Típico** AM: 5:15 - 8:15 PM: 16:15 - 19:15 **Día Atípico** AM: 5:45 - 8:45 PM: 12:00 - 15:00	1, 5, 91, 3, 93, 4, 8, 21, 31, 23, 24	31-03-2022	30-04-2022
24	KR 85A con CL 78		1, 91, 4, 8, 21, 31, 23, 24	31-03-2022	30-04-2022
25	Av. Calle 80 con KR 89A		1, 5, 91, 3, 3A, 93, 4, 4A 21, 31, 23, 24, 43, 44	31-03-2022	30-04-2022
26	AC 80 con KR 76		1, 91, 5, 92, 3, 3A, 93, 4, 4A, 94, 21, 22, 23, 24, 43, 44	31-03-2022	30-04-2022
27	DG 83 con TV 83		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 24	31-03-2022	30-04-2022

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
28	Av. Cali con DG 85		1, 2, 92, 94 22, 41, 42	31-03-2022	30-04-2022
29	Av. Cali con CL 89 (Accesos E y W)		91, 92, 93, 94 23, 24, 41, 42	31-03-2022	30-04-2022
30	Cl 127 B con KR 91	**Día Típico** AM: 5:00 - 8:00 PM: 16:30 - 19:30 **Día Atípico** AM: 5:45 - 8:45 PM: 11:30 - 14:30	1, 2, 92, 4, 94, 21, 22, 24	31-03-2022	30-04-2022
31	Av. Cali con KR 95A		5, 91, 3, 4, 94, 21, 23, 24, 43, 43A, 44, 44A	31-03-2022	30-04-2022
32	CL 129 con Av. Cali	**Día Típico** AM: 5:00 - 08:00 PM: 17:00 - 20:00 **Día Atípico** AM: 10:15 - 13:15 PM: 17:00 - 20:00	1, 5, 91, 2, 92, 3, 7, 93, 94 21, 22, 23, 24 41, 41A, 42, 42A	31-03-2022	30-04-2022
33	Av. Cali con AC 132		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 93, 4, 94, 21, 22, 23, 24, 41, 41A, 42, 42A	31-03-2022	30-04-2022
34	CL 139 con KR 118	**Día Típico** AM: 5:00 - 08:00 PM: 16:45 - 19:45 **Día Atípico** AM: 10:00 - 13:00 (3h) PM: 16:15 - 19:15 (3h)	5, 91, 6, 6A, 92, 92A, 3, 7,, 93, 93A, 4, 8, 8A, 94, 21, 22, 22A, 23, 24, 43, 44	06-04-2022	30-04-2022
35	CL 143 con TV 118		1, 91, 2, 6, 7, 93, 21, 22, 23	06-04-2022	30-04-2022
36	CL 143A con KR 127C		6, 92, 3, 93, 103, 4, 8, 22, 23, 24	06-04-2022	30-04-2022
37	KR 141A con CL 144		1, 5, 91, 91A, 2, 6, 92, 6A, 3, 7, 93, 103, 3A, 7A, 93A, 103A, 4, 8, 94, 4A, 21, 22, 23, 24	06-04-2022	23-04-2022
38	KR 128 con DG 146		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 104, 21, 22, 23, 24	06-04-2022	23-04-2022

No.	Localización	Período toma de información	Movimientos	Fecha día Típico	Fecha día Atípico
39	CL 145 con KR 136A		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 103, 93, 4, 8, 94,, 21, 22, 23, 24, 41, 42	06-04-2022	23-04-2022
40	CL 146 con DG 147		6, 92, 7, 93, 8, 94, 22, 23, 24	06-04-2022	23-04-2022
41	DG 150 con KR 145		1, 5, 91, 2, 6, 92, 3, 7, 93, 4, 8, 94, 21, 22, 23, 24	06-04-2022	23-04-2022

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

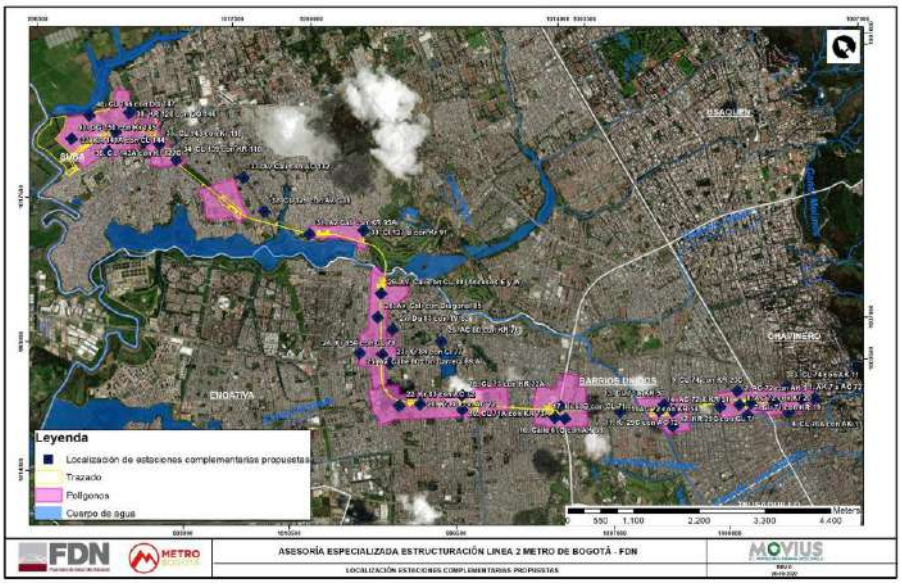


Figura 925. Localización de estaciones complementarias propuestas.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Los aforos de Motorizados incluyeron los siguientes tipos de vehículos:

- Livianos (Autos, colectivos pequeños)
- Buses (buses, busetas, colectivos grandes y SITP)
- BRT
- Camiones (C2 o C2P y C2G, C3, C4, C5 y >C5)
- Motos

Teniendo en cuenta que gran parte de los puntos de toma de información, cubrieron periodos de 16 horas y de 6 horas, a partir de la información recopilada en los puntos de 24 horas, mediante aplicación de factores de expansión de acuerdo al periodo de aforo, se llevaron todos los aforos a 24 hora.

Posteriormente se procedió a sacar el volumen de tránsito para el horario diurno (7:00 - 21:00) y nocturno (21:00 - 7:00) en día típico y atípico de vehículos livianos, pesados y motos, en cada uno de los tramos viales.

Para los segmentos que se disponía información de aforos se definió el 100 % del Tránsito; y para los tramos donde no se tomó información primaria, se adoptó tránsito de tramos aledaños de la cual se disponía información, afectándolo por un factor de ajuste, según variación de volúmenes diarios en estaciones de aforo aledañas .

La información de Tránsito se presenta para Día Típico, que corresponde a un día de entre semana(martes o miércoles o jueves), para el Día sábado y para un Día Festivo. Este último estimado, a partir de un porcentaje de reducción de transito Zonal en día festivo Vs. un día hábil.

Para las proyecciones de tránsito, el factor de crecimiento anual, se estima en función de análisis de subárea en la zona de influencia del proyecto, que tiene en cuenta el efecto de la implementación del proyecto L2MB.

- **Caracterización física**

Para esta caracterización se recopiló la información utilizando Google Earth y archivo Malla_Vial_Integral_Bogota_D_C.kmz. A continuación se relacionan la información extraída para cada tramo vial identificado.

- Inicio y fin.
- Longitud.
- Ancho de calzada.
- Número de Carriles.
- Ancho de Carril.
- Tipo de pavimento (Flexible, Rígido, Adoquín o Afirmado).
- Pendiente longitudinal.

- **Velocidades de Operación**

La información de velocidades de los tramos viales se obtuvo a través de información de API para recolección de información de Google Maps, para un día típico (día hábil) y día atípico (No hábil) entre los horarios de 7:00 a 21:00 (diurno) y 21:00-7:00 (nocturno).

En el Anexo 5.2 - 12.2 se presenta la información de caracterización vial y de tránsito actual y futuro (2022 a 2032) de todos los tramos viales considerados dentro de la Zona de influencia para Aire y Ruido.

5.2.3.4.2.4. Inventario de receptores sensibles

Durante la ejecución del inventario de fuentes de emisión, se realizó paralelamente el inventario de receptores sensibles dentro del área de influencia del componente atmosférico. Los receptores sensibles se entienden como los sitios de interés social o ambiental que son altamente vulnerables ante la presencia de un impacto por contaminación atmosférica, bien sea por ruido o calidad del aire, dadas sus condiciones de salud, importancia ecológica o social. Estos se presentan en el plano L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0033_V01 y en las figuras a continuación.

En el inventario se resalta un número importante de institutos educativos, unidades hospitalarias, centros de recreación y deporte y bibliotecas, para un total de 639 receptores sensibles identificados. En el Anexo 5.2 - 12.1 se presenta el inventario completo con el registro fotográfico, en la tabla a continuación se presentan los receptores sensibles identificados.

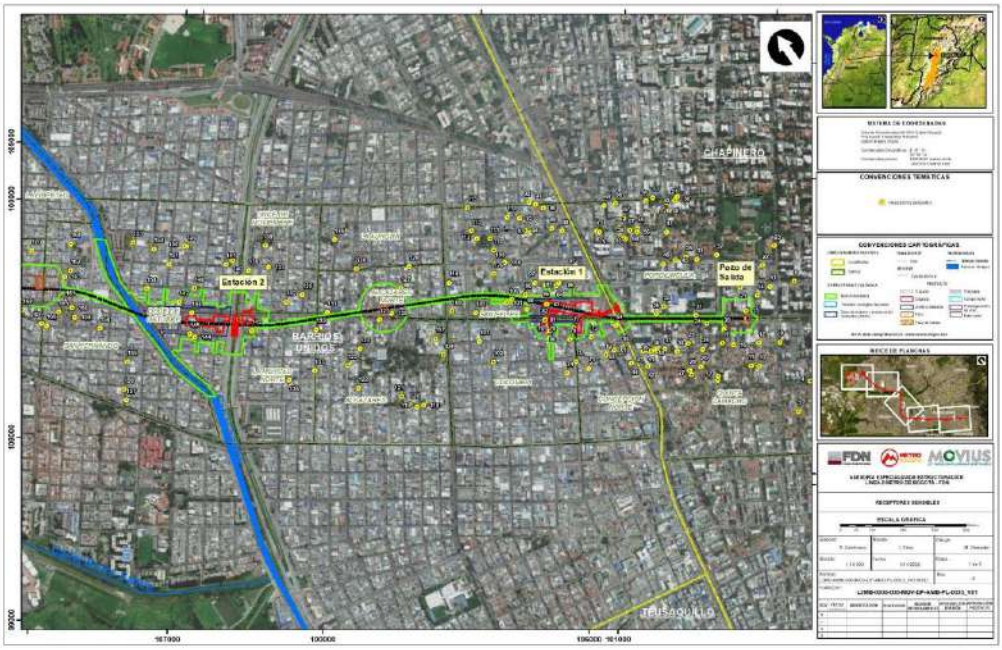


Figura 926. Ubicación de los receptores sensibles Pozo de salida - Estación 2
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

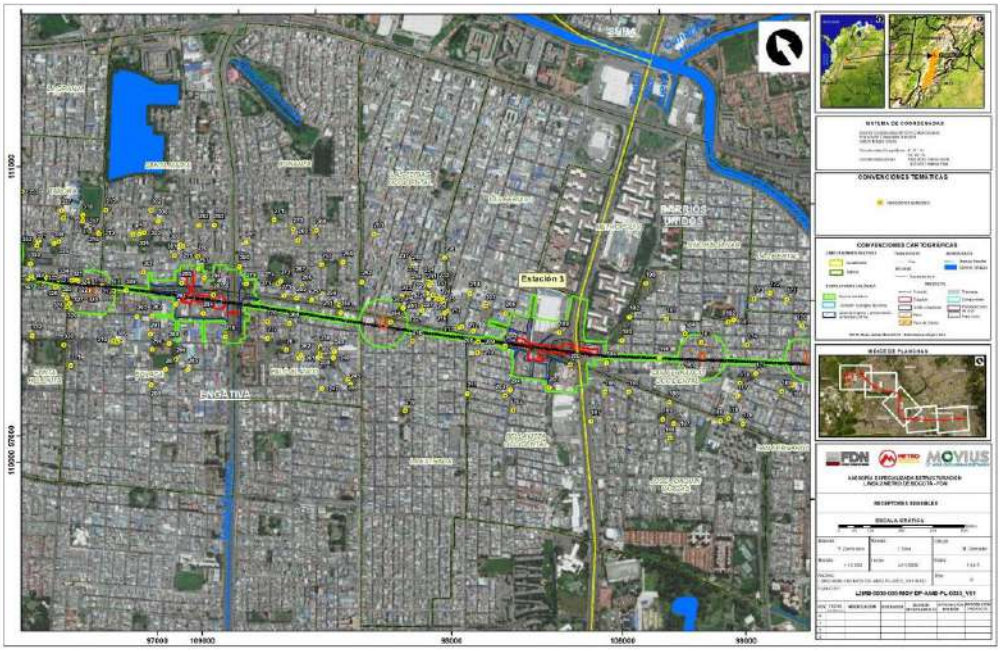


Figura 927. Ubicación de los receptores sensibles Estación 3 - Estación 4
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

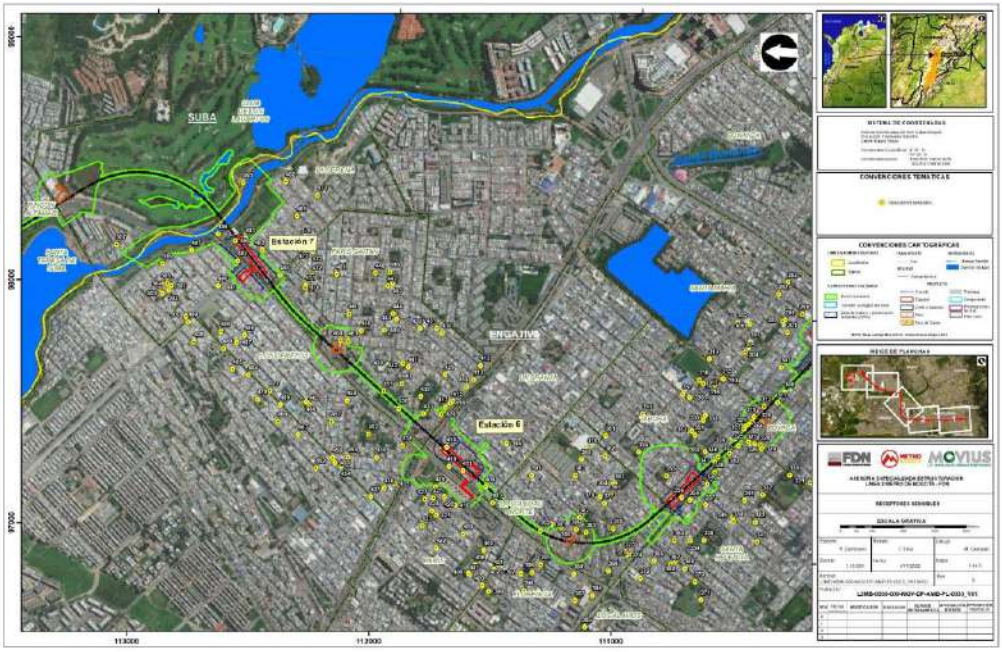


Figura 928. Ubicación de los receptores sensibles Estación 5 - Estación 7
Fuente: UT MOVIUS, 2022.



Figura 929. Ubicación de los receptores sensibles Estación 8 - Estación 10
Fuente: UT MOVIUS, 2022.



Figura 930. Ubicación de los receptores sensibles Estación 10 - Patio Taller
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 436. Inventario de receptores sensibles

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
1	Hotel Hilton	31	Universidad Central	61	Fundación Universitaria del Área Andina - AREANDINA	91	Corporación Universitaria UNITEC
2	Hotel JW Marriot	32	Universidad Central	62	Colegio Integral	92	Corporación Universitaria UNITEC
3	Universidad santo tomás	33	Universidad Sergio Arboleda	63	Institución Universitaria Corporación Escuela de Artes y Letras	93	Jardín Infantil Pequeñas Personitas
4	Colegio gimnasio moderno	34	Universidad Sergio Arboleda	64	IPS Laboratorio Clínico Medical Protection	94	IPS Unimsalud
5	Universidad EAN Laboratorios	35	Universidad Sergio Arboleda	65	Institución Universitaria Corporación Escuela de Artes y Letras	95	Instituto Poliandino
6	Universidad politécnico interNacional	36	Universidad Sergio Arboleda	66	IPS Centro Auditivo Medinistros	96	Hotel INN72
7	Universidad santo tomás sede abierta y a distancia	37	Centro Educativo Kuepa	67	Parque	97	Clínica Veterinaria Can Center
8	Centro comercial avenida Chile	38	Instituto Confucio UTADEO	68	Cruz Roja Colombiana	98	Escuela de Estética Facial y Corporal El Nogal
9	Iglesia Porciuncula	39	Unidad Médica Integral	69	Escuela de Vigilancia Privada ECOLVIP Ltda	99	Escuela Británica de Idiomas Experiencia Idiomas
10	Universidad pedagógica Nacional	40	Escuela de Gastronomía Mariano Moreno	70	Centro de Evaluacion E Investigacion Psicologica SAS	100	Colegio Centro de Promoción San José
11	Centro de idiomas interNacional house	41	Instituciones Educativas Maaruf - Centro Educativo Turco	71	La Iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos Días	101	Hotel INN72
12	Metrotel Bogotá Radisson	42	Holiday Inn Express & Suites	72	Corporación Universitaria Institución Universitaria CAT. Educación Técnica Laboral CENSA	102	Hotel Fénix Real
13	Universidad Sergio Arboleda	43	Academia Nacional de Medicina	73	Parque San Felipe Localidad Barrios Unidos	103	Corporación Educativa del Cuerpo, La Salud y La Belleza - Corpobella
14	Universidad Sergio Arboleda	44	Corpoeducación	74	IPS Lacorsalud	104	IPS Tu Salud y Bienestar
15	Iglesia cristo rey	45	Clínica de Traumatología y Ortopedia	75	Corporación Universitaria Iberoamericana	105	IPS Cumbre

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
16	Academia charlot	46	Teatro Nacional	76	Hogar Infantil Mis Pequeños Genios ICBF	106	Clínica Cuanal
17	Universidad Sergio Arboleda	47	Universidad EAN	77	Universidad Edulpol	107	Gimnasio Bolivar
18	Universidad Sergio Arboleda	48	Charlot Teatro	78	Iglesia Cristiana Igleco	108	Fundación Universitaria del Área Andina - AREANDINA
19	Universidad UNICIENCIA	49	Jardín Infantil El Arca de Noe	79	Centro Médico Veterinário Zoogar	109	Gimnasio Americano
20	Centro de gastronomía y sommelier	50	Instituto UNICAP	80	Academia y Estética Profesional Canina Cesar Salamanca	110	Instituto SantaFé de Bogotá
21	Corporación Universitaria UNITEC	51	Instituto Colegio Heisenberg	81	Fundación Tecnológica Alberto Merani	111	Fundación Universitaria del Área Andina - AREANDINA
22	Corporación Universitaria UNITEC	52	Fundación Universitaria del Área Andina - AREANDINA	82	Academia Colombiana de Taekwon Do	112	Fundación Universitaria Patricia symes - unisymes
23	IPS IDIME	53	IPS Medical Protection	83	Jardín Infantil Angeles del Saber	113	Academia de Vigilancia Ceforvig
24	IPS AUDIOCOM	54	Centro Cultural Colombo Chino	84	IPS Tu Salud Laboral	114	Parque Zonal Alcázares
25	Universidad Sergio Arboleda	55	Escuela Microschool ANEEKA	85	Colegio Kajuyali School	115	Academia de Formación Actoral
26	Universidad Sergio Arboleda	56	Parque El Huevo	86	Academia de Capacitación en Seguridad El Pentágono	116	Liceo Los Alcázares
27	Universidad Central	57	Institución Universitaria Corporación Escuela de Artes y Letras	87	Escuela Maternal de la Universidad Pedagógica Nacional	117	Parque Infantil Los Alcázares
28	Escuela de la Marina Mercante	58	Institución Universitaria Corporación Escuela de Artes y Letras	88	Iglesia Internacional Ríos de Agua de Vida	118	Asociación Hogar Nuevo Amanecer - Bienestar Familiar
29	Clínica Nueva el Lago	59	Academia Arte y Hobby	89	Universidad INFORTEC	119	Apartahotel Los Alcázares
30	Clínica Oftalmológica Colsubsidio	60	IPS Fisiorad	90	Corporación Universitaria UNITEC	120	Guardería y Preescolar Camino a la Imaginación

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
121	kink SAS productos de decoración fuente fija	151	Jardín Infantil El Nogal de La Esperanza	181	Funeraria para Mascotas Funeravet - Fuente fija	211	Academia de Belleza Julieth

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
122	Colegio San Felipe Neri	152	Parque Público 12 de Octubre	182	Academia Tao Qi	212	Colegio República de Colombia I.E.D. sede C
123	Hotel - Moll Colonia 72	153	Iglesia Cristiana Pentecostés de Colombia. Movimiento Misionero Mundial	183	Jardín Infantil La Ciudad que Soñamos	213	Parque Urbanización La Estrada
124	Hospital Veterinario GB6B	154	Academia y Tienda de Música Pick	184	Casa de Juventud Nasqua	214	Liceo Gulliver
125	Colegio Santa Rosa de Lima	155	Río Arzobispo	185	Iglesia Cristiana Misión Cristiana de Restauración y de Conciliación a las Naciones	215	Colegio Real de Bogotá
126	Eficiencia Ocupacional - Exámenes Salud Ocupacional	156	Parroquia San Fernando Rey	186	Parque Público Vecinal San Fernando	216	Parque Urbanización Acapulco
127	Hornos Crematorios Cementerio Chapinero la 30 Fuente Fija	157	Gimnasio del Corazón de María	187	Colegio Alexander Humboldt	217	Comité Cívico Barrio Acapulco - Sede Social
128	Colegio Francisco Primero Sede C	158	Colegio República de Panamá	188	Asociación Casa de Ancianos - ASHOCAR	218	Fuente Fija Cra 70g # 71 - 74 Empresa de Muebles
129	Laboratorio Clínico Especializado Ultigen	159	Salón Comunal Barrios Unidos	189	Instituto Santa Inés Transición y Primaria	219	Fuente Fija Cra 70g # 71-48 Fabrica de Muebles
130	Iglesia Siervas de María	160	Iglesia Cruzada Evangélica Mundial de San Fernando	190	Centro de la Odontología	220	Iglesia Adventista del Séptimo Día
131	Iglesia Cristiana Amor Fraternal Filadelfia	161	Hogar Comunitario Globito de Paz - ICBF	191	Alcohólicos Anónimos Grupo Modelo Norte	221	Templo Adventista del Séptimo Día
132	Centro Hospitalario San Nicolás	162	Clínica Veterinaria C&M Mascotas	192	Institución Educativa Distrital Jorge Eliécer Gaitán Sede B	222	Colegio Adventista del Norte
133	Parque Público Vecinal 11 de Noviembre Localidad Barrios Unidos	163	Iglesia de Dios La Casa de Yahweh	193	Hogar Infantil Angeles de Amor - ICBF	223	Colegio Adventista del Norte
134	Desarrollo Infantil en Medio Familiar - DIMF. Bienestar familiar	164	Jardín Infantil Kanguritos Traviesos	194	Colegio Panamá sedes B y C	224	Colegio Néstor Forero Alcalá IED sede A
135	Estudio Integral de Arte	165	Iglesia Adventista del Séptimo Día	195	Veterinaria Tila Begleiter	225	Hogar Infantil Angel de la Guarda
136	EPS Capital salud - Punto de atención al usuario	166	Laboratorio Clínico ReviSalud	196	Veterinaria Royal Canin	226	Parque Urbanización Palo Blanco

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
137	Escuela de Instrucción Aeronáutica	167	Colegio Distrital Tomás Carrasquilla Sede A	197	Fundación Universitaria UNIMONSERRATE	227	Asamblea de Iglesias Cristianas
138	Clínica Veterinaria Medical Pets	168	Fuente Fija Calle 72a# 63-47	198	IPS Health & Life	228	Iglesia Cristiana Sin Límites
139	Parque Santa Mónica Localidad Barrios Unidos	169	Veterinaria Tila	199	Iglesia Salón del Reino de los Testigos de Jehová	229	Colegio Néstor Forero Alcalá IED sede B
140	Junta de Acción Comunal Barrio La Aurora Norte	170	Centro de Desarrollo Familiar - IBF	200	Iglesia Centro Cristiano Nueva Generación	230	Colegio Instituto INSCAP
141	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia - sede Chapinero	171	Veterinaria Colombia Vet Co	201	Parque J J Vargas	231	Instituto Tecnisistemas
142	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	172	Parque Público Vecinal Urbanización Metrópolis	202	Clínica Veterinaria Mascotas y + Cosas	232	Parque Urbanización La Estrada
143	Centro Veterinario y Laboratorio Panavet	173	Iglesia Cristiana La Libertad	203	Jardín Infantil Jugando con Yaya	233	Iglesia Cristiana Sol de Justicia
144	Servicios Odontológicos Integrales Dental Health	174	Iglesia Local Bíblico. Hermanos en Cristo San Fernando	204	Jardín Infantil Gaviotas	234	Odontología de Nury Puentes / Juan Mateus
145	Iglesia Amazing Grace	175	Parque Público Vecinal Urbanización Metrópolis	205	Parqueadero Bellavista 68 . Fuente de Ruido	235	Clínicas Odontológicas
146	Centro Abrazar. Atención Transitoria a niños, niñas y adolescentes	176	Pequeños Dinosaurios - ICBF	206	Parque Barrio Bellavista	236	Centro Educación Global
147	Plaza de Mercado 12 de Octubre	177	Odontología General y Especializada Amily Smile	207	Bellsalud Odontología Integral y Especializada	237	Gimnasio Juvenil Santa Catalina
148	Parque 12 de Octubre	178	Río Arzobispo	208	Iglesia Cristiana Manantial	238	Parque Público Vecinal Bonanza
149	Salon Comunal Barrio 12 de Octubre	179	Liceo VAL - Vida, Amor, Luz	209	Clínica Odontológica Odontofam	239	IPS Corsanemos
150	Parroquia Nuestra Señora de Monguí	180	Iglesia Liceo VAL	210	IPS Sana Consulta	240	Academia Colombiana de Seguridad y Vigilancia Privada CosecaD

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
241	Iglesia Asambleas de Dios. Casa de Oración Apostólica ICOAP	271	Motel Manhattan	301	Parque Boyacá Real	331	Parque Barrio La Clarita

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
242	Academia de Baile Abanico Ritmico	272	Consultorio Médico Dr. Gustavo Briceño	302	Iglesia Nueva Apostólica	332	Centro Superior de Estudios Financieros e Informáticos Cenpefi
243	Parque Bonanza Las Brisas	273	Motel El Porvenir Suites	303	Iglesia Comunidad de Renovación Cristiana	333	Liceo Mi Nuevo Horizonte del Tabora
244	Iglesia Santa Iglesia Gnóstica Cristiana Universal Samael Aun Weor de Colombia	274	Motel El Encanto	304	Fuente Fija Calle 71 # 73a - 53	334	Colegio José Martínez Ruiz
245	Odontología Integral Ortodents Pluss	275	Motel Pelikanos	305	Hogar Infantil ICBF	335	Parque La Clarita
246	Instituto Henao y Arrubla	276	Motel Fenix	306	Hotel Palacio Real	336	Parroquia Cristo Luz de las Gentes
247	Instituto Henao y Arrubla	277	Motel Suite Manantial	307	Centro de Gestión Industrial SENA	337	Colegio Gimnasio Villa Lorena
248	Parque Bonanza	278	Motel Waka Waka	308	Fuente Fija eaceiplas SAS - Transformación y Comercialización de Materiales Plásticos	338	Iglesia Cristiana Confraternidad
249	Pro Acrilic Dental	279	Motel Pelikanos	309	I.E.D. Manuela Ayala de Gaitán	339	Colegio Gimnasio Villa Lorena
250	Hogar Grupal Angelitos del Saber - ICBF	280	Iglesia Universal Jesucristo es el Señor	310	Iglesia Bautista Reformada El Redentor	340	Colegio Gimnasio La Clarita
251	Escuela de Bellas Artes Luz de Vela	281	Motel Ensueño	311	Fuente Fija Calle 71 Cra 75	341	CADE Santa Helenita
252	Parque Público Urbanización La Bonanza del Sector	282	Veterinaria Animal Station	312	Healthy Dent	342	Odontología Estética DentiVital
253	Odonto Family	283	Clínica Odontológica Idanis Paez	313	Dibadent Radiología Oral	343	Centro Médico Healthy Skin
254	Plaza Distrital de Mercado Las Ferias	284	Iglesia de Dios Ministerial de Jesucristo Internacional	314	Laboratorios Dentales Unidos	344	Jardín Infantil Pequeñas Travesuras Kids
255	Instituto Tecnisistemas	285	Cancha Ferias	315	Cancha de Fútbol y Parque Santa Helenita	345	Clínicas Odontológicas Oralmedic
256	Jardín Infantil Las Ferias y Jardín Infantil Nocturno Rayito de Luna	286	Escuela de Belleza Constelación 2000	316	Clínicas Odontológicas Oral Boutique	346	Liceo Comercial Las Américas Sede A
257	Colegio Distrital Naciones Unidas Sede B	287	Institución Educativa Distrital Naciones Unidas Sede A	317	Laboratorio Dental María Helena	347	Liceo Comercial Las Américas
258	Biblioteca Pública Las Ferias	288	Fuente Fija Plantas Alkosto	318	Centro Odontológico San Jorge	348	Jardín Infantil Lewis Therman

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
259	Jardín Infantil Las Ferias	289	Alkosto (Marcarlo nuevamente desde Google Earth)	319	Escuela de Seguridad Privada Los Especialistas Ltda	349	Parque Público Quinta de La 80
260	Cancha Las Ferias	290	Iglesia Fe y Esperanza (gps)	320	Academia de Belleza Cedeca	350	Parque Urbanización Aguas Claras
261	Parque CAI Las Ferias	291	Fuente Fija Cra 72a # 70-25	321	Centro de Educación Laboral El Conocimiento Eficaz	351	Junta de Acción Comunal Barrio Aguas Claras
262	Escuela OdontoMedica	292	Fundación Phenix	322	Iglesia de las Asambleas de Dios El Nazareno	352	Colegio Distrital San José Norte Sede B
263	Motel Crucero	293	Iglesia Ministerio Internacional C.D.O. Puerta del Cielo	323	Consultorio Odontológico Dra. Reyes	353	Colegio Mayor Primeros Maestros
264	Motel El Porvenir	294	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia Sede Boyacá Real	324	Liceo Psicopedagógico San Buenaventura	354	Iglesia de Dios Ministerial de Jesucristo InterNacional (con fuente Fija)
265	Motel	295	Fuente Fija Calle 71a # 72-46 Fábrica de Madera - MadeCentro	325	Clínica Veterinaria DogMar	355	Veterinaria & Estética Canina Profesional Farmavet
266	Motel Mar Azul	296	Cancha de Fútbol Barrio Boyacá Real	326	Academia de Baile Salsa Sin Límite	356	Odontología Especializada Obandent
267	Motel El Encanto VIP	297	Canchas Sintéticas de Fútbol 5 - La Bombonera	327	Centro de Estimulación Adecuada Acuarelas	357	Parque Barrio Tabora
268	Motel Ventura Suite	298	Tiber Calle 70 # 72-32 Fuente Fija	328	Hogar Infantil Aprendiendo Chiquilladas - ICBF	358	Parque Barrio Tabora
269	Motel Marazzi Suite	299	Parroquia Nuestra Señora de la Consolación	329	Hogar Comunitario de Bienestar La Casita del Saber - ICBF	359	Academia de Baile Feel Dance
270	Motel	300	Centro de Atención Prioritaria en Salud Boyacá Real	330	Odontología Estética Fast Dent	360	Escuela de Karate

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
361	Parque Barrio Tabora	391	Iglesia Cristiana Misión Vida Asambleas de Dios	421	Parque	451	IPS Todo en Salud
362	Denti Center	392	Parque Santa María del Lago	422	Escuela de Formación Musical FESPA	452	Parque La Española
363	Colegio Tabora I.E.D. Sede A	393	Iglesia Bíblica Misionera La Gracia	423	Fuente Fija Calle 72a No. 86-14	453	Liceo Moderno Británico

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
364	Parroquia San Juan de Mata	394	Centro de Cuidado Renal Davita	424	Parque Infantil	454	Mi Can Veterinaria
365	Clínica Veterinaria Agro Peluditos	395	Fuente Fija Centro de Cuidado Renal Davita	425	Parque Vecinal Urbanización Pentagrama	455	Polideportivo Barrio Los Cerezos
366	Parque Desarrollo Urbanístico Residencial Tabora	396	Salón del Reino de los Testigos de Jehová	426	Junta de Acción Comunal Barrio Los Pinos	456	Parroquia Cristo Sacerdote
367	Veterinaria Laurel Vet	397	Protectorado de San José. Monasterio Santa Trinidad	427	Jardín Infantil	457	Colegio Centro Lestonnac
368	Odontología Integral Smile Plus	398	Hogar Infantil de Bienestar Boyacá - ICBF	428	Parque Público Urbanización Mandarino	458	Fundación Hogar Gerontológico Mis Años Dorados
369	Corporación Tecnológica Empresarial	399	IPS Corporación Nuestra	429	Gimnasio Académico Cervantes	459	I.E.D. Jorge Gaitán Cortés Sede A
370	Junta de Acción Comunal Tabora	400	Fundación Amar	430	Salón Comunal Florencia	460	Jardín Infantil Anthony Brownie
371	Estadio del Tabora	401	Veterinaria SaniMals	431	Parroquia La Encarnación	461	Liceo Huellas de Triunfo
372	Clínica Infantil Santa María del Lago	402	Parque Almería	432	Parque Público Estadio Barrio Florencia	462	Modalidad Desarrollo Infantil en Medio Familiar
373	IPS Viva 1A	403	Iglesia Nuestra Señora de la Soledad	433	Hogar Infantil Florencia ICBF	463	Centro Día Los Cerezos
374	Clínica Infantil Santa María del Lago	404	Colegio San José Norte I.E.D.	434	Instituto Técnico Angeli	464	Uniminuto
375	Clínica Infantil Santa María del Lago	405	Liceo Integral La Granja	435	Parque Principal Florencia	465	Iglesia Cristiana Casa de Fé
376	Fuente Fija Clínica Infantil Santa María del Lago	406	Fuente Fija Cra 83 No. 77a - 35	436	Hogar Comunitario de Bienestar Carrusel de los Niños ICBF	466	Parque Los Cerezos
377	Clínica Odontológica Oral Stetic	407	Fundación Jema. Jesus y María - ICBF	437	Hogar Comunitario Semillas de Paz	467	Parque Urbanización San Jorge Norte
378	Alta Estética Dental Dr. Jonatan Solano	408	Iglesia Cristiana Fundamento de Vida	438	Casa Hogar Mi Segunda Familia	468	Fuente de Ruido - Aspirador de Partículas madera
379	Odonto Family	409	Clínica Odontológica Gran Sonrisa	439	Parque Zona Verde Barrio San Cayetano	469	Hogar Comunitario Semillas de Amor
380	Sonría	410	Iglesia Filadelfia Piedras Vivas	440	Hogar Comunitario de Bienestar Mis Primeras Creaciones	470	Iglesia Proezas
381	Odonto Family	411	Consultorio Odontológico	441	Jardín Infantil Mentes Creativas	471	Jardín Infantil Cofinanciado Mamá

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
							Canguro
382	Oral Stetic Soluciones Odontológicas	412	Fuente Fija Calle 75 No. 83a - 36	442	Parque San Cayetano	472	Veterinaria Dr. Pets
383	Academia Francesa de Belleza	413	Fuente Fija Calle 74a No. 84 - 13	443	Iglesia de Dios Ministerial de Jesucristo Internacional	473	Unidad de Servicios de Salud Quirigua
384	Odontología Integral Os Sanum	414	Centro de Formación en Alturas Cubik	444	Jardín Infantil Los Cerezos	474	Junta de Acción Comunal Quirigua Sector F
385	Colegio Gimnasio El Lago	415	Hogar Comunitario Castillo Mágico - ICBF	445	Fuente Fija Herrería La 80	475	Cancha Múltiple Quirigua
386	Colegio Liceo San Rafael de Alicante	416	Junta de Acción Comunal Soledad San José Norte	446	Iglesia de Compañerismo Cristiano Bogotá	476	Parque Sidauto
387	Colegio Liceo San Rafael de Alicante	417	Salon Comunal La Almería	447	Parque La Española III	477	Iglesia del Carmen
388	Parque Urb Santa María I y II Sector	418	Centro Veterinario Mi Mascota Punto 72	448	Iglesia Salón del Reino de los Testigos de Jehová	478	Parque Infantil
389	Hogar Britta Modalidad Internado ICBF	419	Parque Urbanización Zarzamora Cafam	449	Hogar Comunitario de Bienestar Jugando Aprendemos	479	Centro Veterinario y Peluquería Mi Amigo y Yo
390	Veterinaria Pet's Hero	420	Studio Dental	450	Iglesia Cristiana Fuente de Agua Viva	480	Clínica Odontológica Laura Alexandra

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
481	Parque La Serena	511	Iglesia Dios es Amor	541	Consultório Odontológico Odonto Class	571	Parque Albear
482	Odontología Integral R&C Dental Care	512	Polideportivo La Gaitana	542	Clínica Odontológica m&m	572	Parque
483	Río Salitre	513	Jardín Infantil Nuevos Timanquitos	543	Academia Colombiana de Profesionales en Seguridad	573	Centro Recreativo, Deportivo y Cultural Fontanar
484	Salón Comunal Barrio Jaime Bermeo	514	Parque Zonal La Gaitana	544	Centro Odontológico Dr Diego Trujillo	574	Centro Felicidad Fontanar del Río
485	Humedal Juan Amarillo	515	Colegio Distrital La Gaitana	545	Hogar Comunitario Mis Pequeños Genios 2 ICBF	575	Parque Fontanar del Río B-II
486	Río Arzobispo	516	Parroquia San Anselmo	546	Iglesia Cristiana Real Mundial de Adoración	576	Jardín Taller Creativo San Nicolás

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
487	Parque Público Corinto	517	Junta de Acción Comunal Barrio La Gaitana	547	Consultorio Odontológico Smile Dent	577	Parque Público Fontanar del Río B- II Etapa
488	Parque Nuevo Corinto	518	Colegio Distrital La Gaitana Sede B	548	Consultorio Odontológico BluDent	578	Parroquia San Dionisio
489	Cancha de Fútbol Nuevo Corinto	519	Colegio San Anselmo	549	Hogar Comunitario La Casita Roja ICBF	579	Fuente de Ruido Parqueadero SITP
490	Jardín Infantil San Miguel	520	Junta de Acción Comunal Barrio Villa María Primer Sector	550	Hogar Comunitario Los Conejitos	580	Parque Barrio Bilbao
491	Hogar Comunitario Los Bulliciosos	521	Parque Villa María	551	Laboratorio Clínico El Alfa y La Omega	581	Colegio Gimnasio Latinoamericano
492	Parque Público Vecinal Nuevo Corinto	522	Iglesia Cristiana Evangélica CREA	552	Veterinaria Suba	582	Clínica Veterinaria Cat&Perry
493	Jardín Centro de Estimulación Sensorial María Montessori	523	Colegio Santiago de Compostella	553	Parque Puerta del Sol 2	583	Odontología Exident
494	Fuente de Ruido Parqueadero SITP	524	Iglesia Cristiana La Buena Semilla	554	Parque Infantil Puerta del Sol 2	584	Jardín Infantil Niños de Paz
495	Junta de Acción Comunal Barrio Carolina III	525	Laboratorio Dental Paula Florez	555	Parque Infantil Puerta del Sol 2	585	Asesorías de Tareas
496	Parque Desarrollo La Carolina III Sector	526	Cancha de Múltiple Barrio Villa María Segundo Sector	556	Parque Puerta del Sol 2	586	ICBF caritas Alegres Calle 144 No. 141A- 50 Int 70
497	Colegio Gimnasio Moderno Jhon Enders	527	Hogar Comunitario Jugando Aprendo ICBF	557	Parque Gimnasio Puerta del Sol 2	587	Colegio Reina de Gales
498	Parque Atenas	528	Instituto Cencosistemas	558	Parque Puerta del Sol 2	588	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia Bilbao
499	Jardín Infantil Jardines de Tibabuyes	529	Institución Educativa Liceo Federico García Lorca	559	Parque Zonal Tibabuyes	589	Centro de Desarrollo Infantil Ángeles de Sabiduría ICBF
500	Parque Público Tibabuyes	530	Cursos para Seguridad Bermat Ltda	560	Escuela de Música Angel	590	Colegio La Fantasía del Conocimiento
501	Fuente de Ruido - Mecánica Carros Pesados	531	Veterinaria y Peluquería Pets Funny	561	Colegio Dulce María	591	Consultorio Odontológico
502	Jardín ICBF	532	Fundación Villa María	562	Parque Público Urbanización Sábana de Tibabuyes	592	Jardín Infantil Doradito Lagunero
503	Parque Aures II	533	Academia de Arte Artes Plásticas	563	Parque Urbanización La Sábana de Tibabuyes	593	Jardín Infantil Nocturno Curricutú

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
504	Veterinaria Can&Cat	534	Laboratorio Clínico	564	Gimnasio Académico San Nicolás de Bari	594	Casa de Integración Familiar Botoncillo de Agua
505	Parque Central Nueva Ciudadela Tibabuyes	535	Hogar Comunitario Enanitos Verdes ICBF	565	Gimnasio Los Pequeñines	595	Colegio Delia Zapata Olivella I.E.D.
506	Centro Comercial Laguna	536	Academia Language Vancouver	566	Jardín Infantil Arco Iris	596	Jardín Infantil María Montessori Kids
507	Colegio República Dominicana	537	Hogar Comunitario Semillas del Futuro	567	Gimnasio Infantil Da Vinci	597	Urbanización Fontanar del Río B Primera Etapa
508	Parroquia Jesucristo Camino, Verdad y Vida	538	Hogar Comunitario de Bienestar Mickey	568	Liceo Moderno Mi Mundo Ideal	598	Cancha Múltiple Bilbao
509	Jardín Infantil Grandes Genios	539	Hogar Comunitario de Bienestar Los Cachifitos	569	Colegio Centro Educativo Distrital Bilbao Parques del Campo	599	Jardín Infantil Kindergarten John Dewey
510	Iglesia Comunidad de Renovación Cristiana Nueva Vida	540	Hogar Comunitario Amiguito de San Miguel Arcángel ICBF	570	Parque Público	600	Liceo Infantil San Marcos Kids

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
601	Parque Infantil	611	Parque Zonas Verdes Fontanar	621	Parque Compartir Suba Gato Chico	631	Canal de Aguas
602	Hogar Comunitario Mickey ICBF	612	Gimnasio Cristiano Tic Toc	622	Hogar Infantil Compartir Suba II	632	Parque Barrio Puerta del Sol
603	Cancha Voleibol	613	Veterinaria Firulais	623	Institución Educativa Compartir Suba	633	ICBF UDS Lulu y Tobi
604	Parque Infantil	614	Jardín Infantil Maisan Garden	624	Cancha Baloncesto	634	Hogar Comunitario Garfield
605	Parque Público	615	Parque Público Fontanar del Río Etapa V	625	Cancha Baloncesto	635	Laboratorio Clínico Salud Medicina
606	Liceo Empresarial del Campo	616	Parque Urbanización Rodesia I Etapa	626	Hogar Infantil Asociación Compartir Suba III	636	Centro de Estética y Rehabilitación Oral CERO
607	Hogar Comunitario Nidito de Crianza	617	Jardín Infantil Maisan Garden	627	Junta de Acción Comunal Barrio Rincón de Santa Inés V Etapa	637	Consultorio Odontológico Dental Health
608	Veterinaria Masco Hogar	618	Jardín Infantil Leoncitos Creativos	628	Parque La Fontana	638	Veterinaria
609	Odontología Especializada en Rehabilitación Orofacial	619	Veterinaria Mr. Bigotes	629	Parque Ciudadela Cafam	639	Canal de Aguas

N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor	N°	Nombre del receptor
610	Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo ICBF	620	Centro de Odontología Especializada	630	Colegio Hogar de Nazareth		

Fuente:UT MOVIUS, 2022

5.2.3.4.2.5. Metodología

Con el fin de Identificar los aportes de ruido (Ld y Ln) generados en el área de influencia del proyecto de la L2MB, se desarrolló la modelación de ruido en el área de influencia bajo seis escenarios de modelación planteados a continuación.

- Línea base día hábil (periodo diurno y nocturno)
- Línea base día no hábil (periodo diurno y nocturno)
- Construcción primer momento con Línea base
- Construcción primer momento sin Línea base
- Construcción segundo momento con Línea base
- Construcción segundo momento sin Línea base
- Operación con Línea base
- Operación sin Línea base

Para la caracterización de los periodos de evaluación de los escenarios anteriormente mencionados se tuvo en cuenta la Resolución 0627 de 2006 expedida por el antes Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), la cual se establece como periodos de evaluación los siguientes periodos:

- Diurno 7:01 a.m. a 9:00 p.m.
- Nocturno 9:01 p.m. a 7:00 a.m.

Asimismo, para la evaluación de los escenarios y su posterior comparación con límites máximos permisibles se fundamentó el análisis de resultados con base a la Resolución 0627 de 2006 expedida por el antes Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) los estándares máximos permisibles de ruido ambiental (ruido total en la zona debido a las fuentes presentes) y emisión de ruido (ruido generado específicamente por una fuente objeto) diferenciados por el uso de suelo.

5.2.3.4.2.6. Normatividad

Para el análisis de resultados, los niveles de ruidos obtenidos en los modelos, se compararon con la norma vigente Resolución 0627 del 2006 del MADS, la cual establece los límites máximos permisibles de ruido ambiental según el sector donde se encuentre cada punto de monitoreo.

A continuación, se presentan los límites máximos establecidos por la norma.

Tabla 437. Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006 del MADS.

Sector	Subsector	Estándares máximos Permisibles de niveles de ruido ambiental en db(a)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido Intermedio restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Fuente: UT MOVIUS 2022.

Adicionalmente, para entender los cumplimientos o incumplimientos asociados a los límites máximos permisibles establecidos en las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad (GUÍAS GENERALES: MEDIO AMBIENTE RUIDO) - GRUPO DEL BANCO MUNDIAL Tabla 1.7.1-Guías de niveles de ruido, a continuación, se presentan los niveles de ruido estipulados en la tabla anteriormente mencionada.

Tabla 438. Guías de nivel de ruido

Receptor	Una hora L_{Aeq}(dB(A)	
	Por el día 07:00 - 22:00	Por la noche 22:00 - 07:00
Residencial; institucional; educativo	55	45
Industrial; comercial	70	70

Fuente: GUÍAS GENERALES: MEDIO AMBIENTE RUIDO -Corporación Financiera Internacional, Grupo del Banco Mundial.

5.2.3.4.2.7. Características generales

- Software y estándares de ruido utilizados

El software utilizado para realizar la predicción de propagación de ruido fue SOUNDPLAN® 8.1.

A continuación, se presenta una figura del software empleado para las modelaciones.

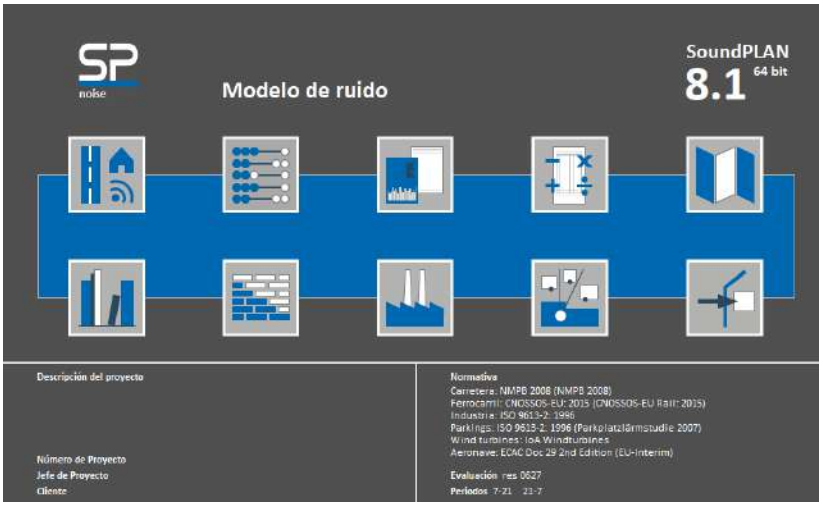


Figura 931. SOUNDPLAN® 8.1.
Fuente: UT MOVIUS 2022.

Para realizar las simulaciones de ruido se definieron los siguientes estándares de Carretera (NMPB 2008) y de Ferrocarril (CENOSSOS-EU: 2015)

- Métodos de cálculo

Los métodos de cálculo del ruido en ambientes exteriores corresponden a la aplicación de las siguientes normativas de uso internacional para el cálculo de la propagación acústica para fuentes fijas y móviles en espacios exteriores.

NMPB Routes: Estándar francés para la predicción del ruido sobre ejes viales.

El método francés para la predicción del ruido sobre ejes viales permite la definición de las emisiones de ruido del tráfico vial, a partir de los términos la contribución de la unidad de potencia o motor del vehículo y la contribución del ruido de rodadura. El componente motor depende de la velocidad, la aceleración y la pendiente de la carretera. Para vehículos ligeros (LV) su contribución se calcula como:

$$L\ (m\ \ w/m, LV\ )\ (v) = L\ (LV)\ (90) + b.log\ (v/90)$$

Ecuación 76. Ruido vehículos ligeros

Fuente: Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy - Enda Murphy Eoin King, 2014.

Dónde: LLV (90) y b son diferentes según velocidad constante, acelerada o desacelerada, para vehículos pesados (HV) se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L\ (m\ \ w/m, HV\ )\ (v) = L\ (HV)\ (80) + b.log\ (v/80)$$

Ecuación 77. Ruido vehículos pesados

Fuente: Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy - Enda Murphy Eoin King, 2014.

Dónde: LHV (80) y b son diferentes según velocidad constante, acelerada o desacelerada, la componente de rodadura (Lr w/m) depende de la velocidad del vehículo y del tipo de superficie de la carretera. Las superficies se clasifican en 3 tipos (R1, R2, R3) según las características del asfalto. La siguiente tabla muestra las ecuaciones para el cálculo del nivel sonoro debido al componente de rodadura en función de la velocidad del vehículo. Ver Tabla 438.

Tabla 439. Cálculo de emisión Media debido al Componente Rodadura.

Tipo de superficie	L (r,LV)	L (r,Hv)
R1	53,4+21log (v/90)	61,5+20log (v/80)
R2	55,4+20.1log (v/90)	63,3+20log (v/80)
R3	53,7+21.4log (v/90)	64,4+20log (v/80)

Fuente: Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy - Enda Murphy Eoin King, 2014.

La propagación del ruido en espacios exteriores para fuentes puntuales, presentan el comportamiento descrito en las normativas internacionales: ISO 9613-1:1993 – Acústica: Atenuación del sonido en espacios exteriores – Parte 1: Cálculo de la absorción del sonido por la atmósfera e ISO 9613-2:1996 Acústica: Atenuación del sonido en espacios exteriores – Parte 2: Método general de cálculo.

El cálculo de la propagación de ruido hacia puntos receptores en condiciones de propagación homogénea, se realiza de manera separada y tiene en cuenta la suma de las condiciones de atenuación existentes en la trayectoria fuente/receptor de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A = Adiv + Aatm + Ag\,r + Abar + Amisc$$

Ecuación 78. Propagación de ruido

Fuente: ISO 9613-2:1996 Acústica: Atenuación del sonido en espacios exteriores – Parte 2: Método general de cálculo.

Donde:

Adiv = atenuación debido a la divergencia geométrica.
Aatm = atenuación debido a la absorción atmosférica.
Ag r = atenuación por efecto del suelo.
Abar = atenuación por efecto de barreras.
Amisc = atenuación por otros efectos similares.

Las condiciones y parámetros incluidos en el método de cálculo del modelo, bajo la normativa ISO 9613, se presentan a continuación:

A continuación, en la siguiente tabla se presentan las ecuaciones utilizadas en el cálculo de dispersión.

Tabla 440. Ecuaciones utilizadas en el cálculo de dispersión

Nombre	Fórmula
Divergencia geométrica (Adiv)	$Adiv = 20 * log(d/d0) + 11$
Absorción atmosférica (Aatm)	$Aatm = \ ad/1000$
Efecto del suelo (Agr)	$Agr = As + Ar + Am$ Cuando el sonido no es un tono puro. En estos casos la atenuación podría ser calculada mediante la ecuación: $Agr = 4.8 - (2hm/100)[10 + (300/d)] > \ 0$
Apantallamiento (Abar)	$Abar = Dz - Agr \ > 0$ $Aatm = Dz \ > 0$
Reflexiones	El valor del coeficiente de reflexiones irán en función del objeto que produzca el apantallamiento, el cual puede variar entre diferentes absorciones según la constitución mecánica de dicho material

Fuente: ISO 9613-2:1996 Acústica: Atenuación del sonido en espacios exteriores – Parte 2: Método general de cálculo.

Tabla 441. Condiciones de atenuación del sonido en el espacio libre ISO 9613-2

Propiedad de atenuación	Propiedad de atenuación
P1 – Divergencia geométrica	Diferencia máx. GND + Difracción 1,0 dB

Propiedad de atenuación	Propiedad de atenuación
P2 – Absorción atmosférica	ISO 9613-1 a 20 ºC; Presión atmosférica 1013,3 mbar
P3 – Perfil del terreno	Plano medio del perfil del terreno
P4 – Efecto del suelo	Función de coeficiente G adimensional del terreno
P5 – Reflexiones	Consideradas en efecto del suelo
P6 – Difracciones	Dependiente de la longitud de onda y la diferencia de trayectorias
P7 – Condición meteorológica	Homogénea, ISO 9613-1 a 20 ºC y 70% humedad; Presión atmosférica 1013,3 mbar

Fuente: ISO 9613-1:1993 – Acústica: Atenuación del sonido en espacios exteriores – Parte 1: Cálculo de la absorción del sonido por la atmósfera.

Por otra parte, el modelo de ruido del tráfico ferroviario, de forma análoga al ruido del tráfico rodado, describe la emisión de potencia sonora del ruido de una combinación específica de tipo de vehículo y tipo de vía que cumple una serie de requisitos descritos en la clasificación de vehículos y vías, en términos de un conjunto de potencia por cada vehículo.

La emisión de ruido de un flujo de tráfico en cada vía estará representada por un conjunto de 2 líneas fuente caracterizadas por su potencia sonora direccional por metro por banda de frecuencia. Corresponde a la suma de las emisiones sonoras debidas a los vehículos individuales que transitan en el flujo de tráfico y, en el caso concreto de los vehículos parados, teniendo en cuenta el tiempo de permanencia de los vehículos en el tramo ferroviario considerado.

La potencia sonora direccional por metro por banda de frecuencias, debida al paso de todos los vehículos por cada tramo de vía en el tipo de vía (j), se define:
para cada banda de frecuencias (i),

- Para cada altura de fuente dada (h)
- Para fuentes a 0,5 m h = 1, a 4,0 m h = 2),

y es la suma de energía de todas las contribuciones de todos los vehículos que circulan en la sección de vía j-ésima específica. Estas contribuciones son:

- De todos los tipos de vehículos (t)
- A sus diferentes velocidades (s)
- En las condiciones particulares de circulación (velocidad constante) (c)
- Para cada tipo de fuente física (rodaje, impacto, chirrido, tracción, aerodinámica y fuentes de efectos adicionales como, por ejemplo, el ruido del puente) (p).

Para calcular la potencia acústica direccional por metro (entrada a la parte de propagación) debida a la mezcla media de tráfico en el tramo de vía j-ésima, se utiliza lo siguiente:

$$L_{W',eq,T,dir,i} = 10 \cdot \lg\left(\sum_{x=1}^{X} 10^{L_{w',eq,line,x}/10}\right)$$

Ecuación 79. Potencia acústica
Fuente: Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU) — JRC Reference Report, EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.

- Ruido de rodadura

La contribución del vehículo y la contribución de la vía al ruido de rodadura se separan en cuatro elementos esenciales: rugosidad de las ruedas, rugosidad del carril, función de transferencia del vehículo a las ruedas ya la superestructura (buques) y función de transferencia de la vía. La rugosidad de la rueda y el riel representan la causa de la excitación de la vibración en el punto de contacto entre el riel y la rueda, y las funciones de transferencia son dos funciones empíricas o modeladas que representan todo el complejo fenómeno de la vibración mecánica y la generación de sonido en las superficies. de la rueda, el carril, la traviesa y la subestructura de la vía. Esta separación refleja la evidencia física de que la aspereza presente en un riel puede excitar la vibración del riel, pero también excitará la vibración de la rueda y viceversa. La no inclusión de uno de estos cuatro parámetros impediría la desvinculación de la clasificación de vías y trenes.

- Rugosidad de las ruedas y los rieles

El ruido de rodadura se genera principalmente por la rugosidad de los rieles y las ruedas en el rango de longitud de onda de 5 a 500 mm.

El nivel de rugosidad Lr se define como 10 veces el logaritmo en base 10 del cuadrado del valor cuadrático medio r2 de la rugosidad de la superficie de rodadura de un raíl o una rueda en la dirección del movimiento (nivel longitudinal) medida en μm sobre una determinada longitud de raíl o todo el diámetro de la rueda, dividido por el cuadrado del valor de referencia r_0^2:

$$L_r = 10 \times \lg\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 \text{ dB}$$

Ecuación 80. Nivel de rugosidad
Fuente: Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU) — JRC Reference Report, EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.

donde:

r0 =1 μm
r =r.m.s. de la diferencia de desplazamiento vertical de la superficie de contacto al nivel medio

El nivel de rugosidad Lr se obtiene normalmente como un espectro de longitud de onda λ y se convertirá en un espectro de frecuencia f = v/λ, donde f es la frecuencia de la banda central de una banda de 1/3 de octava determinada en Hz, λ es la longitud de onda en m, y v es la velocidad del tren en km/h. El espectro de rugosidad en función de la frecuencia se

desplaza a lo largo del eje de frecuencia para diferentes velocidades. En casos generales, después de la conversión al espectro de frecuencias por medio de la velocidad, es necesario obtener nuevos valores espectrales de banda de 1/3 de octava que promedien entre dos bandas de 1/3 de octava correspondientes en el dominio de la longitud de onda. Para estimar el espectro de frecuencias de rugosidad efectiva total correspondiente a la velocidad adecuada del tren, se promediarán energética y proporcionalmente las dos bandas de 1/3 de octava correspondientes definidas en el dominio de la longitud de onda.

El nivel de rugosidad del carril (rugosidad del lado de la vía) para la i-ésima banda de número de onda se define como Lr,TR,i .

Por analogía, el nivel de rugosidad de las ruedas (rugosidad del lado del vehículo) para la i-ésima banda de número de onda se define como Lr,VEH,i.
El nivel de rugosidad total y efectivo para la banda de número de onda i (LR,tot,i) se define como la suma de energía de los niveles de rugosidad del riel y el de la rueda más el filtro de contacto A3(λ) para tener en cuenta la efecto de filtrado de la zona de contacto entre el carril y la rueda, y está en dB:

$$L_{R,TOT,i} = 10 \cdot \lg(10^{L_{r,TR,i}/10} + 10^{L_{r,VEH,i}/10}) + A_{3,i}$$

Ecuación 81. Nivel de rugosidad total

Fuente: Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU) — JRC Reference Report, EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.

donde se expresa como una función de la i-ésima banda de número de onda correspondiente a la longitud de onda λ. El filtro de contacto depende del tipo de carril y rueda y de la carga. En el método se utilizará la rugosidad efectiva total para el j-ésimo tramo de vía y cada t-ésimo tipo de vehículo a su velocidad v correspondiente.

- Función de transferencia vehículo, vía y superestructura

Se definen tres funciones de transferencia independientes de la velocidad, LH,TR,i LH,VEH,i y LH,VEH,SUP,i: la primera para cada j-ésimo tramo de vía y las dos segundas para cada t-ésimo tipo de vehículo. Relacionan el nivel de rugosidad efectiva total con la potencia sonora de la vía, las ruedas y la superestructura respectivamente.

La contribución de la superestructura se considera solo para los vagones de mercancías, por lo tanto, solo para el tipo de vehículo 'a'.

Para el ruido de rodadura, por lo tanto, las contribuciones de la vía y del vehículo están completamente descritas por estas funciones de transferencia y por el nivel de rugosidad efectivo total. Cuando un tren esté al ralentí, se excluirá el ruido de rodadura.

Para la potencia sonora por vehículo, el ruido de rodadura se calcula a la altura del eje, y tiene como entrada el nivel de rugosidad efectivo total LR,TOT,i en función de la velocidad del vehículo v, las funciones de transferencia de vía, vehículo y superestructura LH,TR, i, LH,VEH,i y LH,VEH,SUP,i, y el número total de ejes Na:

Para h=1

$$L_{W,0,TR,i} = L_{R,TOT,i} + L_{H,TR,i} + 10 \times \lg(N_a)$$

Ecuación 82. Potencia sonora 1

Fuente: Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU) — JRC Reference Report, EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.

$$L_{W,0,VEH,i} = L_{R,TOT,i} + L_{H,VEH,i} + 10 \times \lg(N_a)$$

Ecuación 83. Potencia sonora 2

Fuente: Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU) — JRC Reference Report, EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.

$$L_{W,0,VEHSUP,i} = L_{R,TOT,i} + L_{H,VEHSUP,i} + 10 \times \lg(N_a)$$

Ecuación 84. Potencia sonora 3

Fuente: Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU) — JRC Reference Report, EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.

Donde Na es el número de ejes por vehículo para el tipo de vehículo t-ésimo.

- Ruido aerodinámico

El ruido aerodinámico sólo es relevante a altas velocidades por encima de 200 km/hy, por lo tanto no se tiene en cuenta.

- Modelo digital de terreno

La elaboración de la simulación debe realizarse de forma que exista entre el terreno real de la zona y el modelo, una relación simétrica que permita la traducción de algunas propiedades de la simulación a la realidad; por esta razón es importante el procesamiento de la información topográfica. Para el procesamiento de la información topográfica, se parte de archivos digitales del terreno, como mapas que presentan curvas de nivel de la zona de interés y a través de programas que permiten la extracción de los parámetros del terreno, se procesa la información por medio de algoritmos que crean los archivos digitales (.dem) y permiten la visualización de la geometría algebraica en líneas de contorno 3D.

La topografía del terreno en los estudios de ruido es de vital importancia, ya que de esto depende el comportamiento y la tendencia de propagación de las ondas sonoras. Para el presente proyecto la topografía (curvas de nivel) fue tomada de la base de datos geográfica (*.gdb), de los datos espaciales del distrito capital – IDECA. Dichas curvas de nivel poseen una escala de levantamiento de 1:1000, la cual permite visualizar un nivel de detalle entre curvas de 2,5 y 7 metros de longitud garantizando una representación adecuada del terreno para una correcta simulación.

5.2.3.4.2.8. Escenario de línea base día hábil y no hábil para el periodo diurno y nocturno

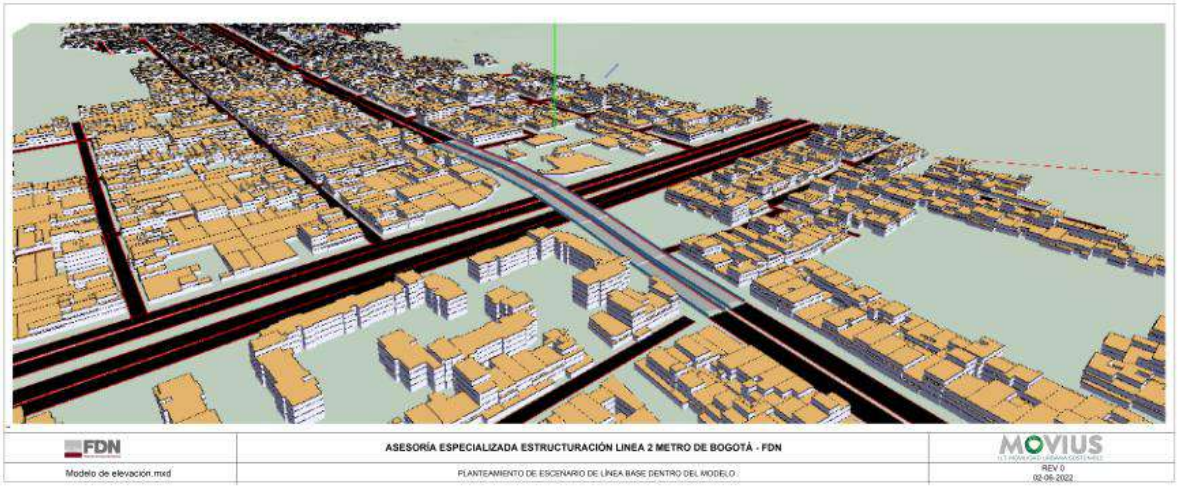


Figura 932. Planteamiento del escenario de Línea base dentro del modelo
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Los escenarios de Línea base día hábil y no hábil buscan predecir las condiciones actuales de propagación de ruido donde sus aportes se dan principalmente por el paso de vehículos tanto livianos como pesados por las vías aledañas al proyecto. De esta manera, se puede entender de una forma muy aproximada los cumplimientos o incumplimientos normativos asociados a las dinámicas de tránsito vehicular para los periodos diurnos y nocturnos y como los diferentes receptores perciben estos niveles de ruido a nivel de fachadas para las diferentes alturas de cada edificación. Asimismo, para establecer las condiciones que se presentan actualmente en la zona de estudio para el tránsito vehicular, en el modelo se proporcionaron las características de la vías del área de influencia como ancho de las vías, número de carriles, velocidades promedio en el periodo diurno y nocturno, cantidad de vehículos livianos y pesados en el periodo diurno y nocturno, tipo de suelo, elevación de los puentes y características generales, entre otros.

Por otra parte, las isófonas obtenidas en esta modelación muestra niveles de ruido que varían dentro de un rango de decibeles, donde los valores máximos se registran sobre la fuente de emisión (centro de las vías) y estos niveles de ruido se atenúan conforme las isófonas se alejan de la fuente de emisión hasta llegar a los valores de cumplimiento normativo. Es muy importante resaltar, que la propagación del sonido depende de factores ambientales, topográficos, estructurales, tipo de fuente de emisión, cantidad de fuentes y duración de la emisión las cuales pueden contribuir con la propagación como hay otros que la atenúan y la restringen.

El proyecto de la L2MB se encuentra ubicado en paralelo a vías representativas de la Ciudad de Bogotá las cuales conectan el Centro con el Occidente de la Ciudad. Es por esto que el tráfico vehicular que transita por estas vías reciben vehículos tanto pesados como livianos aportando así niveles de ruido considerables al ruido ambiental de la zona. De esta manera, los resultados que se presentan a continuación muestran una imagen de las incidencias de los aportes de ruido asociado a la dinámica vehicular de esta zona importante de la Ciudad de Bogotá. Por otra parte, es importante entender que debido a la extensión del proyecto las modelaciones se dividen en cuatro tramos con aras de tener de manera más precisa los resultados en las zonas de evaluación. Los tramos anteriormente mencionados se dividen de la siguiente manera.

- Tramo 1 desde la Carrera 9 hasta Carrera 65
- Tramo 2 desde la Carrera 65 hasta Calle 83
- Tramo 3 desde la calle 83 hasta la calle 132
- Tramo 4 desde calle 132 hasta Patio Taller

A continuación, se presentan los mapas estratégicos de ruido para el periodo diurno y nocturno día hábil y no hábil los cuales están divididos en los mismos cuatro tramos anteriormente mencionados. Cabe resaltar, que los mapas de ruido muestran las áreas donde se llevarán a cabo las intervenciones por parte del proyecto y de esta manera poder evaluar en una primera instancia, los aportes de ruido del escenario actual (Línea base). Finalmente, poderlos contrarrestar frente a los escenario de construcción y operación para poder entender los aportes de cada escenario. Es decir, que la discontinuidad en las isófonas de cada mapa se asocia únicamente a los frentes de obra que se encuentran a nivel de la superficie del terreno los cuales presentan una separación entre cada frente. Esta separación no se contempla dentro de los modelos ya que no se presentará intervención alguna.

En primer lugar, se presentan los mapas para el periodo diurno día hábil y no hábil y posteriormente los mapas asociados al periodo nocturno día hábil y no hábil. De esta manera, se genera una comparación para cada periodo para el día hábil y no hábil.

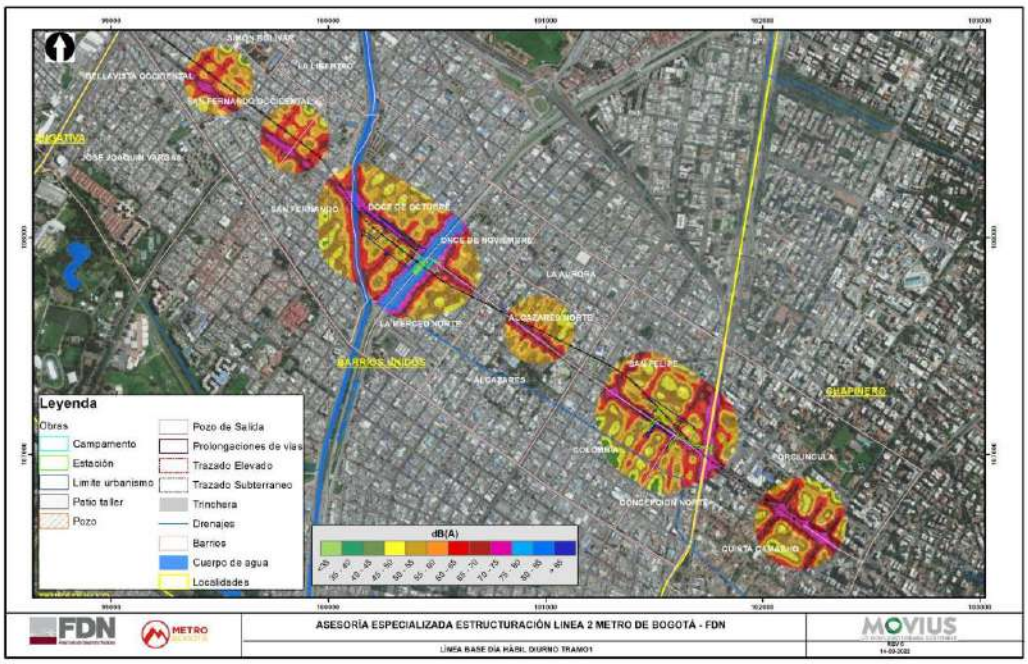


Figura 933. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día hábil tramo 1
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

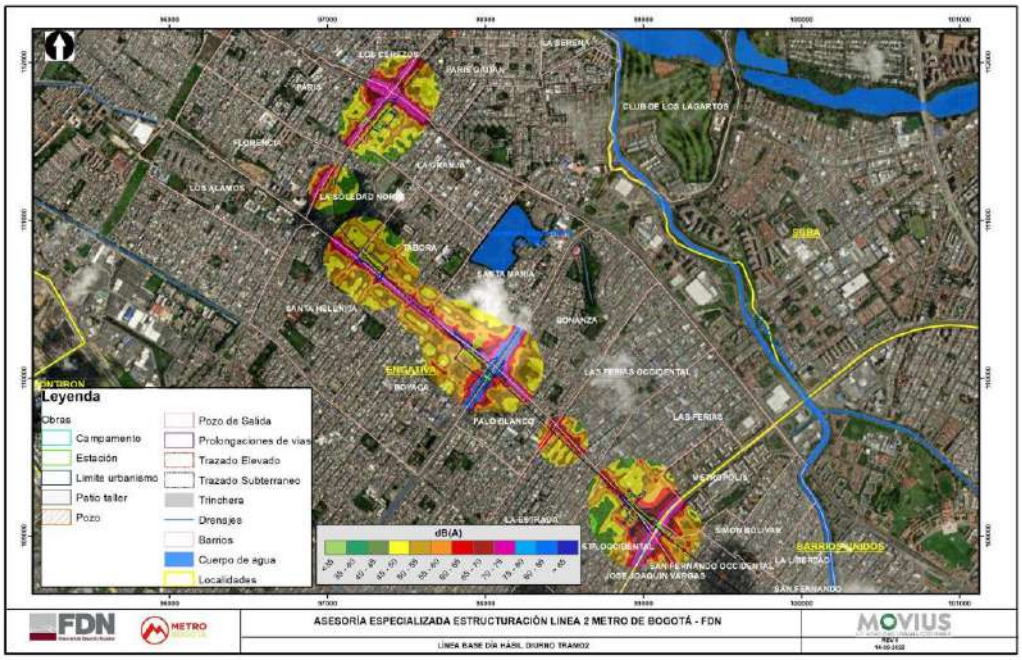


Figura 934. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día hábil tramo 2
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

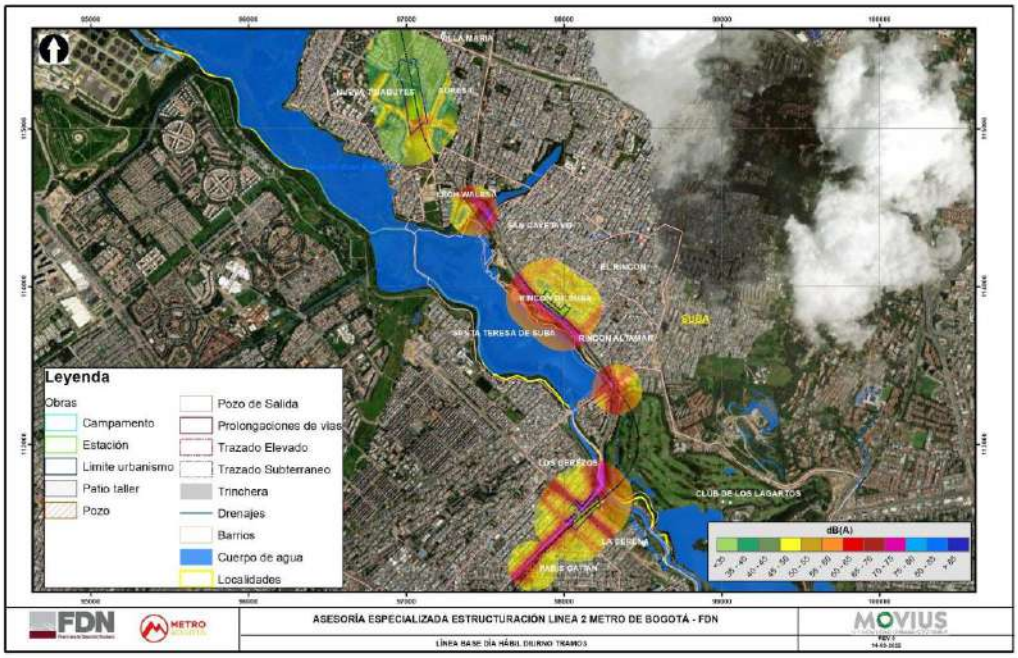


Figura 935. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día hábil tramo 3
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

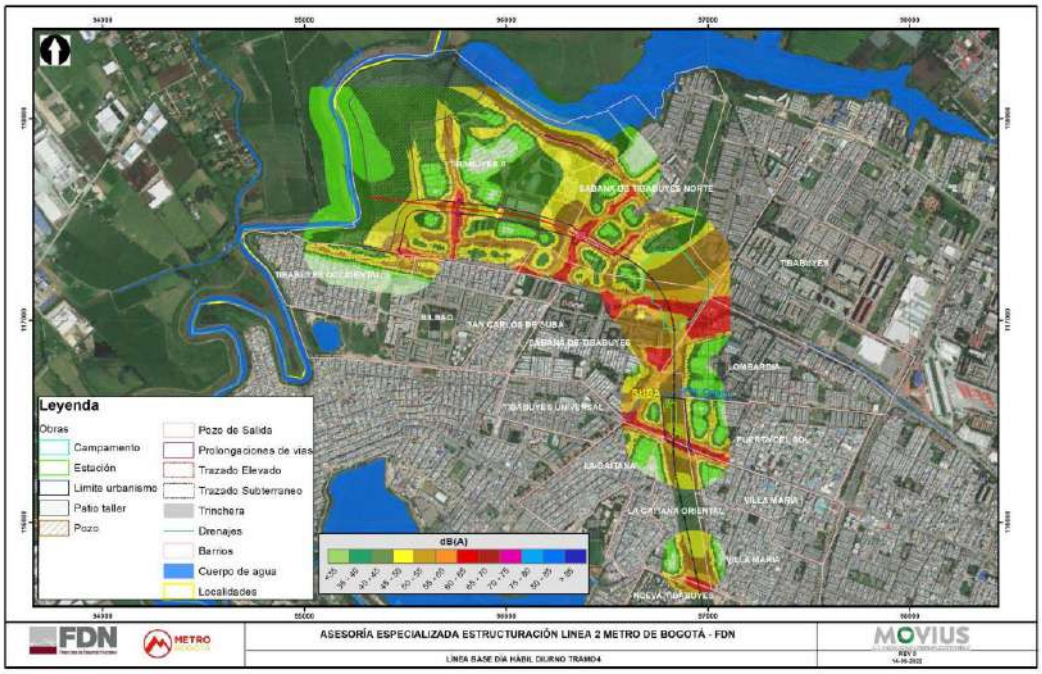


Figura 936. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día hábil tramo 4
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

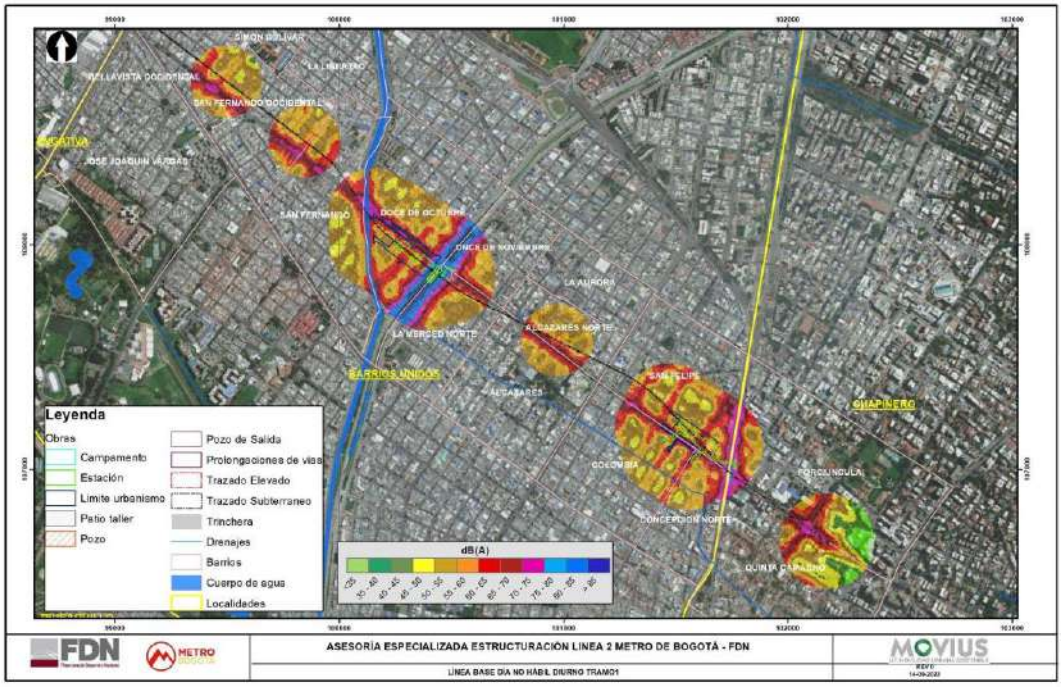


Figura 937. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día NO hábil tramo 1
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

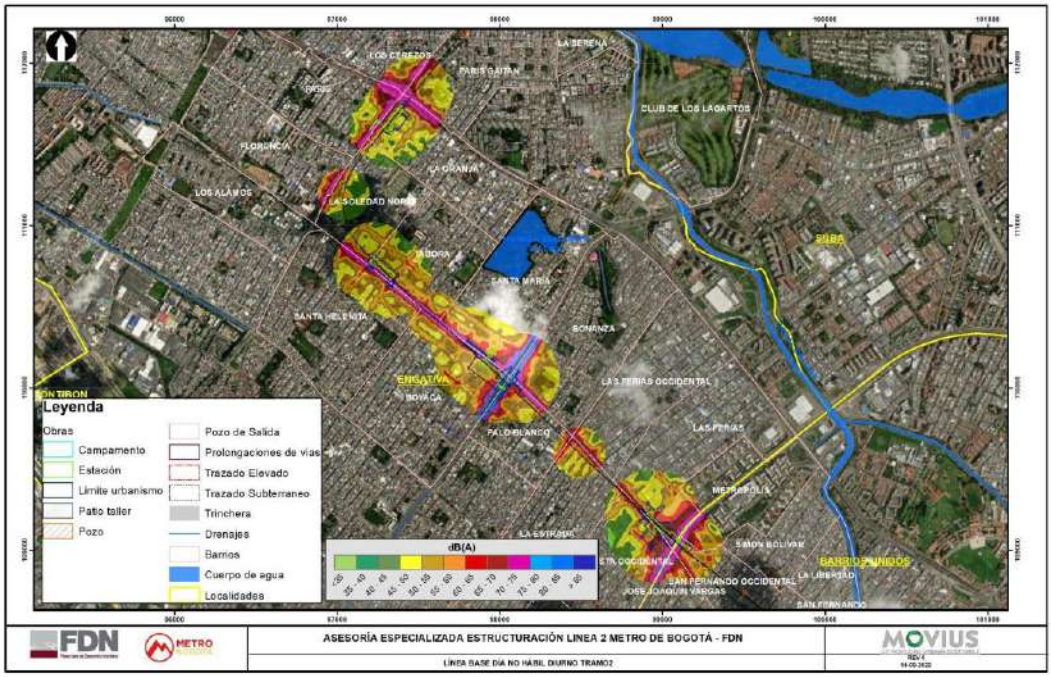


Figura 938. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día NO hábil tramo 2
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

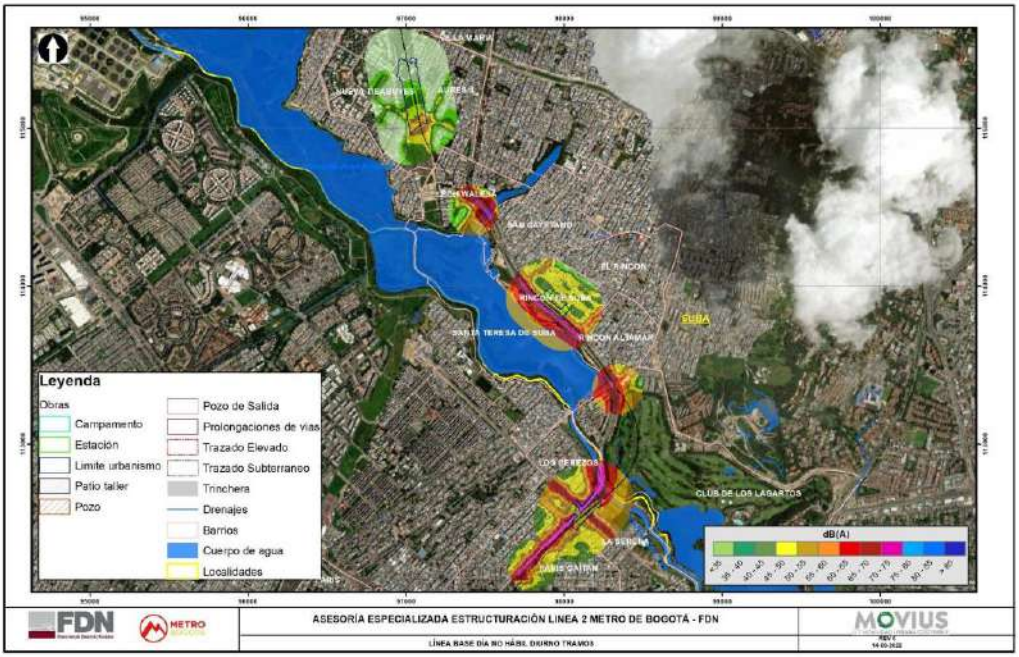


Figura 939. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día NO hábil tramo 3
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

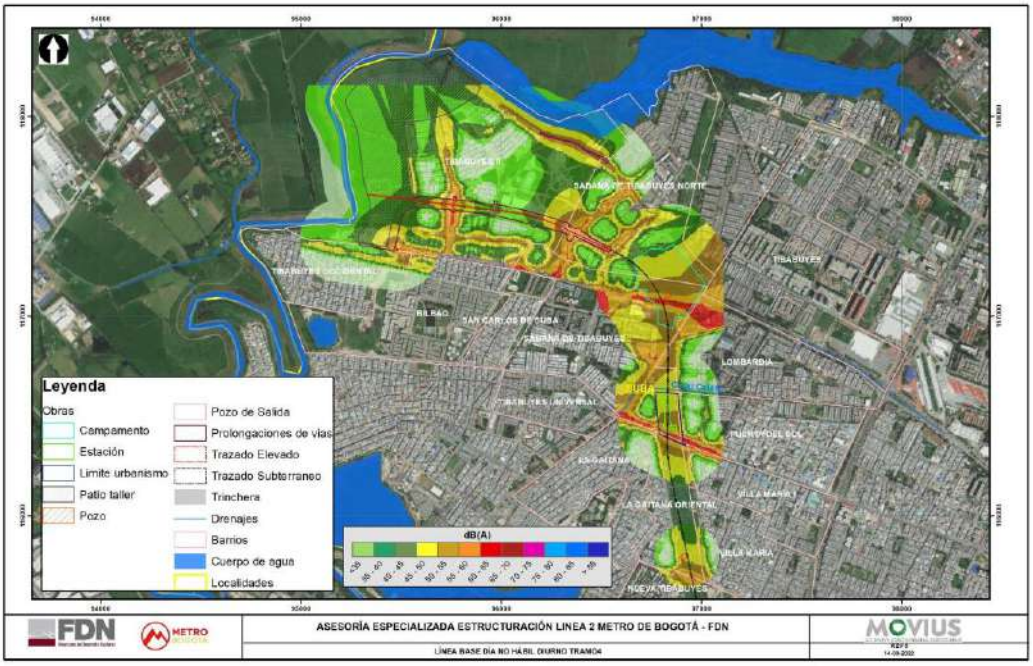


Figura 940. Mapa estratégico de ruido periodo diurno día NO hábil tramo 4
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

A continuación, se presentan los mapas de ruido para el período nocturno día hábil y no hábil.

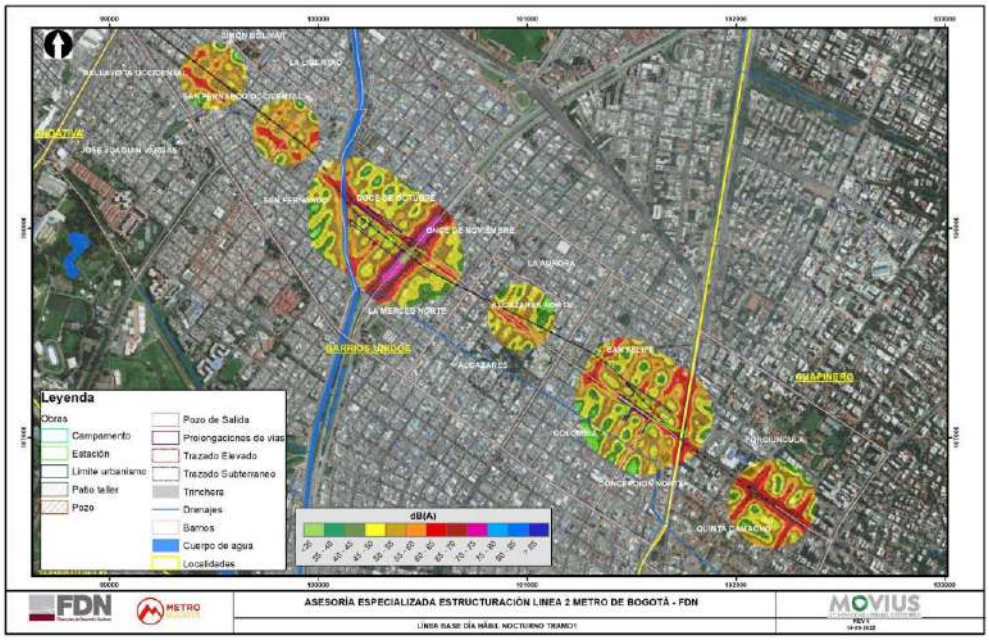


Figura 941. Mapa estratégico de ruido periodo nocturno día hábil tramo 1
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

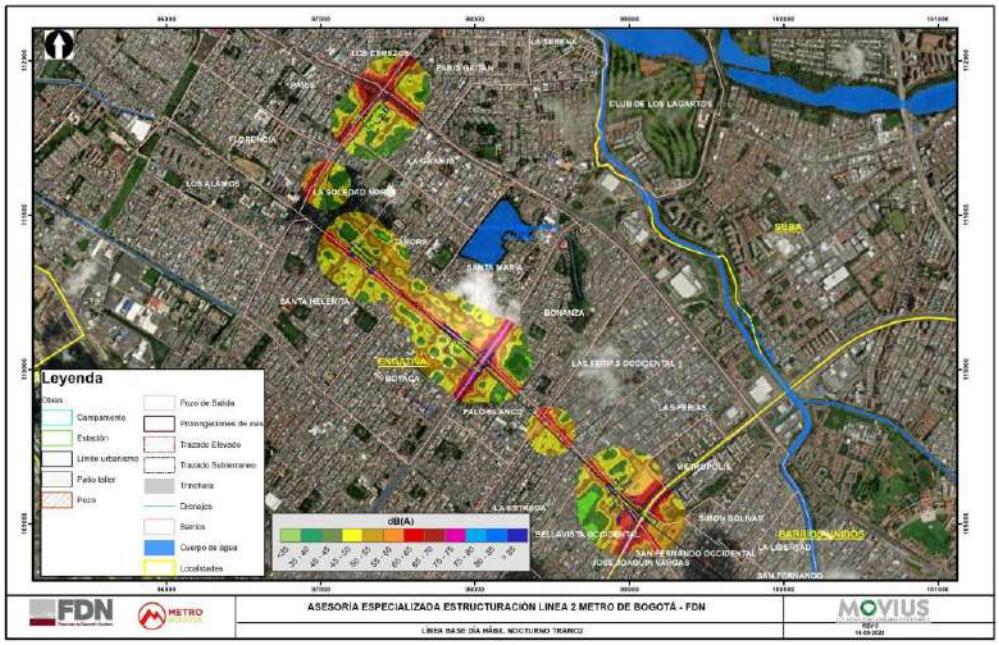


Figura 942. Mapa estratégico de ruido periodo diurno nocturno día hábil tramo 2
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

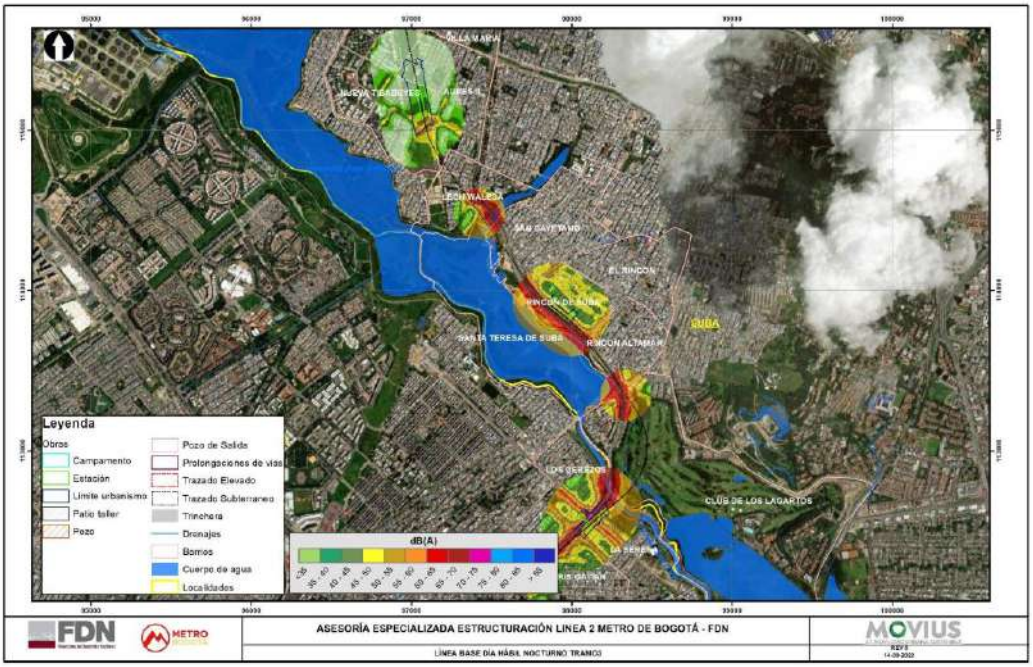


Figura 943. Mapa estratégico de ruido periodo diurno nocturno día hábil tramo 3
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

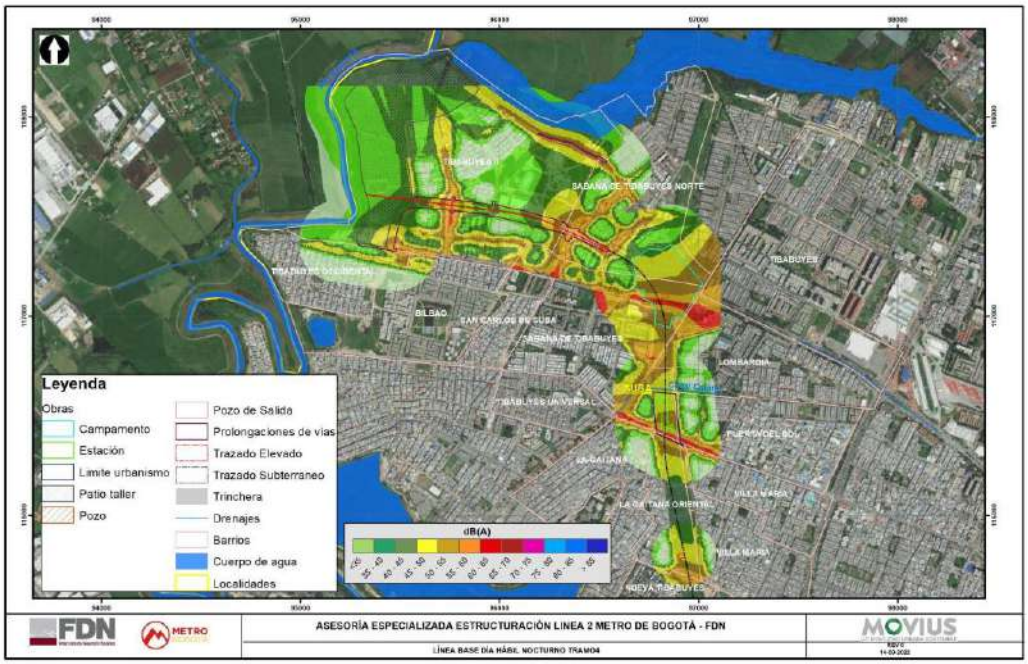


Figura 944. Mapa estratégico de ruido periodo nocturno día hábil tramo 4
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

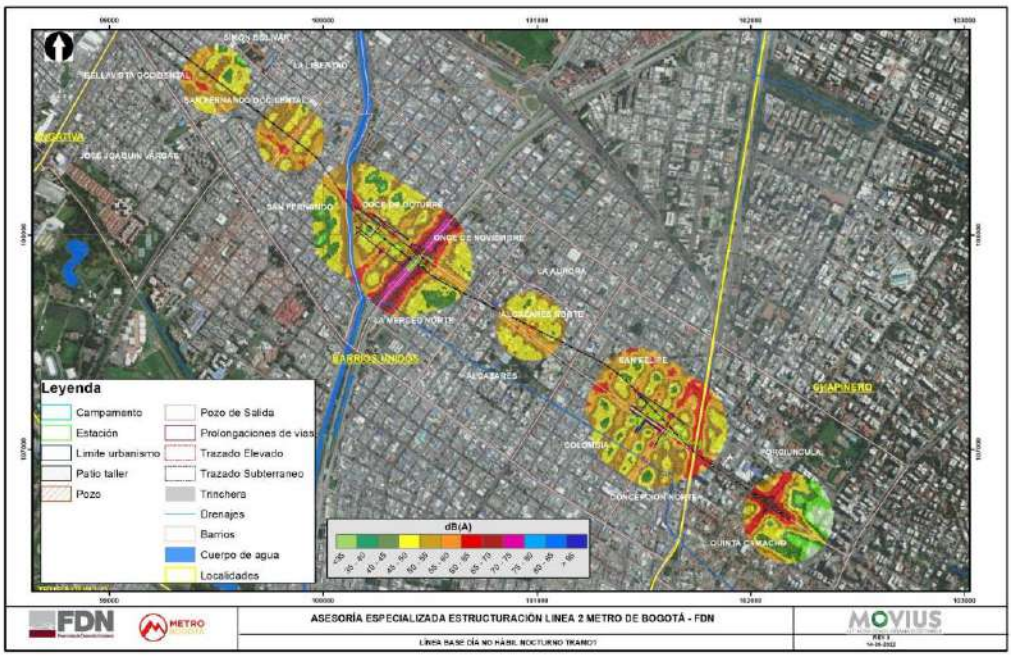


Figura 945. Mapa estratégico de ruido periodo nocturno día no hábil tramo 1
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

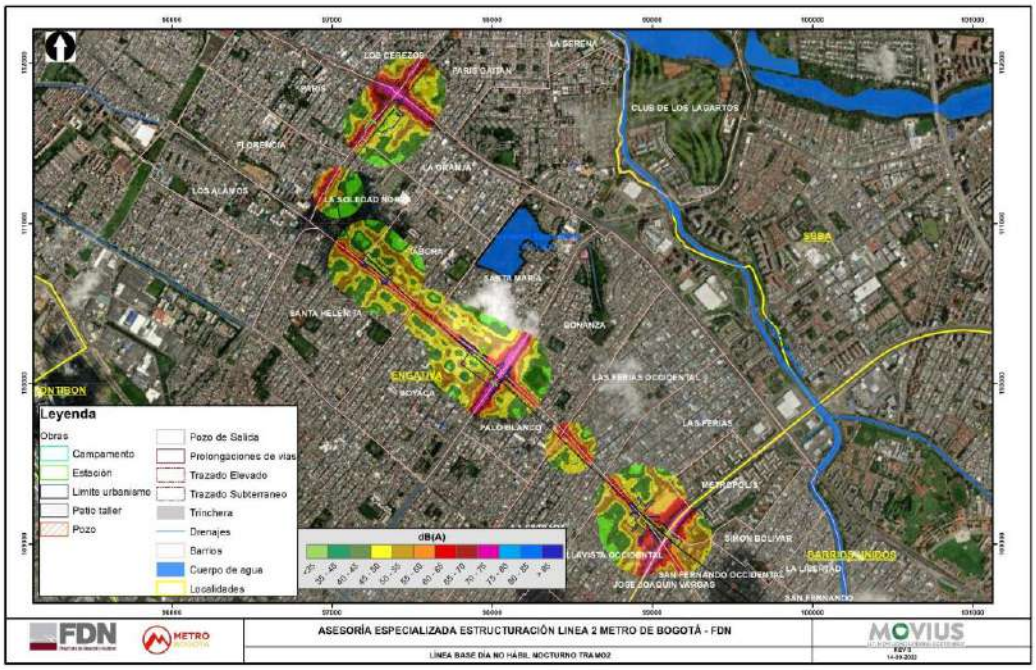


Figura 946. Mapa estratégico de ruido periodo diurno nocturno día no hábil tramo 2
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

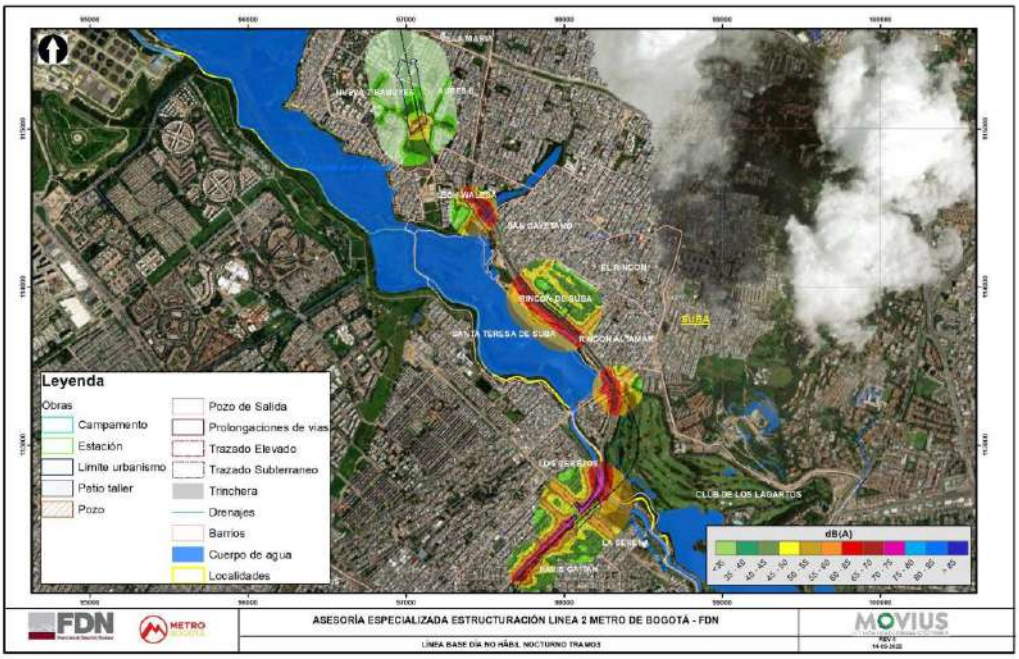


Figura 947. Mapa estratégico de ruido periodo diurno nocturno día no hábil tramo 3
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

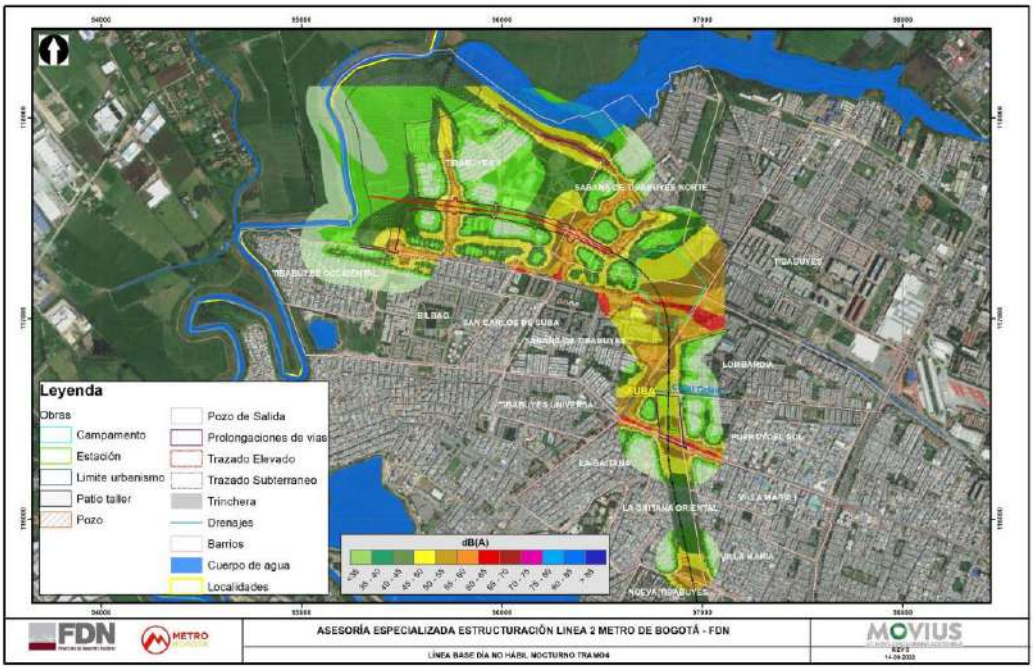


Figura 948. Mapa estratégico de ruido periodo nocturno día no hábil tramo 4 desde calle 132 hasta Patio Taller
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Entonces como se mencionó anteriormente, en una primera instancia se analizan los resultados de los mapas de ruido para el el periodo diurno día hábil y no hábil y posteriormente para el periodo nocturno para el día hábil y no hábil.

Como se puede observar para los mapas de ruido periodo diurno, existen altos niveles de ruido asociados a las fuentes vehiculares que transitan por las vías aledañas al proyecto particularmente en tramo 1 la Calle 72, Av. Carrera 20, Carrera 11 y Av. Carrera 30. Los niveles de ruido que registraron estas vías se encuentran entre los 65 a 85 dB(A) tanto para el escenario día hábil como en el escenario día no hábil. Estos altos niveles de ruido están asociados al alto flujo vehicular que transita por estas vías tanto tráfico pesado como liviano. Para vías de menor envergadura, más específicamente calles y carreras arteriales los niveles de ruido van desde 50 dB(A) hasta los 65 dB(A). Es importante entender que las envergaduras de las isófonas dependen del tipo de fuente, cantidad y tiempo de emisión. Asimismo, los niveles de ruido más altos se registran en el centro de la fuente de emisión (las vías) y este se atenúa conforme se aleja de la fuente. El nivel máximo de ruido fue de 81,7 dB(A) y el mínimo de 34,2 dB(A). Está dinámica de propagación nos permite identificar que las edificaciones aledañas a las vías contempladas dentro de los modelos van a percibir, en su gran mayoría, niveles de ruido que se encuentra por encima de la norma la cual establece que para las zonas residenciales los niveles máximos permisibles para el periodo diurno son de 65 dB(A). Cabe resaltar que para cada zona de evaluación se inventariaron receptores sensibles los cuales debido a su alta vulnerabilidad, sus niveles de ruido son más restrictivos. Los niveles de ruido registrados por estos receptores se presentan más adelante.

Para el día no hábil periodo diurno se mantiene la misma tendencia de los niveles de ruido la cual genera incumplimiento normativo para las edificaciones aledañas a las vías que se encuentran dentro de las zonas de evaluación. Los cambios entre el día hábil y no hábil se presenta principalmente por la disminución en los niveles de ruido en ciertas vías debido a que el tráfico vehicular en el día no hábil tiende a disminuir en ciertas vías.

Por otra parte, en cuanto al periodo nocturno se aprecia que las envergaduras de las isófonas de los mapas de ruido tiende a disminuir debido a que el número de vehículos tanto livianos como pesados es menor en comparación al periodo diurno.

Entonces a menor cantidad de vehículos menores niveles de ruido se registran en los mapas de ruido. Sin embargo, que lo niveles de ruido disminuyan no necesariamente se llegue al cumplimiento normativo ya que los los límites máximos permisibles para el periodo nocturno son más restrictivos que para el periodo diurno. Entonces si bien se tiene una disminución de los niveles de ruido en el periodo nocturno, la dinámica de incumplimiento a lo largo de la zona de evaluación se mantiene al igual que para el periodo diurno.

Ahora bien, para entender de una manera más específica como los diferentes receptores sensibles están percibiendo estas emisiones de ruido a continuación, se presentan los resultados de los mapas de ruido en fachadas de algunos de los receptores sensibles que se encuentran a lo largo del área de influencia del proyecto.

De esta forma, se puede apreciar como los receptores perciben en sus fachadas en los diferentes pisos de las edificaciones la propagación del ruido asociada al tránsito vehicular. Cabe resaltar, que este ejercicio se llevó a cabo para todos los receptores que se encuentran en el área de influencia del proyecto. Sin embargo, solo se presentan las imágenes para algunos receptores con el fin de demostrar cual es la dinámica de percepción de los niveles de ruido a diferentes alturas y poder entender si existe o no cumplimiento normativo de los límites máximos permisibles asociados a cada receptor.

A continuación, se presenta un fragmento del mapa de ruido en vista 3D para el cálculo de fachadas extraído del software.



Figura 949. Mapa de ruido escenario de Línea base periodo diurno en vista 3D para el cálculo de fachadas
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

A continuación, se presentan los resultados de los niveles de ruido calculados en las fachadas de los receptores sensibles aledaños del proyecto. Es importante mencionar que en la siguiente tabla solo se presentan los resultados de los niveles de ruido de las fachadas orientadas hacia el proyecto con el fin de poder presentar las tablas comparativas entre escenarios y presentar como varían los niveles de ruido de un escenario a otro. Asimismo, el cálculo en fachadas se realiza para los receptores sensibles representativos los cuales muestran la tendencia en las fachadas aledañas al trazado del metro. Sin

embargo, los resultados de los niveles de ruido para las diferentes fachadas según su orientación para cada receptor representativo se presentan en su totalidad en el Anexo 5.2-5.16.Modelos de ruido.

Tabla 442. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 1

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 1		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 1		Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Fundación Universitaria del Área Andina	PB	NE	66,8	61,8	66,7	63	65	50
Fundación Universitaria del Área Andina	P1	NE	66,4	61,4	66,4	62,7	65	50
Fundación Universitaria del Área Andina	P2	NE	66,2	61,2	66,2	62,5	65	50
Fundación Universitaria del Área Andina	P3	NE	66	61	66,1	62,4	65	50
Academia y Tienda de Música Pick	PB	SE	58,6	53,9	55,8	50,2	65	50
Academia y Tienda de Música Pick	P1	SE	58,1	53,3	55,5	49,6	65	50
Academia y Tienda de Música Pick	P2	SE	57,8	52,8	55,8	49,4	65	50
Centro Abrazar. Atención Transitoria	PB	SO	55,2	50,6	54,8	51,1	55	45
Centro comercial avenida Chile	PB	SO	66,8	61,8	66	62,3	70	55
Centro comercial avenida Chile	P1	SO	66,7	61,7	65,8	62,1	70	55
Centro comercial avenida Chile	P2	SO	66,5	61,5	65,6	61,9	70	55
Centro de Desarrollo Familiar - ICBF	PB	SO	74,7	64,9	74,5	63,6	55	45
Centro de Desarrollo Familiar - ICBF	P1	SO	73,2	63,6	73	62,3	55	45
Clínica Cuanal	PB	SE	68,8	64,1	69,3	65,9	55	45
Clínica Cuanal	P1	SE	67,9	63,2	68,4	65,1	55	45
Clínica Cuanal	P2	SE	67,1	62,3	67,6	64,2	55	45
Clínica Veterinaria Can Center	PB	SO	59,5	54,8	60,8	57,4	55	45
Clínica Veterinaria Can Center	P1	SO	59,4	54,7	60,8	57,4	55	45
Clínica Veterinaria Can Center	P2	SO	59,9	55,1	61,2	57,7	55	45
Colegio Francisco Primero Sede C	PB	SE	66,3	60,5	66,8	61,4	65	50
Colegio Francisco Primero Sede C	P1	SE	67,8	60,9	69,3	61,5	65	50
Corporación Universitaria UNITEC	P1	SO	53,9	50,7	54,5	51,5	65	50
Corporación Universitaria UNITEC	P2	SO	54,9	51,3	55,6	52,2	65	50

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 1		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 1		Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Escuela Británica de Idiomas	PB	E	72,8	65	74,5	63	65	50
Escuela de Instrucción Aeronáutica	PB	NO	77,9	69,2	80,7	69,6	65	50
Escuela de Instrucción Aeronáutica	P1	NO	77	68,4	79,8	68,8	65	50
Escuela de Instrucción Aeronáutica	P2	NO	76,1	67,6	79	68,1	65	50
Escuela de Instrucción Aeronáutica	P3	NO	75,4	67	78,3	67,5	65	50
Estudio Integral de Arte	PB	NO	56,2	49,2	56	46,4	65	50
Estudio Integral de Arte	P1	NO	56,5	49,3	56,9	47,2	65	50
Estudio Integral de Arte	P2	NO	57,9	50,2	59,1	49,3	65	50
Fundación Tecnológica Alberto Merani	PB	SE	53,6	63,9	53	62,6	65	50
Fundación Universitaria Área Andina	PB	E	61,9	57,2	58,8	53,3	65	50
Fundación Universitaria Área Andina	P1	E	61,8	57,1	59,1	53,5	65	50
Fundación Universitaria Área Andina	P2	E	61,5	56,8	59,5	53,6	65	50
Hospital Veterinario GB6B	PB	NE	69,2	59,9	68,8	58,5	55	45
Hospital Veterinario GB6B	P1	NE	68,9	59,6	68,5	58,2	55	45
Hotel Fenix Real	PB	NO	64,1	58,7	63,7	59,6	65	50
Hotel Fenix Real	P1	NO	63,9	58,4	63,5	59,3	65	50
Hotel Fenix Real	P2	NO	63,7	58,2	63,4	59,1	65	50
Hotel INN72	PB	SE	64,6	59,4	64,4	60,8	65	50
Hotel INN72	P1	SE	64	58,7	63,8	60,2	65	50
Iglesia Porciuncula	PB	NE	67,5	62,6	67,7	64,1	65	50
Iglesia Porciuncula	P1	NE	67,2	62,2	67,4	63,8	65	50
Iglesia Porciuncula	P2	NE	67	62	67,3	63,6	65	50
Iglesia Porciuncula	P3	NE	66,8	61,8	67	63,4	65	50
Iglesia Porciuncula	P4	NE	66,5	61,5	66,8	63,2	65	50
Iglesia Porciuncula	P5	NE	66,2	61,2	66,5	62,9	65	50
Iglesia Porciuncula	P6	NE	65,9	60,9	66,3	62,6	65	50
Iglesia Porciuncula	P7	NE	65,5	60,6	65,9	62,3	65	50
Iglesia Porciuncula	P8	NE	65,2	60,2	65,6	61,9	65	50
Iglesia Porciuncula	P9	NE	65	60	65,4	61,7	65	50

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 1		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 1		Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Iglesia Siervas de María	PB	SO	68,9	59,6	69	58,5	65	50
Institución Educativa Distrital Jorge	PB	NE	69,3	60,2	68,8	58,4	65	50
IPS Tu Salud Laboral	PB	NO	65	59,9	65,8	62,3	55	45
IPS Unimsalud	PB	NE	57,7	52,6	54,9	50,2	55	45
IPS Unimsalud	P1	NE	58,2	52,8	56,1	50,7	55	45
Jardín Infantil Angeles del Saber	PB	NO	56,4	49,7	63,4	59,7	55	45
Jardín Infantil El Nogal de La Esperanza	PB	SO	63,5	55,5	62,9	52,8	55	45
Jardín Infantil El Nogal de La Esperanza	P1	SO	64,4	56,4	63,9	53,8	55	45
Jardín Infantil Pequeñas Personitas	PB	SO	61,5	56,4	58,7	54	55	45
Liceo VAL - Vida, Amor, Luz	PB	NE	54	48,8	54,2	49,1	65	50
Universidad EAN	PB	SO	54,4	50,1	48,9	44,8	65	50
Universidad EAN	P1	SO	54,6	50,2	48,9	44,7	65	50
Universidad pedagógica Nacional	PB	SO	66,6	61,6	66,9	63,3	65	50
Universidad pedagógica Nacional	P1	SO	66,2	61,2	66,6	62,9	65	50
Universidad pedagógica Nacional	P2	SO	65,9	61	66,4	62,7	65	50
Universidad Politécnico InterNacional	PB	SE	61,7	57	43,8	38,8	65	50
Universidad Politécnico InterNacional	P1	SE	61,6	56,9	43,6	38,7	65	50
Universidad Politécnico InterNacional	P2	SE	61,4	56,7	43,4	38,5	65	50
Universidad Politécnico InterNacional	P3	SE	61,4	56,7	45	40,3	65	50
Universidad santo Tomas sede	PB	NO	68,3	63,6	45,8	41,9	65	50
Universidad Santo Tomas	PB	NE	59,4	54,6	38,9	34,4	65	50
Universidad Santo Tomas	P1	NE	59,3	54,5	39,3	34,8	65	50
Universidad Santo Tomas	P2	NE	58,9	54,1	40,5	35,9	65	50
Universidad Santo Tomas	P3	NE	58,4	53,6	42	36,8	65	50
Universidad Santo Tomas	P4	NE	57,9	53,1	43,4	38,7	65	50
Universidad Santo Tomas	P5	NE	57,5	52,7	43,6	38,9	65	50
Universidad Santo Tomas	P6	NE	57	52,2	43,6	38,8	65	50

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 1		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 1		Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Universidad Santo Tomas	P7	NE	56,7	51,8	45,1	39,9	65	50
Veterinaria Tila	PB	NO	65	61	60,7	56,6	55	45
Veterinaria Tila	P1	NO	64,2	60,1	59,9	55,7	55	45
Veterinaria Tila	P2	NO	63,4	59,4	59,1	54,9	55	45

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En primer lugar los receptores que presentan incumplimieto normatativo se resaltan en color amarillo. Por otra parte, como se puede observar en la anterior tabla, los receptores sensibles los cuales se encuentran ubicados a lo largo de las zonas de evaluación, en su gran mayoría presentan excedencia normativa tanto para el periodo diurno como en el nocturno en día hábil y no hábil. Estos resultados son consecuentes con la dinámica de propagación presentada en cada uno de los mapas de ruido anteriormente analizados. Del mismo modo, estos resultados muestran que la dinámica actual de ruido ambiental en las zonas de evaluación tiende a presentar incompatibilidad normativa debido al alto flujo vehicular que transita por las vías aledañas al proyecto.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los receptores ubicados a lo largo del tramo 2 para el escenario de Línea base día hábil y no hábil para el periodo diurno y nocturno.

Tabla 443. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 2

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 2		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 2		Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Liceo Gulliver	PB	NO	56,4	51,5	54,7	48,3	65	50
Liceo Mi Nuevo Horizonte del Tabora	PB	NE	49,8	45	48,4	42,1	65	50
Academia de Baile Salsa Sin Límite	PB	SE	66,7	59	66,7	58,2	65	50
Academia de Baile Salsa Sin Límite	P1	SE	66,8	59,1	66,9	58,3	65	50
Alkosto	PB	SO	61	57,6	61,5	58,6	70	55
Centro Superior de Estudios Financieros	PB	NE	71,8	63,6	71,9	62,6	65	50
Centro Superior de Estudios Financieros	P1	NE	71,6	63,4	71,6	62,4	65	50
Centro Superior de Estudios Financieros	P2	NE	71,2	63	71,4	62,1	65	50
Clínica Odontológica Oral Stetic	PB	SO	71,6	63,5	71,9	62,6	55	45
Clínica Odontológica Oral Stetic	P1	SO	71,5	63,3	71,7	62,4	55	45
Clínica Odontológica Oral Stetic	P2	SO	71,6	63,5	71,8	62,5	55	45
Clínica Veterinaria DogMar	PB	NE	71,9	63,7	72	62,7	55	45
Clínica Veterinaria DogMar	P1	NE	71,7	63,6	71,9	62,6	55	45
Colegio República de Colombia I.E.D.	PB	SE	61,6	57,8	61,7	59,8	65	50
Colegio República de Colombia I.E.D.	P1	SE	60,7	56,8	60,7	58,9	65	50
Colegio República de Colombia I.E.D.	P2	SE	60	56,2	60,1	58,2	65	50

Gimnasio Académico San Nicolas	PB	SO	68,5	65,5	69,5	67,3	65	50
Gimnasio Académico San Nicolas	P1	SO	68,6	65,5	69,6	67,4	65	50
Gimnasio Juvenil Santa Catalina	PB	SO	73	64,9	73	63,7	65	50
Gimnasio Juvenil Santa Catalina	P1	SO	72,6	64,5	72,6	63,3	65	50
Hogar Britta Modalidad Internado ICBF	PB	NE	60,3	56,1	56,1	51,7	55	45
Hogar Britta Modalidad Internado ICBF	P1	NE	60,2	55,9	56,4	51,6	55	45
Hogar Comunitario de Bienestar La Casita	PB		56,1	51,7	52,1	47,6	55	45
Hogar Infantil Aprendiendo Chiquilladas	PB		57,1	52,8	53	48,5	55	45
Hogar Infantil de Bienestar Boyacá	PB	NO	61,2	54,9	63,2	54,6	55	45
Hogar Infantil ICBF	PB	NE	62,8	58,6	61,2	57,5	55	45
Hogar Infantil ICBF	P1	NE	61,3	57,1	59,7	56	55	45
Hotel Palacio Real	PB	NE	72,2	64,1	72,2	63	65	50
Hotel Palacio Real	P1	NE	72,2	64	72,1	62,9	65	50
Hotel Palacio Real	P2	NE	71,9	63,7	71,9	62,7	65	50
Hotel Palacio Real	P3	NE	71,6	63,4	71,6	62,4	65	50
Hotel Palacio Real	P4	NE	71,2	63,1	71,3	62,1	65	50
Hotel Palacio Real	P5	NE	70,9	62,8	71,1	61,8	65	50
Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	PB	SE	61,2	56,1	60,7	55,9	65	50
Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	P1	SE	59,8	54,3	59,6	54,1	65	50
Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	P2	SE	59,2	53,3	59,3	53	65	50
Institución Educativa Distrital Nacional	PB	SO	44,9	41,2	44,2	40,9	65	50
Institución Educativa Distrital Nacional	P1	SO	46,7	43,1	46,4	43,3	65	50
Instituto Tecnisistemas	PB	NE	67,2	63,3	67	63,7	65	50
Instituto Tecnisistemas	P1	NE	67	63,2	66,9	63,5	65	50
IPS Corsanemos	PB	SO	69,9	62,2	71,2	63,3	55	45
IPS Corsanemos	P1	SO	70	62,2	71,3	63,3	55	45
IPS Corsanemos	P2	SO	70,4	62,4	71,7	63,6	55	45
IPS Corsanemos	PB	SO	71,2	63,6	72,4	64,5	55	45
IPS Corsanemos	P1	SO	71,1	63,4	72,3	64,4	55	45
IPS Corsanemos	P2	SO	71,7	64	73	65	55	45
IPS Saana Consulta	PB	NE	69	65,6	68,6	65,9	55	45
IPS Saana Consulta	P1	NE	68,5	65,1	68,1	65,4	55	45
Liceo Gulliver	PB		58,5	53,8	56,2	50,3	65	50
Liceo Mi Nuevo Horizonte del Tabora	PB		51,3	46,8	49,5	43,6	65	50
Liceo Psicopedagógico San Buenaventura	PB		55,2	50,8	51,6	47,3	65	50
Odontológica Estética Fast Dent	PB		55	50,7	52,3	46,7	55	45
Odontología General y Especializada Am	PB		64,5	60,3	60	55,8	55	45
Odontología General y Especializada Am	PB	SE	59,7	55,6	55,9	51,9	55	45
Odontología General y Especializada Am	P1	SE	59,5	55,4	55,9	52,1	55	45
Odontología General y Especializada Am	P2	SE	59,6	55,6	56,5	52,7	55	45

Odontología General y Especializada Am	P3	SE	61	57,2	59,5	56,1	55	45
Pequeños Dinosaurios - ICBF	PB	SO	68,8	65,1	64,4	60,5	55	45
Pequeños Dinosaurios - ICBF	P1	SO	67,1	63,3	62,8	59	55	45
Protectorado de San José. Monasterio	PB	SO	73,4	65,3	73,8	64,4	65	50
Protectorado de San José. Monasterio	P1	SO	72,5	64,3	72,9	63,6	65	50
Protectorado de San José. Monasterio	P2	SO	71,6	63,5	72,1	62,8	65	50
Protectorado de San José. Monasterio	P3	SO	71,1	62,9	71,5	62,2	65	50
Protectorado de San José. Monasterio	P4	SO	70,6	62,4	71	61,8	65	50

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se puede observar en la anterior tabla y al igual que el tramo 1, los receptores sensibles los cuales se encuentran ubicados a lo largo de las zonas de evaluación del tramo 2, en su gran mayoría presentan excedencia normativa tanto para el periodo diurno como en el nocturno en día hábil y no hábil. Las mayores excedencias se presentaron en el período nocturno para ambos días debido a que los límites máximos permisibles en el periodo nocturno son más estrictos que en el periodo diurno.

Entonces se puede afirmar que los resultados son consecuentes con la dinámica de propagación presentada en cada uno de los mapas de ruido anteriormente analizados y asimismo la tendencia de la dinámica actual de ruido ambiental en las zonas de evaluación presenta incompatibilidad normativa debido al alto flujo vehicular que transita por las vías aledañas al proyecto.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los receptores sensibles ubicados a lo largo del tramo 3 para el escenario de Línea base día hábil y no hábil para el periodo diurno y nocturno.

Tabla 444. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 3

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 3		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 3		Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Odontológica Integral R&C Dental Care	PB	SE	71	67,5	71,9	70	55	45
Odontológica Integral R&C Dental Care	P1	SE	70,6	67,1	71,4	69,6	55	45
Odontológica Integral R&C Dental Care	P2	SE	70,3	66,9	71,1	69,1	55	45
Centro de Desarrollo Infantil Angeles	PB	NE	61,8	58,6	55,5	53,8	55	45
Centro de Desarrollo Infantil Angeles	P1	NE	61,3	58,1	56,3	54,5	55	45
Centro de Odontologia Especializada	PB	NO	66	63	65,9	63,4	55	45
Colegio Gimnasio Moderno Jhon Enders	PB	NE	40,9	37,9	40,3	38	65	50
Colegio Gimnasio Moderno Jhon Enders	P1	NE	41,5	38,5	40,9	38,6	65	50
Colegio La Fantasía del Conocimiento	PB	NE	68,9	61,8	69,1	61,5	65	50
Hogar Comunitario Garfield	PB	SO	47,6	44,6	45,8	43,3	55	45
Hogar Comunitario Garfield	P1	SO	47,9	44,9	46,2	43,8	55	45
Hogar Comunitario Garfield	P2	SO	47,8	44,8	46,2	43,8	55	45
ICBF UDS Lulu y Tobi	PB		46,1	43,1	43,8	41,2	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 3		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 3		Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
ICBF UDS Lulu y Tobi	PB	N	45,5	42,5	44,3	41,9	55	45
Jardín ICBF	PB		57,1	54,1	57	54,7	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB		53,5	50,7	53,1	51,5	55	45
Jardín ICBF	PB	E	53	50,1	52,8	50,5	55	45
Jardín ICBF	P1	E	53	50	52,7	50,4	55	45
Jardín ICBF	P2	E	53,1	50,2	52,9	50,6	55	45
Jardin Infantil Martiniano Norte	PB	SE	26,9	23,8	25,4	22,5	55	45
Jardin Infantil Martiniano Norte	P1	SE	27,5	24,5	26,4	23,6	55	45
Jardin Infantil Martiniano Norte	P2	SE	29,6	26,6	28,8	26,3	55	45
Jardin infantil Risitas y Lágrimas	PB	SO	32,1	28,4	28,4	25,2	55	45
Jardin infantil Risitas y Lágrimas	P1	SO	32,2	28,5	28,7	25,5	55	45
Jardin infantil Risitas y Lágrimas	P2	SO	32,8	29,2	29,8	26,7	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB	N	53,1	50,2	53,1	51,5	55	45
Liceo Figuras Infantiles	PB	NO	52,7	48,9	48,5	45	65	50
Liceo Figuras Infantiles	P1	NO	51,8	48	47,6	44,1	65	50
Liceo Figuras Infantiles	P2	NO	50,9	47,1	46,7	43,2	65	50
Odontología Integral R&C Dental Care	PB		75	71,5	75,7	73,9	55	45
Oral Estetic Sentry	PB	SO	46,3	42,5	42	38,5	55	45
Oral Estetic Sentry	P1	SO	46,3	42,5	42,1	38,7	55	45
Veterinaria Firulais	PB	SE	46,9	44	46,6	44	55	45
Veterinaria Firulais	P1	SE	46,2	43,3	45,9	43,2	55	45
Veterinaria Firulais	P2	SE	46,5	43,6	46,2	43,5	55	45

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se puede observar en la anterior tabla los receptores sensibles para el tramo 3 a diferencia de los anteriores tramos presentan una menor cantidad de incumplimientos normativos. Este cambio en la dinámica de incumplimiento se asocia principalmente en una disminución en el paso de vehículos de tipo pesado. Asimismo, las zonas las cuales se encuentran ubicados a lo largo de las zonas de evaluación del tramo 2, en su gran mayoría presentan excedencia normativa tanto para el periodo diurno como en el nocturno en día hábil y no hábil. Las mayores excedencias se presentaron en el período nocturno para ambos días debido a que los límites máximos permisibles en el periodo nocturno son más estrictos que en el periodo diurno. Entonces se puede afirmar que los resultados son consecuentes con la dinámica de propagación presentada en cada uno de los mapas de ruido anteriormente analizados y asimismo la tendencia de la dinámica actual de ruido ambiental en las zonas de evaluación presenta incompatibilidad normativa debido al alto flujo vehicular que transita por las vías aledañas al proyecto.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los receptores sensibles ubicados a lo largo del tramo 4 para el escenario de Línea base día hábil y no hábil para el periodo diurno y nocturno.

Tabla 445. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 4

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 4		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 4		Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Clinica Odontologica Sonrisas	PB	N	64,9	61,8	64,5	61,4	55	45
Clinica Odontologica Sonrisas	P1	N	64,5	61,4	64,2	61,1	55	45
Clinica Odontologica Sonrisas	P2	N	64	60,9	63,7	60,6	55	45
Colegio Centro Edu. Distrital Bilbao	PB	S	50,3	47,1	50,2	47	65	50
Colegio Gimnasio Latinoamericano	PB	S	58,1	55,1	53,8	51	65	50
Colegio Gimnasio Latinoamericano	P1	S	56,7	53,7	52,4	49,6	65	50
Colegio Hogar de Nazareth	PB	N	47,1	43,6	46,7	43,1	65	50
Colegio Hogar de Nazareth	P1	N	47	43,5	46,6	43	65	50
Colegio Hogar de Nazareth	P2	N	46,3	42,9	45,9	42,3	65	50
Colegio Hogar de Nazareth	P3	N	47,1	43,7	46,6	43,2	65	50
Cursos para Seguridad Bermat Ltda	PB	E	54,4	51,1	52,6	49,5	65	50
Cursos para Seguridad Bermat Ltda	P1	E	54	50,7	52,6	49,4	65	50
Fundación Villa María	PB	N	67,4	64,4	67,3	64,2	55	45
Fundación Villa María	P1	N	66,2	63,1	66	62,9	55	45
Fundación Villa María	P2	N	65,1	62,1	64,9	61,8	55	45
Fundación Villa María	P3	N	64,3	61,2	64,1	61	55	45
Fundación Villa María	P4	N	63,5	60,5	63,3	60,2	55	45
Hogar Comunitario Enanitos Verdes ICBF	PB		36,7	33,5	36,5	33,3	55	45
Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo IC	PB	S	34,4	31	34,6	31,2	55	45
Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo IC	P1	S	37,4	34	37,8	34,3	55	45
Hogar Comunitario Garfield	PB		37,1	33,9	36,6	33,4	55	45
Hogar Comunitario Mickey ICBF	PB	N	46,3	41,7	46,3	40,3	55	45
Hogar Comunitario Mickey ICBF	P1	N	46,4	41,9	46,4	40,6	55	45
Hogar Comunitario mis Amiguitos	PB	SE	39	35,7	39	35,6	55	45
Hogar Comunitario mis Amiguitos	P1	SE	40,6	37,2	40,6	36,9	55	45
Hogar Comunitario Nidito de Crianza	PB	S	34	30,2	34,3	30,2	55	45
Hogar Comunitario Nidito de Crianza	P1	S	38,6	34,6	39,1	34,7	55	45
Iglesia Cristiana La Buena Semilla	PB	E	54,2	50,7	51,4	47,7	65	50
Iglesia Cristiana La Buena Semilla	P1	E	53	49,5	50,7	46,9	65	50
Institución Educativa Liceo Federico	PB	E	53,4	50	51,3	48,1	65	50
Institución Educativa Liceo Federico	P1	E	53,1	49,8	51,4	48,2	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 4		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 4		Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Jardí-n Infantil Kindergarten John Dewey	PB		57	53,9	53,6	50,1	55	45
Jardín Infantil Leoncitos Creativos	PB		42,1	38,8	41,8	38,7	55	45
Jardín Infantil Maisan Garden	PB		63,4	60,1	63,1	59,9	55	45
Jardín Infantil María Montessori Kids	PB		54,9	51,9	50,9	47,8	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB		57	53,8	53,7	50	55	45
Jardin Infantil Kadmiel	PB		67,2	64,2	67,1	64	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	PB	S	53,9	50,9	50,3	47	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	P1	S	53,6	50,5	50	46,7	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	P2	S	53,3	50,2	50,1	46,6	55	45
Jardín Infantil Leoncitos Creativos	PB	NO	44,4	41,1	44,1	40,9	55	45
Jardín Infantil Maisan Garden	PB	SO	59,2	55,9	58,8	55,7	55	45
Jardín Infantil Maisan Garden	P1	SO	59	55,7	58,6	55,4	55	45
Jardín Infantil María Montessori Kids	PB	E	49,5	46,5	45,5	42,6	55	45
Jardín Infantil María Montessori Kids	P1	E	49,3	46,4	45,5	42,6	55	45
Jardín Infantil María Montessori Kids	P2	E	49,4	46,5	45,9	43	55	45
Jardin Infantil mi Dulce Cariñito	PB	SE	38,8	35,5	38,9	35,4	55	45
Jardin Infantil mi Dulce Cariñito	P1	SE	41,4	37,7	41,6	37,4	55	45
Jardin Infantil mis Primeros Garabatos	PB	SE	53,7	50,9	53,5	50,7	55	45
Jardin Infantil mis Primeros Garabatos	P1	SE	53,5	50,7	53,3	50,4	55	45
Jardin Infantil mis Primeros Garabatos	P2	SE	53,5	50,7	53,3	50,5	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB	S	54,6	51,4	51,6	47,8	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	P1	S	54,3	51,1	51,5	47,6	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	P2	S	54,4	51	52	47,7	55	45
Liceo Infantil San Marcos Kids	PB	N	51	47	50	44,6	55	45
Liceo Infantil San Marcos Kids	P1	N	51,2	47,2	50,2	44,8	55	45
Parroquia San Dionisio	PB	O	56,8	53,8	56,4	53,6	65	50
Parroquia San Dionisio	P1	O	57,6	54,6	57,2	54,4	65	50
Salud Medicina Laboratorio Clínico	PB		62,1	59,1	61,6	58,5	55	45

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Finalmente, en la anterior tabla se puede observar que los receptores sensibles para el tramo 4 a diferencia de los anteriores tramos y al igual que el tramo 3, presentan una menor cantidad de incumplimientos normativos principalmente en el periodo diurno. Por el contrario en el periodo nocturno los incumplimientos aumentan debido a que la norma es mucho más restrictiva en este periodo. Este cambio en la dinámica de incumplimiento se asocia principalmente en una disminución

en el paso de vehículos de tipo pesado ya que la vías que se encuentran aledañas a la zona de evaluación son de menor envergadura en comparación a las vías de los anteriores tramos. Entonces se puede afirmar que los resultados son consecuentes con la dinámica de propagación presentada en cada uno de los mapas de ruido anteriormente analizados y asimismo la tendencia de la dinámica actual de ruido ambiental en las zonas de evaluación presenta incompatibilidad normativa debido al alto flujo vehicular que transita por las vías aledañas al proyecto.

Del mismo modo, a continuación se presentan las tablas comparativas de los niveles de ruido obtenidos en los modelos con respecto a límites máximos permisibles establecidos por GUÍAS GENERALES: MEDIO AMBIENTE RUIDO - GRUPO DEL BANCO MUNDIAL (IFC). Cabe mencionar que los receptores resaltados en color amarillo son aquellos que se encuentran en excedencia normativa.

Tabla 446. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 1

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 1		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 1		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Fundación Universitaria del Área Andina	PB	NE	66,8	61,8	66,7	63	55	45
Fundación Universitaria del Área Andina	P1	NE	66,4	61,4	66,4	62,7	55	45
Fundación Universitaria del Área Andina	P2	NE	66,2	61,2	66,2	62,5	55	45
Fundación Universitaria del Área Andina	P3	NE	66	61	66,1	62,4	55	45
Academia y Tienda de Música Pick	PB	SE	58,6	53,9	55,8	50,2	55	45
Academia y Tienda de Música Pick	P1	SE	58,1	53,3	55,5	49,6	55	45
Academia y Tienda de Música Pick	P2	SE	57,8	52,8	55,8	49,4	55	45
Centro Abrazar. Atención Transitoria	PB	SO	55,2	50,6	54,8	51,1	55	45
Centro comercial avenida Chile	PB	SO	66,8	61,8	66	62,3	70	70
Centro comercial avenida Chile	P1	SO	66,7	61,7	65,8	62,1	70	70
Centro comercial avenida Chile	P2	SO	66,5	61,5	65,6	61,9	70	70
Centro de Desarrollo Familiar - IBF	PB	SO	74,7	64,9	74,5	63,6	55	45
Centro de Desarrollo Familiar - IBF	P1	SO	73,2	63,6	73	62,3	55	45
Clínica Cuanal	PB	SE	68,8	64,1	69,3	65,9	55	45
Clínica Cuanal	P1	SE	67,9	63,2	68,4	65,1	55	45
Clínica Cuanal	P2	SE	67,1	62,3	67,6	64,2	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 1		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 1		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Clínica Veterinaria Can Center	PB	SO	59,5	54,8	60,8	57,4	55	45
Clínica Veterinaria Can Center	P1	SO	59,4	54,7	60,8	57,4	55	45
Clínica Veterinaria Can Center	P2	SO	59,9	55,1	61,2	57,7	55	45
Colegio Francisco Primero Sede C	PB	SE	66,3	60,5	66,8	61,4	55	45
Colegio Francisco Primero Sede C	P1	SE	67,8	60,9	69,3	61,5	55	45
Corporación Universitaria UNITEC	P1	SO	53,9	50,7	54,5	51,5	55	45
Corporación Universitaria UNITEC	P2	SO	54,9	51,3	55,6	52,2	55	45
Escuela Británica de Idiomas	PB	E	72,8	65	74,5	63	55	45
Escuela de Instrucción Aeronáutica	PB	NO	77,9	69,2	80,7	69,6	55	45
Escuela de Instrucción Aeronáutica	P1	NO	77	68,4	79,8	68,8	55	45
Escuela de Instrucción Aeronáutica	P2	NO	76,1	67,6	79	68,1	55	45
Escuela de Instrucción Aeronáutica	P3	NO	75,4	67	78,3	67,5	55	45
Estudio Integral de Arte	PB	NO	56,2	49,2	56	46,4	55	45
Estudio Integral de Arte	P1	NO	56,5	49,3	56,9	47,2	55	45
Estudio Integral de Arte	P2	NO	57,9	50,2	59,1	49,3	55	45
Fundación Tecnológica Alberto Merani	PB	SE	53,6	63,9	53	62,6	55	45
Fundación Universitaria Área Andina	PB	E	61,9	57,2	58,8	53,3	55	45
Fundación Universitaria Área Andina	P1	E	61,8	57,1	59,1	53,5	55	45
Fundación Universitaria Área Andina	P2	E	61,5	56,8	59,5	53,6	55	45
Hospital Veterinario GB6B	PB	NE	69,2	59,9	68,8	58,5	55	45
Hospital Veterinario GB6B	P1	NE	68,9	59,6	68,5	58,2	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 1		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 1		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Hotel Fenix Real	PB	NO	64,1	58,7	63,7	59,6	55	45
Hotel Fenix Real	P1	NO	63,9	58,4	63,5	59,3	55	45
Hotel Fenix Real	P2	NO	63,7	58,2	63,4	59,1	55	45
Hotel INN72	PB	SE	64,6	59,4	64,4	60,8	55	45
Hotel INN72	P1	SE	64	58,7	63,8	60,2	55	45
Iglesia Porciuncula	PB	NE	67,5	62,6	67,7	64,1	55	45
Iglesia Porciuncula	P1	NE	67,2	62,2	67,4	63,8	55	45
Iglesia Porciuncula	P2	NE	67	62	67,3	63,6	55	45
Iglesia Porciuncula	P3	NE	66,8	61,8	67	63,4	55	45
Iglesia Porciuncula	P4	NE	66,5	61,5	66,8	63,2	55	45
Iglesia Porciuncula	P5	NE	66,2	61,2	66,5	62,9	55	45
Iglesia Porciuncula	P6	NE	65,9	60,9	66,3	62,6	55	45
Iglesia Porciuncula	P7	NE	65,5	60,6	65,9	62,3	55	45
Iglesia Porciuncula	P8	NE	65,2	60,2	65,6	61,9	55	45
Iglesia Porciuncula	P9	NE	65	60	65,4	61,7	55	45
Iglesia Siervas de María	PB	SO	68,9	59,6	69	58,5	55	45
Institución Educativa Distrital Jorge	PB	NE	69,3	60,2	68,8	58,4	55	45
IPS Tu Salud Laboral	PB	NO	65	59,9	65,8	62,3	55	45
IPS Unimsalud	PB	NE	57,7	52,6	54,9	50,2	55	45
IPS Unimsalud	P1	NE	58,2	52,8	56,1	50,7	55	45
Jardín Infantil Angeles del Saber	PB	NO	56,4	49,7	63,4	59,7	55	45
Jardín Infantil El Nogal de La Esperanza	PB	SO	63,5	55,5	62,9	52,8	55	45
Jardín Infantil El Nogal de La Esperanza	P1	SO	64,4	56,4	63,9	53,8	55	45
Jardín Infantil Pequeñas Personitas	PB	SO	61,5	56,4	58,7	54	55	45
Liceo VAL - Vida, Amor, Luz	PB	NE	54	48,8	54,2	49,1	55	45
Universidad EAN	PB	SO	54,4	50,1	48,9	44,8	55	45
Universidad EAN	P1	SO	54,6	50,2	48,9	44,7	55	45
Universidad pedagógica Nacional	PB	SO	66,6	61,6	66,9	63,3	55	45
Universidad pedagógica Nacional	P1	SO	66,2	61,2	66,6	62,9	55	45
Universidad pedagógica Nacional	P2	SO	65,9	61	66,4	62,7	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 1		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 1		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Universidad Politécnico InterNacional	PB	SE	61,7	57	43,8	38,8	55	45
Universidad Politécnico InterNacional	P1	SE	61,6	56,9	43,6	38,7	55	45
Universidad Politécnico InterNacional	P2	SE	61,4	56,7	43,4	38,5	55	45
Universidad Politécnico InterNacional	P3	SE	61,4	56,7	45	40,3	55	45
Universidad santo Tomas sede	PB	NO	68,3	63,6	45,8	41,9	55	45
Universidad Santo Tomas	PB	NE	59,4	54,6	38,9	34,4	55	45
Universidad Santo Tomas	P1	NE	59,3	54,5	39,3	34,8	55	45
Universidad Santo Tomas	P2	NE	58,9	54,1	40,5	35,9	55	45
Universidad Santo Tomas	P3	NE	58,4	53,6	42	36,8	55	45
Universidad Santo Tomas	P4	NE	57,9	53,1	43,4	38,7	55	45
Universidad Santo Tomas	P5	NE	57,5	52,7	43,6	38,9	55	45
Universidad Santo Tomas	P6	NE	57	52,2	43,6	38,8	55	45
Universidad Santo Tomas	P7	NE	56,7	51,8	45,1	39,9	55	45
Veterinaria Tila	PB	NO	65	61	60,7	56,6	55	45
Veterinaria Tila	P1	NO	64,2	60,1	59,9	55,7	55	45
Veterinaria Tila	P2	NO	63,4	59,4	59,1	54,9	55	45

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 447. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 2

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 2		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 2		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Liceo Gulliver	PB	NO	56,4	51,5	54,7	48,3	55	45
Liceo Mi Nuevo Horizonte del Tabora	PB	NE	49,8	45	48,4	42,1	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 2		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 2		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Academia de Baile Salsa Sin Límite	PB	SE	66,7	59	66,7	58,2	55	45
Academia de Baile Salsa Sin Límite	P1	SE	66,8	59,1	66,9	58,3	55	45
Alkosto	PB	SO	61	57,6	61,5	58,6	55	45
Centro Superior de Estudios Financieros	PB	NE	71,8	63,6	71,9	62,6	55	45
Centro Superior de Estudios Financieros	P1	NE	71,6	63,4	71,6	62,4	55	45
Centro Superior de Estudios Financieros	P2	NE	71,2	63	71,4	62,1	55	45
Clínica Odontológica Oral Stetic	PB	SO	71,6	63,5	71,9	62,6	55	45
Clínica Odontológica Oral Stetic	P1	SO	71,5	63,3	71,7	62,4	55	45
Clínica Odontológica Oral Stetic	P2	SO	71,6	63,5	71,8	62,5	55	45
Clínica Veterinaria DogMar	PB	NE	71,9	63,7	72	62,7	55	45
Clínica Veterinaria DogMar	P1	NE	71,7	63,6	71,9	62,6	55	45
Colegio República de Colombia I.E.D.	PB	SE	61,6	57,8	61,7	59,8	55	45
Colegio República de Colombia I.E.D.	P1	SE	60,7	56,8	60,7	58,9	55	45
Colegio República de Colombia I.E.D.	P2	SE	60	56,2	60,1	58,2	55	45
Gimnasio Académico San Nicolas	PB	SO	68,5	65,5	69,5	67,3	55	45
Gimnasio Académico San Nicolas	P1	SO	68,6	65,5	69,6	67,4	55	45
Gimnasio Juvenil Santa Catalina	PB	SO	73	64,9	73	63,7	55	45
Gimnasio Juvenil Santa Catalina	P1	SO	72,6	64,5	72,6	63,3	55	45
Hogar Britta Modalidad Internado ICBF	PB	NE	60,3	56,1	56,1	51,7	55	45
Hogar Britta Modalidad Internado ICBF	P1	NE	60,2	55,9	56,4	51,6	55	45
Hogar Comunitario de Bienestar La Casita	PB		56,1	51,7	52,1	47,6	55	45
Hogar Infantil Aprendiendo Chiquilladas	PB		57,1	52,8	53	48,5	55	45
Hogar Infantil de Bienestar Boyacá	PB	NO	61,2	54,9	63,2	54,6	55	45
Hogar Infantil ICBF	PB	NE	62,8	58,6	61,2	57,5	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 2		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 2		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Hogar Infantil ICBF	P1	NE	61,3	57,1	59,7	56	55	45
Hotel Palacio Real	PB	NE	72,2	64,1	72,2	63	55	45
Hotel Palacio Real	P1	NE	72,2	64	72,1	62,9	55	45
Hotel Palacio Real	P2	NE	71,9	63,7	71,9	62,7	55	45
Hotel Palacio Real	P3	NE	71,6	63,4	71,6	62,4	55	45
Hotel Palacio Real	P4	NE	71,2	63,1	71,3	62,1	55	45
Hotel Palacio Real	P5	NE	70,9	62,8	71,1	61,8	55	45
Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	PB	SE	61,2	56,1	60,7	55,9	55	45
Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	P1	SE	59,8	54,3	59,6	54,1	55	45
Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	P2	SE	59,2	53,3	59,3	53	55	45
Institución Educativa Distrital Nacional	PB	SO	44,9	41,2	44,2	40,9	55	45
Institución Educativa Distrital Nacional	P1	SO	46,7	43,1	46,4	43,3	55	45
Instituto Tecnisistemas	PB	NE	67,2	63,3	67	63,7	55	45
Instituto Tecnisistemas	P1	NE	67	63,2	66,9	63,5	55	45
IPS Corsanemos	PB	SO	69,9	62,2	71,2	63,3	55	45
IPS Corsanemos	P1	SO	70	62,2	71,3	63,3	55	45
IPS Corsanemos	P2	SO	70,4	62,4	71,7	63,6	55	45
IPS Corsanemos	PB	SO	71,2	63,6	72,4	64,5	55	45
IPS Corsanemos	P1	SO	71,1	63,4	72,3	64,4	55	45
IPS Corsanemos	P2	SO	71,7	64	73	65	55	45
IPS Saana Consulta	PB	NE	69	65,6	68,6	65,9	55	45
IPS Saana Consulta	P1	NE	68,5	65,1	68,1	65,4	55	45
Liceo Gulliver	PB		58,5	53,8	56,2	50,3	55	45
Liceo Mi Nuevo Horizonte del Tabora	PB		51,3	46,8	49,5	43,6	55	45
Liceo Psicopedagógico San Buenaventura	PB		55,2	50,8	51,6	47,3	55	45
Odontológica Estética Fast Dent	PB		55	50,7	52,3	46,7	55	45
Odontología General y Especializada Am	PB		64,5	60,3	60	55,8	55	45
Odontología General y Especializada Am	PB	SE	59,7	55,6	55,9	51,9	55	45
Odontología General y Especializada Am	P1	SE	59,5	55,4	55,9	52,1	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 2		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 2		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Odontología General y Especializada Am	P2	SE	59,6	55,6	56,5	52,7	55	45
Odontología General y Especializada Am	P3	SE	61	57,2	59,5	56,1	55	45
Pequeños Dinosaurios - ICBF	PB	SO	68,8	65,1	64,4	60,5	55	45
Pequeños Dinosaurios - ICBF	P1	SO	67,1	63,3	62,8	59	55	45
Protectorado de San José. Monasterio	PB	SO	73,4	65,3	73,8	64,4	55	45
Protectorado de San José. Monasterio	P1	SO	72,5	64,3	72,9	63,6	55	45
Protectorado de San José. Monasterio	P2	SO	71,6	63,5	72,1	62,8	55	45
Protectorado de San José. Monasterio	P3	SO	71,1	62,9	71,5	62,2	55	45
Protectorado de San José. Monasterio	P4	SO	70,6	62,4	71	61,8	55	45

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 448. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 3

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 3		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 3		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Odontologica Integral R&C Dental Care	PB	SE	71	67,5	71,9	70	55	45
Odontologica Integral R&C Dental Care	P1	SE	70,6	67,1	71,4	69,6	55	45
Odontologica Integral R&C Dental Care	P2	SE	70,3	66,9	71,1	69,1	55	45
Centro de Desarrollo Infantil Angeles	PB	NE	61,8	58,6	55,5	53,8	55	45
Centro de Desarrollo Infantil Angeles	P1	NE	61,3	58,1	56,3	54,5	55	45
Centro de Odontologia Especializada	PB	NO	66	63	65,9	63,4	55	45
Colegio Gimnasio Moderno Jhon Enders	PB	NE	40,9	37,9	40,3	38	55	45
Colegio Gimnasio Moderno Jhon Enders	P1	NE	41,5	38,5	40,9	38,6	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 3		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 3		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Colegio La Fantasía del Conocimiento	PB	NE	68,9	61,8	69,1	61,5	55	45
Hogar Comunitario Garfield	PB	SO	47,6	44,6	45,8	43,3	55	45
Hogar Comunitario Garfield	P1	SO	47,9	44,9	46,2	43,8	55	45
Hogar Comunitario Garfield	P2	SO	47,8	44,8	46,2	43,8	55	45
ICBF UDS Lulu y Tobi	PB		46,1	43,1	43,8	41,2	55	45
ICBF UDS Lulu y Tobi	PB	N	45,5	42,5	44,3	41,9	55	45
Jardín ICBF	PB		57,1	54,1	57	54,7	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB		53,5	50,7	53,1	51,5	55	45
Jardín ICBF	PB	E	53	50,1	52,8	50,5	55	45
Jardín ICBF	P1	E	53	50	52,7	50,4	55	45
Jardín ICBF	P2	E	53,1	50,2	52,9	50,6	55	45
Jardin Infantil Martiniano Norte	PB	SE	26,9	23,8	25,4	22,5	55	45
Jardin Infantil Martiniano Norte	P1	SE	27,5	24,5	26,4	23,6	55	45
Jardin Infantil Martiniano Norte	P2	SE	29,6	26,6	28,8	26,3	55	45
Jardin infantil Risitas y Lágrimas	PB	SO	32,1	28,4	28,4	25,2	55	45
Jardin infantil Risitas y Lágrimas	P1	SO	32,2	28,5	28,7	25,5	55	45
Jardin infantil Risitas y Lágrimas	P2	SO	32,8	29,2	29,8	26,7	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB	N	53,1	50,2	53,1	51,5	55	45
Liceo Figuras Infantiles	PB	NO	52,7	48,9	48,5	45	55	45
Liceo Figuras Infantiles	P1	NO	51,8	48	47,6	44,1	55	45
Liceo Figuras Infantiles	P2	NO	50,9	47,1	46,7	43,2	55	45
OdontologÃ-a Integral R&C Dental Care	PB		75	71,5	75,7	73,9	55	45
Oral Estetic Sentry	PB	SO	46,3	42,5	42	38,5	55	45
Oral Estetic Sentry	P1	SO	46,3	42,5	42,1	38,7	55	45
Veterinaria Firulais	PB	SE	46,9	44	46,6	44	55	45
Veterinaria Firulais	P1	SE	46,2	43,3	45,9	43,2	55	45
Veterinaria Firulais	P2	SE	46,5	43,6	46,2	43,5	55	45
Iglesia Pentecostal Unida de	P2	SE	59,2	53,3	59,3	53	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 3		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 3		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Colombia								

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 449. Resultados de los niveles de ruido registrados en las fachadas del escenario de Línea base tramo 4

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 4		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 4		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Clinica Odontologica Sonrisas	PB	N	64,9	61,8	64,5	61,4	55	45
Clinica Odontologica Sonrisas	P1	N	64,5	61,4	64,2	61,1	55	45
Clinica Odontologica Sonrisas	P2	N	64	60,9	63,7	60,6	55	45
Colegio Centro Edu. Distrital Bilbao	PB	S	50,3	47,1	50,2	47	65	50
Colegio Gimnasio Latinoamericano	PB	S	58,1	55,1	53,8	51	65	50
Colegio Gimnasio Latinoamericano	P1	S	56,7	53,7	52,4	49,6	65	50
Colegio Hogar de Nazareth	PB	N	47,1	43,6	46,7	43,1	65	50
Colegio Hogar de Nazareth	P1	N	47	43,5	46,6	43	65	50
Colegio Hogar de Nazareth	P2	N	46,3	42,9	45,9	42,3	65	50
Colegio Hogar de Nazareth	P3	N	47,1	43,7	46,6	43,2	65	50
Cursos para Seguridad Bermat Ltda	PB	E	54,4	51,1	52,6	49,5	65	50
Cursos para Seguridad Bermat Ltda	P1	E	54	50,7	52,6	49,4	65	50
Fundación Villa María	PB	N	67,4	64,4	67,3	64,2	55	45
Fundación Villa María	P1	N	66,2	63,1	66	62,9	55	45
Fundación Villa María	P2	N	65,1	62,1	64,9	61,8	55	45
Fundación Villa María	P3	N	64,3	61,2	64,1	61	55	45
Fundación Villa María	P4	N	63,5	60,5	63,3	60,2	55	45
Hogar Comunitario Enanitos Verdes ICBF	PB		36,7	33,5	36,5	33,3	55	45
Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo IC	PB	S	34,4	31	34,6	31,2	55	45
Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo IC	P1	S	37,4	34	37,8	34,3	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 4		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 4		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Hogar Comunitario Garfield	PB		37,1	33,9	36,6	33,4	55	45
Hogar Comunitario Mickey ICBF	PB	N	46,3	41,7	46,3	40,3	55	45
Hogar Comunitario Mickey ICBF	P1	N	46,4	41,9	46,4	40,6	55	45
Hogar Comunitario mis Amiguitos	PB	SE	39	35,7	39	35,6	55	45
Hogar Comunitario mis Amiguitos	P1	SE	40,6	37,2	40,6	36,9	55	45
Hogar Comunitario Nidito de Crianza	PB	S	34	30,2	34,3	30,2	55	45
Hogar Comunitario Nidito de Crianza	P1	S	38,6	34,6	39,1	34,7	55	45
Iglesia Cristiana La Buena Semilla	PB	E	54,2	50,7	51,4	47,7	65	50
Iglesia Cristiana La Buena Semilla	P1	E	53	49,5	50,7	46,9	65	50
Institución Educativa Liceo Federico	PB	E	53,4	50	51,3	48,1	65	50
Institución Educativa Liceo Federico	P1	E	53,1	49,8	51,4	48,2	55	45
Jardí-n Infantil Kindergarten John Dewey	PB		57	53,9	53,6	50,1	55	45
Jardín Infantil Leoncitos Creativos	PB		42,1	38,8	41,8	38,7	55	45
Jardín Infantil Maisan Garden	PB		63,4	60,1	63,1	59,9	55	45
Jardín Infantil María Montessori Kids	PB		54,9	51,9	50,9	47,8	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB		57	53,8	53,7	50	55	45
Jardin Infantil Kadmiel	PB		67,2	64,2	67,1	64	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	PB	S	53,9	50,9	50,3	47	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	P1	S	53,6	50,5	50	46,7	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	P2	S	53,3	50,2	50,1	46,6	55	45
Jardín Infantil Leoncitos Creativos	PB	NO	44,4	41,1	44,1	40,9	55	45
Jardín Infantil Maisan Garden	PB	SO	59,2	55,9	58,8	55,7	55	45
Jardín Infantil Maisan Garden	P1	SO	59	55,7	58,6	55,4	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Línea base día hábil tramo 4		Escenario de Línea base día NO hábil tramo 4		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Jardín Infantil María Montessori Kids	PB	E	49,5	46,5	45,5	42,6	55	45
Jardín Infantil María Montessori Kids	P1	E	49,3	46,4	45,5	42,6	55	45
Jardín Infantil María Montessori Kids	P2	E	49,4	46,5	45,9	43	55	45
Jardin Infantil mi Dulce Cariñito	PB	SE	38,8	35,5	38,9	35,4	55	45
Jardin Infantil mi Dulce Cariñito	P1	SE	41,4	37,7	41,6	37,4	55	45
Jardin Infantil mis Primeros Garabatos	PB	SE	53,7	50,9	53,5	50,7	55	45
Jardin Infantil mis Primeros Garabatos	P1	SE	53,5	50,7	53,3	50,4	55	45
Jardin Infantil mis Primeros Garabatos	P2	SE	53,5	50,7	53,3	50,5	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB	S	54,6	51,4	51,6	47,8	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	P1	S	54,3	51,1	51,5	47,6	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	P2	S	54,4	51	52	47,7	55	45
Liceo Infantil San Marcos Kids	PB	N	51	47	50	44,6	55	45
Liceo Infantil San Marcos Kids	P1	N	51,2	47,2	50,2	44,8	55	45
Parroquia San Dionisio	PB	O	56,8	53,8	56,4	53,6	65	50
Parroquia San Dionisio	P1	O	57,6	54,6	57,2	54,4	65	50
Salud Medicina Laboratorio Clínico	PB		62,1	59,1	61,6	58,5	55	45

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se puede observar en las anteriores tablas, al ser los límites máximos permisibles de ruido de la Guía de niveles de ruido-IFC más restrictivos que en la Resolución 0627 del 2006 del MADS, se presentan mayores incumplimientos. De esta manera, la tendencia hacia el incumplimiento de la gran mayoría de los receptores se mantiene respecto a la tabla comparativa con la Resolución 0627 del 2006 del MADS.

5.2.3.4.2.9. Escenario de Construcción

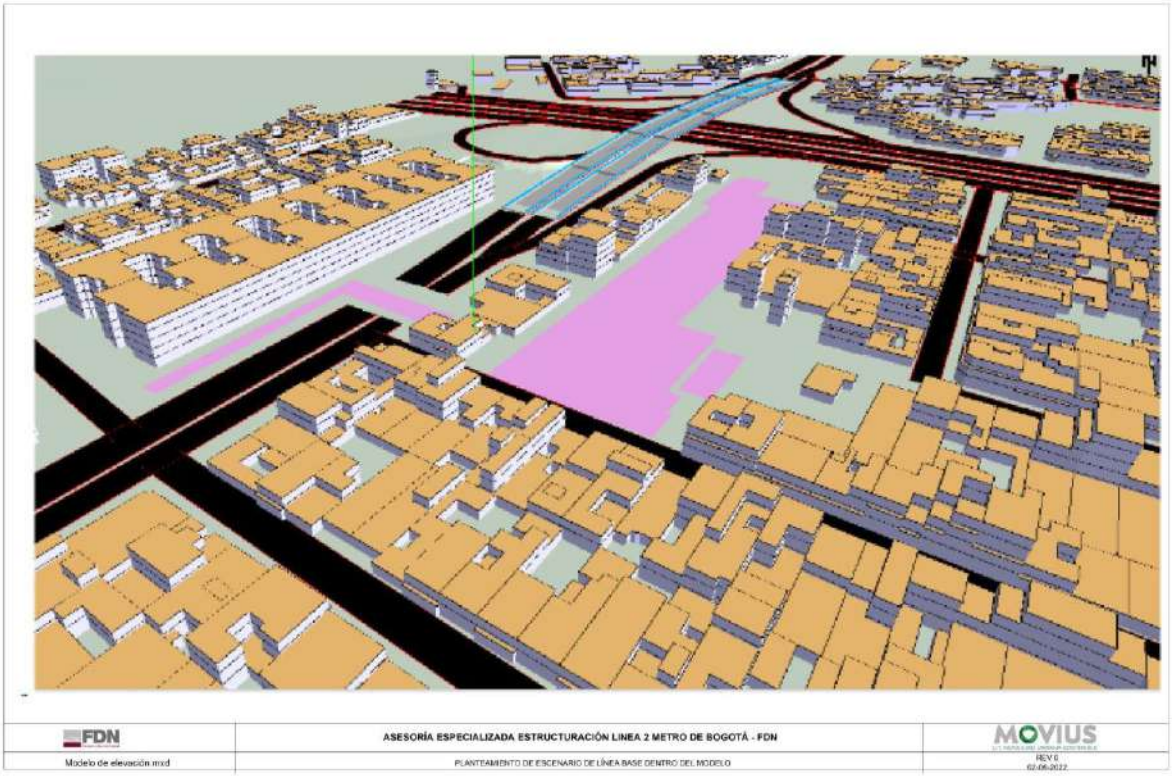


Figura 950. Procesos constructivos de las estaciones L2MB
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

El escenario de construcción permite establecer, por medio de la estructuración de un escenario proyectado donde se exponga los niveles de emisión más críticos, como los receptores sensibles percibirán estas emisiones asociadas a los diferentes procesos constructivos de La L2MB.

Es importante mencionar que la ubicación de los frentes de obra con su maquinaria asociada, se establecería por medio de una ingeniería de detalle donde se estipule por medio del constructor, la especificidad y minucia de cada actividad. De esta manera, el siguiente numeral pretende establecer dentro de un área de trabajo la distribución de la totalidad de las fuentes de emisión proyectadas para dos procesos constructivos que son temporalmente diferentes. El primer momento constructivo contempla las actividades asociadas a la construcción de las estaciones, pozos, ampliaciones de vías, patio taller, obras de trinchera, obras de campamento y salidas y entradas de la tuneladora. Por otra parte, en el segundo momento se contemplan únicamente las actividades asociadas a las mejoras urbanísticas asociadas al proyecto.

De esta manera, se busca evaluar los escenarios críticos que permitan modelar una situación en la cual se inscriba toda la maquinaria a lo largo del proyecto y de esta forma, generar los patrones de propagación de ruido en todos los frentes de obra del proyecto. Finalmente, por medio de este criterio de modelación, poder determinar la percepción del ruido en los receptores involucrados del proyecto.

A continuación, se presenta la maquinaria empleada para la modelación del escenario de construcción. Cabe mencionar que la homologación de los niveles de presión sonora se hace por medio de la biblioteca de emisión del software SOUNDPLAN® 8.1 la cual determina por medio de laboratorios acreditados en diferentes países del mundo, el ejercicio de medición de ruido de una extensa lista de maquinaria proporcionado así los niveles de presión sonora.

Tabla 450. Homologación de la maquinaria escenario de construcción

Tipo de maquinaria	Cantidad	Homologación	Presión y potencia acústica
Retro excavadora CAT 330	10	Tracked excavator 30 t	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 79,45 72,00 71,00 74,00 73,00 69,00 66,00 63,00 58,00 dB(A) 74,69 45,80 54,90 65,37 69,77 69,00 67,20 63,97 56,89
Minicargador CAT 242B2	8	wheeled loader	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 94,32 83,00 89,00 92,00 80,00 71,00 69,00 64,00 58,00 dB 94,32 83,00 89,00 92,00 80,00 71,00 69,00 64,00 58,00
Retroexcavadora menor CAT 215	8	Tracked excavator 14 t	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 85,68 79,00 77,00 76,00 77,00 78,00 78,00 73,00 66,00 dB(A) 83,12 52,80 60,90 67,37 73,77 78,00 79,20 73,97 64,89
Bulldozer capacidad 8 t	5	Bulldozer 150 kw	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 123,58 121,75 115,65 112,18 109,78 109,55 106,35 101,58 98,66 dB(A) 114,00 95,55 99,55 103,55 106,55 109,55 107,55 102,55 97,55
Carrotanque 5000 lt	4	Water bowsers	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 85,97 80,00 81,00 75,00 79,00 73,00 74,00 70,00 65,00 dB(A) 80,55 53,80 64,90 66,37 75,77 73,00 75,20 70,97 63,89
Compactador Manual Capacidad 0,5 T	10	Vibratory plate	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 82,31 70,00 74,00 71,00 78,00 74,00 75,00 63,00 58,00 dB(A) 80,09 43,80 57,90 62,37 74,77 74,00 76,20 63,97 56,89
Compactador rodillo capacidad 4 T	5	Vibratory compactor	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 83,83 81,00 76,00 72,00 73,00 72,00 72,00 68,00 63,00 dB(A) 77,72 54,80 59,90 63,37 69,77 72,00 73,20 68,97 61,89
Motoniveladora	2	Grader	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 92,44 88,00 87,00 83,00 79,00 84,00 78,00 74,00 65,00 dB(A) 86,50 61,80 70,90 74,37 75,77 84,00 79,20 74,97 63,89
Vibrocompactad or	25	Vibratory compactor	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 83,83 81,00 76,00 72,00 73,00 72,00 72,00 68,00 63,00 dB(A) 77,72 54,80 59,90 63,37 69,77 72,00 73,20 68,97 61,89
Volqueta	29	Dump Truck	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 86,78 85,00 74,00 78,00 73,00 73,00 74,00 67,00 63,00 dB(A) 79,05 58,80 57,90 69,37 69,77 73,00 75,20 67,97 61,89
Volqueta de 6 m3	12	Dump Truck	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 86,78 85,00 74,00 78,00 73,00 73,00 74,00 67,00 63,00 dB(A) 79,05 58,80 57,90 69,37 69,77 73,00 75,20 67,97 61,89
Mixer 8 m3	25	Cement mixer truck	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 81,63 80,00 69,00 66,00 70,00 71,00 69,00 64,00 58,00 dB(A) 75,11 53,80 52,90 57,37 66,77 71,00 70,20 64,97 56,89
Finisher	4	Asphalt paver	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 86,13 82,00 82,00 78,00 72,00 69,00 67,00 61,00 54,00 dB(A) 75,65 55,80 65,90 69,37 68,77 69,00 68,20 61,97 52,89
Equipo de perforación	14	Tracked drilling rig with hydraulic drifter	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 84,89 75,00 79,00 76,00 73,00 74,00 79,00 74,00 69,00 dB(A) 82,66 48,80 62,90 67,37 69,77 74,00 80,20 74,97 67,89

Tipo de maquinaria	Cantidad	Homologación	Presión y potencia acústica
Compactador tipo canguro	11	Vibratory plate	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 82,31 70,00 74,00 71,00 78,00 74,00 75,00 63,00 58,00 dB(A) 80,09 43,80 57,90 62,37 74,77 74,00 76,20 63,97 56,89
Posicionadora de carriles	2	Se asume	No aplica
Fijadora de riel	2	Se asume	No aplica
Piloteadora	6	Crane mounted auger	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 90,10 87,00 86,00 77,00 73,00 75,00 72,00 67,00 59,00 dB(A) 79,38 60,80 69,90 68,37 69,77 75,00 73,20 67,97 57,89
Grúa móviles	6	Tracked mobile crane	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 71,52 66,00 67,00 60,00 61,00 62,00 61,00 50,00 40,00 dB(A) 66,28 39,80 50,90 51,37 57,77 62,00 62,20 50,97 38,89
Grúas Fijas	12	Mobile telescopic crane	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 77,42 73,00 71,00 68,00 70,00 66,00 63,00 54,00 49,00 dB(A) 71,13 46,80 54,90 59,37 66,77 66,00 64,20 54,97 47,89
Vibrador de concreto	25	Poker vibrator	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 74,49 62,00 70,00 70,00 64,00 62,00 61,00 59,00 56,00 dB(A) 68,67 35,80 53,90 61,37 60,77 62,00 62,20 59,97 54,89
Equipo soldadura	15	Generator for welding	Suma 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1kHz 2kHz 4kHz 8kHz dB 75,76 75,00 67,00 59,00 52,00 48,00 44,00 41,00 33,00 dB(A) 56,96 48,80 50,90 50,37 48,77 48,00 45,20 41,97 31,89
Tuneladora	1	Se asume	No aplica
Planta de dovelas	1	Se asume	No aplica

Fuente: SOUNDPLAN® 8.1.

A continuación, se presentan los mapas de ruido resultantes de los aportes de ruido del escenario de Construcción para el primer momento y segundo momento en conjunto al escenario de Línea base y los mapas de ruido de un escenario donde se establecen los aportes individuales de los procesos constructivos sin la Línea base influenciada por los niveles de ruido asociados al tránsito vehicular. Estos mapas se presentan únicamente para el periodo diurno debido a que el horario de operación de las actividades de construcción se llevan a cabo entre las 7am a 7pm. Cabe resaltar que la Resolución 0627 del 2006 define como período diurno el período comprendido entre las 7:00 horas hasta las 21:00 horas.

En primer lugar, se presentan los mapas de ruido asociados al escenario de construcción para el primer momento con y sin Línea base.

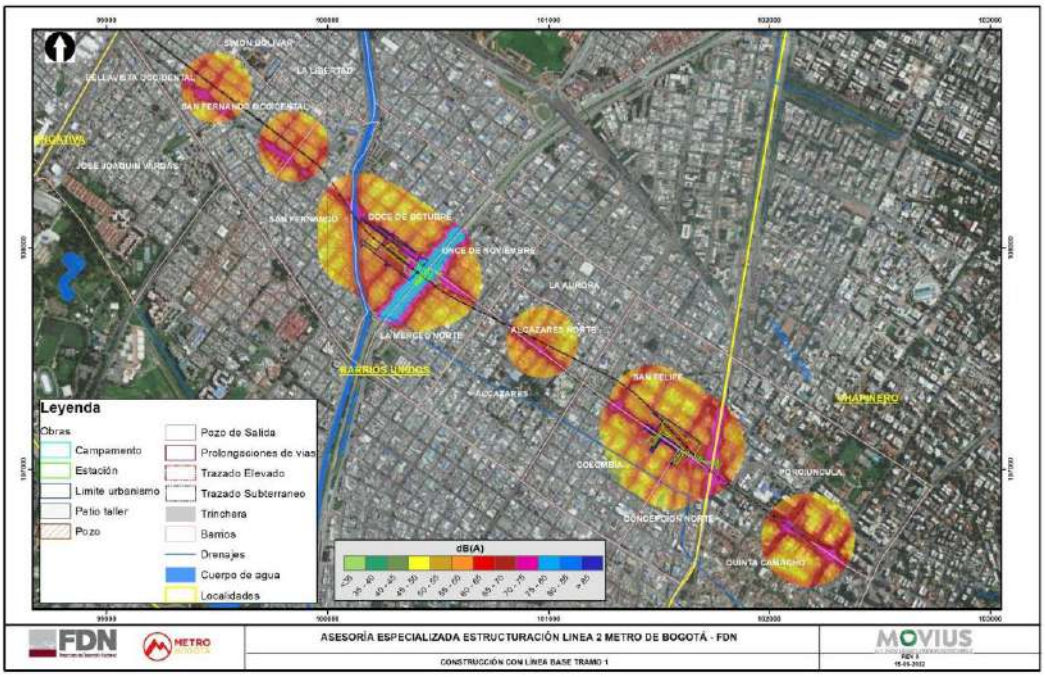


Figura 951. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento con Línea base periodo diurno tramo 1
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

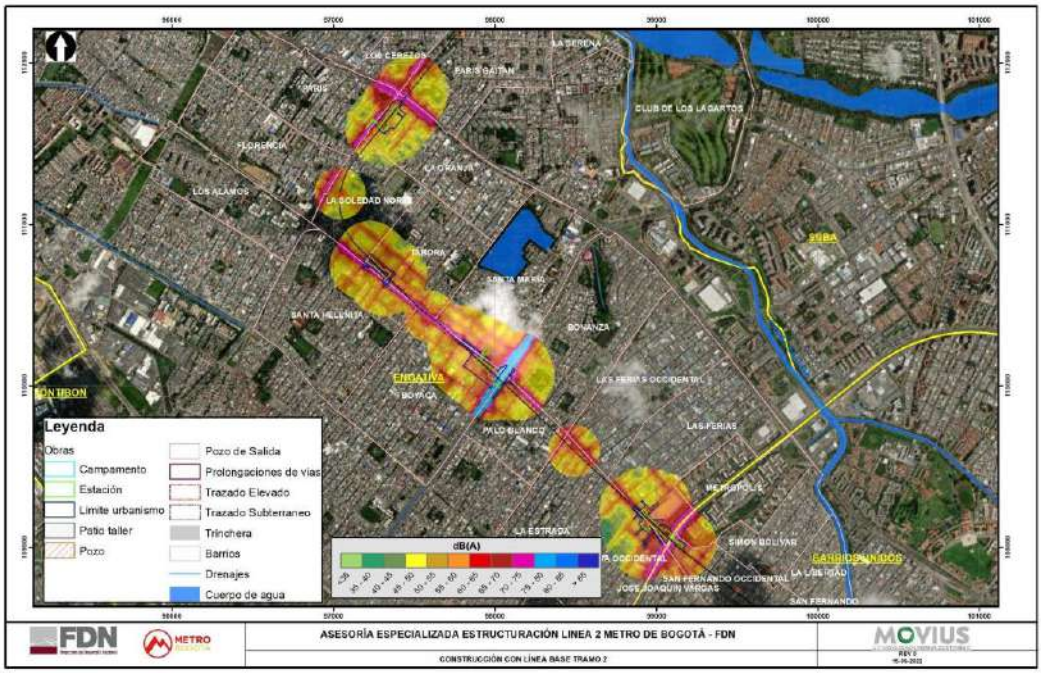


Figura 952. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento con Línea base periodo diurno tramo 2
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

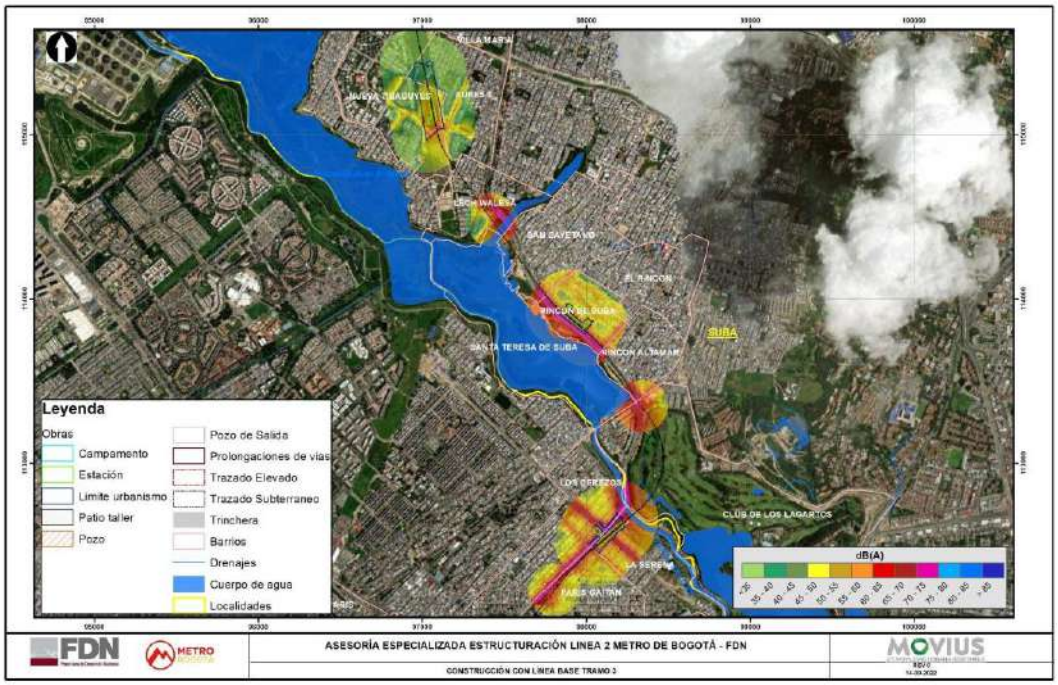


Figura 953. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento con Línea base periodo diurno tramo 3
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

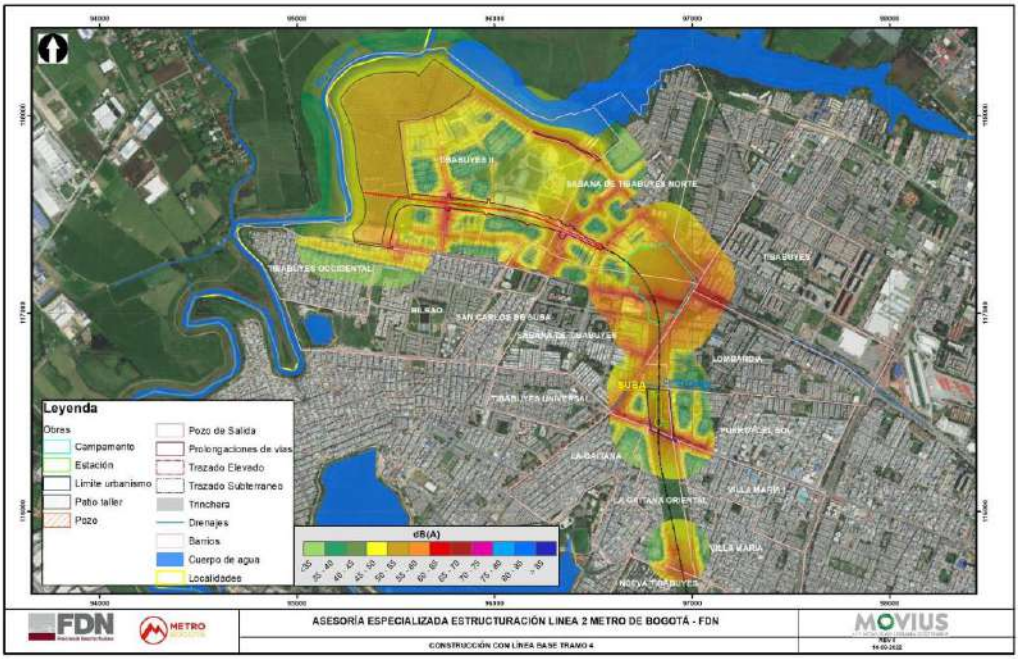


Figura 954. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento con Línea base periodo diurno tramo 4
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

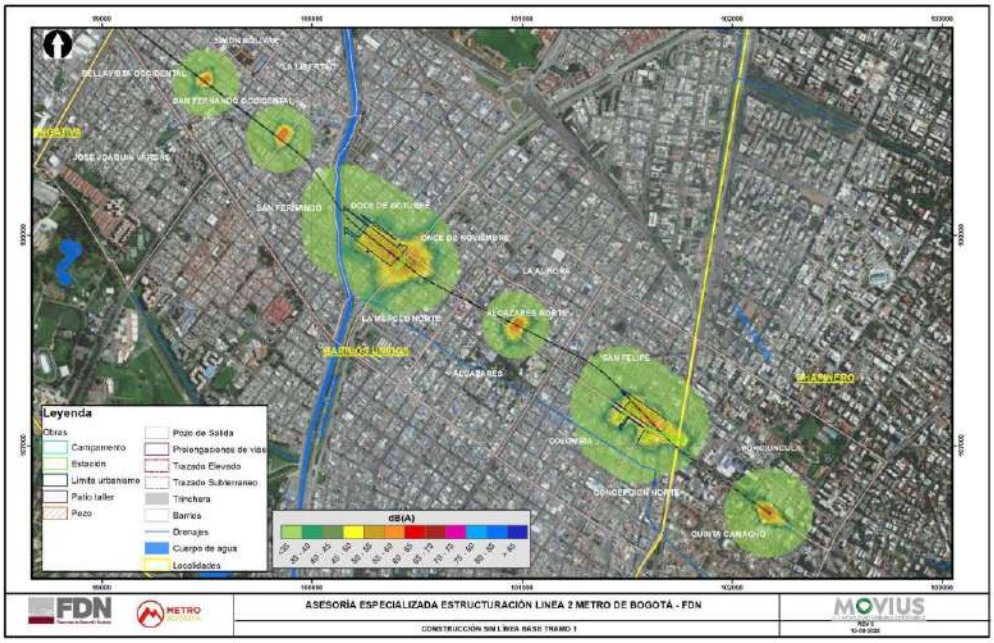


Figura 955. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 1
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

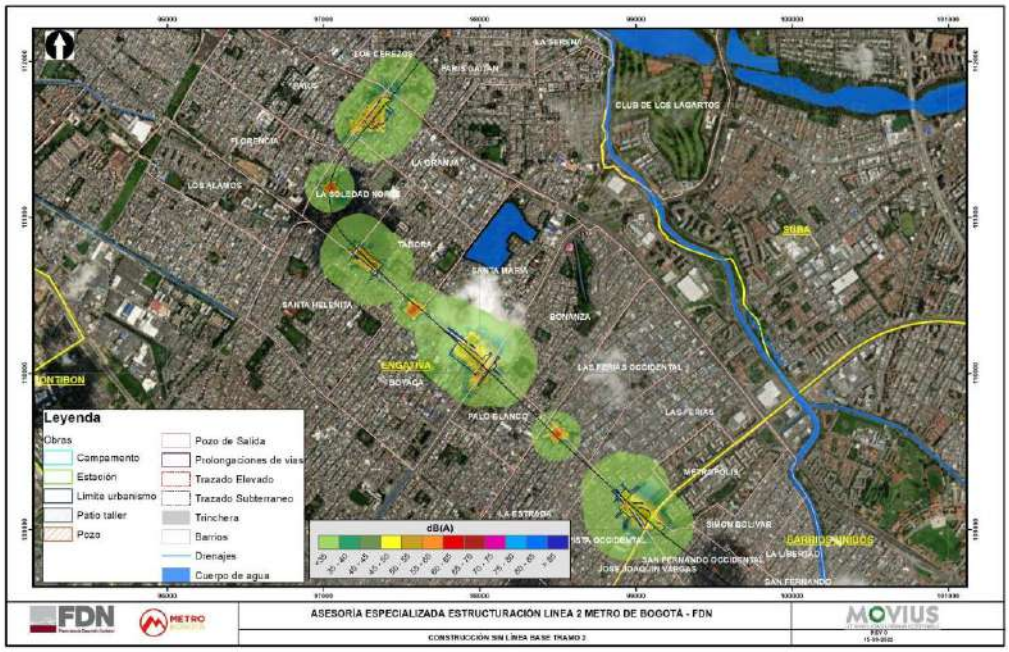


Figura 956. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 2
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

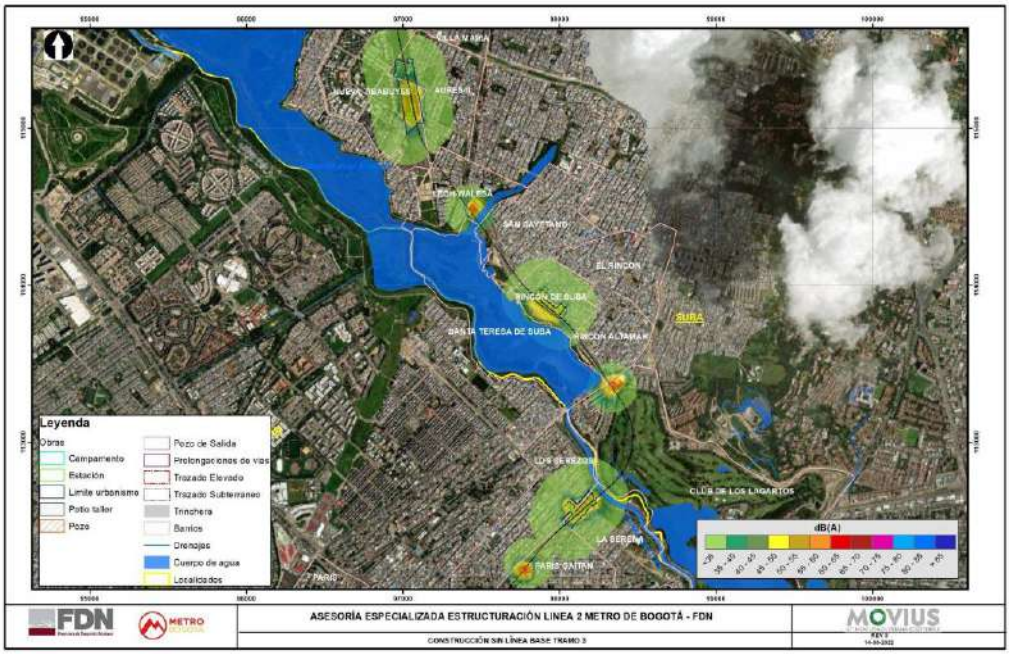


Figura 957. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 3
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

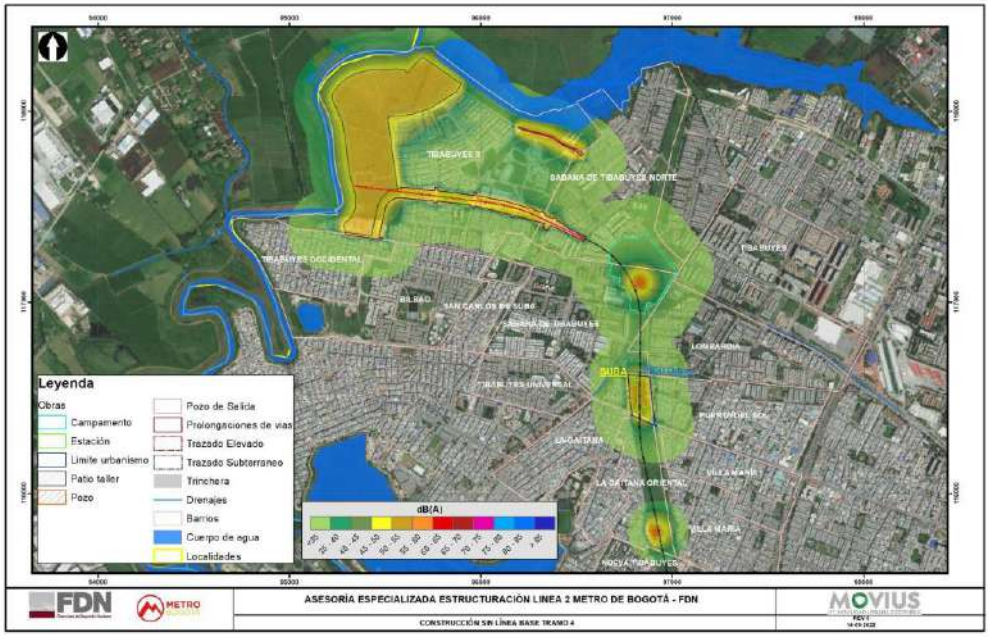


Figura 958. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 4
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

A continuación, se presentan los mapas de ruido asociados al escenario de construcción para el segundo momento con y sin Línea base.

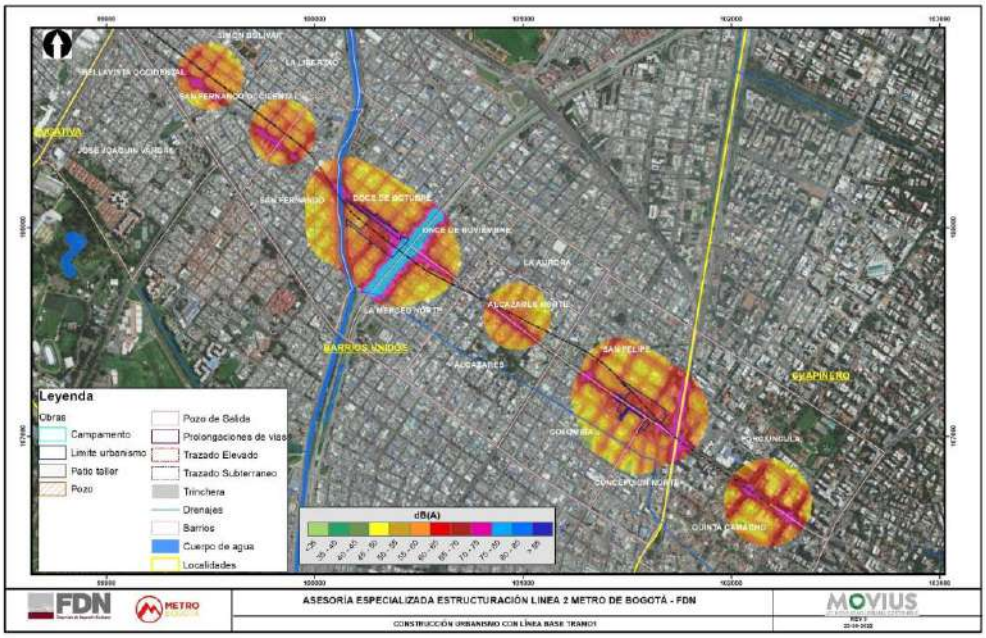


Figura 959. Mapa de ruido Escenario de Construcción segundo momento con Línea base periodo diurno tramo 1
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

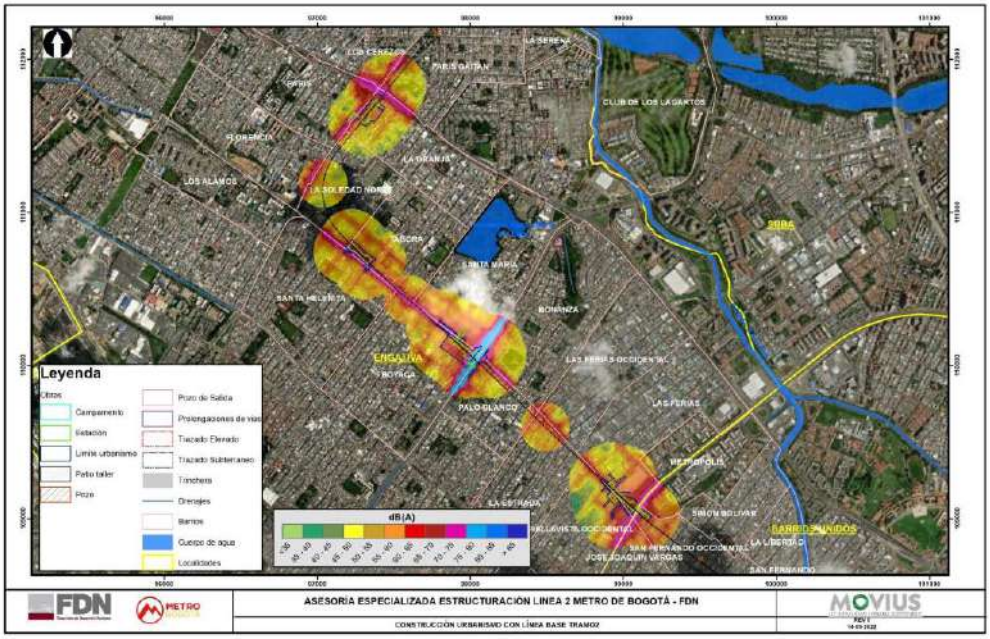


Figura 960. Mapa de ruido Escenario de Construcción segundo momento con Línea base periodo diurno tramo 2
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

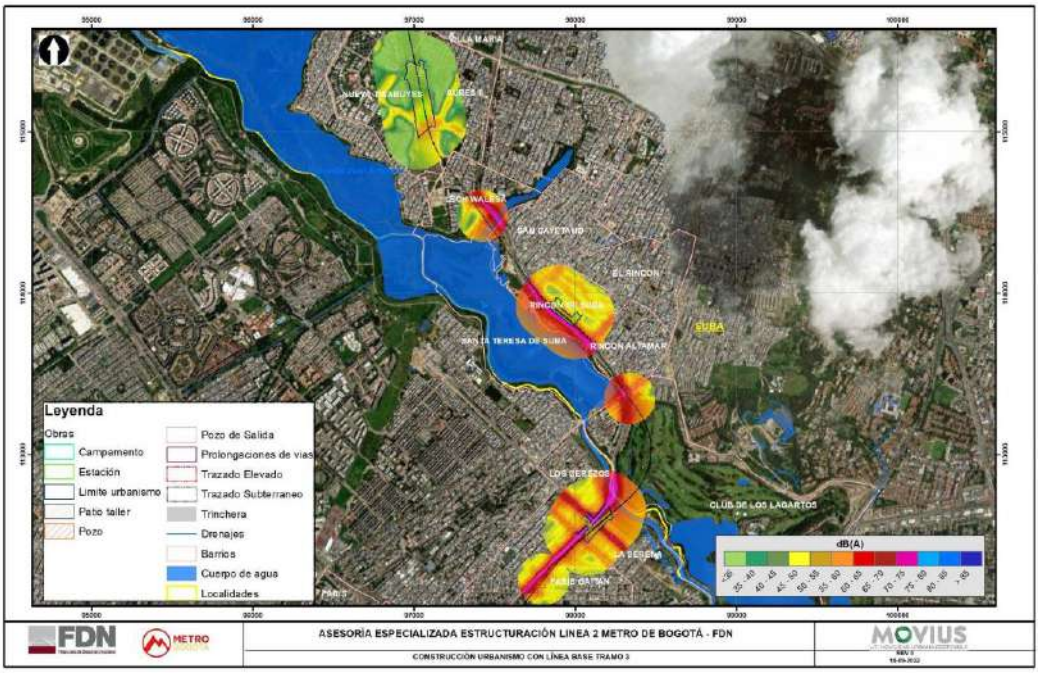


Figura 961. Mapa de ruido Escenario de Construcción segundo momento con Línea base periodo diurno tramo 3
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

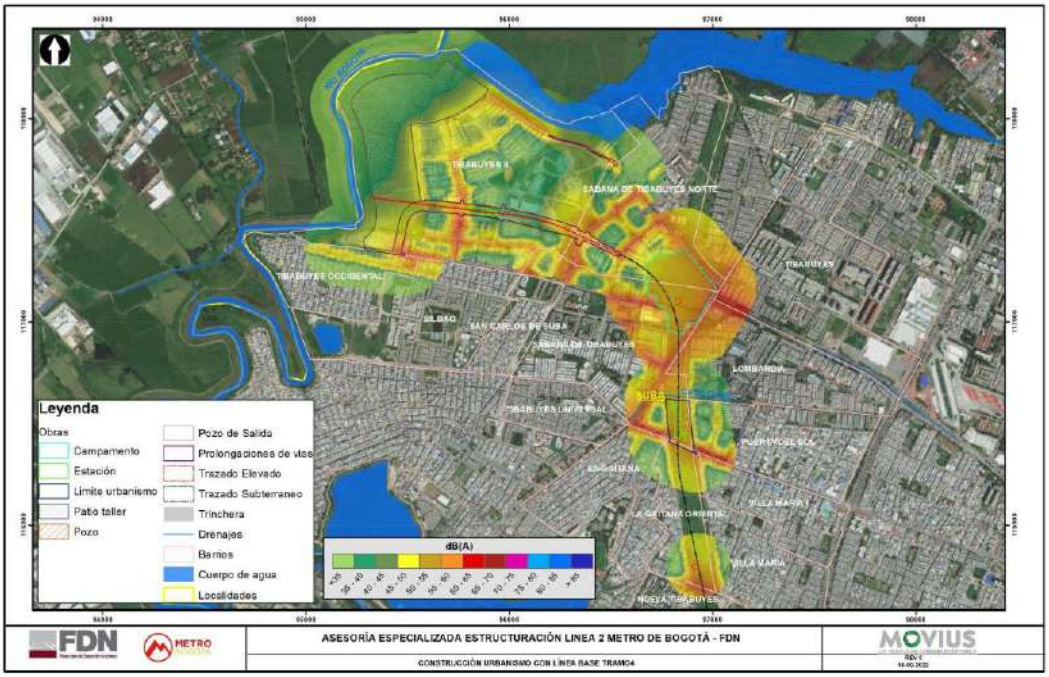


Figura 962. Mapa de ruido Escenario de Construcción segundo momento con Línea base periodo diurno tramo 4
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

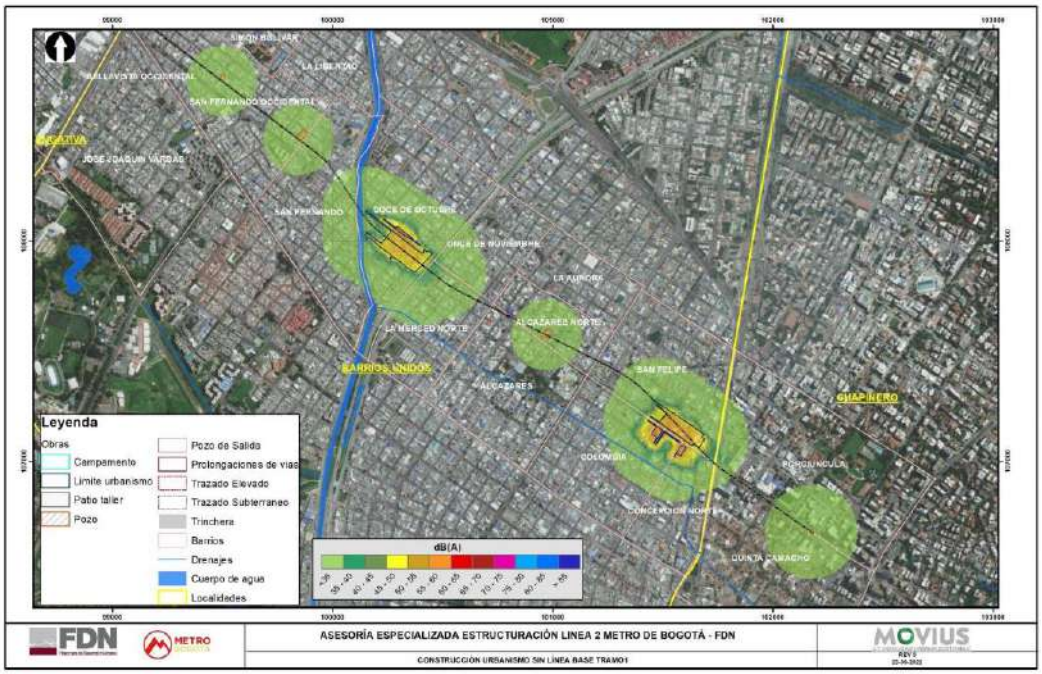


Figura 963. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 1
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

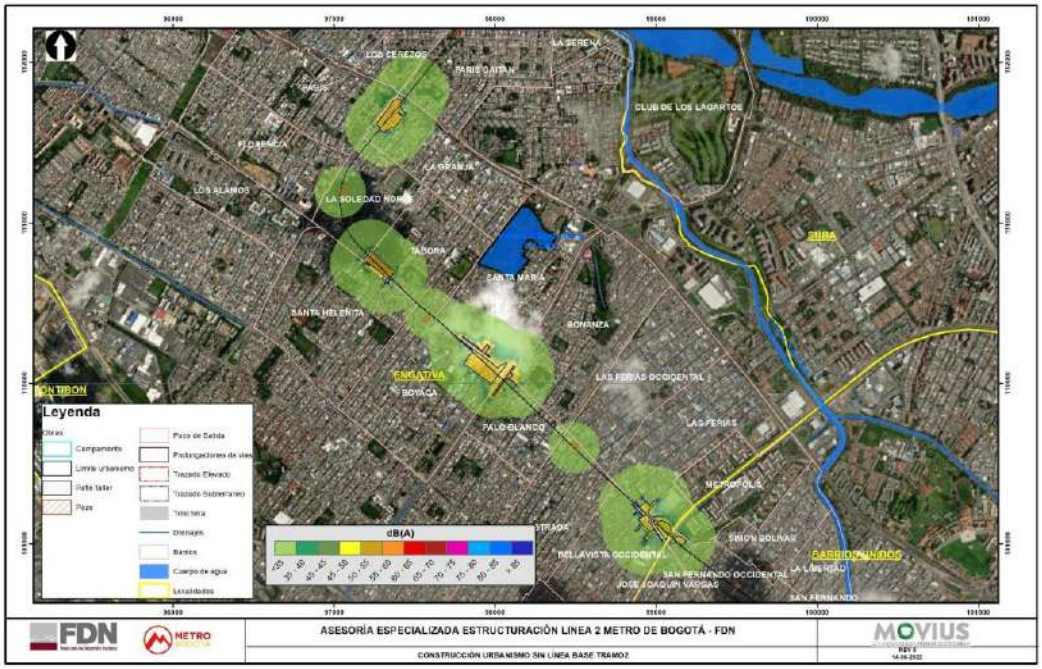


Figura 964. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 2
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

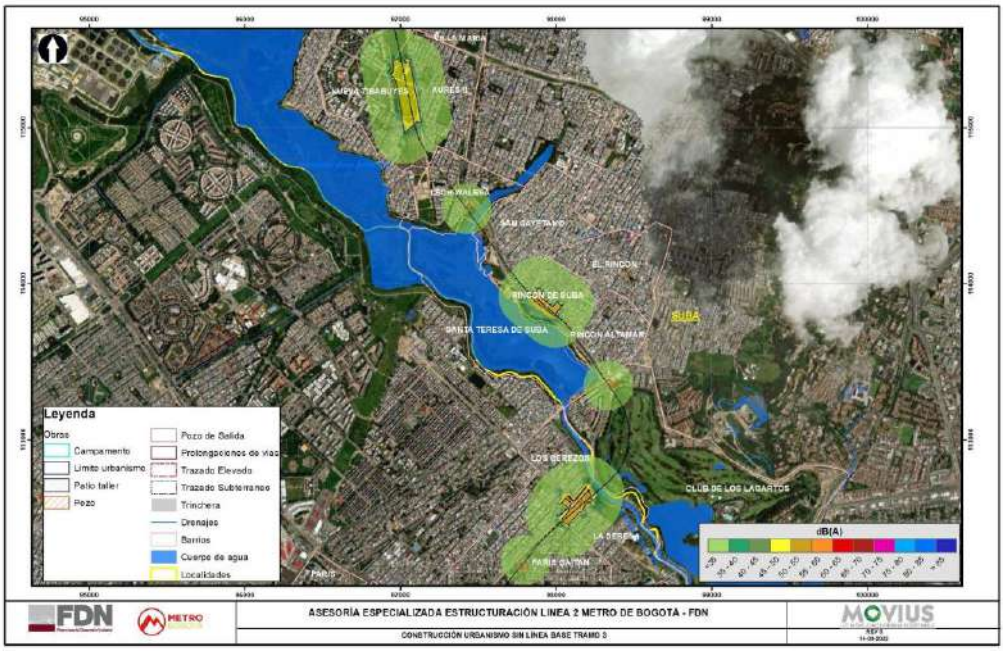


Figura 965. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 3
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

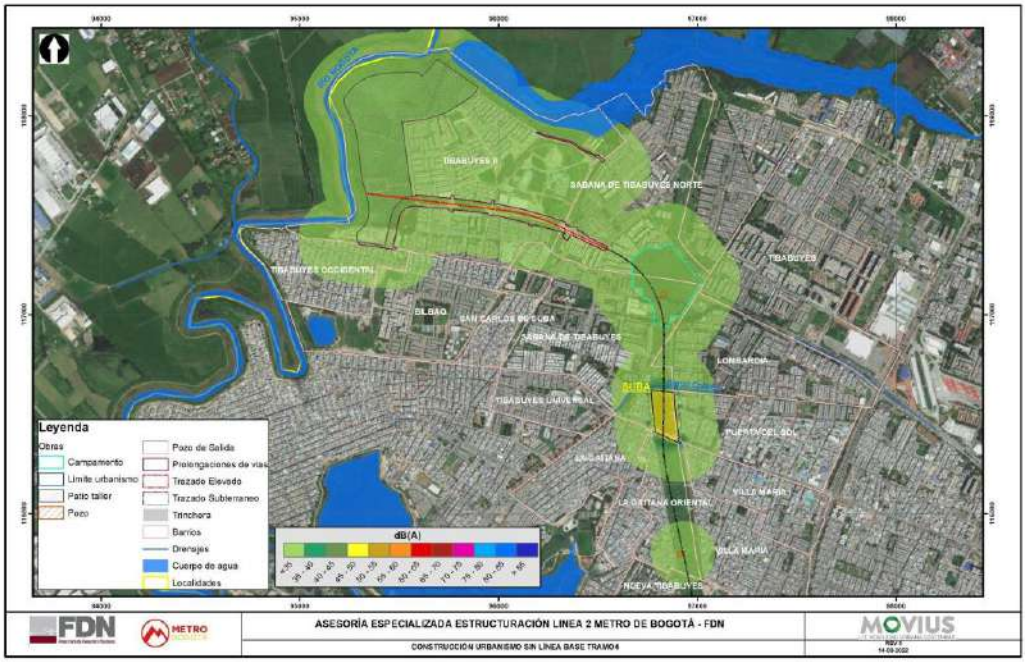


Figura 966. Mapa de ruido Escenario de Construcción primer momento sin Línea base periodo diurno tramo 4
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se puede observar en los mapas de ruido para el escenario de Construcción con Línea base se aprecia una gran similitud en cuanto a la envergadura de las isófonas resultantes del escenario de Línea base el cual se fundamenta por medio de la influencia de las emisiones del tráfico vehicular. Los niveles máximos de ruido registrados en este modelo presentan similitud en comparación a los niveles máximos de ruido registrados en el escenario de Línea base tanto en el diurno como en el periodo nocturno.

Para entender la variación de los niveles de ruido entre el escenario de Construcción con y sin Línea base y el escenario de Línea base a continuación se presenta una tabla comparativa de los niveles de ruido registrados en cada receptor sensible. para el tramo 1.

Tabla 452. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 1.

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 1	Escenario de Línea base día hábil tramo 1	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Fundación Universitaria del Área Andina	PB	NE	66,8	37,2	66,7	17,6	66,8	65
Fundación Universitaria del Área Andina	P1	NE	66,4	37,5	66,4	17,6	66,4	65
Fundación Universitaria del Área Andina	P2	NE	66,2	37,9	66,2	18,4	66,2	65
Fundación Universitaria del Área Andina	P3	NE	66	38,3	66	24,7	66	65
Academia y Tienda de Música Pick	PB	SE	58,2	25,7	58,2	31,5	58,6	65
Academia y Tienda de Música Pick	P1	SE	57,7	31,2	57,7	34,5	58,1	65
Academia y Tienda de Música Pick	P2	SE	57,3	34	57,4	37,2	57,8	65
Centro Abrazar. Atención Transitoria	PB	SO	55,1	31,2	55,3	39,2	55,2	55
Centro comercial avenida Chile	PB	SO	64,6	54,9	64,1	22,5	66,8	70
Centro comercial avenida Chile	P1	SO	64,7	55,6	64,1	22,9	66,7	70
Centro comercial avenida Chile	P2	SO	64,6	55,6	64	24,4	66,5	70
Centro de Desarrollo Familiar - IBF	PB	SO	74,7	26,2	74,7	25,5	74,7	55
Centro de Desarrollo Familiar - IBF	P1	SO	73,2	30,2	73,2	28,5	73,2	55
Clínica Cuanal	PB	SE	68,8	32,2	68,8	35,1	68,8	55
Clínica Cuanal	P1	SE	67,9	33,1	67,9	35,6	67,9	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 1	Escenario de Línea base día hábil tramo 1	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Clínica Cuanal	P2	SE	67,1	34,5	67,1	36,7	67,1	55
Clínica Veterinaria Can Center	PB	SO	59,6	34,2	59,6	40,3	59,5	55
Clínica Veterinaria Can Center	P1	SO	59,5	34,5	59,6	41,2	59,4	55
Clínica Veterinaria Can Center	P2	SO	60,1	38,5	60,2	42,5	59,9	55
Colegio Francisco Primero Sede C	PB	SE	67,5	45,8	67,4	46,7	66,3	65
Colegio Francisco Primero Sede C	P1	SE	66,8	51	66,5	51,5	67,8	65
Corporación Universitaria UNITEC	P1	SO	54,2	33,3	54,3	34,7	53,9	65
Corporación Universitaria UNITEC	P2	SO	55,7	36,4	55,7	37,5	54,9	65
Escuela Británica de Idiomas	PB	E	72,6	32,8	72,6	21,8	72,8	65
Escuela de Instrucción Aeronáutica	PB	NO	77,8	36,5	77,9	40,4	77,9	65
Escuela de Instrucción Aeronáutica	P1	NO	76,9	37,2	76,9	41,4	77	65
Escuela de Instrucción Aeronáutica	P2	NO	76,1	37,7	76,1	42,1	76,1	65
Escuela de Instrucción Aeronáutica	P3	NO	75,5	38,4	75,5	42,9	75,4	65
Estudio Integral de Arte	PB	NO	56,2	27,1	56,2	37,2	56,2	65
Estudio Integral de Arte	P1	NO	56,5	30,5	56,6	37,9	56,5	65
Estudio Integral de Arte	P2	NO	57,9	34,2	57,9	40,4	57,9	65
Fundación Tecnológica Alberto Merani	PB	SE	55,2	38,4	55,2	38,3	53,6	65
Fundación Universitaria Área Andina	PB	E	61,9	21,8	61,9	22	61,9	65
Fundación Universitaria Área Andina	P1	E	61,8	24,5	61,8	23,8	61,8	65
Fundación Universitaria Área Andina	P2	E	61,6	36,8	61,6	37	61,5	65
Hospital Veterinario GB6B	PB	NE	69,1	47,1	69,1	37,8	69,2	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 1	Escenario de Línea base día hábil tramo 1	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Hospital Veterinario GB6B	P1	NE	68,8	48,3	68,8	38,8	68,9	55
Hotel Fenix Real	PB	NO	64,2	44,7	64,1	58,4	64,1	65
Hotel Fenix Real	P1	NO	63,7	45,7	64,6	57,5	63,9	65
Hotel Fenix Real	P2	NO	63,5	46,3	64,2	56,8	63,7	65
Hotel INN72	PB	SE	64,6	35,5	64,7	45,2	64,6	65
Hotel INN72	P1	SE	64,1	38,8	64,2	47,1	64	65
Iglesia Porciuncula	PB	NE	67,6	38,7	67,5	25,7	67,5	65
Iglesia Porciuncula	P1	NE	67,2	39	67,2	26	67,2	65
Iglesia Porciuncula	P2	NE	67	39,4	67	26,2	67	65
Iglesia Porciuncula	P3	NE	66,7	39,9	66,7	26,4	66,8	65
Iglesia Porciuncula	P4	NE	66,4	40,3	66,4	26,7	66,5	65
Iglesia Porciuncula	P5	NE	66,1	40,7	66,1	27	66,2	65
Iglesia Porciuncula	P6	NE	65,8	41,2	65,8	27,3	65,9	65
Iglesia Porciuncula	P7	NE	65,5	41,6	65,5	27,7	65,5	65
Iglesia Porciuncula	P8	NE	65,2	40,2	65,2	28,2	65,2	65
Iglesia Porciuncula	P9	NE	64,9	39,2	64,9	29,9	65	65
Iglesia Siervas de María	PB	SO	68,9	49,2	68,9	33,7	68,9	65
Institución Educativa Distrital Jorge	PB	NE	69,3	27,9	69,3	27,7	69,3	65
IPS Tu Salud Laboral	PB	NO	65	31	65	32,2	65	55
IPS Unimsalud	PB	NE	57,7	24,5	57,7	27,8	57,7	55
IPS Unimsalud	P1	NE	58,3	35,5	58,3	34,7	58,2	55
Jardín Infantil Angeles del Saber	PB	NO	56,5	33,2	56,5	37	56,4	55
Jardín Infantil El Nogal de La Esperanza	PB	SO	61,6	40,2	62,7	50,6	63,5	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 1	Escenario de Línea base día hábil tramo 1	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Jardín Infantil El Nogal de La Esperanza	P1	SO	62,5	42,2	63,4	52,5	64,4	55
Jardín Infantil Pequeñas Personitas	PB	SO	61,6	34,5	61,6	35,1	61,5	55
Liceo VAL - Vida, Amor, Luz	PB	NE	60,4	45,2	59,8	49,6	54	65
Universidad EAN	PB	SO	54,4	21	54,4	6,6	54,4	65
Universidad EAN	P1	SO	54,5	23,5	54,5	14,2	54,6	65
Universidad pedagógica Nacional	PB	SO	66,6	37,2	66,6	24,4	66,6	65
Universidad pedagógica Nacional	P1	SO	66,3	37,5	66,3	24,7	66,2	65
Universidad pedagógica Nacional	P2	SO	66	37,9	66	26,6	65,9	65
Universidad Politécnico InterNacional	PB	SE	61,7	22,5	61,7	10,9	61,7	65
Universidad Politécnico InterNacional	P1	SE	61,5	23	61,5	12,2	61,6	65
Universidad Politécnico InterNacional	P2	SE	61,4	24	61,4	14,3	61,4	65
Universidad Politécnico InterNacional	P3	SE	61,4	30,1	61,4	22,1	61,4	65
Universidad santo Tomas sede	PB	NO	68,3	28	68,3	14,7	68,3	65
Universidad Santo Tomas	PB	NE	59,4	16,3	59,4	5,6	59,4	65
Universidad Santo Tomas	P1	NE	59,3	16,4	59,3	5,6	59,3	65
Universidad Santo Tomas	P2	NE	58,9	16,5	58,9	5,8	58,9	65
Universidad Santo Tomas	P3	NE	58,4	16,5	58,4	5,8	58,4	65
Universidad Santo Tomas	P4	NE	57,9	16,5	57,9	5,9	57,9	65
Universidad Santo Tomas	P5	NE	57,5	16,5	57,5	6,6	57,5	65
Universidad Santo Tomas	P6	NE	57	18,7	57	12,2	57	65
Universidad Santo Tomas	P7	NE	56,7	27,8	56,7	22,3	56,7	65

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 1	Escenario de Línea base día hábil tramo 1	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Veterinaria Tila	PB	NO	65	38,8	65	14,6	65	55
Veterinaria Tila	P1	NO	64,2	39,2	64,2	14,2	64,2	55
Veterinaria Tila	P2	NO	63,4	41,1	63,4	22,4	63,4	55

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se puede observar en la anterior tabla los niveles de ruido del escenario de construcción con Línea base tanto para el primer momento como para el segundo momento presentan un ligero aumento en los niveles de ruido en ciertos receptores sin embargo se mantiene el mismo incumplimiento normativo que presentó el escenario de Línea base. Es decir, que la misma cantidad de receptores presentaron incompatibilidad en el escenario de Construcción con Línea base y el escenario de Línea base. Por otra parte, para el escenario de construcción sin Línea base se puede observar que sus aportes de ruido independientes no superan los límites máximos permisibles en ningún receptor. Esto nos permite afirmar que los mayores aportes de ruido ambiental en la zona de evaluación están dados por el escenario de Línea base debido al alto volumen de tráfico vehicular en las vías aledañas al proyecto y que el escenario de Construcción no presentará aportes de ruido que generen nuevos incumplmientos de los que ya presenta el escenario de Línea base.

A continuación, se presenta la tabla comparativa con el fin de entender la variación de los niveles de ruido entre el escenario de Construcción con y sin Línea base y el escenario de Línea base para el tramo 2.

Tabla 454. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 2.

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 2	Escenario de Línea base día hábil tramo 2	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Liceo Gulliver	PB	NO	56,3	29	56,4	38,6	56,4	65
Liceo Mi Nuevo Horizonte del Tabora	PB	NE	49,8	24,6	49,8	25,5	49,8	65
Academia de Baile Salsa Sin Límite	PB	SE	66,6	32,7	66,6	42,9	66,7	65
Academia de Baile Salsa Sin Límite	P1	SE	66,7	41,3	66,7	43,6	66,8	65
Alkosto	PB	SO	59,6	43,4	59,6	50,4	61	70
Centro Superior de Estudios Financieros	PB	NE	71,6	46,8	71,6	42,4	71,8	65
Centro Superior de	P1	NE	71,3	47,5	71,3	43,4	71,6	65

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 2	Escenario de Línea base día hábil tramo 2	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Estudios Financieros								
Centro Superior de Estudios Financieros	P2	NE	71	48,3	71	44,2	71,2	65
Clínica Odontológica Oral Stetic	PB	SO	71,4	48	71,4	24	71,6	55
Clínica Odontológica Oral Stetic	P1	SO	71,2	49,2	71,2	25,5	71,5	55
Clínica Odontológica Oral Stetic	P2	SO	71,4	49,9	71,4	31,3	71,6	55
Clínica Veterinaria DogMar	PB	NE	71,9	40,4	71,9	39,5	71,9	55
Clínica Veterinaria DogMar	P1	NE	71,7	40,9	71,7	40,5	71,7	55
Colegio República de Colombia I.E.D.	PB	SE	61,6	23,2	61,6	31	61,6	65
Colegio República de Colombia I.E.D.	P1	SE	60,6	26,9	60,7	32,9	60,7	65
Colegio República de Colombia I.E.D.	P2	SE	60	30,6	60	35,8	60	65
Gimnasio Académico San Nicolas	PB	SO	68,2	31,4	68,5	53,1	68,5	65
Gimnasio Académico San Nicolas	P1	SO	68,3	33,4	68,6	54	68,6	65
Gimnasio Juvenil Santa Catalina	PB	SO	73	32,6	72,9	49,6	73	65
Gimnasio Juvenil Santa Catalina	P1	SO	72,6	32,8	72,5	50,1	72,6	65
Hogar Britta Modalidad Internado ICBF	PB	NE	60,3	25,5	60,3	28,6	60,3	55
Hogar Britta Modalidad Internado ICBF	P1	NE	60,2	30,2	60,2	31,1	60,2	55
Hogar Comunitario de Bienestar La Casita	PB		56,1	21,6	56,1	24,6	56,1	55
Hogar Infantil Aprendiendo Chiquilladas	PB		57,1	22,2	57,1	23,2	57,1	55
Hogar Infantil de Bienestar Boyacá	PB	NO	61,7	43,3	62	49,1	61,2	55
Hogar Infantil ICBF	PB	NE	62,8	27,6	62,9	32	62,8	55
Hogar Infantil ICBF	P1	NE	61,4	30	61,5	34	61,3	55
Hotel Palacio Real	PB	NE	72,2	30,9	72,2	35	72,2	65

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 2	Escenario de Línea base día hábil tramo 2	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Hotel Palacio Real	P1	NE	72,1	31,5	72,1	38,8	72,2	65
Hotel Palacio Real	P2	NE	71,9	31,8	71,9	41,6	71,9	65
Hotel Palacio Real	P3	NE	71,6	32,4	71,6	41,8	71,6	65
Hotel Palacio Real	P4	NE	71,2	33	71,2	41,9	71,2	65
Hotel Palacio Real	P5	NE	70,9	35,3	70,9	42,1	70,9	65
Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	PB	SE	64,3	44,5	64,8	49,7	61,2	65
Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	P1	SE	63,3	45,4	63,6	49,4	59,8	65
Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	P2	SE	62,9	46	63,2	49,5	59,2	65
Institución Educativa Distrital Nacional	PB	SO	44,7	25,2	44,8	30,3	44,9	65
Institución Educativa Distrital Nacional	P1	SO	46,5	27,8	46,5	32	46,7	65
Instituto Tecnisistemas	PB	NE	67,2	50,9	67,1	24,9	67,2	65
Instituto Tecnisistemas	P1	NE	67,1	52,7	67	26,9	67	65
IPS Corsanemos	PB	SO	69,9	36,4	69,9	40,4	69,9	55
IPS Corsanemos	P1	SO	70	37,3	70	41,3	70	55
IPS Corsanemos	P2	SO	70,4	39,7	70,3	43,3	70,4	55
IPS Corsanemos	PB	SO	71,1	38,5	71,1	41,4	71,2	55
IPS Corsanemos	P1	SO	71,1	39	71	42,2	71,1	55
IPS Corsanemos	P2	SO	71,7	39,9	71,7	44	71,7	55
IPS Saana Consulta	PB	NE	68,8	37,2	68,9	46,8	69	55
IPS Saana Consulta	P1	NE	68,4	38	68,4	45,5	68,5	55
Liceo Gulliver	PB		58,4	27,4	58,5	38,4	58,5	65
Liceo Mi Nuevo Horizonte del Tabora	PB		51,3	23	51,3	25,4	51,3	65
Liceo Psicopedagógico San Buenaventura	PB		55,2	25,1	55,2	27,3	55,2	65
Odontológica Estética Fast Dent	PB		54,9	29,8	54,9	29	55	55
Odontología General y Especializada Am	PB		64,6	25,3	64,5	46,8	64,5	55
Odontología General y Especializada Am	PB	SE	59,9	29,2	59,7	45,7	59,7	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 2	Escenario de Línea base día hábil tramo 2	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Odontología General y Especializada Am	P1	SE	59,6	30,4	59,5	47,1	59,5	55
Odontología General y Especializada Am	P2	SE	59,4	26,7	59,6	48,6	59,6	55
Odontología General y Especializada Am	P3	SE	60,8	36,8	60,9	51,7	61	55
Pequeños Dinosaurios - ICBF	PB	SO	68,8	32,8	68,8	36	68,8	55
Pequeños Dinosaurios - ICBF	P1	SO	67,1	33,1	67,1	37,1	67,1	55
Protectorado de San José. Monasterio	PB	SO	73,1	40,4	73,9	56,1	73,4	65
Protectorado de San José. Monasterio	P1	SO	72,2	41,1	73	55,4	72,5	65
Protectorado de San José. Monasterio	P2	SO	71,3	41,9	72,3	54,9	71,6	65
Protectorado de San José. Monasterio	P3	SO	70,7	43	71,6	54,6	71,1	65
Protectorado de San José. Monasterio	P4	SO	70,1	44,8	71,1	54,4	70,6	65

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Al igual que el tramo anterior se puede observar que los niveles de ruido del escenario de construcción con Línea base tramo 2 presentan un ligero aumento en los niveles de ruido en ciertos receptores sin embargo se mantiene el mismo incumplimiento normativo que presentó el escenario de Línea base. Es decir, que la misma cantidad de receptores presentaron incompatibilidad en el escenario de Construcción con Línea base y el escenario de Línea base. Por otra parte, para el escenario de construcción sin Línea base se puede observar que sus aportes de ruido independientes no superan los límites máximos permisibles en ningún receptor. Esto nos permite afirmar que los mayores aportes de ruido ambiental en la zona de evaluación están dados por el escenario de Línea base debido al alto volumen de tráfico vehicular en las vías aledañas al proyecto y que el escenario de Construcción no presentará aportes de ruido que generen nuevos incumplmientos de los que ya presenta el escenario de Línea base.

A continuación, se presenta la tabla comparativa con el fin de entender la variación de los niveles de ruido entre el escenario de Construcción con y sin Línea base y el escenario de Línea base para el tramo 3.

Tabla 456. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 3.

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 3	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 3	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 3	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 3	Escenario de Línea base día hábil tramo 3	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Odontología Integral R&C Dental Care	PB	SE	71,3	45,6	71,2	56	71	55
Odontología Integral R&C Dental Care	P1	SE	70,9	46,4	70,8	55	70,6	55
Odontología Integral R&C Dental Care	P2	SE	70,5	47,4	70,4	54	70,3	55
Centro de Desarrollo Infantil Angeles	PB	NE	62,2	34,9	63,9	41,9	61,8	55
Centro de Desarrollo Infantil Angeles	P1	NE	61,8	36,6	63,6	42,7	61,3	55
Centro de Odontología Especializada	PB	NO	66,1	40,3	66,1	17,9	66	55
Colegio Gimnasio Moderno Jhon Enders	PB	NE	35,9	26,2	35,7	24,4	40,9	65
Colegio Gimnasio Moderno Jhon Enders	P1	NE	36,7	29,5	36,2	26,3	41,5	65
Colegio La Fantasía del Conocimiento	PB	NE	69,2	44,1	69,3	43	68,9	65
Hogar Comunitario Garfield	PB	SO	45	24,4	45,3	27,9	47,6	55
Hogar Comunitario Garfield	P1	SO	45	27,3	45,2	28,7	47,9	55
Hogar Comunitario Garfield	P2	SO	45,5	37,3	45,2	33,2	47,8	55
ICBF UDS Lulu y Tobi	PB		45	34,7	44,7	30,7	46,1	55
ICBF UDS Lulu y Tobi	PB	N	42,8	35,3	42,2	30,7	45,5	55
Jardín ICBF	PB		43,1	40,3	46,9	44,2	54,1	55
JardÃ-n Taller Creativo San	PB	E	59	48,2	58,6	12,6	53,5	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 3	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 3	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 3	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 3	Escenario de Línea base día hábil tramo 3	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Nicolás								
Jardín ICBF	P1	E	42,6	40,2	45,3	45,9	53	55
Jardín ICBF	P2	E	43,2	40,7	45,2	43,9	53	55
Jardín ICBF	PB	SE	44,1	41,7	45,5	43,8	53,1	55
Jardin Infantil Martiniano Norte	P1	SE	27,8	22,7	26,9	18,1	26,9	55
Jardin Infantil Martiniano Norte	P2	SE	29,1	25,8	27,5	20,6	27,5	55
Jardin Infantil Martiniano Norte	PB	SO	32,3	30,6	29,7	26,3	29,6	55
Jardin infantil Risitas y Lágrimas	P1	SO	35,7	33,4	32,8	23,5	32,1	55
Jardin infantil Risitas y Lágrimas	P2	SO	36,8	35	33,1	25,1	32,2	55
Jardin infantil Risitas y Lágrimas	PB	N	37,8	36,4	34,1	26,6	32,8	55
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB	NO	57,7	47,8	57,3	14,2	53,1	55
Liceo Figuras Infantiles	P1	NO	52,9	24,6	52,9	17	52,7	65
Liceo Figuras Infantiles	P2	NO	52	27,9	52	18,1	51,8	65
Liceo Figuras Infantiles	PB		51,2	31,4	51,2	21,1	50,9	65
Odontología Integral R&C Dental Care	PB	SO	75,1	47	75,1	60	75	55
Oral Estetic Sentry	P1	SO	46,4	32,6	46,3	25,4	46,3	55
Oral Estetic Sentry	PB	SE	46,5	34,9	46,3	25,6	46,3	55
Veterinaria Firulais	P1	SE	48,7	34	49	28,9	46,9	55
Veterinaria Firulais	P2	SE	48	34,8	48,2	29,5	46,2	55
Veterinaria Firulais			48,8	36,5	48,7	30,4	46,5	55

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Al igual que el tramo anterior se puede observar que los niveles de ruido del escenario de construcción con Línea base tramo 3 presentan un ligero aumento en los niveles de ruido en ciertos receptores. Este aumento en los niveles de ruido

genera que dos los receptores que en el escenario de Línea base presentan cumplimiento normativo pasan a presentar excedencia de los Límites máximos permisibles. Estos receptores son el Jardín taller creativo San Nicolás y Odontología Integral R&C Dental Care.

Por otra parte, para el escenario de construcción sin Línea base se puede observar que sus aportes de ruido independientes solo superan los límites máximos permisibles en un receptor (Odontología Integral R&C Dental Care).

Esto nos permite afirmar que los mayores aportes de ruido ambiental en la zona de evaluación están dados por el escenario de Línea base debido al alto volumen de tráfico vehicular en las vías aledañas al proyecto y que el escenario de Construcción no presentará aportes de ruido que generen nuevos incumplmientos de los que ya presenta el escenario de Línea base.

A continuación, se presenta la tabla comparativa con el fin de entender la variación de los niveles de ruido entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base para el tramo 4.

Tabla 458. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 4.

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 4	Escenario de Línea base día hábil tramo 4	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Clinica Odontologica Sonrisas	PB	N	64,6	37,5	64,6	35,5	64,9	55
Clinica Odontologica Sonrisas	P1	N	64,1	37,8	64,2	36,1	64,5	55
Clinica Odontologica Sonrisas	P2	N	63,6	38,3	63,6	36,6	64	55
Colegio Centro Edu. Distrital Bilbao	PB	S	50,2	31,9	50,1	15,3	50,3	65
Colegio Gimnasio Latinoamericano	PB	S	58,1	26,5	58,1	5,2	58,1	65
Colegio Gimnasio Latinoamericano	P1	S	56,7	31,4	56,7	7,4	56,7	65
Colegio Hogar de Nazareth	PB	N	46,7	37,5	46,8	38,3	47,1	65
Colegio Hogar de Nazareth	P1	N	46,6	38,1	46,8	39	47	65
Colegio Hogar de Nazareth	P2	N	46,1	38,7	46,2	39,2	46,3	65
Colegio Hogar de Nazareth	P3	N	47,3	42,7	46,7	40,5	47,1	65
Cursos para Seguridad Bermat Ltda	PB	E	52,8	38	52,9	34,8	54,4	65

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 4	Escenario de Línea base día hábil tramo 4	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Cursos para Seguridad Bermat Ltda	P1	E	52,1	40	52,1	36,3	54	65
Fundación Villa María	PB	N	67,4	40,5	67,5	35,8	67,4	55
Fundación Villa María	P1	N	66,1	41	66,2	36,5	66,2	55
Fundación Villa María	P2	N	65,1	41,5	65,1	37,1	65,1	55
Fundación Villa María	P3	N	64,2	42,2	64,2	37,8	64,3	55
Fundación Villa María	P4	N	63,5	43,5	63,4	38,8	63,5	55
Hogar Comunitario Enanitos Verdes ICBF	PB		36,3	20,2	36,2	14,5	36,7	55
Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo IC	PB	S	36	32,4	33,6	-2,7	34,4	55
Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo IC	P1	S	40,1	38,5	35,2	2,3	37,4	55
Hogar Comunitario Garfield	PB		36,4	31,6	35,5	28,1	37,1	55
Hogar Comunitario Mickey ICBF	PB	N	53,4	53,3	37,9	-8,3	46,3	55
Hogar Comunitario Mickey ICBF	P1	N	53,7	53,6	38,8	3	46,4	55
Hogar Comunitario mis Amiguitos	PB	SE	38,8	32,2	37,8	0,2	39	55
Hogar Comunitario mis Amiguitos	P1	SE	41,4	36,9	39,5	4	40,6	55
Hogar Comunitario Nidito de Crianza	PB	S	39,2	38,6	30,6	0	34	55
Hogar Comunitario Nidito de Crianza	P1	S	44,1	43,6	34,6	6,4	38,6	55
Iglesia Cristiana La Buena Semilla	PB	E	54,9	47,1	54,2	20,1	54,2	65

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 4	Escenario de Línea base día hábil tramo 4	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Iglesia Cristiana La Buena Semilla	P1	E	54,5	49,2	52,9	20,4	53	65
Institución Educativa Liceo Federico	PB	E	52	36,1	52,1	32,3	53,4	65
Institución Educativa Liceo Federico	P1	E	51,2	37,4	51,2	33,7	53,1	55
Jardí-n Infantil Kindergarten John Dewey	PB		57	29,5	57	9,8	57	55
Jardín Infantil Leoncitos Creativos	PB		42,1	27,8	41,9	-4	42,1	55
Jardín Infantil Maisan Garden	PB		63,4	31,9	63,4	0,5	63,4	55
Jardín Infantil María Montessori Kids	PB		54,9	28,5	54,8	7,8	54,9	55
Jarí-n Taller Creativo San Nicolás	PB		57	30,1	56,9	6,2	57	55
Jardin Infantil Kadmiel	PB		67,2	32,9	67,2	29,1	67,2	55
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	PB	S	54	27,6	53,9	8,9	53,9	55
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	P1	S	53,6	28,6	53,5	9,8	53,6	55
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	P2	S	53,4	34,2	53,3	11,2	53,3	55
Jardín Infantil Leoncitos Creativos	PB	NO	44,5	30,1	44,3	-2,4	44,4	55
Jardín Infantil Maisan Garden	PB	SO	59,2	31,5	59,2	0,2	59,2	55
Jardín Infantil Maisan Garden	P1	SO	58,9	33,1	58,9	1,4	59	55
Jardín Infantil María Montessori Kids	PB	E	49,5	28,7	49,4	7,9	49,5	55
Jardín Infantil María Montessori Kids	P1	E	49,4	31,1	49,3	9,8	49,3	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 4	Escenario de Línea base día hábil tramo 4	Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Jardín Infantil María Montessori Kids	P2	E	49,5	34,7	49,4	13,1	49,4	55
Jardin Infantil mi Dulce Cariñito	PB	SE	38,8	32,4	37,7	0,1	38,8	55
Jardin Infantil mi Dulce Cariñito	P1	SE	42,2	36,9	40,7	4	41,4	55
Jardin Infantil mis Primeros Garabatos	PB	SE	51,8	51,6	37,8	6,2	53,7	55
Jardin Infantil mis Primeros Garabatos	P1	SE	51,6	51,4	37,8	8,4	53,5	55
Jardin Infantil mis Primeros Garabatos	P2	SE	51,6	51,4	39	10,7	53,5	55
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB	S	54,7	30,1	54,6	6,2	54,6	55
Jardín Taller Creativo San Nicolás	P1	S	54,4	31,9	54,3	7,8	54,3	55
Jardín Taller Creativo San Nicolás	P2	S	54,5	37,5	54,3	11,2	54,4	55
Liceo Infantil San Marcos Kids	PB	N	51,1	31,6	51	-6	51	55
Liceo Infantil San Marcos Kids	P1	N	51,3	34,7	51,2	9,3	51,2	55
Parroquia San Dionisio	PB	O	55,2	44,3	54,9	-7,4	56,8	65
Parroquia San Dionisio	P1	O	56,4	45,1	56,1	8,2	57,6	65
Salud Medicina Laboratorio Clínico	PB		61,6	27,4	61,6	31,2	62,1	55

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se puede observar que los niveles de ruido del escenario de construcción con Línea base tramo 4 presentan un ligero aumento en los niveles de ruido en ciertos receptores sin embargo se mantiene el mismo incumplimiento normativo que presentó el escenario de Línea base. Es decir, que la misma cantidad de receptores presentaron incompatibilidad en el escenario de Construcción con Línea base y el escenario de Línea base. Por otra parte, para el escenario de construcción sin Línea base se puede observar que sus aportes de ruido independientes no superan los límites máximos permisibles en ningún receptor. Esto nos permite afirmar que los mayores aportes de ruido ambiental en la zona de evaluación están dados por el escenario de Línea base debido al alto volumen de tráfico vehicular en las vías aledañas al proyecto y que el escenario de Construcción no presentará aportes de ruido que generen nuevos incumplmientos de los que ya presenta el escenario de Línea base.

Por otra parte, a continuación se presentan las tablas comparativas de los resultados obtenidos en los modelos respecto a los límites de ruido establecidos en la GUÍAS GENERALES: MEDIO AMBIENTE RUIDO - GRUPO DEL BANCO MUNDIAL (IFC). Cabe mencionar que los receptores resaltados en color amarillo son aquellos que se encuentran en excedencia normativa.

Tabla 460. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 1.

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 1	Escenario de Línea base día hábil tramo 1	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Fundación Universitaria del Área Andina	PB	NE	66,8	37,2	66,7	17,6	66,8	55
Fundación Universitaria del Área Andina	P1	NE	66,4	37,5	66,4	17,6	66,4	55
Fundación Universitaria del Área Andina	P2	NE	66,2	37,9	66,2	18,4	66,2	55
Fundación Universitaria del Área Andina	P3	NE	66	38,3	66	24,7	66	55
Academia y Tienda de Música Pick	PB	SE	58,2	25,7	58,2	31,5	58,6	55
Academia y Tienda de Música Pick	P1	SE	57,7	31,2	57,7	34,5	58,1	55
Academia y Tienda de Música Pick	P2	SE	57,3	34	57,4	37,2	57,8	55
Centro Abrazar. Atención Transitoria	PB	SO	55,1	31,2	55,3	39,2	55,2	55
Centro comercial avenida Chile	PB	SO	64,6	54,9	64,1	22,5	66,8	70
Centro comercial avenida Chile	P1	SO	64,7	55,6	64,1	22,9	66,7	70
Centro comercial avenida Chile	P2	SO	64,6	55,6	64	24,4	66,5	70
Centro de Desarrollo Familiar - IBF	PB	SO	74,7	26,2	74,7	25,5	74,7	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 1	Escenario de Línea base día hábil tramo 1	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Centro de Desarrollo Familiar - IBF	P1	SO	73,2	30,2	73,2	28,5	73,2	55
Clínica Cuanal	PB	SE	68,8	32,2	68,8	35,1	68,8	55
Clínica Cuanal	P1	SE	67,9	33,1	67,9	35,6	67,9	55
Clínica Cuanal	P2	SE	67,1	34,5	67,1	36,7	67,1	55
Clínica Veterinaria Can Center	PB	SO	59,6	34,2	59,6	40,3	59,5	55
Clínica Veterinaria Can Center	P1	SO	59,5	34,5	59,6	41,2	59,4	55
Clínica Veterinaria Can Center	P2	SO	60,1	38,5	60,2	42,5	59,9	55
Colegio Francisco Primero Sede C	PB	SE	62,5	45,8	62,4	46,7	66,3	55
Colegio Francisco Primero Sede C	P1	SE	66,8	51	66,5	51,5	67,8	55
Corporación Universitaria UNITEC	P1	SO	54,2	33,3	54,3	34,7	53,9	55
Corporación Universitaria UNITEC	P2	SO	55,7	36,4	55,7	37,5	54,9	55
Escuela Británica de Idiomas	PB	E	72,6	32,8	72,6	21,8	72,8	55
Escuela de Instrucción Aeronáutica	PB	NO	77,8	36,5	77,9	40,4	77,9	55
Escuela de Instrucción Aeronáutica	P1	NO	76,9	37,2	76,9	41,4	77	55
Escuela de Instrucción Aeronáutica	P2	NO	76,1	37,7	76,1	42,1	76,1	55
Escuela de Instrucción Aeronáutica	P3	NO	75,5	38,4	75,5	42,9	75,4	55
Estudio Integral de Arte	PB	NO	56,2	27,1	56,2	37,2	56,2	55
Estudio Integral de Arte	P1	NO	56,5	30,5	56,6	37,9	56,5	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 1	Escenario de Línea base día hábil tramo 1	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Estudio Integral de Arte	P2	NO	57,9	34,2	57,9	40,4	57,9	55
Fundación Tecnológica Alberto Merani	PB	SE	55,2	38,4	55,2	38,3	53,6	55
Fundación Universitaria Área Andina	PB	E	61,9	21,8	61,9	22	61,9	55
Fundación Universitaria Área Andina	P1	E	61,8	24,5	61,8	23,8	61,8	55
Fundación Universitaria Área Andina	P2	E	61,6	36,8	61,6	37	61,5	55
Hospital Veterinario GB6B	PB	NE	69,1	47,1	69,1	37,8	69,2	55
Hospital Veterinario GB6B	P1	NE	68,8	48,3	68,8	38,8	68,9	55
Hotel Fenix Real	PB	NO	64,2	44,7	65,1	58,4	64,1	55
Hotel Fenix Real	P1	NO	63,7	45,7	64,6	57,5	63,9	55
Hotel Fenix Real	P2	NO	63,5	46,3	64,2	56,8	63,7	55
Hotel INN72	PB	SE	64,6	35,5	64,7	45,2	64,6	55
Hotel INN72	P1	SE	64,1	38,8	64,2	47,1	64	55
Iglesia Porciuncula	PB	NE	67,6	38,7	67,5	25,7	67,5	55
Iglesia Porciuncula	P1	NE	67,2	39	67,2	26	67,2	55
Iglesia Porciuncula	P2	NE	67	39,4	67	26,2	67	55
Iglesia Porciuncula	P3	NE	66,7	39,9	66,7	26,4	66,8	55
Iglesia Porciuncula	P4	NE	66,4	40,3	66,4	26,7	66,5	55
Iglesia Porciuncula	P5	NE	66,1	40,7	66,1	27	66,2	55
Iglesia Porciuncula	P6	NE	65,8	41,2	65,8	27,3	65,9	55
Iglesia Porciuncula	P7	NE	65,5	41,6	65,5	27,7	65,5	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 1	Escenario de Línea base día hábil tramo 1	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Iglesia Porciuncula	P8	NE	65,2	40,2	65,2	28,2	65,2	55
Iglesia Porciuncula	P9	NE	64,9	39,2	64,9	29,9	65	55
Iglesia Siervas de María	PB	SO	68,9	49,2	68,9	33,7	68,9	55
Institución Educativa Distrital Jorge	PB	NE	69,3	27,9	69,3	27,7	69,3	55
IPS Tu Salud Laboral	PB	NO	65	31	65	32,2	65	55
IPS Unimsalud	PB	NE	57,7	24,5	57,7	27,8	57,7	55
IPS Unimsalud	P1	NE	58,3	35,5	58,3	34,7	58,2	55
Jardín Infantil Angeles del Saber	PB	NO	56,5	33,2	56,5	37	56,4	55
Jardín Infantil El Nogal de La Esperanza	PB	SO	61,6	40,2	62,7	50,6	63,5	55
Jardín Infantil El Nogal de La Esperanza	P1	SO	62,5	42,2	63,4	52,5	64,4	55
Jardín Infantil Pequeñas Personitas	PB	SO	61,6	34,5	61,6	35,1	61,5	55
Liceo VAL - Vida, Amor, Luz	PB	NE	60,4	45,2	59,8	49,6	54	55
Universidad EAN	PB	SO	54,4	21	54,4	6,6	54,4	55
Universidad EAN	P1	SO	54,5	23,5	54,5	14,2	54,6	55
Universidad pedagógica Nacional	PB	SO	66,6	37,2	66,6	24,4	66,6	55
Universidad pedagógica Nacional	P1	SO	66,3	37,5	66,3	24,7	66,2	55
Universidad pedagógica Nacional	P2	SO	66	37,9	66	26,6	65,9	55
Universidad Politécnico InterNacional	PB	SE	61,7	22,5	61,7	10,9	61,7	55
Universidad Politécnico InterNacional	P1	SE	61,5	23	61,5	12,2	61,6	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 1	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 1	Escenario de Línea base día hábil tramo 1	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Universidad Politécnico InterNacional	P2	SE	61,4	24	61,4	14,3	61,4	55
Universidad Politécnico InterNacional	P3	SE	61,4	30,1	61,4	22,1	61,4	55
Universidad santo Tomas sede	PB	NO	68,3	28	68,3	14,7	68,3	55
Universidad Santo Tomas	PB	NE	59,4	16,3	59,4	5,6	59,4	55
Universidad Santo Tomas	P1	NE	59,3	16,4	59,3	5,6	59,3	55
Universidad Santo Tomas	P2	NE	58,9	16,5	58,9	5,8	58,9	55
Universidad Santo Tomas	P3	NE	58,4	16,5	58,4	5,8	58,4	55
Universidad Santo Tomas	P4	NE	57,9	16,5	57,9	5,9	57,9	55
Universidad Santo Tomas	P5	NE	57,5	16,5	57,5	6,6	57,5	55
Universidad Santo Tomas	P6	NE	57	18,7	57	12,2	57	55
Universidad Santo Tomas	P7	NE	56,7	27,8	56,7	22,3	56,7	55
Veterinaria Tila	PB	NO	65	38,8	65	14,6	65	55
Veterinaria Tila	P1	NO	64,2	39,2	64,2	14,2	64,2	55
Veterinaria Tila	P2	NO	63,4	41,1	63,4	22,4	63,4	55

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 462. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 2.

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 2	Escenario de Línea base día hábil tramo 2	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Liceo Gulliver	PB	NO	56,3	29	56,4	38,6	56,4	55
Liceo Mi Nuevo Horizonte del Tabora	PB	NE	49,8	24,6	49,8	25,5	49,8	55
Academia de Baile Salsa Sin Límite	PB	SE	66,6	32,7	66,6	42,9	66,7	55
Academia de Baile Salsa Sin Límite	P1	SE	66,7	41,3	66,7	43,6	66,8	55
Alkosto	PB	SO	59,6	43,4	59,6	50,4	61	55
Centro Superior de Estudios Financieros	PB	NE	71,6	46,8	71,6	42,4	71,8	55
Centro Superior de Estudios Financieros	P1	NE	71,3	47,5	71,3	43,4	71,6	55
Centro Superior de Estudios Financieros	P2	NE	71	48,3	71	44,2	71,2	55
Clínica Odontológica Oral Stetic	PB	SO	71,4	48	71,4	24	71,6	55
Clínica Odontológica Oral Stetic	P1	SO	71,2	49,2	71,2	25,5	71,5	55
Clínica Odontológica Oral Stetic	P2	SO	71,4	49,9	71,4	31,3	71,6	55
Clínica Veterinaria DogMar	PB	NE	71,9	40,4	71,9	39,5	71,9	55
Clínica Veterinaria DogMar	P1	NE	71,7	40,9	71,7	40,5	71,7	55
Colegio República de Colombia I.E.D.	PB	SE	61,6	23,2	61,6	31	61,6	55
Colegio República de Colombia I.E.D.	P1	SE	60,6	26,9	60,7	32,9	60,7	55
Colegio República de Colombia I.E.D.	P2	SE	60	30,6	60	35,8	60	55
Gimnasio Académico San Nicolas	PB	SO	68,2	31,4	68,5	53,1	68,5	55
Gimnasio Académico San Nicolas	P1	SO	68,3	33,4	68,6	54	68,6	55
Gimnasio Juvenil Santa Catalina	PB	SO	73	32,6	72,9	49,6	73	55
Gimnasio Juvenil Santa Catalina	P1	SO	72,6	32,8	72,5	50,1	72,6	55
Hogar Britta	PB	NE	60,3	25,5	60,3	28,6	60,3	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 2	Escenario de Línea base día hábil tramo 2	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Modalidad Internado ICBF								
Hogar Britta Modalidad Internado ICBF	P1	NE	60,2	30,2	60,2	31,1	60,2	55
Hogar Comunitario de Bienestar La Casita	PB		56,1	21,6	56,1	24,6	56,1	55
Hogar Infantil Aprendiendo Chiquilladas	PB		57,1	22,2	57,1	23,2	57,1	55
Hogar Infantil de Bienestar Boyacá	PB	NO	61,7	43,3	62	49,1	61,2	55
Hogar Infantil ICBF	PB	NE	62,8	27,6	62,9	32	62,8	55
Hogar Infantil ICBF	P1	NE	61,4	30	61,5	34	61,3	55
Hotel Palacio Real	PB	NE	72,2	30,9	72,2	35	72,2	55
Hotel Palacio Real	P1	NE	72,1	31,5	72,1	38,8	72,2	55
Hotel Palacio Real	P2	NE	71,9	31,8	71,9	41,6	71,9	55
Hotel Palacio Real	P3	NE	71,6	32,4	71,6	41,8	71,6	55
Hotel Palacio Real	P4	NE	71,2	33	71,2	41,9	71,2	55
Hotel Palacio Real	P5	NE	70,9	35,3	70,9	42,1	70,9	55
Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	PB	SE	64,3	44,5	64,8	49,7	61,2	55
Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	P1	SE	63,3	45,4	63,6	49,4	59,8	55
Iglesia Pentecostal Unida de Colombia	P2	SE	62,9	46	63,2	49,5	59,2	55
Institución Educativa Distrital Nacional	PB	SO	44,7	25,2	44,8	30,3	44,9	55
Institución Educativa Distrital Nacional	P1	SO	46,5	27,8	46,5	32	46,7	55
Instituto Tecnisistemas	PB	NE	67,2	50,9	67,1	24,9	67,2	55
Instituto Tecnisistemas	P1	NE	67,1	52,7	67	26,9	67	55
IPS Corsanemos	PB	SO	69,9	36,4	69,9	40,4	69,9	55
IPS Corsanemos	P1	SO	70	37,3	70	41,3	70	55
IPS Corsanemos	P2	SO	70,4	39,7	70,3	43,3	70,4	55
IPS Corsanemos	PB	SO	71,1	38,5	71,1	41,4	71,2	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 2	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 2	Escenario de Línea base día hábil tramo 2	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
IPS Corsanemos	P1	SO	71,1	39	71	42,2	71,1	55
IPS Corsanemos	P2	SO	71,7	39,9	71,7	44	71,7	55
IPS Saana Consulta	PB	NE	68,8	37,2	68,9	46,8	69	55
IPS Saana Consulta	P1	NE	68,4	38	68,4	45,5	68,5	55
Liceo Gulliver	PB		58,4	27,4	58,5	38,4	58,5	55
Liceo Mi Nuevo Horizonte del Tabora	PB		51,3	23	51,3	25,4	51,3	55
Liceo Psicopedagógico San Buenaventura	PB		55,2	25,1	55,2	27,3	55,2	55
Odontológica Estética Fast Dent	PB		54,9	29,8	54,9	29	55	55
Odontología General y Especializada Am	PB		64,6	25,3	64,5	46,8	64,5	55
Odontología General y Especializada Am	PB	SE	59,9	29,2	59,7	45,7	59,7	55
Odontología General y Especializada Am	P1	SE	59,6	30,4	59,5	47,1	59,5	55
Odontología General y Especializada Am	P2	SE	59,4	26,7	59,6	48,6	59,6	55
Odontología General y Especializada Am	P3	SE	60,8	36,8	60,9	51,7	61	55
Pequeños Dinosaurios - ICBF	PB	SO	68,8	32,8	68,8	36	68,8	55
Pequeños Dinosaurios - ICBF	P1	SO	67,1	33,1	67,1	37,1	67,1	55
Protectorado de San José. Monasterio	PB	SO	73,1	40,4	73,9	56,1	73,4	55
Protectorado de San José. Monasterio	P1	SO	72,2	41,1	73	55,4	72,5	55
Protectorado de San José. Monasterio	P2	SO	71,3	41,9	72,3	54,9	71,6	55
Protectorado de San José. Monasterio	P3	SO	70,7	43	71,6	54,6	71,1	55
Protectorado de San José. Monasterio	P4	SO	70,1	44,8	71,1	54,4	70,6	55

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 464. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 3.

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 3	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 3	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 3	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 3	Escenario de Línea base día hábil tramo 3	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Odontología Integral R&C Dental Care	PB	SE	71,3	45,6	71,2	56	71	55
Odontología Integral R&C Dental Care	P1	SE	70,9	46,4	70,8	55	70,6	55
Odontología Integral R&C Dental Care	P2	SE	70,5	47,4	70,4	54	70,3	55
Centro de Desarrollo Infantil Angeles	PB	NE	62,2	34,9	63,9	41,9	61,8	55
Centro de Desarrollo Infantil Angeles	P1	NE	61,8	36,6	63,6	42,7	61,3	55
Centro de Odontológico Especializada	PB	NO	66,1	40,3	66,1	17,9	66	55
Colegio Gimnasio Moderno Jhon Enders	PB	NE	35,9	26,2	35,7	24,4	40,9	55
Colegio Gimnasio Moderno Jhon Enders	P1	NE	36,7	29,5	36,2	26,3	41,5	55
Colegio La Fantasía del Conocimiento	PB	NE	69,2	44,1	69,3	43	68,9	55
Hogar Comunitario Garfield	PB	SO	45	24,4	45,3	27,9	47,6	55
Hogar Comunitario Garfield	P1	SO	45	27,3	45,2	28,7	47,9	55
Hogar Comunitario Garfield	P2	SO	45,5	37,3	45,2	33,2	47,8	55
ICBF UDS Lulu y Tobi	PB		45	34,7	44,7	30,7	46,1	55
ICBF UDS Lulu y Tobi	PB	N	42,8	35,3	42,2	30,7	45,5	55
Jardín ICBF	PB		43,1	40,3	46,9	44,2	57,1	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 3	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 3	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 3	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 3	Escenario de Línea base día hábil tramo 3	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
JardÃ-n Taller Creativo San Nicolás	PB		59	48,2	58,6	12,6	53,5	55
Jardín ICBF	PB	E	42,6	40,2	45,3	45,9	53	55
Jardín ICBF	P1	E	43,2	40,7	45,2	43,9	53	55
Jardín ICBF	P2	E	44,1	41,7	45,5	43,8	53,1	55
Jardin Infantil Martiniano Norte	PB	SE	27,8	22,7	26,9	18,1	26,9	55
Jardin Infantil Martiniano Norte	P1	SE	29,1	25,8	27,5	20,6	27,5	55
Jardin Infantil Martiniano Norte	P2	SE	32,3	30,6	29,7	26,3	29,6	55
Jardin infantil Risitas y Lagrimas	PB	SO	35,7	33,4	32,8	23,5	32,1	55
Jardin infantil Risitas y Lágrimas	P1	SO	36,8	35	33,1	25,1	32,2	55
Jardin infantil Risitas y Lágrimas	P2	SO	37,8	36,4	34,1	26,6	32,8	55
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB	N	57,7	47,8	57,3	14,2	53,1	55
Liceo Figuras Infantiles	PB	NO	52,9	24,6	52,9	17	52,7	55
Liceo Figuras Infantiles	P1	NO	52	27,9	52	18,1	51,8	55
Liceo Figuras Infantiles	P2	NO	51,2	31,4	51,2	21,1	50,9	55
Odontologia Integral R&C Dental Care	PB		75,1	47	75,1	60	75	55
Oral Estetic Sentry	PB	SO	46,4	32,6	46,3	25,4	46,3	55
Oral Estetic Sentry	P1	SO	46,5	34,9	46,3	25,6	46,3	55
Veterinaria Firulais	PB	SE	48,7	34	49	28,9	46,9	55
Veterinaria Firulais	P1	SE	48	34,8	48,2	29,5	46,2	55
Veterinaria Firulais	P2	SE	48,8	36,5	48,7	30,4	46,5	55

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 466. Comparación de los resultados entre el escenario de Construcción con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 4.

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 4	Escenario de Línea base día hábil tramo 4	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Clinica Odontologica Sonrisas	PB	N	64,6	37,5	64,6	35,5	64,9	55
Clinica Odontologica Sonrisas	P1	N	64,1	37,8	64,2	36,1	64,5	55
Clinica Odontologica Sonrisas	P2	N	63,6	38,3	63,6	36,6	64	55
Colegio Centro Edu. Distrital Bilbao	PB	S	50,2	31,9	50,1	15,3	50,3	55
Colegio Gimnasio Latinoamericano	PB	S	58,1	26,5	58,1	5,2	58,1	55
Colegio Gimnasio Latinoamericano	P1	S	56,7	31,4	56,7	7,4	56,7	55
Colegio Hogar de Nazareth	PB	N	46,7	37,5	46,8	38,3	47,1	55
Colegio Hogar de Nazareth	P1	N	46,6	38,1	46,8	39	47	55
Colegio Hogar de Nazareth	P2	N	46,1	38,7	46,2	39,2	46,3	55
Colegio Hogar de Nazareth	P3	N	47,3	42,7	46,7	40,5	47,1	55
Cursos para Seguridad Bermat Ltda	PB	E	52,8	38	52,9	34,8	54,4	55
Cursos para Seguridad Bermat Ltda	P1	E	52,1	40	52,1	36,3	54	55
Fundación Villa María	PB	N	67,4	40,5	67,5	35,8	67,4	55
Fundación Villa María	P1	N	66,1	41	66,2	36,5	66,2	55
Fundación Villa María	P2	N	65,1	41,5	65,1	37,1	65,1	55
Fundación Villa María	P3	N	64,2	42,2	64,2	37,8	64,3	55
Fundación Villa María	P4	N	63,5	43,5	63,4	38,8	63,5	55
Hogar Comunitario Enanitos Verdes ICBF	PB		36,3	20,2	36,2	14,5	36,7	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 4	Escenario de Línea base día hábil tramo 4	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo IC	PB	S	36	32,4	33,6	-2,7	34,4	55
Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo IC	P1	S	40,1	38,5	35,2	2,3	37,4	55
Hogar Comunitario Garfield	PB		36,4	31,6	35,5	28,1	37,1	55
Hogar Comunitario Mickey ICBF	PB	N	53,4	53,3	37,9	-8,3	46,3	55
Hogar Comunitario Mickey ICBF	P1	N	53,7	53,6	38,8	3	46,4	55
Hogar Comunitario mis Amiguitos	PB	SE	38,8	32,2	37,8	0,2	39	55
Hogar Comunitario mis Amiguitos	P1	SE	41,4	36,9	39,5	4	40,6	55
Hogar Comunitario Nidito de Crianza	PB	S	39,2	38,6	30,6	0	34	55
Hogar Comunitario Nidito de Crianza	P1	S	44,1	43,6	34,6	6,4	38,6	55
Iglesia Cristiana La Buena Semilla	PB	E	54,9	47,1	54,2	20,1	54,2	55
Iglesia Cristiana La Buena Semilla	P1	E	54,5	49,2	52,9	20,4	53	55
Institución Educativa Liceo Federico	PB	E	52	36,1	52,1	32,3	53,4	55
Institución Educativa Liceo Federico	P1	E	51,2	37,4	51,2	33,7	53,1	55
Jardí-n Infantil Kindergarten John Dewey	PB		57	29,5	57	9,8	57	55
Jardín Infantil Leoncitos Creativos	PB		42,1	27,8	41,9	-4	42,1	55
Jardín Infantil Maisan Garden	PB		63,4	31,9	63,4	0,5	63,4	55
Jardín Infantil María Montessori Kids	PB		54,9	28,5	54,8	7,8	54,9	55
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB		57	30,1	56,9	6,2	57	55
Jardin Infantil Kadmiel	PB		67,2	32,9	67,2	29,1	67,2	55

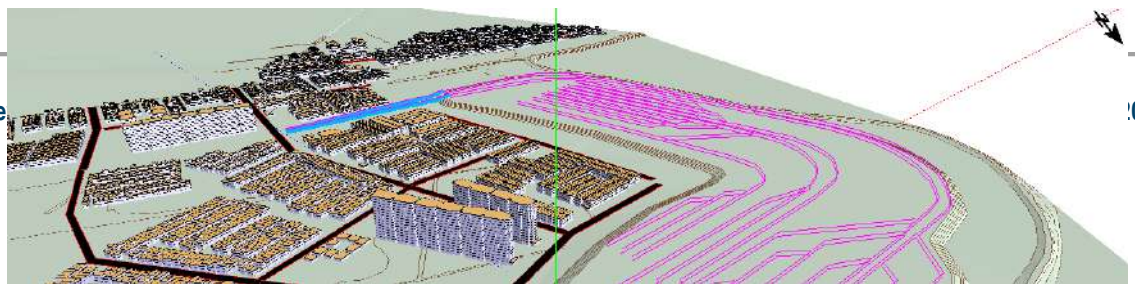
Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 4	Escenario de Línea base día hábil tramo 4	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	PB	S	54	27,6	53,9	8,9	53,9	55
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	P1	S	53,6	28,6	53,5	9,8	53,6	55
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	P2	S	53,4	34,2	53,3	11,2	53,3	55
Jardín Infantil Leoncitos Creativos	PB	NO	44,5	30,1	44,3	-2,4	44,4	55
Jardín Infantil Maisan Garden	PB	SO	59,2	31,5	59,2	0,2	59,2	55
Jardín Infantil Maisan Garden	P1	SO	58,9	33,1	58,9	1,4	59	55
Jardín Infantil María Montessori Kids	PB	E	49,5	28,7	49,4	7,9	49,5	55
Jardín Infantil María Montessori Kids	P1	E	49,4	31,1	49,3	9,8	49,3	55
Jardín Infantil María Montessori Kids	P2	E	49,5	34,7	49,4	13,1	49,4	55
Jardin Infantil mi Dulce Cariñito	PB	SE	38,8	32,4	37,7	0,1	38,8	55
Jardin Infantil mi Dulce Cariñito	P1	SE	42,2	36,9	40,7	4	41,4	55
Jardin Infantil mis Primeros Garabatos	PB	SE	51,8	51,6	37,8	6,2	53,7	55
Jardin Infantil mis Primeros Garabatos	P1	SE	51,6	51,4	37,8	8,4	53,5	55
Jardin Infantil mis Primeros Garabatos	P2	SE	51,6	51,4	39	10,7	53,5	55
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB	S	54,7	30,1	54,6	6,2	54,6	55
Jardín Taller Creativo San Nicolás	P1	S	54,4	31,9	54,3	7,8	54,3	55
Jardín Taller Creativo San Nicolás	P2	S	54,5	37,5	54,3	11,2	54,4	55
Liceo Infantil San Marcos Kids	PB	N	51,1	31,6	51	-6	51	55
Liceo Infantil San Marcos Kids	P1	N	51,3	34,7	51,2	9,3	51,2	55

Receptor	Piso	Dirección	Escenario de Construcción primer momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción primer momento sin línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento con línea base tramo 4	Escenario de Construcción segundo momento sin línea base tramo 4	Escenario de Línea base día hábil tramo 4	Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC
			LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)	LrD dB(A)
Parroquia San Dionisio	PB	O	55,2	44,3	54,9	-7,4	56,8	55
Parroquia San Dionisio	P1	O	56,4	45,1	56,1	8,2	57,6	55
Salud Medicina Laboratorio Clínico	PB		61,6	27,4	61,6	31,2	62,1	55

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se puede observar en las anteriores tablas se mantienen los mismo incumpimiento normativos asociados al escenario de Línea base los cuales generan los mayores aportes de ruido en comparación al escenario de construcción sin Línea base. Ahora bien analizando los resultados obtenidos para el escenario de Construcción sin Línea base se puede observar que únicamente un receptor presentó excedencia normativa (Receptor Odontología Integral R&C Dental Care). Cabe resaltar que el escenario de construcción sin Línea base nos permite entender los aportes individuales de este escenario. De esta manera, se puede entender que el proyecto como aportes individuales no está generando excedencia normativas con excepción de un solo receptor. Pero es importante entender que el proyecto debe ser entendido como un conjunto de aportes los cuales a ser modelados en el escenario de construcción con línea base no modifican la tendencia de incumplimiento manteniendo así los mismos incumplimientos reportados en el escenario de Línea base (escenario actual).

5.2.3.4.2.10. Escenario de Operación



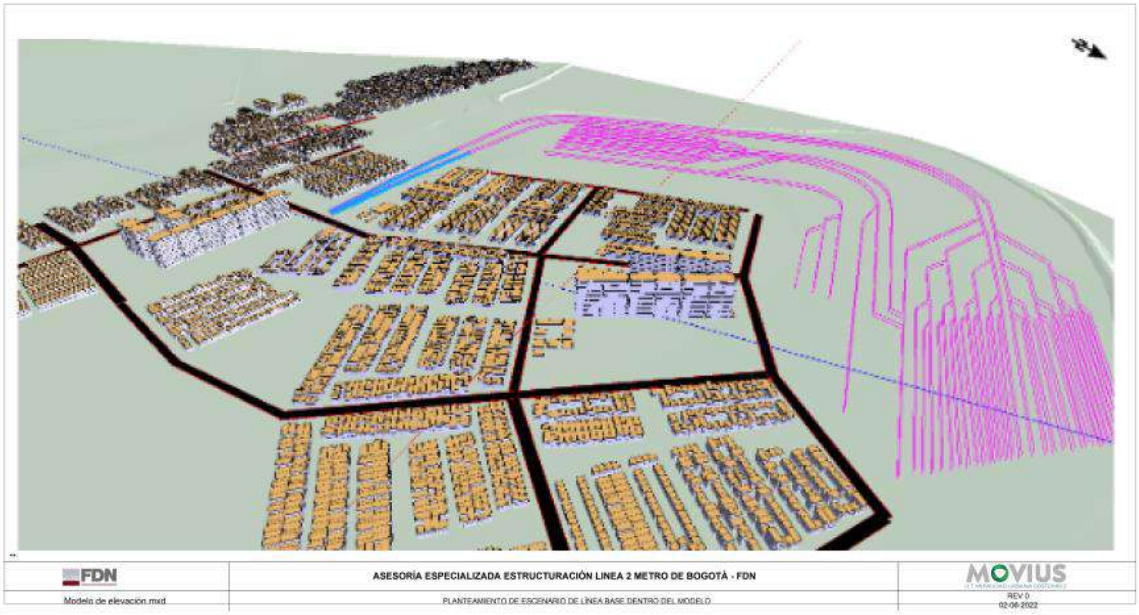


Figura 967. Proyección de la operación del metro en el modelo
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Los mapas de ruido producidos por las interacciones del paso del tren, respecto a las características de su entorno, muestran la propagación de ruido sobre las zonas colindantes a la fuente de emisión. Estas modelaciones dan a conocer los contornos de las isófonas que representan el comportamiento espectral asociado a la operación proyectada del tren para un escenario con Línea base y sin Línea base. Al presentar ambos escenarios se puede determinar los aportes del tren a las condiciones proyectadas de un escenario de Línea base. Cabe mencionar que las condiciones de tránsito vehicular se proyectan para el año de puesta en marcha la operación del metro.

Los resultados de cada una de la modelaciones nos permiten hacer comparaciones respecto a la norma establecida por la Resolución 0627 del 2006 del MAVDT (hoy Ministerio de Ambiente), y de esta manera poder analizar si hay o no cumplimiento de los límites máximos permisibles de ruido ambiental según el uso del suelo correspondiente.

Para establecer las características proyectadas del de las vías por donde transitará el metro en la zona del Patio taller se contempló el modelo de elevación del trazado para representar de forma adecuada el proyecto y de esta manera, determinar cómo las emisiones de ruido del paso del metro afecta las edificaciones de manera radial a la altura diseñada del Patio Taller.

Por otra parte, la velocidad comercial de la línea es un factor importante la cual disminuye considerablemente con la entrada de los trenes al patio taller. Esta depende en gran parte de las características de la vía.

Para establecer los parámetros que finalmente otorgan las características de emisión del metro a continuación se presentan los criterios de modelación.

Se definen los sentidos de circulación V1 y V2 como se indica en la siguiente figura según lo definido en el proyecto de la L2MB. Los trenes circulan por la vía derecha. El sentido de circulación V1 es el que va de estación 1 Calle 72 hasta Cochera y taller. El sentido de circulación V2 es el de sentido contrario al anterior. La denominación de las vías sigue la misma lógica.

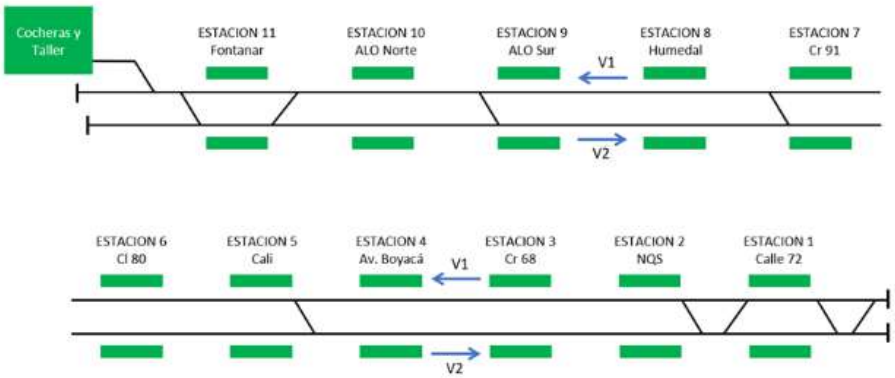


Figura 968. Sentidos de circulación de los trenes
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

La característica de de las vías y la forma del viaducto saliente del túnel son condiciones importantes para caracterizar el material rodante del tren. La tipología de las vías de la zona de Patio y Taller varía según la función y los equipamientos implantados en ellas. En el caso de que las vías de conexión y el haz de vías se monten sobre balasto, se emplearán traviesas monobloque de hormigón espaciadas cada 60 cm, sobre una capa de 20 cm de balasto. La superestructura en este caso estará compuesta por lo siguiente:

- Rieles 54E1 en barra corta de 18 m.
- Fijaciones elásticas sobre durmientes de hormigón mono bloque cada 0,6 m.
- 20 cm de balasto.
- Aparato de vías tipo 54E1-tg1/5-R100 sobre durmientes de hormigón .

De forma previa al posicionamiento de los durmientes se compactará el lecho de balasto, y se ejecutará un pequeño surco central (sin cordones laterales). Se ejecutará un piqueteado de vías como red de apoyo topográfico para el control del posicionado de las traviesas (en un primer momento) y el control de la geometría de las vías (posteriormente). El hombro de balasto será de al menos 80 cm. Las soldaduras se ejecutarán una vez embalastadas y bateadas las vías. Se cuidará que el balasto no sobrepase la arista superior de los durmientes, y que quede al menos cuatro centímetros por debajo de la superficie inferior del riel.

En la zona de Patio y Talleres, adicionalmente existen vías con diferente función y por tanto la superestructura se adapta consecuentemente, pudiendo ser con foso o sin él, sobre pilarillos metálicos, ancladas o embebidas, en función de la necesidad.

A continuación, se presentan los esquemas que representan la estructura de cada zona para la modelación de la operación del Patio taller.

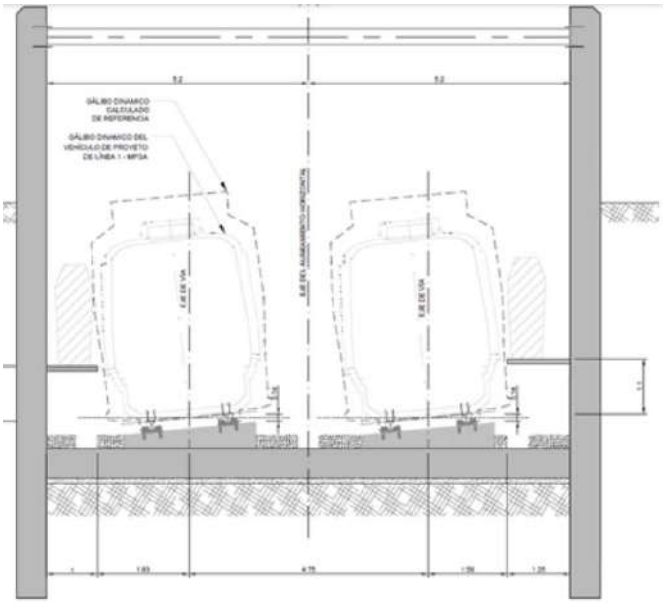


Figura 969. Diseños de la Trinchera de transición.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

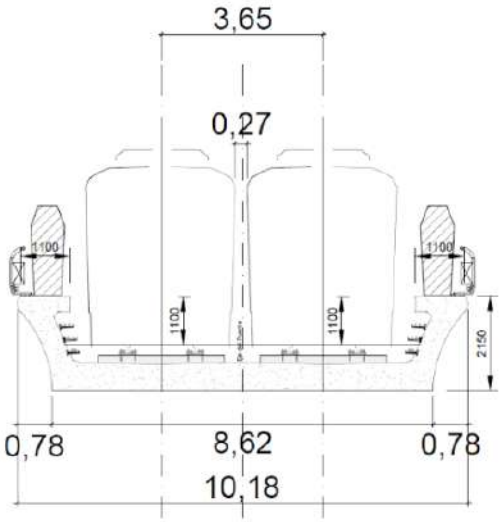


Figura 970. Tablero sistema metro elevado.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Ahora bien, para poder satisfacer todos los requerimientos que establece el modelo a continuación se presentan los datos de entrada de cada parámetro del Método CENOSSOS el cual se establece como criterio de modelación para el escenario de operación del metro.

Tabla 467. Parámetros del método del tren

Parámetro	Valor
Número de trenes entrantes y salientes del Patio Taller periodo diurno (7-21 h)	18 trenes periodo diurno
Número de trenes entrantes y salientes del Patio Taller periodo nocturno (21-7h)	12 trenes periodo nocturno
Velocidad máxima en el patio taller	5 km/h
Velocidad comercial	40 km/h
Diámetro de la rueda	840 mm
Eje de carga	25 KN
Ruido de pista	Tren eléctrico
Rugosidad de las ruedas	Freno compuesto de disco y eléctrico
Potencia mecánica	200 KW
Peso	14 t
Longitud	145 m

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Es importante entender que los parámetros establecidos dentro del modelo para la evaluación del tren, se basan en supuestos de criticidad establecidos por el decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible , el cual dicta que las evaluaciones ambientales se realizan sobre situaciones críticas, es decir que la evaluación del impacto debe ser sustentado bajo el escenario más crítico. Dicho esto, los parámetros específicos para la implementación del método ferroviario del modelo se establecen dentro del marco de la ingeniería de detalle el cual no es objeto del presente estudio y de manera, los supuestos los cuales se mencionan en el 5.2.10.4.3.Metodología de los modelos de ruido, son soportados bajo la escogencia del escenario más crítico anteriormente mencionado. Asimismo, los modelos muestran la incidencia de la propagación de ruido perceptible por los receptores sensibles a nivel de la superficie. Los túneles se encuentran a varios metros de profundidad lo cual genera que el ruido no trasciende más allá de un metro de tierra compacto. De esta manera, no cobra relevancia modelar la operación del tren para sus trazados subterráneos ya que la propagación del ruido se verá mitigada . El sonido no tiene la suficiente energía para atravesar la densidad de tierra que se encuentra entre el túnel y la superficie del terreno. De esta manera, únicamente se presentan los modelos para la zona del patio taller y viaducto, donde se llevarán a cabo en la superficie las diferentes actividades para la operación del tren.

A continuación, se presentan los mapas de ruido resultantes de los aportes de ruido de la operación del metro en conjunto al escenario de Línea base y los mapas de ruido de un escenario donde se establecen los aportes individuales del tren sin la Línea base influenciada por los niveles de ruido asociados al tránsito vehicular. Estos mapas se presentan para un periodo diurno y nocturno.

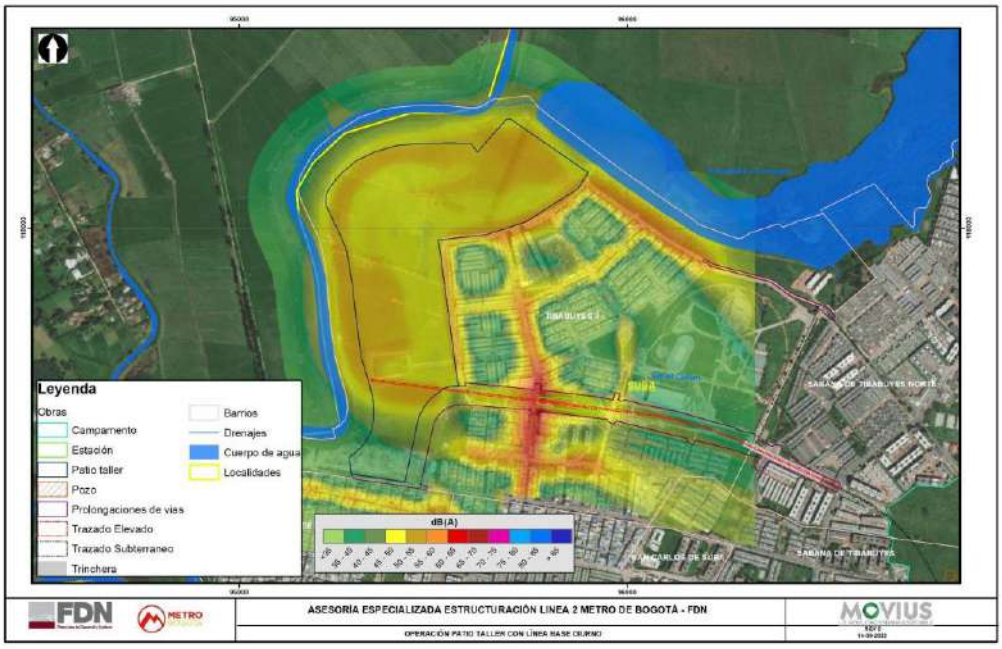


Figura 971. Mapa de ruido escenario de operación con Línea base periodo diurno
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

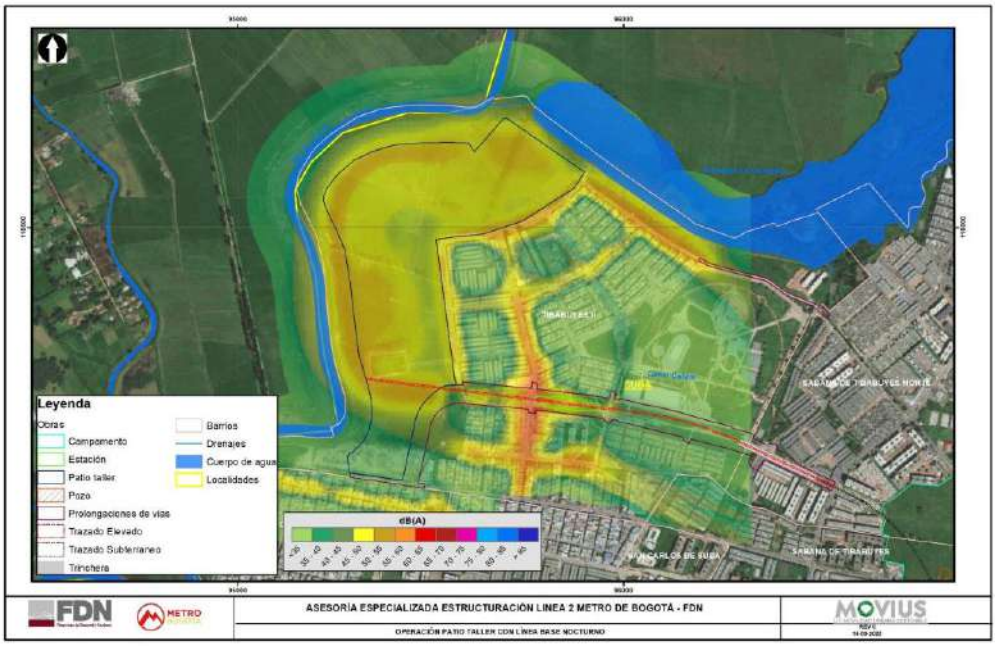


Figura 972. Mapa de ruido escenario de operación con Línea base periodo nocturno
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

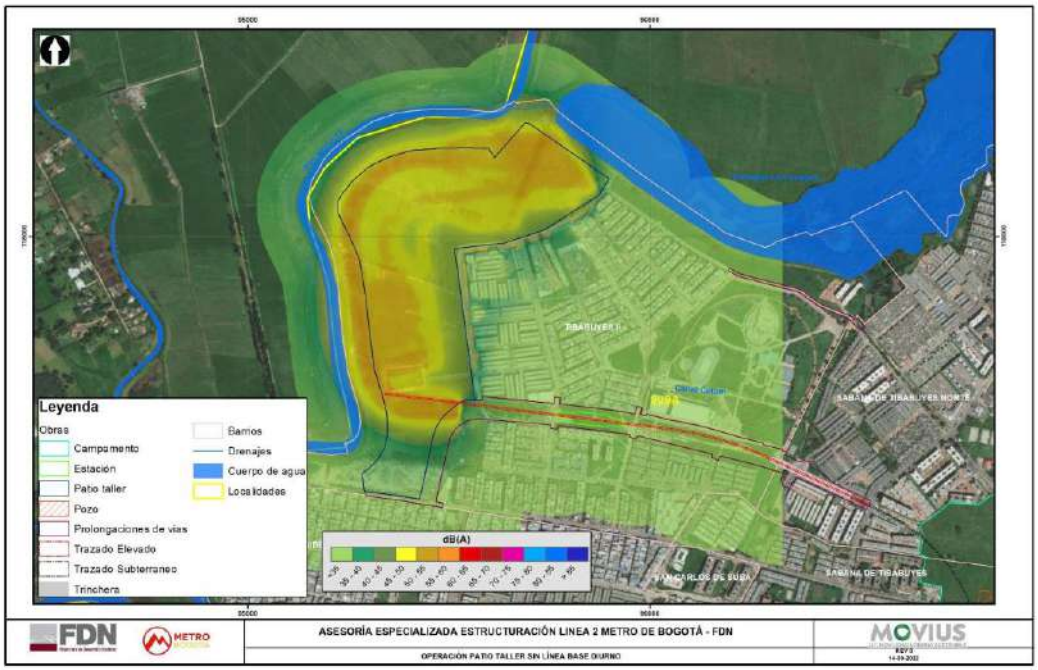


Figura 973. Mapa de ruido escenario de operación sin Línea base periodo diurno
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

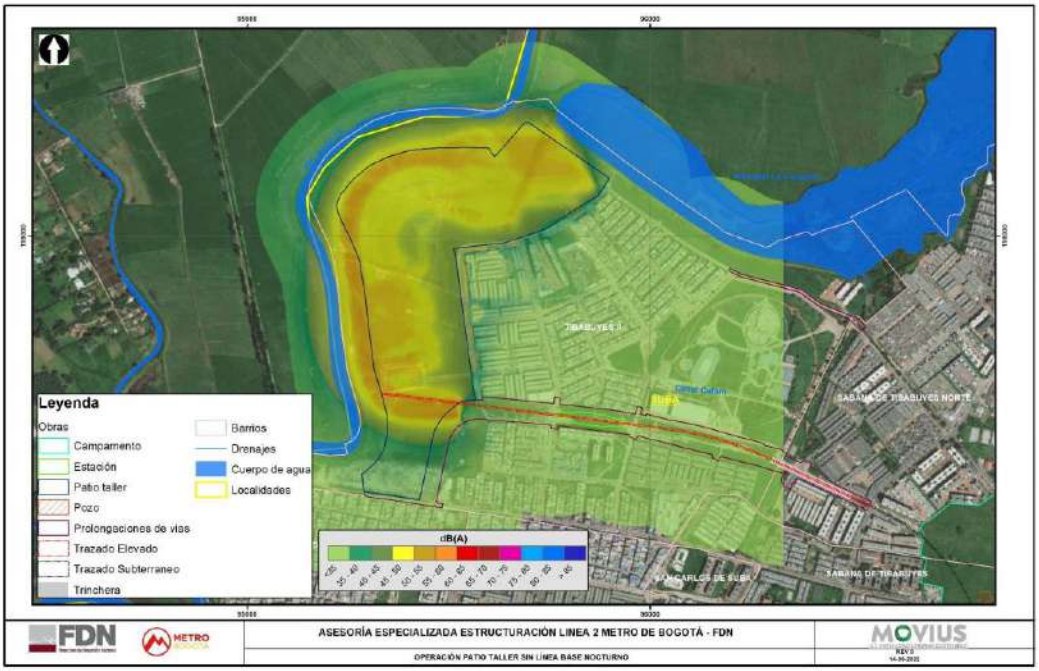


Figura 974. Mapa de ruido escenario de operación sin Línea base periodo nocturno
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

A continuación, se presentan los mapas de ruido resultantes de los aportes de ruido del escenario de Operación en conjunto al escenario de Línea base y los mapas de ruido de un escenario donde se establecen los aportes individuales de la operación sin la Línea base influenciada por los niveles de ruido asociados al tránsito vehicular.

Tabla 469. Comparación de los resultados entre el escenario de operación con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 4.

Receptor	Operación patio taller con Línea base		Operación patio taller sin Línea base		Escenario de Línea base día hábil tramo 4		Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006	
	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Colegio Gimnasio Latinoamericano	57,8	54,8	14,1	13,9	58,1	55,1	65	55
Colegio Gimnasio Latinoamericano	56,4	53,4	21,1	22	56,7	53,7	65	55
Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo IC	29,6	26,6	20,9	22,5	34,4	31	55	45
Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo IC	32,9	30,2	25,7	27,2	37,4	34	55	45
Hogar Comunitario Mickey ICBF	43	38,9	32,3	32	46,3	41,7	55	45
Hogar Comunitario Mickey ICBF	42,3	38,9	34,7	34,9	46,4	41,9	55	45
Hogar Comunitario mis Amiguitos	38,3	35,1	21,4	22,5	39	35,7	55	45
Hogar Comunitario mis Amiguitos	40	37,2	29,8	31,2	40,6	37,2	55	45
Hogar Comunitario Nidito de Crianza	31,4	27,3	15,5	16,7	34	30,2	55	45
Hogar Comunitario Nidito de Crianza	36,8	33	25,1	26,6	38,6	34,6	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	57,7	54,6	17,6	19,3	53,9	50,9	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	57,5	54,3	22,2	23,5	57	53,8	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	54,6	51,5	18,3	20	53,9	50,9	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	54,1	51	14,4	14,9	53,6	50,5	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	53,8	50,6	21,1	22,4	53,3	50,2	55	45
Jardin Infantil mi Dulce Cariñito	38,3	35,2	21,6	22,8	38,8	35,5	55	45
Jardin Infantil mi Dulce Cariñito	41,2	38	29	30,6	41,4	37,7	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	54,9	51,8	21,1	22,2	54,6	51,4	55	45
Jardín Taller Creativo San	54,6	51,4	23,1	24,1	54,3	51,1	55	45

Receptor	Operación patio taller con Línea base		Operación patio taller sin Línea base		Escenario de Línea base día hábil tramo 4		Límites máximos permisibles de ruido ambiental Resolución 0627 del 2006	
	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Nicolás								
Jardín Taller Creativo San Nicolás	54,5	51,2	25,5	26,4	54,4	51	55	45
Liceo Infantil San Marcos Kids	51,3	47,2	23,2	25,2	51	47	65	50
Liceo Infantil San Marcos Kids	51,4	47,3	27,6	29,5	51,2	47,2	65	50
Parroquia San Dionisio	38,4	36,6	32,2	32,9	56,8	53,8	65	50
Parroquia San Dionisio	39,2	36,9	32	32,2	57,6	54,6	65	50

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se puede observar en la anterior tabla la dinámica de incumpmiento que se ha venido presentando en los escenarios anteriores se modificada para este escenario debido a que para el periodo diurno la tendencia se inclina hacia el cumplimiento de los límites máximos permisibles de la gran mayoría de los receptores sensibles. Los receptores que se encuentran resaltados en amarillo muestran todos aquellos que se presentan cumplmiento normativo. Por el contrario, para el periodo nocturno aumenta la tendencia hacia el incumplimiento normativo debido a que los límites máximos permisibles de ruido ambiental son más restrictivos en el periodo nocturno en comparación con el periodo diurno.

Claramente, este cumplimiento se daría en un escenario hipotético donde no se tuvieran fuentes de emisiones asociadas al tránsito vehicular. Es importante mencionar que el ejercicio de modelar el escenario de operación sin Línea base se da para entender los aportes individuales de la operación del metro. De esta manera, al obtener valores menores de niveles de ruido en el escenario de operación sin línea base en comparación del escenario de Línea base, permite establecer que los mayores aportes de ruido a lo largo del área de influencia del proyecto serán por las fuentes de emisión asociadas al tránsito vehicular. Las cuales mostraron en el escenario de Línea base que actualmente la dinámica de los niveles de ruido tiende a sobrepasar los límites máximos permisibles establecidos dentro del marco de la Resolución 0627 del 2006 del MADS.

Por otra parte, a continuación se presentan los resultados obtenidos en los modelos con respecto a lo norma establecida en las GUÍAS GENERALES: MEDIO AMBIENTE RUIDO - GRUPO DEL BANCO MUNDIAL (IFC)

Tabla 471. Comparación de los resultados entre el escenario de operación con y sin Línea base respecto al escenario de Línea base tramo 4 (Guías de niveles de ruido-IFC)

Receptor	Piso	Dirección	Operación patio taller con Línea base		Operación patio taller sin Línea base		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Colegio Gimnasio Latinoamericano	PB	S	57,8	54,8	14,1	13,9	55	45
Colegio Gimnasio Latinoamericano	P1	S	56,4	53,4	21,1	22	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Operación patio taller con Línea base		Operación patio taller sin Línea base		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo IC	PB	S	29,6	26,6	20,9	22,5	55	45
Hogar Comunitario Explorando Mi Mundo IC	P1	S	32,9	30,2	25,7	27,2	55	45
Hogar Comunitario Mickey ICBF	PB	N	43	38,9	32,3	32	55	45
Hogar Comunitario Mickey ICBF	P1	N	42,3	38,9	34,7	34,9	55	45
Hogar Comunitario mis Amiguitos	PB	SE	38,3	35,1	21,4	22,5	55	45
Hogar Comunitario mis Amiguitos	P1	SE	40	37,2	29,8	31,2	55	45
Hogar Comunitario Nidito de Crianza	PB	S	31,4	27,3	15,5	16,7	55	45
Hogar Comunitario Nidito de Crianza	P1	S	36,8	33	25,1	26,6	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	PB		57,7	54,6	17,6	19,3	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB		57,5	54,3	22,2	23,5	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	PB	S	54,6	51,5	18,3	20	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	P1	S	54,1	51	14,4	14,9	55	45
Jardín Infantil Kindergarten John Dewey	P2	S	53,8	50,6	21,1	22,4	55	45
Jardin Infantil mi Dulce Cariñito	PB	SE	38,3	35,2	21,6	22,8	55	45
Jardin Infantil mi Dulce Cariñito	P1	SE	41,2	38	29	30,6	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	PB	S	54,9	51,8	21,1	22,2	55	45
Jardín Taller Creativo San Nicolás	P1	S	54,6	51,4	23,1	24,1	55	45

Receptor	Piso	Dirección	Operación patio taller con Línea base		Operación patio taller sin Línea base		Límites máximos permisibles de ruido Guías de niveles de ruido-IFC	
			LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)	LrD dB(A)	LrN dB(A)
Jardín Taller Creativo San Nicolás	P2	S	54,5	51,2	25,5	26,4	55	45
Liceo Infantil San Marcos Kids	PB	N	51,3	47,2	23,2	25,2	55	45
Liceo Infantil San Marcos Kids	P1	N	51,4	47,3	27,6	29,5	55	45
Parroquia San Dionisio	PB	O	38,4	36,6	32,2	32,9	55	45
Parroquia San Dionisio	P1	O	39,2	36,9	32	32,2	55	45

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se puede observar en la anterior tabla, los niveles de ruido asociados al escenario de operación sin el ruido de fondo (escenario de Línea base) no presentan excedencia normativa para ninguno de sus receptores. Asimismo, el escenario de operación con línea base no presenta cambios en las tendencias de incumplimiento. Es decir que una vez entre en marcha la operación del tren no se generan cambios en los niveles de ruido respecto al escenario actual (Línea base)

5.2.3.5. Vibración y ruido estructural

El estudio de vibraciones y ruido estructural se concentra en evaluar la condición sin proyecto o línea base y la predicción con el proyecto. Lo anterior, siguiendo la ET-05 (FDN-2021).

La caracterización de los niveles de vibración para la condición de la Línea Base requirió desarrollar un plan de monitoreo de vibraciones y un posterior análisis de resultados que permitan definir los niveles de vibración en la zona de influencia del proyecto para la condición actual, la cual servirá de punto de partida para analizar los impactos para la condición con proyecto (etapas de construcción y operación). A continuación se presentan las premisas con las cuales fue desarrollado el plan de monitoreo de vibraciones y los resultados en términos de caracterización de niveles de vibración para la condición de Línea Base (condición sin proyecto).

5.2.3.5.1. Monitoreo y puntos de medición de vibraciones y ruido estructural

5.2.3.5.1.1. Objetivos del monitoreo y puntos de medición

El objetivo general del programa de monitoreo de vibraciones adelantado es el de establecer una línea base de las vibraciones actuales que existen a lo largo del corredor que permitan establecer el impacto del proyecto para los escenarios de construcción y operación. Como objetivos específicos se destaca:

- Caracterizar los niveles de aceleración en el espectro en frecuencias de interés (1 Hz a 100 Hz), con el propósito de determinar en términos de unidades de aceleración y velocidad de las vibraciones naturales y medioambientales sobre las viviendas en condiciones actuales dentro del área de influencia del proyecto.
- Caracterizar los niveles de las vibraciones asociadas al tráfico actual en las vías que conforman el corredor de estudio y con esto establecer las características línea base del proyecto con el fin estimar la relación con las etapas de construcción y operación sobre el AID (área de influencia directa).
- Determinar posibles receptores sensibles tanto personas, como edificaciones para el estudio. Se incluirá la identificación de receptores especialmente sensibles (hospitales, colegios, hogares geriátricos, universidades, edificios con aparatos considerados muy sensibles a las vibraciones como estudios de grabación, salas de conciertos, teatros, entre otros) y receptores de sensibilidad representativa de un grupo de edificios.
- Identificar y definir de los receptores sensibles (directos e indirectos por efecto acumulativo) ubicados en toda el área de influencia del Proyecto.
- Identificar y definir fuentes significativas de vibración y ruido estructural ubicadas en toda el área de influencia del Proyecto.
- Definir la duración de las mediciones teniendo en cuenta la influencia de las fuentes existentes (menor o mayor influencia) y como referencia en el horario que operaría el Proyecto y que permitan identificar la influencia de los agentes de vibración (mayor o menor influencia) a las edificaciones y/o personas.
- Realizar una identificación de fuentes de vibración (tráfico, procesos industriales, construcciones, entre otros) actuales en la zona de estudio.
- Para cada uno de los puntos de registro de niveles de vibración se definen las siguientes características o variables:
    - Identificación del punto de medición.
    - Coordenadas geográficas.
    - Nivel de velocidad de vibración
    - Nivel máximo de RMS
    - Nivel pico
    - Cálculo de la aceleración máxima de registros de aceleración.
    - Cálculo de espectro de Fourier de cada uno de los registros de aceleración con el fin de determinar la frecuencia predominante del registro de aceleración.

5.2.3.5.1.2. Plan de trabajo implementado

El monitoreo se adelantó en puntos a lo largo del corredor del de la Línea 2 del Metro de Bogotá. Con base en las características de la línea se planteó la toma de registros de vibración en quince puntos a lo largo del corredor.

La selección de la localización de los puntos se adelantó teniendo en cuenta criterios de representatividad y cobertura con el fin de asegurar que se cuente con puntos de registro más o menos equi-espaciados a lo largo del corredor del Metro proyectado buscando que estén cerca a puntos de infraestructura clave como las localización de las estaciones.

La definición de las estaciones como puntos de monitoreo de vibraciones se basó en el hecho que para los escenarios de construcción y operación se proyecta que son las zonas que pueden presentar mayor variación en los niveles de vibración correspondiendo con la zona de estaciones en donde se adelantarán actividades de construcción en superficie. Tanto las labores de construcción subterránea (excavación con máquina tuneladora) como la operación del tramo subterráneo de la línea presentarán una influencia muy baja en los niveles de vibración dada la cobertura del túnel que por efectos de atenuación de onda genera una reducción muy significativa de los niveles de vibración que se podrán registrar en superficie.

Como parte del plan de monitoreo se definieron quince puntos de registro teniendo en cuenta que existen 11 estaciones proyectadas en el corredor de la línea del Metro, el punto de entrada y salida de la máquina tuneladora, el cruce del humedal Juan Amarillo y el punto final (patio taller), lo que resulta en quince puntos de interés a lo largo del corredor férreo más o menos equidistantes, lo cual permite caracterizar los niveles de vibración asociados con la condición de línea base (sin proyecto) en el corredor férreo.

Procedimiento de registro de vibraciones

Con el objetivo de establecer una línea base adecuada, se planteó la siguiente metodología para la toma de información:

- Para cada punto de muestreo se desarrollaron mediciones en periodos clasificados de acuerdo con el tráfico de automóviles y de transporte masivo (Transmilenio) como horas pico y horas valle.
- Las mediciones fueron adelantadas de lunes a sábado considerando que el día domingo no es un día representativo del tráfico de la ciudad de Bogotá y puede generar resultados atípicos.
- Se asegurará que los puntos de medición no estén cercanos a las estaciones actuales del sistema Transmilenio, debido a que en estos puntos el frenado de los articulados genera un valor atípico respecto de las vibraciones en el resto del corredor.
- Los puntos de medición fueron ubicados sobre las calles o carreras que llegan al corredor.
- Los puntos de medición se localizaron siguiendo el esquema presentado en la Figura 970:
    - Primer punto de medición (Canal 0): Se ubicará en el extremo del tráfico mixto en el caso de una vía de Transmilenio o en el extremo de la vía con mayor flujo de automóviles en un caso diferente-
    - Segundo punto de medición (Canal 1): Se localizará a 15 m del primer punto de medición
    - Tercer punto de medición (Canal 2): Se localizará a 30 m del primer punto de medición

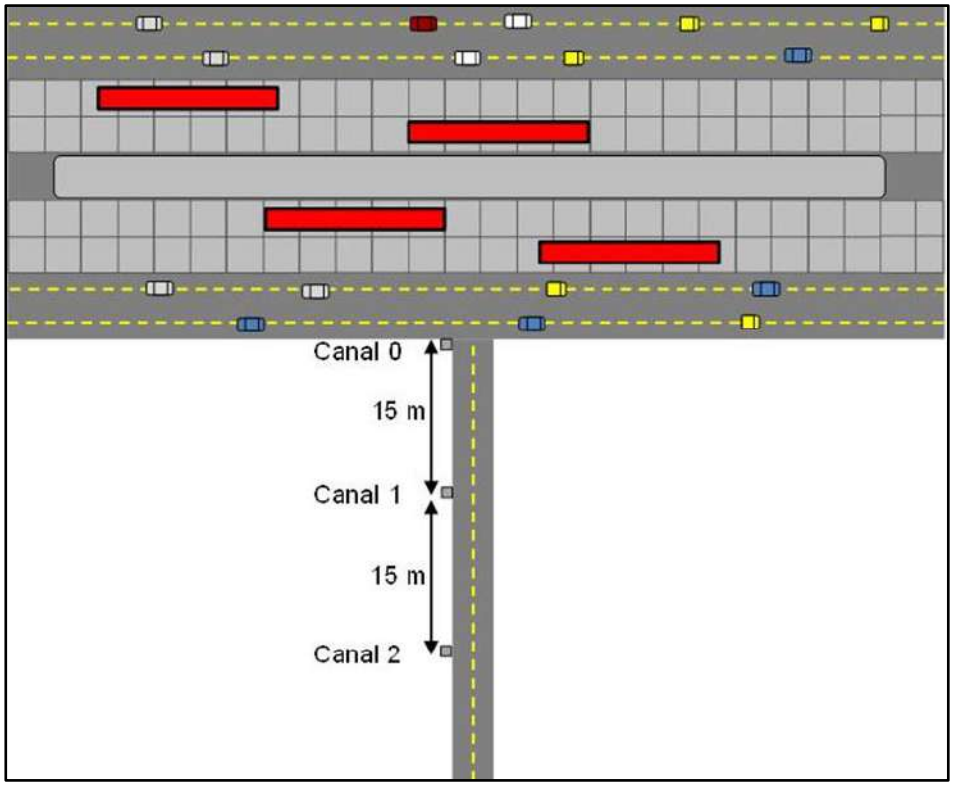


Figura 975. Esquema de medición de vibraciones propuesto
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- Con el fin de contar con un número adecuado de ventanas de vibración para el análisis en cada uno de los puntos de medición seleccionados se tomaron 15 ventanas de registro de 2 minutos de duración a una frecuencia de muestreo de 2000 Hz. Lo anterior está acorde con los requerimientos de número de ciclos y frecuencia de muestreo para registros de vibración en los cuales se espera que la frecuencia de vibración predominante de la señal sea superior a 5 Hz. La frecuencia de muestreo a utilizar asegura que no se presente ningún tipo de filtro numérico de alta frecuencia que pudiera afectar el rango superior requerido.
- Adicionalmente se realizó la medición de aceleración para cuatro ventanas de tiempo (2 minutos cada una) utilizando los tres sensores en un arreglo ortogonal (Ver Fotografía 73), lo cual permite registrar en una misma ventana de tiempo las tres componentes ortogonales de movimiento y poder realizar un análisis en el dominio de la frecuencia entre las dos componentes de movimiento horizontal y la componente de movimiento vertical que permite estimar la frecuencia fundamental del depósito en el punto de medición utilizando la metodología HVSR (Nakamura) empleado en estudios de microzonificación sísmica. Con base en el análisis de los registros de aceleración se determinó la aceleración máxima del terreno (PGA por sus siglas en inglés), la velocidad de partícula (PPV por sus siglas en inglés) y las frecuencias dominantes de las vibraciones registradas para las tres componentes de movimiento ortogonales (X, Y y Z) y una estimación de la frecuencia fundamental de respuesta del depósito de suelo.



Fotografía 73. Configuración triaxial para el registro de vibraciones
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Equipos de registro

La caracterización de vibraciones se desarrolló utilizando tres acelerómetros sísmicos de referencia 731A marca Wilcoxon ultrasensibles, de baja frecuencia, con banda frecuencial (+10%) de registro entre 0,1 y 450 Hz (Fotografía 74). La configuración utilizada de los sensores permite registrar una aceleración máxima de 0,5 g (4,91 m/s^2), valor que se determina teniendo en cuenta el rango de voltaje (±5 V) y la sensibilidad (10 V/g) del equipo. La selección de los equipos se desarrolla teniendo en cuenta el rango de frecuencias de medición definido en la DIN 4150 (1 – 100 Hz), el contenido frecuencial y los niveles de amplitud esperados para las fuentes de vibración natural en la zona de estudio.

Los acelerómetros que se utilizaron tienen un mayor rango frecuencial y una mayor sensibilidad a vibraciones de baja amplitud en comparación a geófonos que se utilizan para la medición de vibraciones de mayor amplitud. Estos equipos vienen calibrados de fábrica y no requieren procesos de calibración anteriores o posteriores al desarrollo del monitoreo de vibraciones. Sin embargo, como parte de los programas internos de calibración de equipos se ha definido un procedimiento de calibración de los equipos de monitoreo. El procedimiento implementado de calibración es descrito a continuación.



Fotografía 74. Equipos propuestos para adelantar el monitoreo de vibraciones
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Procesamiento de los registros de vibración

El análisis de las señales adelantado incluye procesos de diezmado, implementación de filtros tipo Butterworth, cálculo del espectro de Fourier de cada una de las señales, cálculo de la función de transferencia entre las componentes horizontales y la componente vertical e integración de las señales para determinar la velocidad de partícula. Los análisis de los registros serán desarrollados en el programa de procesamiento de señales DEGTRA A4 (Ordaz et al., 2005).

Para cada una de las ventanas de registro (duración 2 minutos) por punto de medición se desarrolló un análisis de señales en el programa de computador Degtra A4 (Ordaz et. al., 2005) que incluye las siguientes actividades de procesamiento:

- Decimar el registro con el fin de facilitar el procesamiento de la señal y obtener un rango de frecuencias de análisis entre 0,01 a 200 Hz.
- Corregir por línea base los registros de aceleración (tres mediciones simultáneas por ventana de tiempo).
- Calcular la aceleración máxima del registro de aceleración (PGA).

- Calcular el espectro de Fourier de cada uno de los registros de aceleración con el fin de determinar la frecuencia predominante del registro de aceleración (f).
- Para el caso de las mediciones ortogonales determinar la función de transferencia entre las componentes horizontales de movimiento y la componente vertical. Estimar la frecuencia fundamental H/V o frecuencia de Nakamura ($f_{H/V}$).Filtrar la señal de aceleración utilizando un filtro Butterworth pasa alta con frecuencia de esquina de 0.1 Hz.
- Integrar la señal con el fin de obtener el registro de velocidad, que permita determinar la velocidad máxima de partícula (PPV).
- Determinar una frecuencia promedio con base en PGA y PPV ($f_{PGA/PPV}$).

La Figura 971 muestra un registro típico de aceleraciones en los tres puntos de medición, se espera que las aceleraciones registradas en el punto más cercano a la vía principal (Canal 0) sean superiores a las aceleraciones registradas en puntos más distantes (Canal 1 y Canal 2), lo cual corresponde a la atenuación de las vibraciones generadas por el tráfico.

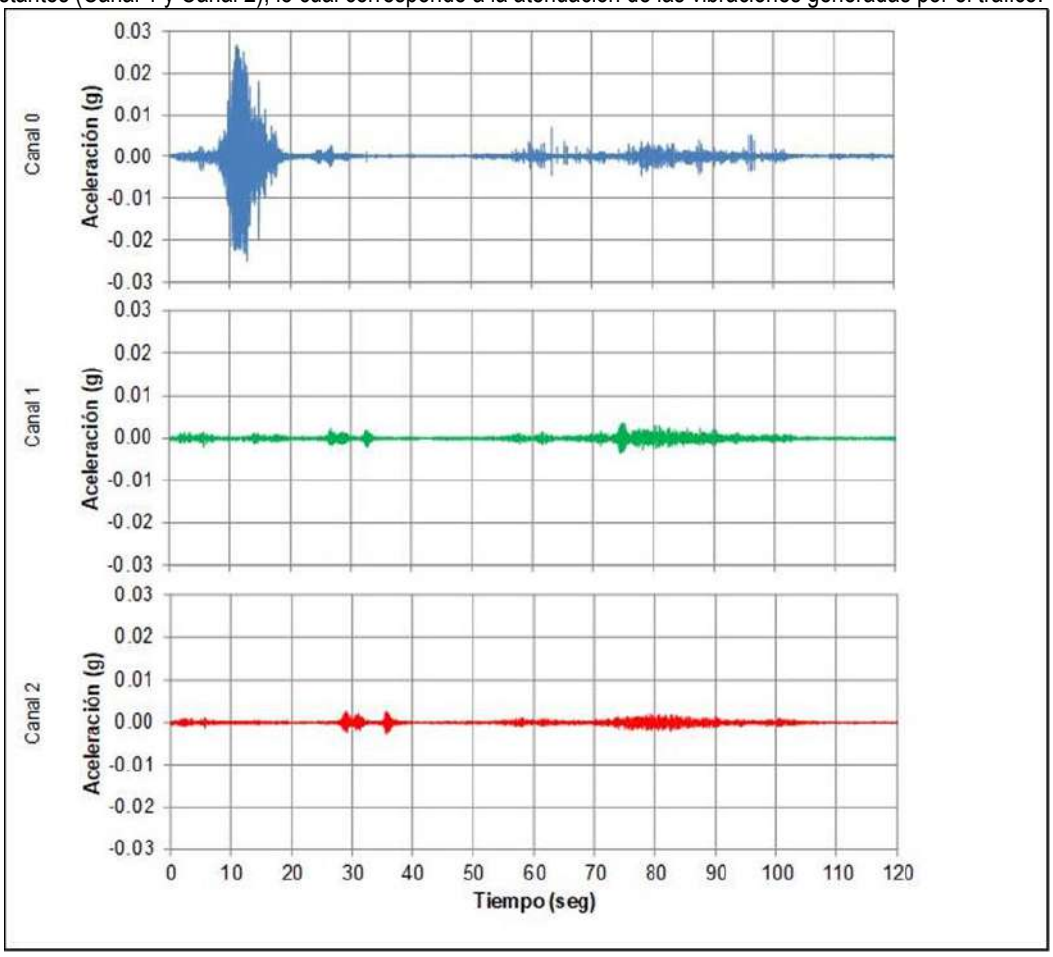


Figura 976. Registro típico de niveles de vibración
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

El análisis HVSR se desarrolló siguiendo los conceptos planteados por Nakamura (1989), según los cuales el cociente entre la componente horizontal y la componente vertical en el dominio frecuencial es un buen estimador del efecto de sitio. Este método ha sido ampliamente implementado en los últimos años y utilizado por la fiabilidad de sus resultados y por la

rapidez y economía de ejecución. La principal premisa del método de Nakamura es que la razón (H/V) o razón espectral corresponde a la función de transferencia de los niveles superficiales sometidos a movimientos horizontales. Lo anterior está soportado en la hipótesis de que un microtemblor está compuesto por un cuerpo principal de ondas y por ondas superficiales Rayleigh, inducidas por fuentes artificiales (trenes, tráfico, etc). Se considera que las componentes horizontal y vertical del registro son similares en la base rocosa. Dichos registros son amplificados por las capas de suelo blando que yacen sobre el sustrato rocoso. Se considera además que las componentes horizontales se amplifican debido a multi-reflexiones de la onda S, en tanto que los microterremotos verticales lo hacen por multi-reflexiones de la onda P. La velocidad de propagación de la onda P es generalmente mayor que 100 m/s, y los movimientos con frecuencias de aproximadamente 10 Hz o menos pueden no amplificarse, debido a la multi-reflexión en las capas superficiales de varias decenas de metros de espesor.

Teniendo en cuenta lo anterior cuando se calcula la función de transferencia entre las componentes horizontales y la componente vertical los picos de mayor amplificación corresponden a las frecuencias fundamentales del depósito, lo cual permite caracterizar el punto de estudio con fines de definir si se presentará o no amplificación por propagación de onda (efectos locales).

La Figura 972 presenta la ventana de trabajo en el programa Degtra A4 con los tres registros de aceleración y sus correspondientes espectros de Fourier para la ventana de tiempo en donde se registraron los niveles máximos de aceleración en un punto de análisis.

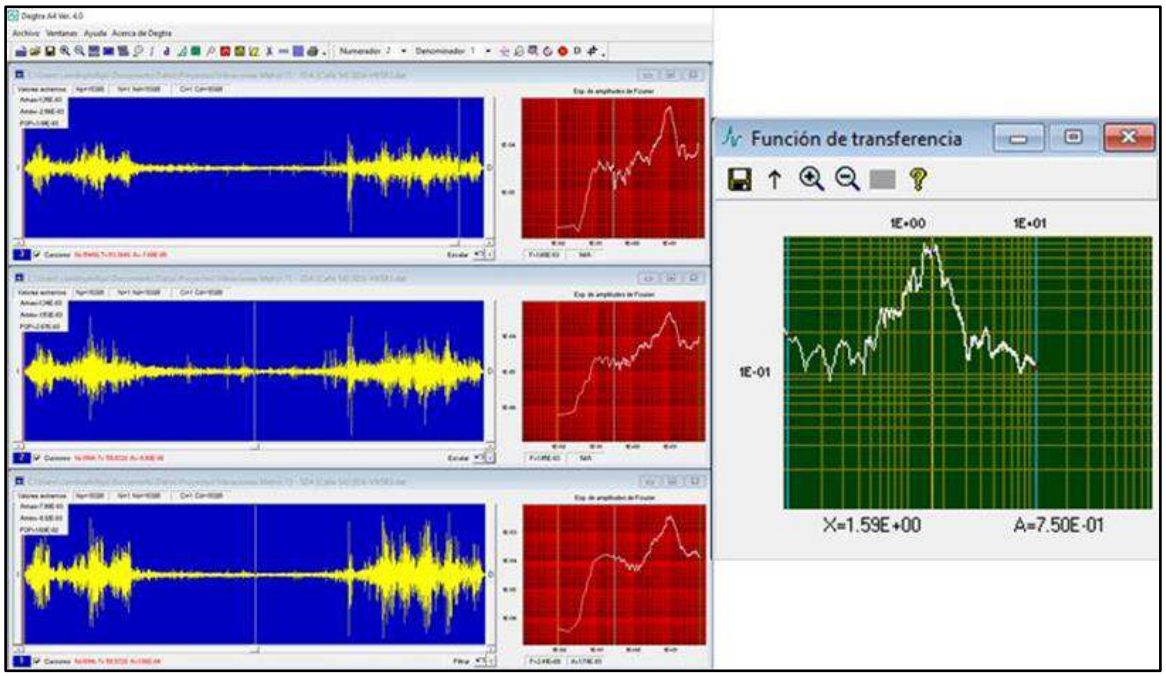


Figura 977. Análisis de Nakamura en el programa de computador DEGTRA A4
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Procedimiento en campo y calibración de los equipos

El equipo de vibraciones utilizado para los ensayos está conformado por acelerómetros sísmicos de referencia 731A marca Wilcoxon ultrasensibles, de baja frecuencia, con banda frecuencial (+10%) de registro entre 0,1 y 450 Hz.



Fotografía 75. Equipo de monitoreo de Vibraciones
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Con el fin de contar con un número adecuado de ventanas de vibración para el análisis en cada uno de los puntos de medición seleccionados se desarrollarán 5 mediciones o ventanas de registro de 2 minutos de duración a una frecuencia.

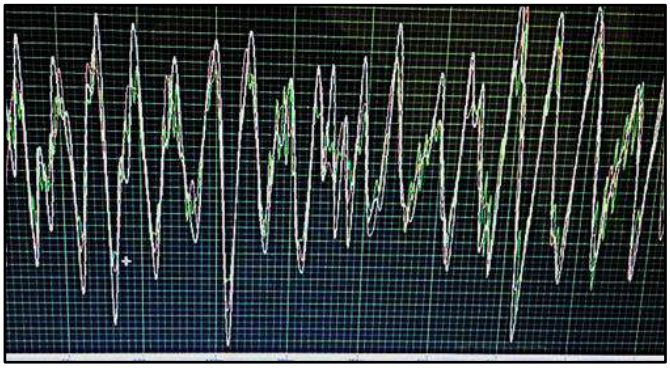


Figura 978. Registro de vibraciones
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Para ejecutar el ensayo de vibraciones, inicialmente se hizo una revisión del estado de los acelerómetros, para asegurar que no se presenten fallas que impidan la toma de lecturas. Antes del traslado para el sitio, el equipo de vibraciones se ensambló y probó en cada uno de sus componentes para comprobar su adecuado funcionamiento.

Se utilizó el software NI Signalexpress de National Instruments para la adquisición y archivo de datos, así como para el reconocimiento de los acelerómetros, la configuración del sistema de adquisición de datos y la verificación y medición de las señales provenientes de cada uno de los acelerómetros.

La geometría de los arreglos usados en el sitio para la adquisición de señales, corresponden con lo indicado en Plan de Trabajo de la actividad. El operador del equipo verificó en el sitio de los trabajos la disponibilidad de espacio y condiciones

adecuadas para la instalación del equipo. El operador también verificó las condiciones de seguridad para el personal en el sitio y sus accesos (Trabajos en Alturas, etc).

Con el cuidado de no golpear los sensores, se instalaron de acuerdo a los especificado, se conectaron los cables asignados para cada sensor sin combinarlos, y se realizó una verificación preoperacional del equipo dejando calentar los diferentes componentes electrónicos para garantizar lecturas repetibles y confiables.

Con el equipo dispuesto se iniciaron las mediciones solicitadas para el sitio cuyos registros quedaron guardados en el computador de manera automática. Durante estos registros el personal permaneció de manera estática para no inducir vibraciones indeseadas ajenas a las condiciones naturales o específicas de cada lugar de exploración.

La hoja de vida del equipo, así como los últimos dos certificados de calibración y las verificaciones del último año se incluyen como Anexo del presente documento.

Localización de los puntos de registro

En la Figura 974 y la Tabla 471 se presenta la localización de los 15 puntos en donde se adelantó el monitoreo de vibraciones para la condición de línea base. La distancia promedio entre puntos de medición contiguos es del orden de 1077 m. Las distancias mínima y máxima entre puntos de medición contiguos es del orden de 616 m y 1752 m, respectivamente.

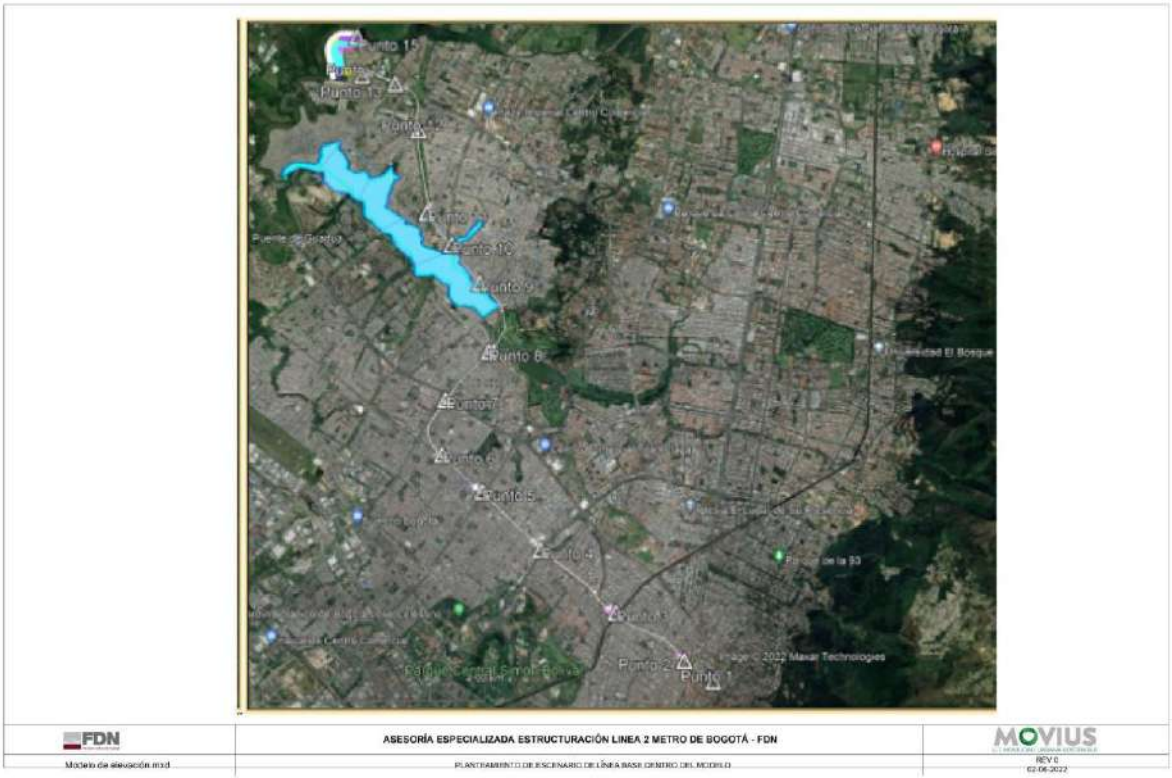


Figura 979. Puntos de monitoreo de vibraciones para la condición de línea base
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tabla 472. Localización (Coordenadas) puntos de monitoreo de vibraciones

ID	Punto De Análisis	Magnas Sirgas Origen Bogotá		Origen Bogotá	
		COOR_ESTE	COOR_NORTE	COOR_ESTE	COOR_NORTE
L2MB-VIB-001	Entrada de la maquinaria	1002166	1006703	102170	106703
L2MB-VIB-002	Estación 1	1001645	1007067	101649	107067
L2MB-VIB-003	Estación 2	1000408	1007924	100411	107925
L2MB-VIB-004	Estación 3	999059	1009045	99062	109046
L2MB-VIB-005	Estación 4	998017	1010082	98019	110083
L2MB-VIB-006	Estación 5	997288	1010744	97290	110745
L2MB-VIB-007	Estación 6	997353	1011722	97354	111724
L2MB-VIB-008	Estación 7	998132	1012582	98133	112584
L2MB-VIB-009	Estación 8	997966	1013810	97967	113812
L2MB-VIB-010	Cruce del Juan Amarillo	997457	1014492	97459	114495
L2MB-VIB-011	Estación 9	997013	1015062	97014	115065
L2MB-VIB-012	Estación 10	996866	1016533	96867	116537
L2MB-VIB-013	Salida de maquinaria	996447	1017372	96448	117376
L2MB-VIB-014	Estación 11	995849	1017520	95849	117524
L2MB-VIB-015	Patio Taller	995758	1018211	95758	118215

Fuente: UT MOVIUS, 2022.



5.2.3.5.2. Umbrales de percepción humana, de fauna y afectación a estructuras

En Colombia no existen normas para el control de vibraciones, razón por la cual tradicionalmente se han utilizado normas o recomendaciones europeas (en particular DIN 4150) y de Estados Unidos (USBM RI8507) con el fin de limitar y proponer medidas de mitigación en proyectos que incluyan equipos que inducen altos niveles de vibración y vehículos pesados.

El umbral de percepción para personas tradicionalmente se ha definido con base en la velocidad de partícula (PPV). La ISO 2631 define que velocidades de partícula entre 2 a 3 mm/s, en el rango de frecuencias entre 8 y 80 Hz (ISO 2631) son perceptibles para el ser humano. El estudio desarrollado por Wiss (1974) concluye que velocidades de partícula de 6 mm/s, 23 mm/s y 51 mm/s son clasificados como fácilmente perceptible para personas, intenso para personas y severo para personas respectivamente, en el caso de niveles de vibración generadas por fuentes transientes. En términos estructurales se diferencian dos niveles de daño el primero asociado con daños en elementos no estructurales y el segundo con niveles de atención de estructuras en donde los elementos estructurales principales se pueden ver afectados. En el presente caso

la definición de los umbrales de daño están asociados con la primera condición, teniendo en cuenta que la comunidad se siente afectada aun cuando los daños correspondan a fisuramiento menor que no pone en riesgo la estabilidad de la estructura.

La amplitud de deformación y por consiguiente el potencial de generación de daños inducida en una estructura por una fuente que genera vibraciones del terreno, depende principalmente de las frecuencias fundamentales de la estructura y de la amplitud y frecuencia de la vibración incidente. Cuando la frecuencia fundamental de vibración coincide con una de las frecuencias fundamentales de la estructura, se presenta amplificación dinámica de las solicitaciones inducidas lo cual normalmente se ve reflejado en daños estructurales, cuando las amplitudes de vibración superan valores umbral. En el caso estudiado las frecuencias fundamentales de las edificaciones se encuentran entre 1 y 15 Hz (rango estimado utilizando las fórmulas de cálculo de periodo estructural, presentadas en la NSR-10 para edificaciones entre uno a seis pisos), teniendo en cuenta el uso de aisladores con el fin de disminuir las cargas y los niveles de vibración inducidos por el material rodante, no se espera que se presenten cambios significativos en los niveles de vibración actuales del proyecto; sin embargo, es posible que en las zonas cercanas a las vías principales que atraviesa el corredor de la L2MB se presenten niveles de vibración cercanos a los niveles de umbral de comportamiento.

Existen otras variables que deben ser consideradas en la evaluación del potencial de daño por vibraciones tales como: la duración de las vibraciones, la cantidad de ciclos de alta amplitud, la resistencia de los materiales que conforman la estructura, la calidad de la construcción, los esfuerzos estáticos preexistentes (incrementados por ejemplo por asentamientos del suelo), el nivel de mantenimiento y conservación de la estructura. Una evaluación rigurosa del potencial de daños por vibración en una serie de estructuras no es económicamente justificable en la mayoría de los casos. Por esta razón, se recurre generalmente a normas y recomendaciones que relacionan características de la estructura y del suelo de cimentación con el tipo de vibración, o con los niveles de vibración (velocidad de partícula, frecuencia dominante, número de ciclos). La Tabla 472 y Tabla 473 que se presentan a continuación muestran recomendaciones típicas presentadas en las Normas DIN 4150 e ITME (1985) que para los rangos de frecuencias de vibración asociados con el tráfico (entre 10 a 50 Hz) definen rango de velocidad de partícula máxima entre 3 a 8 mm/s, aún para edificios muy sensibles a la vibración.

Es importante anotar que a la par que se deben evaluar los niveles de vibración en función de su capacidad de generar afectación a la estructura, también es importante adelantar una caracterización de los niveles de vibración en términos de sensibilidad humana. La Figura 975 resume diferentes criterios o límites de comportamiento ante niveles de vibración (Vacca, Rodríguez, y Ruiz, 2011).

En relación con los umbrales de percepción humana se destaca referencias como la norma AS 2670.2-1990 (estándar de Australia), en donde se define que los niveles de vibración pueden ser clasificados de acuerdo con criterios de percepción humana como límite de percepción para valores de velocidad de partícula de 0,15 mm/s, apenas perceptibles para velocidades de partícula de 0,35 mm/s, perceptibles para velocidades de partícula de 1,0 mm/s, fácilmente perceptibles para velocidad de partícula de 2,2 mm/s y vibraciones severas para personas para niveles de velocidad de partícula de 6,0 mm/s.

Por otro lado, la norma ISO 2631-1 define que el límite de percepción es función de la frecuencia de vibración y que para frecuencias en el rango entre 10 Hz a 50 Hz (rango de frecuencias asociadas con el tráfico de vehículos y trenes) se considera que niveles de vibración entre 0,17 mm/s y 0,26 mm/s corresponden al límite de percepción humana, valores del orden de 0,75 mm/s son perceptibles para seres humanos y velocidades de partícula superiores a 2,3 mm/s son perturbadoras para el ser humano.

Teniendo en cuenta los criterios anteriormente mencionados y la propuesta del Laboratorio de Investigación en Transporte y Vías (TRRL por sus siglas en inglés) para la evaluación de los niveles de vibración asociados con percepción humana se define que el límite de percepción humana corresponde a 0,15 mm/s y por lo tanto niveles de vibración iguales o inferiores a este valor se espera que no generen molestias en personas o quejas.

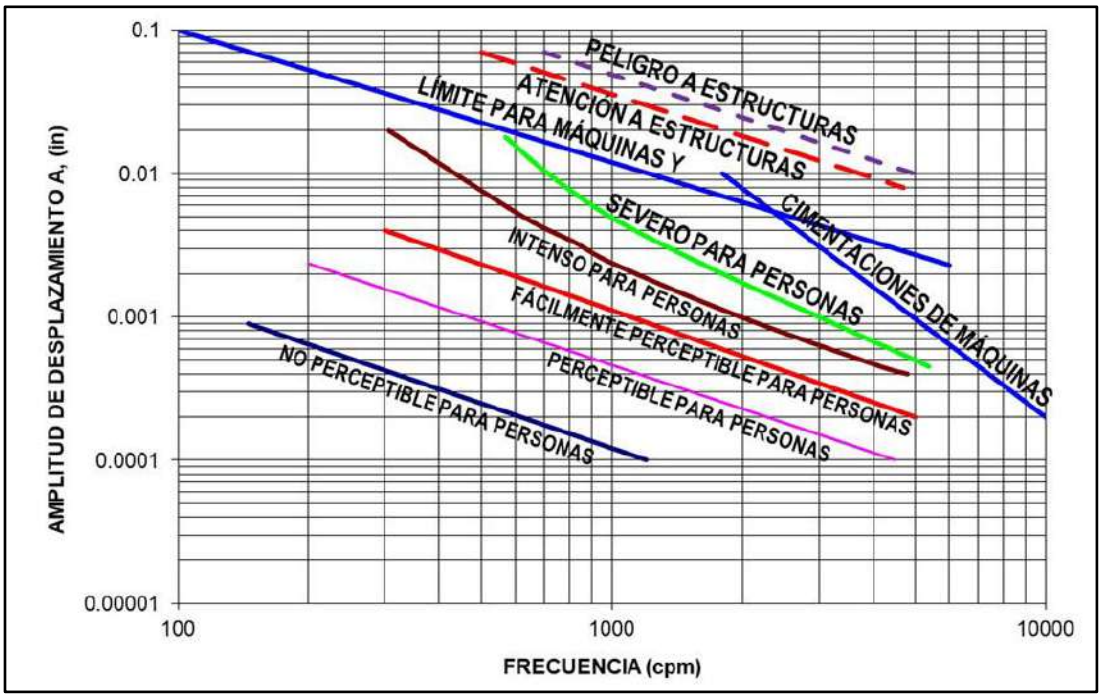


Figura 980. Límites asociados con confort en función de la frecuencia del registro
Fuente: Vacca et al., (2011)

Tabla 473. Valores Máximos de Velocidad de partícula (mm/s) para evitar daños

Tipo de Edificación / Type of Building	Frecuencia / Frequency		
	< 10 Hz	10-50Hz	50-100 Hz
Estructuras delicadas, muy sensibles a la vibración / Weak buildings, highly sensitive to vibrations	3	3-8	8-10
Viviendas y Edificios / Housing and buildings	5	5-15	15-20
Comercial e Industrial / Commercial and Industrial	20	20-40	40-50

Fuente: Norma DIN 4150

Tabla 474. Valores Máximos de Velocidad de partícula establecidos en la referencia

Tipo de Edificación Type of Building	Velocidad máxima de partícula Particle peak velocity
Para edificaciones en muy mal estado de construcción o edificios en madera o mampostería For buildings under poor construction conditions, wooden or masonry buildings	12 mm/s
Edificios muy sensibles a las vibraciones Building highly sensitive to vibrations	0 a 10 Hz → 3 mm/s 10 a 50 Hz → 3 a 8 mm/s 50 a 100 Hz → 8 a 10 mm/s

Fuente: ITME,(1985)

Por otro lado, tal y como lo muestra la Figura 976 los niveles de vibración según EUROCODE 3 (estándar europeo) para sitios con uso residencial son iguales a 10 mm/s.

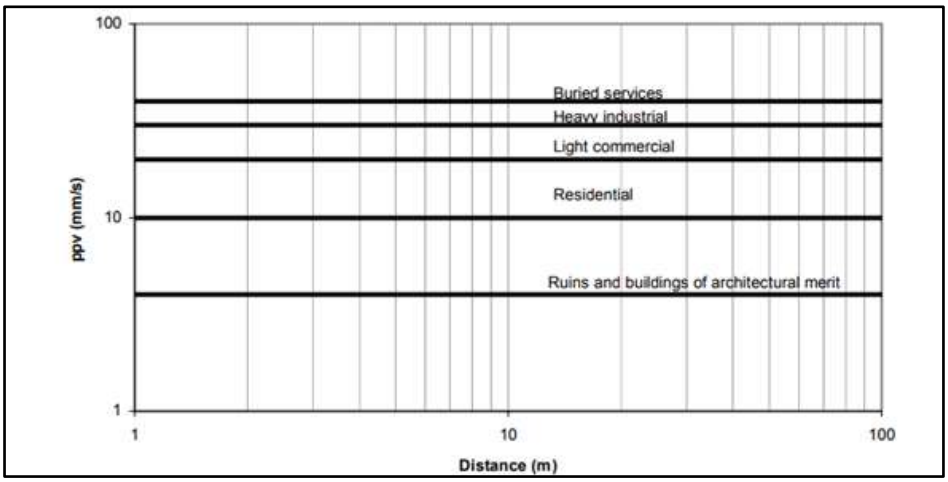


Figura 981. Niveles máximos de vibraciones para evitar daños estructurales según EUROCODE 3 (estándar europeo)
Fuente: EUROCODE 3, (1992)

Con base en la caracterización del corredor de las fuentes emisoras de vibraciones y el tipo de edificaciones encontradas en el corredor de análisis y la comparación de las recomendaciones de la DIN 4150 (2016), AS2187.2 (1993) y CALTRANS (2013) se define umbrales de vibración en términos de velocidad de partícula para afectación estructuras antiguas construidas en mampostería a 12,7 mm/s (0,5 in/s) en el caso de fuentes de vibraciones transientes (poco frecuentes) y de 7,6 mm/s para el caso de fuentes de vibración continuas. De manera conservadora se asume que las fuentes de vibración asociadas con la construcción y la operación del proyecto son de carácter continuo, por lo que se define un umbral de vibración de velocidad de partícula máxima de 7,6 mm/s para edificaciones convencionales.

Con el fin de tener en cuenta la mayor vulnerabilidad que presentan las edificaciones patrimoniales que se encuentren cerca del corredor férreo, en particular las estaciones del tren, se define un umbral local de vibración igual a 3 mm/s para estas estructuras. Es claro que en la medida que las estructuras analizadas presentan un mayor detallamiento y un cumplimiento estricto de los requerimientos de construcción sismorresistente, el nivel de velocidad de partícula tolerable aumenta, sin embargo, de manera conservadora se definió un nivel umbral que corresponde a estructuras sin tanto detallamiento.

Se considera importante anotar que aunque la práctica de registro y definición de impacto asociados con cambios en los niveles de vibración se ha utilizando como unidad de medida la velocidad de partícula (en mm/s), existen referencias como el Manual de medidas acústicas y control de ruido de Cyril M. Harris que utilizan como parámetro de análisis la aceleración de partícula (en m/s^2), y otras referencias como el Manual para la evaluación del impacto del tránsito asociado con ruido y vibraciones (FTA, 2018) que utilizan como parámetro de análisis las vibraciones en decibeles (VdB). En los análisis desarrollados se utiliza como parámetro de referencia la velocidad de partícula, sin embargo, se utilizan conversiones entre las diferentes unidades de análisis con el fin de definir un marco de referencia robusto para el análisis de las vibraciones en la condición con proyecto y la evaluación de los efectos asociados con la operación del proyecto férreo. El desarrollo de un análisis teniendo en cuenta diferentes tipos de intensidades de análisis está acorde con lo presentado en el Anexo Metodología para la medición de emisión de ruido y vibraciones en el área de influencia de una línea férrea [TDR-03 - Vías Férreas, ANLA, (2016)].

Los valores umbral que son considerados para el análisis de los impactos que puede generar la operación del proyecto es de 3 mm/s para las edificaciones consideradas de carácter patrimonial en particular las estaciones férreas existentes. Para las edificaciones no patrimoniales de mampostería no reforzada con elementos de concreto (vigas y columnas) que se encuentran a lo largo de corredor el umbral de daño ha sido definido como de 7,6 mm/s acorde a los criterios definidos en normas internacionales y en particular la norma DIN 4150.

Finalmente, según el estudio *Noise and Vibration in the Vivarium: Recommendations for Developing a Measurement Plan*, desarrollado por Jeremy G Turner (2020) las vibraciones, tan bajas como 0,025 g, podrían ser factores potenciales de estrés para los animales. Este valor, se ubica en el nivel vibraciones es levemente superior al límite establecido como percepción humana para zona residencial, correspondiente a 0,15 mm/s.

En conclusión para la definición del área de influencia directa se utiliza el criterio de velocidad de partícula de 0,15 mm/s para zonas residenciales y 0,30 mm/s para otras zonas para el escenario de operación. Para el escenario de construcción se define un valor umbral de 3 mm/s que corresponde al límite más estricto definido en la DIN 4150 para estructuras con muy bajo detallamiento.

5.2.3.5.3. Fuentes de vibración - Inventario malla vial

Las principales fuentes de vibración para el escenario sin proyecto (línea base) corresponden al tráfico vehicular liviano y pesado. Esto es coherente con la evaluación de ruidos, donde el tráfico se considera una de las principales fuentes generadoras de ruido.

Respecto al tráfico vehicular se realizaron evaluaciones de las condiciones de operación actuales en términos del tipo de superficie y velocidad. En el Anexo 5.2 - 15.6 se presenta un resumen de las condiciones identificadas.

Al respecto del tipo de superficie se identificaron tres tipos de acabado en los que actualmente se desarrolla la circulación de vehículos que son: (i) pavimento flexible el cual corresponde con la mayoría de los casos (ii) pavimento rígido el cual tiene participación importante y (iii) pavimento adoquinado y afirmado con participación pequeña y muy localizada. .

La información se presenta de manera detallada estableciendo la dirección, los tramos entre los cuales se realizó la medición, la longitud del tramo, el ancho de la calzada, el número de carriles, las velocidades y aforo asociado a diferentes escenarios de análisis entendidos como días festivos y días típicos para un horario diurno y nocturno.

5.2.3.5.4. Registro de niveles de vibración para la condición sin proyecto

Para la caracterización de la línea base se desarrolló una comparación de los registros de vibración comparados con los valores umbrales que resulten del análisis de las normas y recomendaciones aplicables para el caso de estudio.

5.2.3.5.4.1. Registro de niveles de vibración para la condición sin proyecto

Como se mencionó anteriormente la campaña de monitoreo de niveles de vibración para la condición sin proyecto (línea base) incluyó 15 puntos de registro. A continuación se presenta la síntesis de los resultados obtenidos utilizando la propuesta de límites asociados con confort en función de la frecuencia del registro de Vacca et al., (2011). La Figura 977 a Figura 991 presentan los resultados de las mediciones en donde se muestra el nivel de vibración en términos de desplazamiento máximo y la frecuencia dominante del registro. Se anota que estas Figuras tienen acotado el eje de frecuencia entre 100 y 10000 ciclos por minuto (1,67 Hz a 167 Hz) y debido al rango de frecuencias dominantes de los registros de 1 Hz a 3 Hz algunos resultados no son mostrados en las Figuras correspondientes. Sin embargo el análisis de resultados se desarrolla para todos los registros efectuados como parte del monitoreo para la línea base.

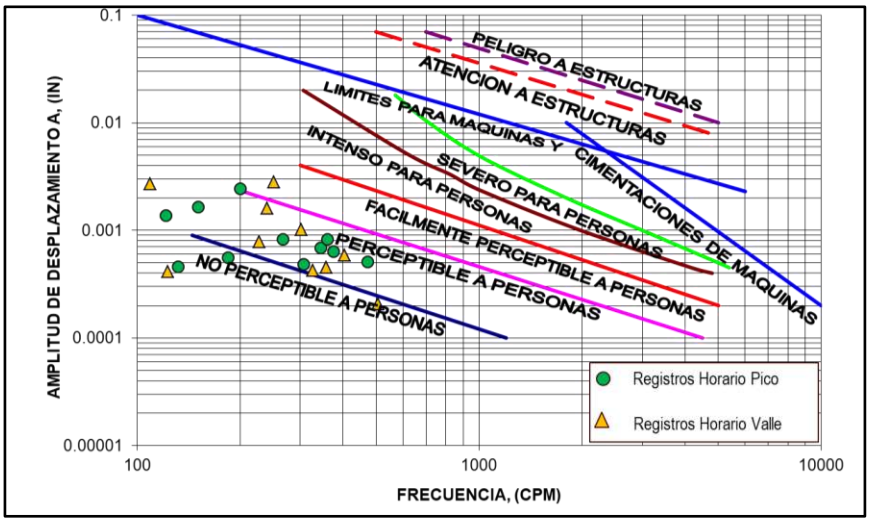


Figura 982. Niveles de vibración para el punto de registro 1 (Punto de entrada de la máquina)
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

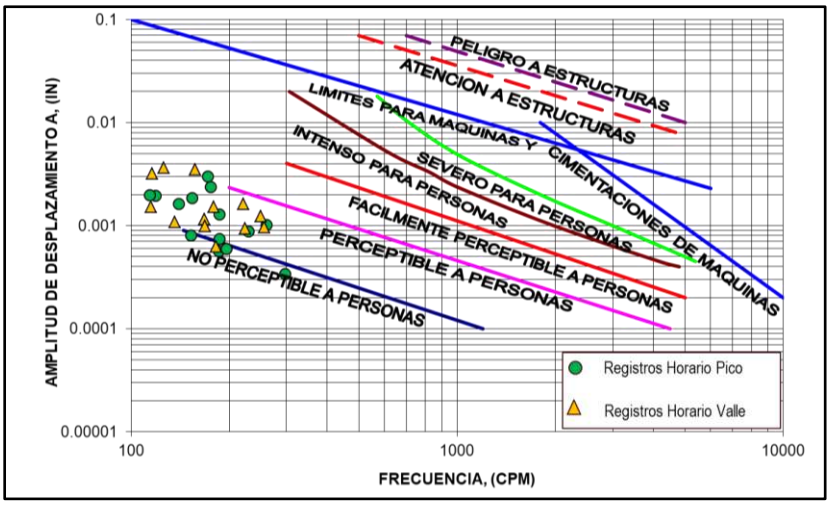


Figura 983. Niveles de vibración para el punto de registro 2: Estación 1.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

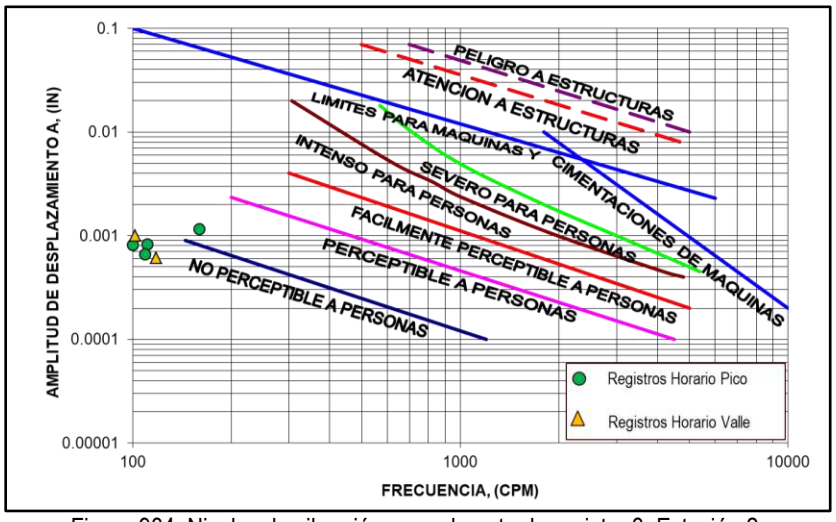


Figura 984. Niveles de vibración para el punto de registro 3: Estación 2.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

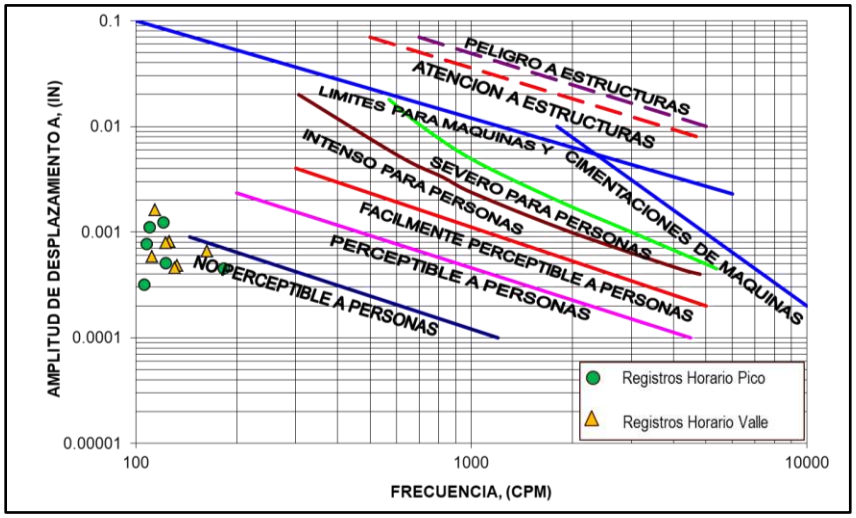


Figura 985. Niveles de vibración para el punto de registro 4: Estación 3.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

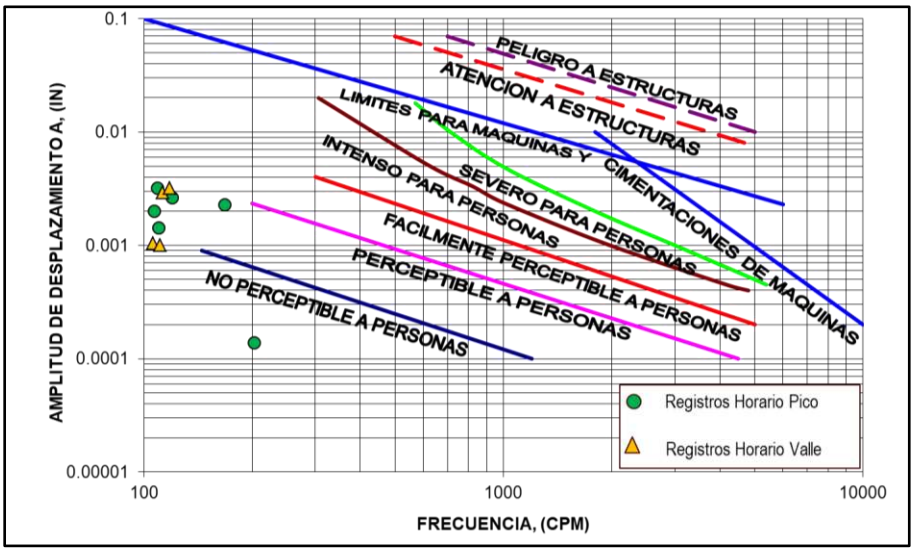


Figura 986. Niveles de vibración para el punto de registro 5: Estación 4.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

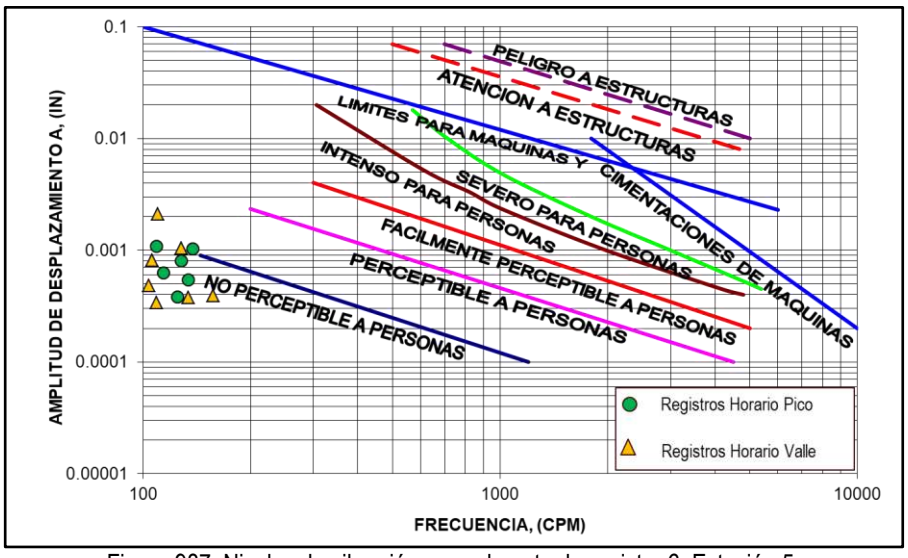


Figura 987. Niveles de vibración para el punto de registro 6: Estación 5.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

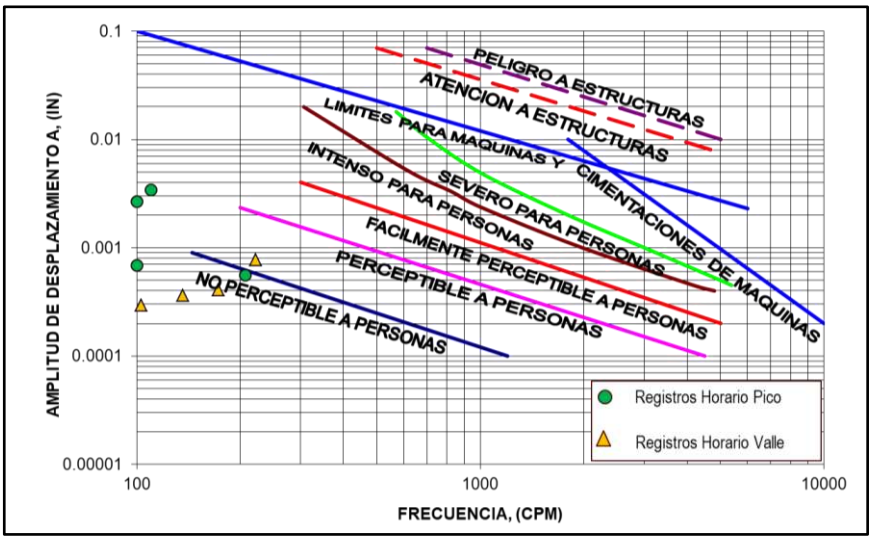


Figura 988. Niveles de vibración para el punto de registro 7: Estación 6.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

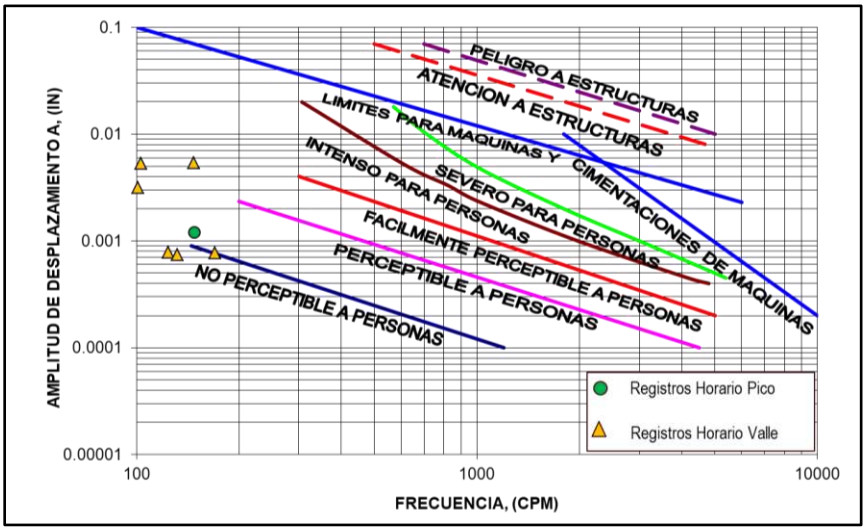


Figura 989. Niveles de vibración para el punto de registro 8: Estación 7.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

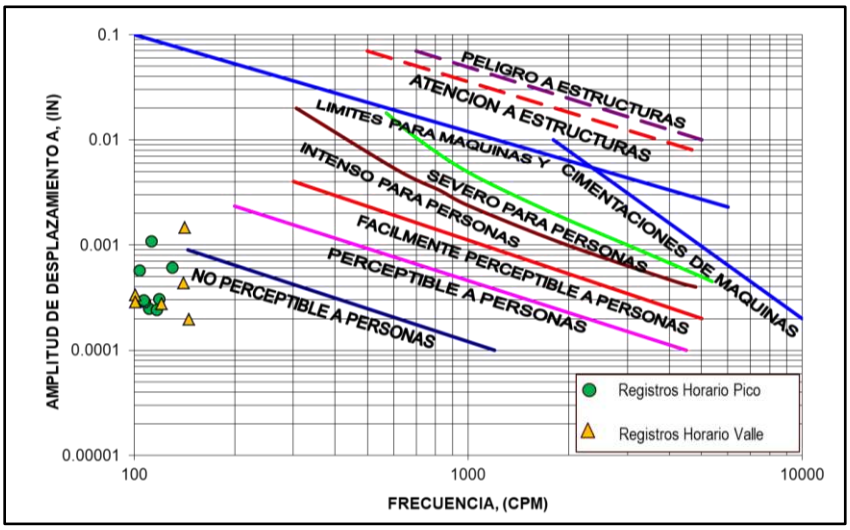


Figura 990. Niveles de vibración para el punto de registro 9: Estación 8.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

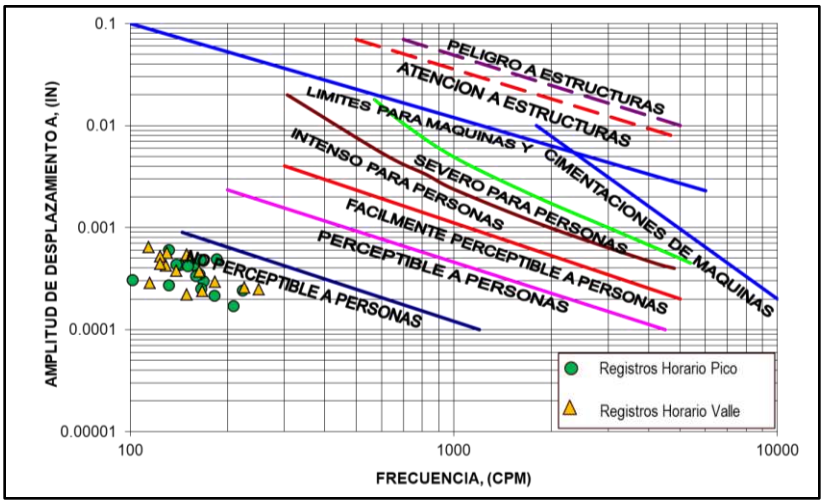


Figura 991. Niveles de vibración para el punto de registro 10: Cruce Juan Amarillo.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

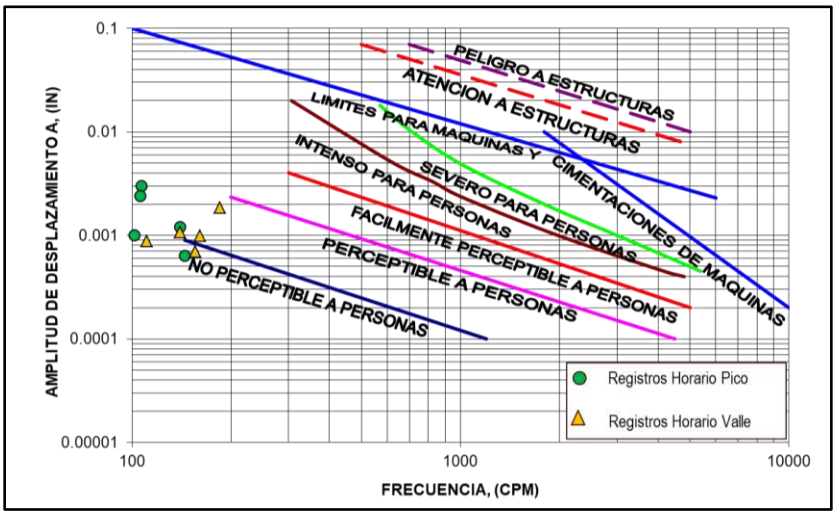


Figura 992. Niveles de vibración para el punto de registro 11: Estación 9.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

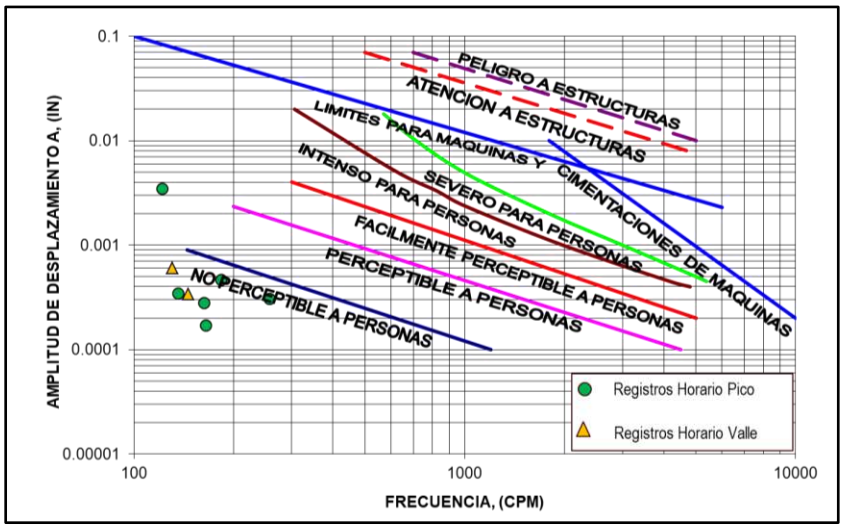


Figura 993. Niveles de vibración para el punto de registro 12: Estación 10.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

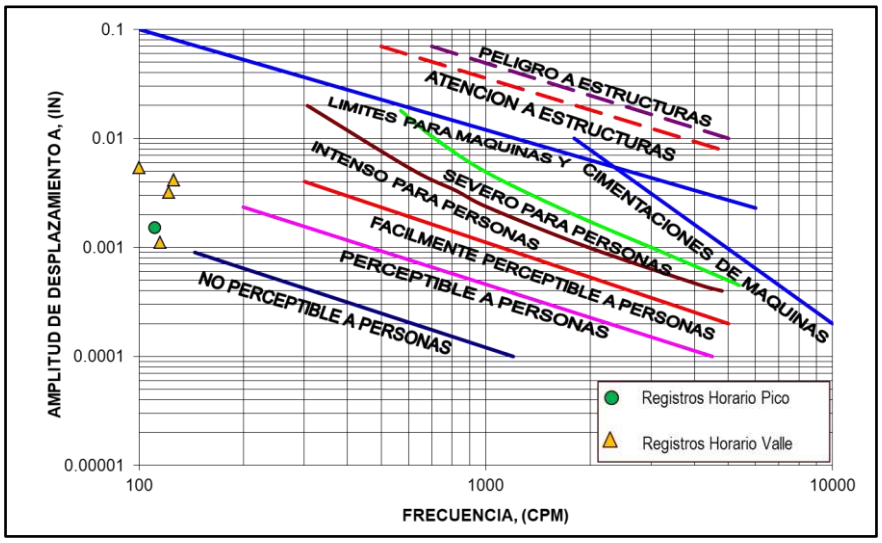


Figura 994. Niveles de vibración para el punto de registro 13: Salida de la máquina.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

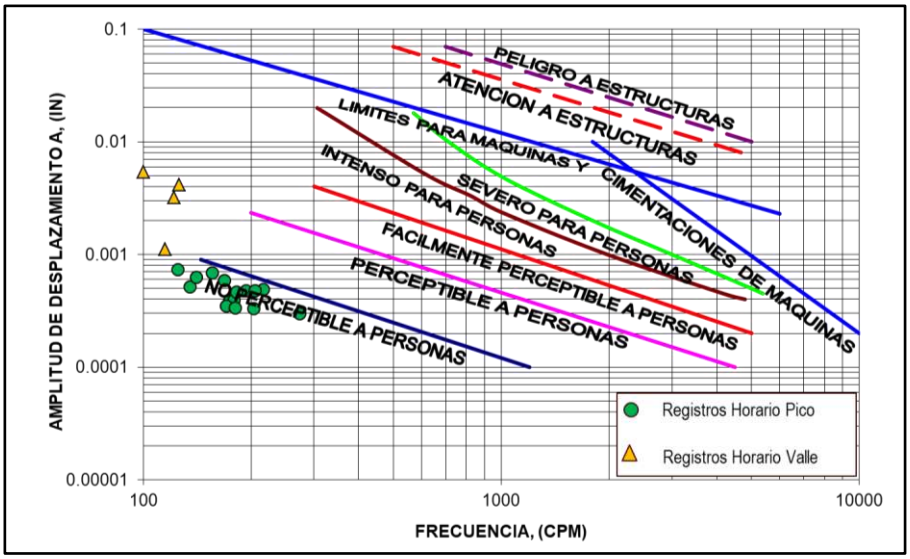


Figura 995. Niveles de vibración para el punto de registro 14: Estación 11.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

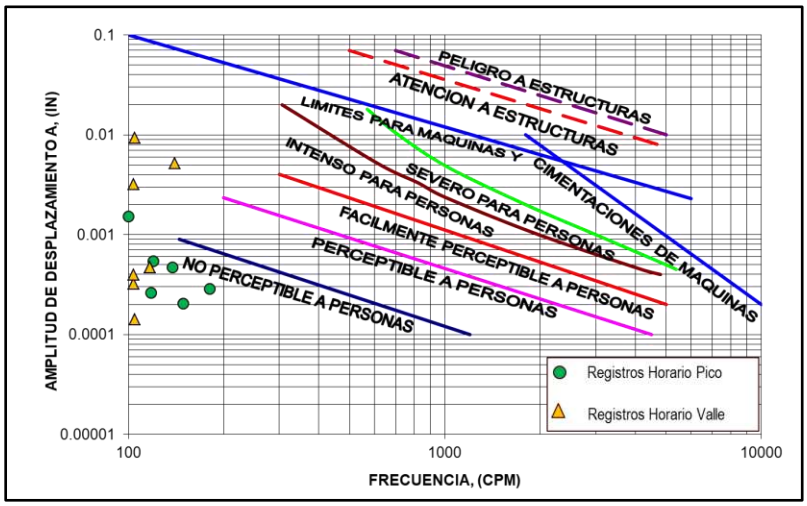


Figura 996. Niveles de vibración para el punto de registro 15: Patio Taller.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

La Fotografía 76 muestra algunas imágenes del monitoreo de vibraciones ejecutado a lo largo del corredor del proyecto.



Fotografía 76. Registro fotográfico mediciones de vibraciones para la definición de la línea base del proyecto.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.5.4.2. Análisis de resultados

Una vez efectuado el procesamiento de los registros de vibraciones, acorde a los requerimientos de los términos de referencia, se determinaron los valores de intensidad y rangos frecuenciales característicos de cada uno de los puntos de medición. La Tabla 474 presenta la caracterización de los niveles de vibración en cada punto de registro. En general se encuentra que los niveles de vibración a lo largo del corredor proyectado varían entre No perceptible a personas a fácilmente perceptible a personas, superando en 12 de los 15 de los sitios de análisis el umbral definido de percepción de personas (velocidad de partícula igual a 0,15 mm/s). Con lo anterior, se puede concluir que en gran parte del corredor actualmente se superan los límites de percepción y los valores promedio de velocidad de partícula máxima en los 15 puntos de medición corresponde a 0,48 mm/s, valor que excede el límite normalmente definido para percepción humana en horario diurno de 0,30 mm/s.

En ninguno de los sitios de registro se identificó niveles de vibración que puedan ser asociados con exceder los umbrales más estrictos de daño estructural (PGV > 3 mm/s) por lo cual la caracterización de los niveles de vibración a lo largo del corredor es definida como por encima de los límites de percepción humana pero significativamente menor que los umbrales de daño estructural.

En todos los casos la fuente de vibración principal corresponde al tráfico automotor, identificando mayores niveles de vibración en los puntos que se encuentran más cercanos a los ejes viales principales de la ciudad.

Tabla 475. Valores de intensidad máximos y frecuencias representativas de los registros de vibración para la línea base de la L2MB

Punto de Análisis	PGA (g)	PGV (mm/s)	PGD (mm)	f_{media} (Hz)	$f_{Nakamura}$ (Hz)	Clasificación Nivel de vibración	Periodo fundamental calculado con el método de Nakamura (s)
Entrada de la máquina	0.005015	1.04	1.59	2.80	0.55	Perceptible a fácilmente perceptible a personas	1.82
Estación 1	0.002508	0.31	0.09	2.84	0.30	Perceptible a personas	3.33
Estación 2	0.000846	0.13	0.09	1.40	0.30	No Perceptible a perceptible para personas	3.33
Estación 3	0.001244	0.27	0.42	1.66	0.25	Perceptible a personas	4.00
Estación 4	0.002171	0.71	0.66	1.50	0.28	Perceptible a fácilmente perceptible a personas	3.57
Estación 5	0.005005	0.28	0.48	1.60	0.22	Perceptible a personas	4.55
Estación 6	0.003150	0.76	0.98	1.50	0.25	Perceptible a fácilmente perceptible a personas	4.00
Estación 7	0.003405	0.68	1.11	1.30	0.28	Perceptible a fácilmente perceptible a personas	3.57
Estación 8	0.000836	0.11	0.11	1.47	0.29	No Perceptible a perceptible para personas	3.45
Cruce del Juan Amarillo	0.000479	0.06	0.07	2.36	0.22	No Perceptible para personas	4.55
Estación 9	0.001794	0.77	1.27	1.31	0.19	Perceptible a fácilmente perceptible a personas	5.26
Estación 10	0.002141	1.19	1.65	1.22	0.18	Perceptible a fácilmente perceptible a personas	5.56
Salida de la máquina	0.001865	0.24	0.20	1.30	0.18	Perceptible a personas	5.56
Estación 11	0.000652	0.36	0.52	2.23	0.18	Perceptible a fácilmente perceptible a personas	5.56
Patio Taller	0.002956	0.34	0.24	1.42	0.16	Perceptible a personas	6.25

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Como se mencionó anteriormente las frecuencias predominantes de vibración son relativamente bajas (en el rango de 1 Hz a 3 Hz), lo cual induce que se presenten niveles de desplazamiento de partícula altos cuando se compara con los niveles de aceleración correspondientes y permite establecer que el rango de umbrales que deben ser adoptados corresponde con el rango mínimo definido en la norma DIN 4150 (frecuencias dominantes menores a 10 Hz).

La Figura 992 presenta los valores máximos de velocidad de partícula registrados en los diferentes puntos de monitoreo. Como se ha mencionado anteriormente, se puede observar que los valores máximos están por encima de los límites de

percepción humana pero son inferiores a los umbrales de daño. Los puntos en los cuales se registran los menores niveles de vibración son la estación 8 (Calle 127 con Carrera 93) y el cruce del corredor en el humedal Juan Amarillo con valores de velocidad de partícula inferiores al límite establecido de percepción humana. En los dos casos se identifica una distancia igual o superior a 9 m entre el eje vial y el paramento de las edificaciones contiguas producto de la cicloruta presente en la localiziación de la estación 8 y la ronda del humedal en el caso del cruce del humedal Juan Amarillo.

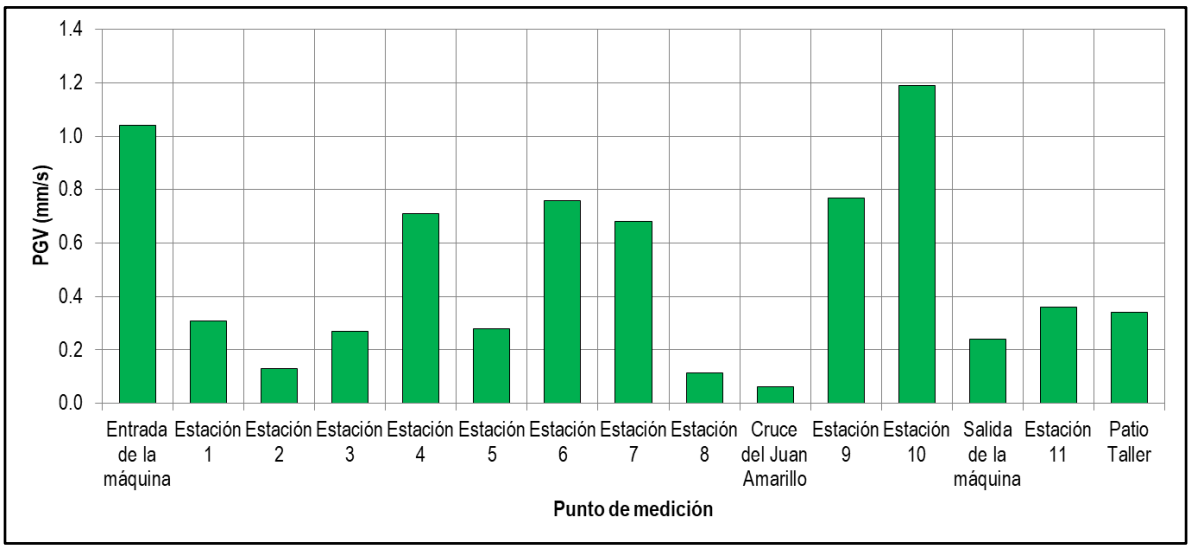


Figura 997. Velocidad de partícula máxima
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En relación a la aceleración máxima (PGA por sus siglas en inglés) se encuentra que los puntos que presentan mayores niveles de aceleración corresponden con el punto de entrada de la máquina (Centro Comercial Avenida Chile) y la estación 5 en donde se registraron valores de aceleración máximos del orden de 0,5 % de la gravedad (0,049 m/s²), tal y como se presenta en la Figura 993. Cuando se compara el valor de aceleración máximo registrado con la aceleración de diseño definida en la norma colombiana vigente NSR-10 (AIS, 2010) que para la ciudad de Bogotá de 0,15 g y en la Microzonificación de Bogotá (Decreto 523 de 2010) con un rango de aceleración entre 0,13 g y 0,20 g se encuentra que los niveles de vibración originados por el tráfico automotor en el corredor de análisis son en el peor de los casos el 4% del valor de aceleración de diseño para edificaciones. Lo anterior reafirma el concepto de que los niveles de vibración que se registraron en la zona de estudio están muy por debajo de los niveles que son asociados con daño de infraestructura.

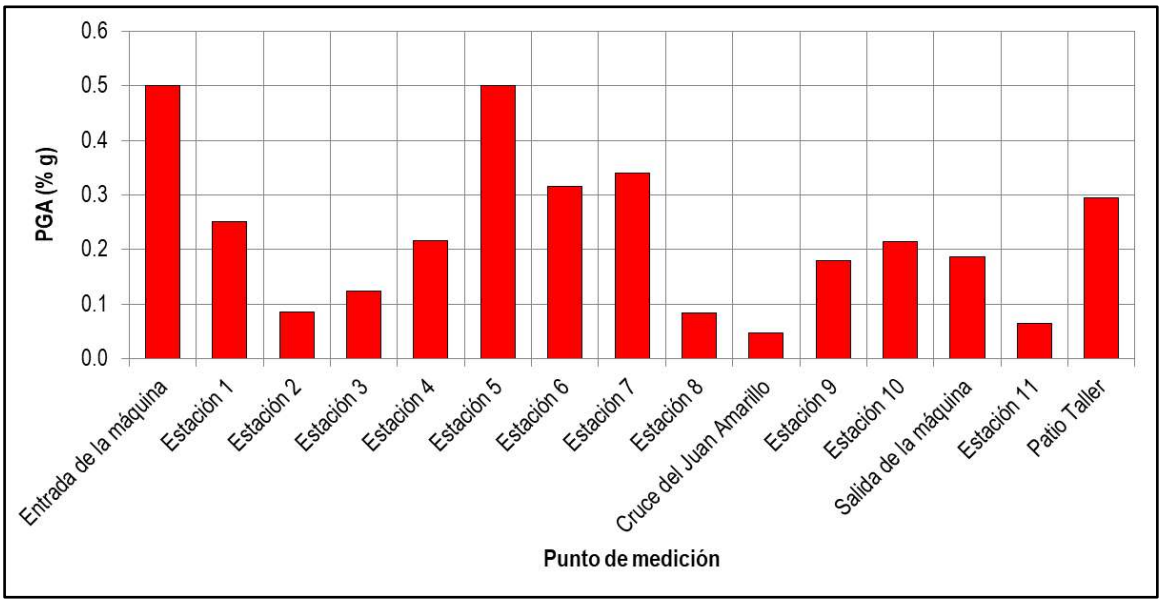


Figura 998. Porcentaje aceleración máxima (PGA por sus siglas en inglés)
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

En la Figura 994 y Figura 995 se presentan las frecuencias de vibración dominantes de los registros efectuados y el periodo fundamental del depósito de suelo determinado mediante la aplicación del método de Nakamura respectivamente. Como se ha mencionado anteriormente las frecuencias dominantes de vibración inducidas por el tráfico automotor son bajas. En relación a los resultados de la aplicación del método de Nakamura se encuentra una buena coincidencia entre los periodos calculados y los modos de vibración fundamentales del depósito identificados en el estudio de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Bogotá.

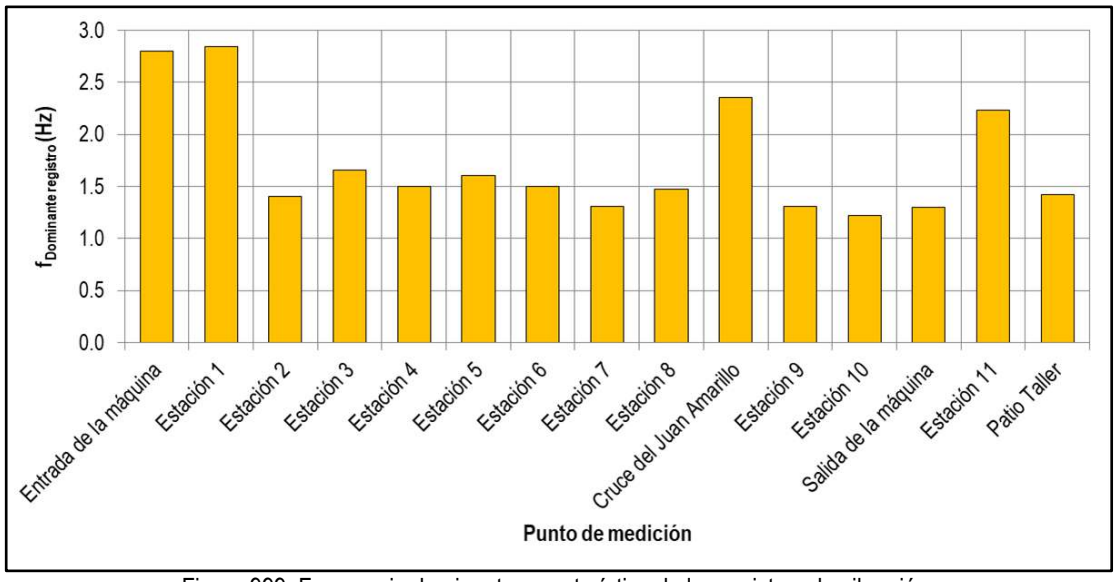


Figura 999. Frecuencia dominante característica de los registros de vibración.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

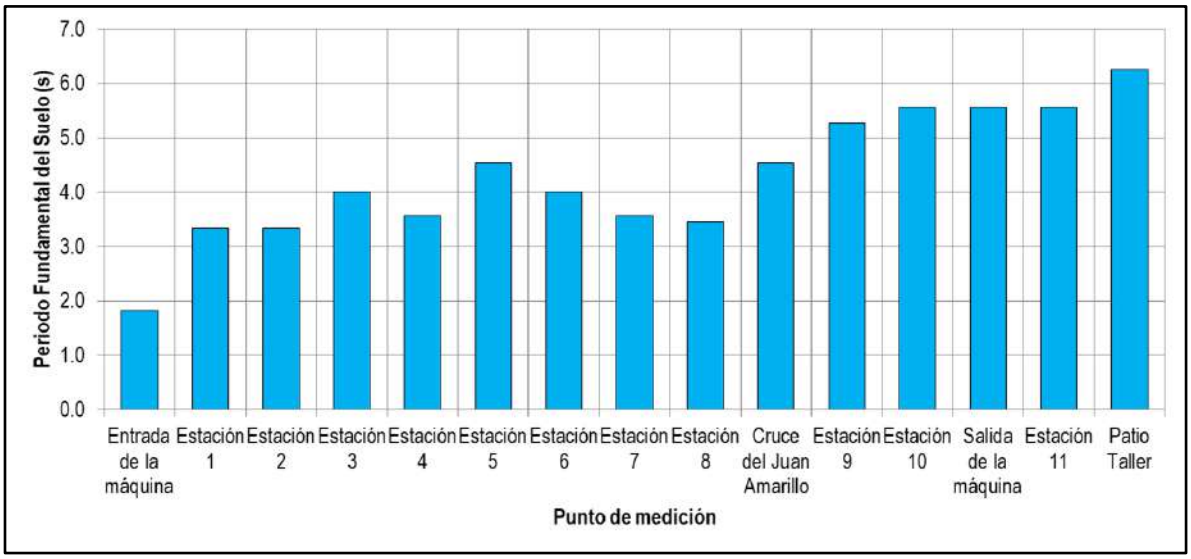


Figura 1000. Periodo dominante de respuesta del subsuelo calculado utilizando el método de Nakamura.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

5.2.3.5.5. Predicción de los niveles de vibraciones

La caracterización de los niveles de vibración para la condición con proyecto se desarrolló siguiendo la metodología propuesta por la FTA (2018) y las particularidades y especificaciones del material rodante y la conexión Material Rodante - Riel - Estructura que se definan en el diseño. Para la determinación de los impactos para la condición con proyecto se desarrollará una comparación entre los niveles de vibración estimados y los umbrales de comportamiento previamente establecidos.

Tal y como ha sido mostrado en la definición del área de influencia para la temática de vibraciones se desarrolló un modelo de predicción de vibraciones y ruidos estructurales, aplicable al proyecto de acuerdo a la información recopilada, para representar la línea base (información levantada antes de cualquier actividad o intervención de obra del Proyecto), la Construcción y la Operación y Mantenimiento del proyecto. Estos resultados del modelo, son la base para la definición de las medidas para la prevención, control, mitigación, corrección de las vibraciones y ruidos estructurales, teniendo en cuenta lo establecido en los ET-05 (FDN-2021).

Escenario de construcción

Para el escenario de construcción las áreas en donde se espera un aumento de los niveles de vibración corresponden a la zona de estaciones, los pozos, los puntos de entrada y salida de la máquina tuneladora, los pozos, la zona de la trinchera y las zonas contiguas a las fundaciones del tramo elevado que se localizan aproximadamente desde la abscisa K14+500 hasta la zona de patio taller.

Teniendo en cuenta que los niveles de vibración que se sentirán en superficie por la operación de la máquina tuneladora son muy inferiores a los umbrales de percepción humana (velocidad de partícula igual a 0,15 mm/s), la evaluación de la zona de influencia directa para este escenario requiere identificar la maquinaria de construcción que será empleada en superficie. Como ya ha sido presentado para la temática de ruido, la maquinaria de construcción que se proyecta utilizar

en las zonas contiguas a las estaciones y los puntos de entrada y salida de la máquina tuneladora corresponde a los equipos listados en la siguiente Tabla.

Tabla 476. Maquinaria escenario de construcción

Tipo de maquinaria	Cantidad
Bulldozer	2
Carrotanque	1
Volqueta	2
Mixer	1

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Utilizando como referencia las relaciones predictivas de vibración propuestas por la FTA (2018) que para la maquinaria prevista a utilizar se esperan niveles de vibración (velocidad de partícula) entre 2,3 mm/s y 1,9 mm/s a una distancia de 7,6 m medida desde la máquina. Tomando el nivel más crítico (2,3 mm/s a 7,6 m) y el umbral de 3 mm/s se encuentra que la distancia del equipo a la edificación más cercana debe ser de superior a 6,3 m con el fin de dar cumplimiento al requerimiento más estricto de la norma DIN 4150. Con base en lo anterior se para el escenario de construcción se define un área de influencia directa para la temática tomando las áreas proyectadas de las estaciones y de la zona de trinchera y generando un corrimiento (offset) de 6,3 m hacia afuera del límite de estas áreas.

Escenario de operación

Para el escenario de operación se utiliza preliminarmente el umbral más restrictivo correspondiente a zona residencial y horario nocturno es decir una velocidad de partícula máxima de 0,15 mm/s. La evaluación de los niveles de vibración generados por el tránsito del material rodante se establece con base en el manual de la Administración Federal de Tránsito de los Estados Unidos para la evaluación de los impactos por vibraciones de proyectos férreos, en el cual se propone una metodología de evaluación de impactos por vibración que incluye los siguientes pasos (FTA, 2018):

1. Definir la categoría de uso del terreno.
2. Identificar la frecuencia de los eventos en cada segmento del corredor.
3. Aplicar el criterio general de impacto bajo las consideraciones de uso de suelo y frecuencia de los eventos (pasos 1 y 2) lo cual incluye las siguientes subactividades.
    a. Seleccionar la curva base para vibraciones en superficie.
    b. Aplicar ajustes.
    c. Inventario de impactos por vibración.

A continuación se describe el paso a paso de la metodología implementada para la evaluación del impacto de vibraciones en el caso de la L2MB.

Paso 1: Definir la categoría de uso del terreno

En este paso se procede a evaluar el tipo de edificaciones que se encuentran cerca al corredor férreo relacionado con el nivel de sensibilidad de las actividades que se desarrollan en las edificaciones próximas al corredor férreo. En la cercanía al corredor férreo proyectado no se encuentran edificaciones que puedan ser caracterizadas como edificios especiales o edificaciones muy sensibles a vibraciones como es el caso de teatros para conciertos, estudios de grabación y televisión,

edificios con equipos de alta precisión óptica (microscopios), hospitales con equipos muy sensibles a vibración entre otros. Por lo que, la clasificación según la FTA (2018) de las edificaciones que se encuentran a lo largo del corredor es residencial o institucional.

Paso 2: Identificar la frecuencia de los eventos en cada segmento del corredor.

Teniendo en cuenta que el impacto asociado con vibraciones, en particular la respuesta o efectos al ser humano está condicionada por el número de eventos que ocurren en un tiempo dado, es necesario considerar la frecuencia de los eventos. Para el caso del sistema de la L2MB y en general para todos los sistemas de metro y tránsito rápido (*subway and rapid transit*) los eventos asociados con la generación de vibraciones son clasificados como frecuentes teniendo en cuenta que hay más de 70 eventos (pasos de tren) al día.

Paso 3: Aplicar el criterio general de impacto bajo las consideraciones de uso de suelo y frecuencia de los eventos

En este paso se identifican los impactos asociados con el paso del material rodante mediante la definición de umbrales de sensibilidad humana dado que, como lo define la Administración Federal de Tránsito de los Estados Unidos, es extremadamente extraño que las operaciones férreas puedan generar daños sustanciales o incluso daños cosméticos a edificaciones. Aún en casos de edificaciones frágiles (edificios históricos) no se espera que pueda ocurrir daño a menos que la vía férrea esté muy cerca del paramento de la edificación.

El manual de la FTA de evaluación de impacto por vibraciones utiliza como unidad de referencia para caracterizar las vibraciones el VdB que se relaciona con la velocidad de partícula mediante la siguiente ecuación:

$$L_v = 20 \log\left(\frac{v}{v_{ref}}\right)$$

.

Ecuación 85. Nivel de velocidad

En donde,

- Lv: es el nivel de velocidad, en VdB
- v: es la velocidad de partícula cuadrática media (en mm/s o in/s)
- vref: es la velocidad de referencia que para el caso de la FTA (in/s) corresponden a $1x10^{-6}$ in/s.

Como se puede apreciar la escala de niveles de vibraciones que aplica es logarítmica análoga a la empleada en el caso de evaluación y monitoreo de ruido. La Figura 996 muestra la equivalencia entre VdB y mm/s que se obtiene de la ecuación presentada anteriormente.

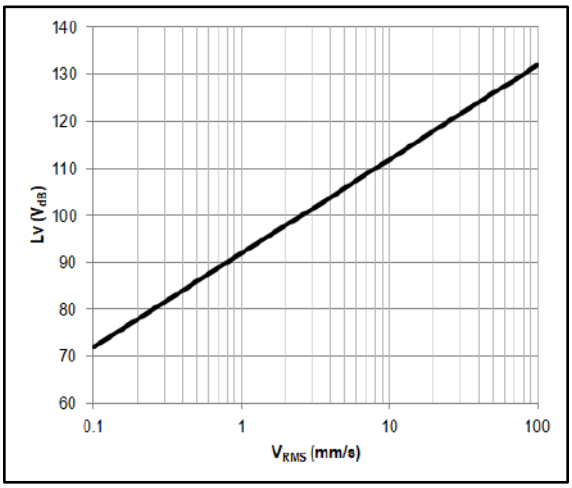


Figura 1001. Relación velocidad de partícula y VdB
Fuente: FTA (2018).

En donde se observa que velocidades de partícula de 0,10 mm/s, 0,15 mm/s, 0,30 mm/s, 0,50 mm/s, 1 mm/s, 3 mm/s y 8 mm/s corresponden a 72 VdB, 75 VdB, 81 VdB, 86 VdB, 92 VdB, 101 VdB y 110 VdB, respectivamente.

Como se mencionó anteriormente, el criterio de la FTA está basado en sensibilidad humana y no daño, lo anterior teniendo en cuenta que para la FTA la ocurrencia de daños en edificaciones por la operación de sistemas férreos livianos, como el caso de la L2MB, es extremadamente inusual. Para el tipo de edificaciones que se encuentran cerca del corredor férreo la situación crítica en relación con el impacto son las edificaciones residenciales en donde el límite de vibración establecido corresponde a 75 VdB (residencial nocturno) es decir cerca de 0,15 mm/s, lo cual se traduce en cerca del 5,0% del umbral de daño más estricto definido en la norma DIN 4150 (3 mm/s).

Es importante anotar que el límite umbral de nivel de vibraciones propuesto por la FTA (2018) está en función del tipo de uso de las edificaciones (residencial, oficinas, industrial), el horario (diurno o nocturno) y los niveles de vibración presentes en la condición de línea base. La evaluación desarrollada se basa en la condición crítica que corresponde a uso residencial nocturno en donde los criterios de sensibilidad humana son más estrictos.

La siguiente subactividad en la definición del impacto por vibraciones propuesta por la FTA (2018) es la selección de una curva característica de vibraciones para el caso del tipo de material rodante proyectado en el diseño de la L2MB. En este caso la curva base predictiva de vibración es la siguiente:

$$L_v = 85.88 - 1.06\log(D) - 2.32\log(D)^2 \\ -0.87\log(D)^3$$

Ecuación 86. Proyección nivel de vibración

Donde,

- Lv es el nivel de vibración en VdB
- D es la distancia en pies desde la línea férrea en pies (ft)

Convirtiendo las unidades de nivel de vibración y la distancia a metros se obtiene la Figura 997.

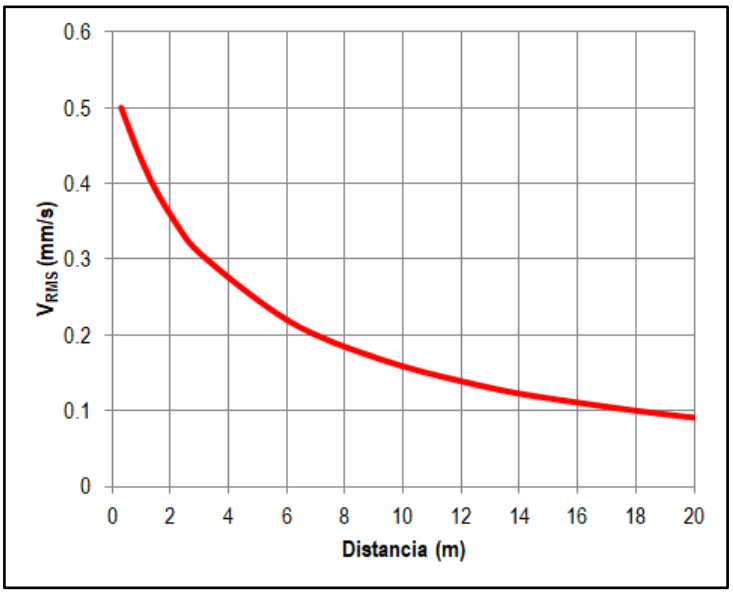


Figura 1002. Curva base estimación de niveles de vibración
Fuente: Adaptado de FTA (2008)

En la Figura 997 se muestra que para la curva base de vibraciones, para el tipo de material rodante proyectado en el proyecto L2MB y para distancias inferiores a 1 m, los niveles de vibración esperados generados por el paso del material rodante sería inferior a 0,5 mm/s, es decir 17% del umbral de velocidad de partícula más restrictivo de la norma DIN 4150.

El siguiente paso en la metodología de la FTA es ajustar la curva base de predicción de vibraciones para tener en cuenta las condiciones particulares del sistema diseñado.

Para el caso del sistema de la L2MB se empleará un vehículo eléctrico ligero con una velocidad operacional máxima de 80 km/hr. Teniendo en cuenta que el vehículo proyectado es eléctrico se requieren ajustes en relación con el modo de tránsito en relación con la curva base. La velocidad de referencia de la curva base es de 50 millas/hr (80 km/hr), para una velocidad operacional máxima proyectada de 80 km/hr no se requieren ajustes por la velocidad máxima de operación. Teniendo en cuenta la información de referencia que describe la transmisión y las condiciones esperadas de la vía no se requiere la implementación de ajustes a la curva base.

Los perfiles estratigráficos presentes en la zona de estudio son caracterizados por la presencia de depósitos de suelo principalmente con baja resistencia (arcillas y limos) y un alto espesor (en algunos casos superior a 200 m); por lo anterior, se debe considerar posibles efectos de amplificación dinámica referidos en el manual de la FTA cómo efficient propagation; para estas condiciones el manual de la FTA recomienda ajustar la curva adicionando un valor de nivel de vibraciones de 10 VdB a la curva base. Se anota que este factor de ajuste puede ser muy conservador puesto que implica que se presentará amplificación dinámica a lo largo del corredor férreo. Este efecto deberá ser corroborado con base en los monitoreos de vibraciones que se deberán realizar durante la etapa de marcha blanca (pruebas del sistema).

Por último, considerando que la mayor parte de las estructuras que se encuentran a lo largo del corredor férreo son estructuras de mampostería entre 1 a 2 pisos, el ajuste por efectos de acoplamiento con la cimentación de las edificaciones requieren un ajuste de restar 7 VdB al resultado de la curva base.

Con base en lo anterior, el ajuste a la curva base para tener en cuenta las condiciones particulares del sistema diseñado es sumar 3,00 VdB al estimativo utilizando la curva base. Adicionalmente la FTA (2018) define que para secciones

enterradas (sector subterráneo) se debe restar 5 VdB a la curva base y para secciones elevadas restar 10 VdB. Con lo cual la curva de predicción de vibraciones para el caso de la L2MB es la mostrada en la Figura 998.

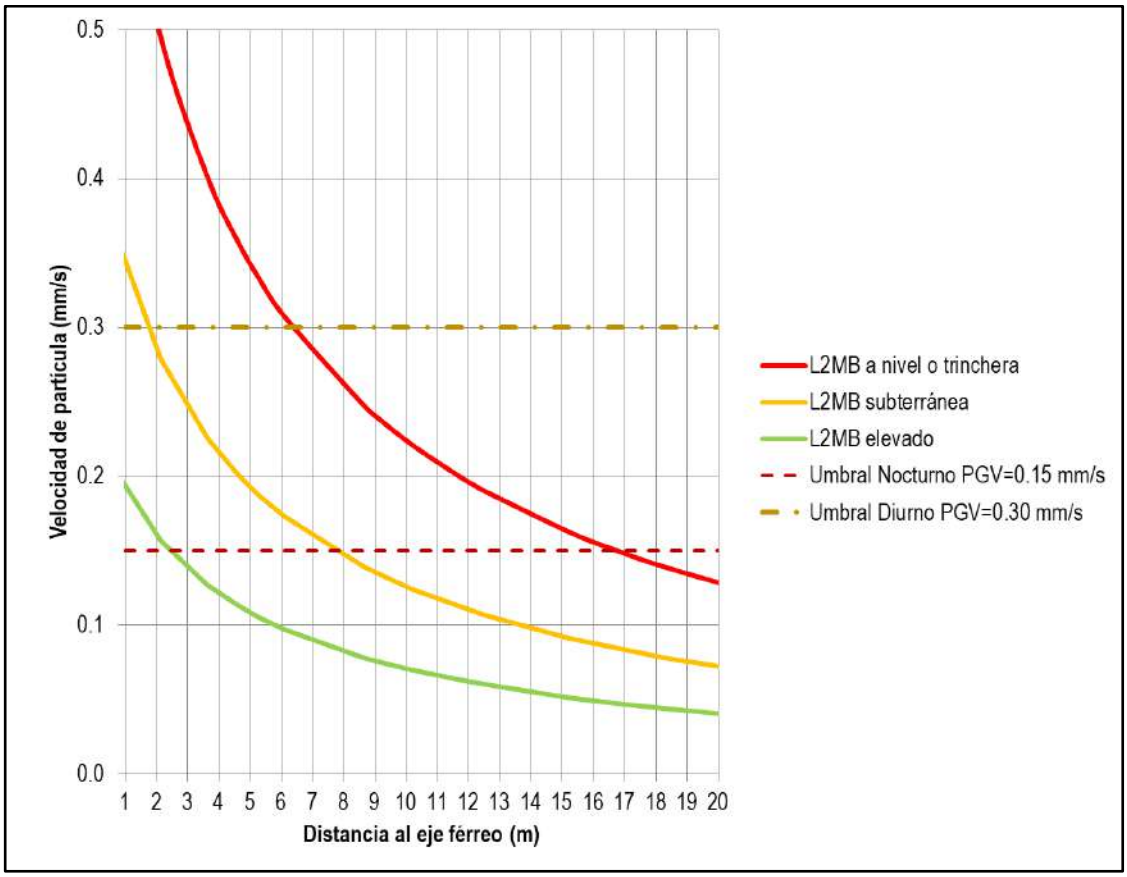


Figura 1003. Curva de estimación de niveles de vibración ajustada
Fuente: adaptado de FTA (2008)

Con relación a los umbrales asociados con percepción humana definidos por la FTA (2018), y teniendo en cuenta que la FTA (2018) para eventos frecuentes de vibración y los niveles de vibración existentes permite exceder el nivel de vibraciones en un máximo de 3 VdB, con lo que se obtiene un valor de 75 VdB o 0,15 mm/s como umbral de vibraciones siguiendo criterios de sensibilidad humana para la condición crítica de análisis que corresponde con horario nocturno y uso de edificación residencial. El valor umbral de 0,15 mm/s es consistente con la definición de niveles de umbral de percepción humana propuestos en la norma AS 2670.2-1990, la norma ISO 2631-1 y la propuesta del Laboratorio de Investigación en Transporte y Vías (TRRL por sus siglas en inglés). Utilizando la ecuación ajustada se encuentra que para las condiciones proyectadas para el material rodante del proyecto la distancia para la cual no se esperan impactos asociados con percepción humana es de 16,5 m, 8,0 m y 2,5 m para los sectores a nivel o trinchera, subterráneo y elevado respectivamente. Para el caso del umbral de vibración asociado con un horario diurno (0,30 mm/s) la distancia mínima requerida corresponde a 6,5 m para el tramo a nivel o en trinchera y es menor a 2 m para los casos subterráneo y elevado. Nuevamente se anota que con las estimaciones realizadas los niveles de vibración proyectados por el tránsito del material rodante son muy inferiores a los umbrales de daño (3 mm/s), por lo que el análisis de impactos por aumento de los niveles de vibración está asociado a niveles de percepción humana.

5.2.3.5.6. Identificación de estructuras vulnerables a lo largo del trazado

Partiendo de la categorización de estructuras definidas en el Estándar DIN 4150 (véase Tabla 472), se clasificaron las estructuras ubicadas, con mayor cercanía, a lo largo del alineamiento del L2MB. Lo anterior, con el fin de identificar su vulnerabilidad ante una posible variación en los niveles de vibración que pueden presentarse por la construcción y operación del mismo.

El Anexo 5.2 - 15.4 presenta el listado con el tipo de estructuras identificadas, mientras que el detalle con el levantamiento de la información se presenta en el Anexo 5.2 - 15.5. En general, se detalla Número de Identificación de Edificación / Estructura, la distancia al eje del alineamiento del L2MB, las coordenadas con su ubicación, la dirección, el uso actual de la edificación, la altura, el número de pisos, el tipo de cimentación, la características de la estructuras y el estado general de las mismas. Cada una de esta información acompañada de un registro fotográfico que ayuda a su identificación.

Particularmente, en el tramo en el que el metro se desarrolla tipo trinchera, en mediaciones a la abscisa K14+300 del trazado de la L2MB, se identificó una zona en la que se concatenan dos condiciones particulares: (1) es la zona a lo largo del trazado en la que se prevé los niveles de vibraciones tendrán una mayor área de percepción, precisamente por corresponder con la condición de trinchera (véase Figura 998) y, (2) corresponde a una de las zonas en las que las estructuras se encuentran con mayor cercanía al alineamiento de la L2MB (véase Figura 999).



Figura 1004. Zona trinchera, estructuras ubicadas en el límite del Área de Influencia de vibraciones.
Fuente: UT MOVIUS, 2022.

Tal y como se presentó en la Figura 999, tres estructuras se encuentran en el Área de Influencia (AID y AII) del componente de vibraciones (delimitado por el color cyan), delimitada una distancia de 16,5 m del trazado de la L2MB (particularmente en esta zona trinchera). Estas tres estructuras se encuentran a distancia en planta de la proyección del trazado del metro de 13,5 m, 13,8 m y 14,2 m. Según la proyección de los niveles de vibración presentado en la Figura 998, a estas distancias se estima que la velocidad pico de partícula sería de hasta 0,17 mm/s.

Esta predicción de nivel de vibración asociado a 0,17 mm/s fue calculado considerando un vehículo eléctrico ligero con una velocidad operacional máxima de 80 km/hr, sin embargo y considerando que este punto en específico se da posterior a una curva y previo a llegar a la Estación 11. esta puede ser menor. Así mismo, teniendo en cuenta que los perfiles

estratigráficos presentes en la zona de estudio son caracterizados por la presencia de depósitos de suelo principalmente con baja resistencia (arcillas y limos) y un alto espesor (en algunos casos superior a 200 m); se consideró posibles efectos de amplificación dinámica referidos en el manual de la FTA. Este factor de ajuste puede ser muy conservador puesto que implica que se presentará amplificación dinámica a lo largo del corredor férreo, por lo que deberá ser corroborado con base en los monitoreos de vibraciones que se deberán realizar durante la etapa de marcha blanca (pruebas del sistema).

Con la velocidad pico de partícula de 0,17 mm/s se cumple el valor límite máximo permisible para generar afectación en estructuras (3,0 mm/s), para percepción humana en zonas no residenciales y diurnos (0,3 mm/s) y para percepción humana según lo establece la norma ISO 2631-1 (0,17 mm/s). No obstante lo anterior, no se cumpliría lo establecido en la propuesta del Laboratorio de Investigación en Transporte y Vías (TRRL por sus siglas en inglés), correspondiente a una velocidad pico de partícula de 0,15 mm/s. El valor de velocidad pico de partícula límite propuesto por el Laboratorio de Investigación en Transporte y Vías (TRRL por sus siglas en inglés) fue el mismo adoptado para el presente estudio.

Adicionalmente, es relevante aclarar que actualmente en la zona previamente referenciada (al igual que en la mayor parte del trazado), se identifica que los niveles de vibración que superan el valor límite establecido de 0,15 mm/s. Particularmente, según se presenta en la Tabla 474, los valores de velocidad pico de partícula durante las labores de monitoreo en la que será la salida de la maquinaria fue de 0,24 mm/s.

Con base a lo anterior y con el objetivo de mitigar que se de una ligera percepción humana de vibraciones producto de la operación de la L2MB en los predios previamente referenciados (véase Figura 999), a continuación se presentan algunos de los métodos sugeridos en el FTA (2018), con el fin de que puedan ser abordados de manera específica en esta zona con el fin de mitigar los efectos sobre los residentes de estos predios.

Tratamientos sobre la fuente generadora de vibraciones (metro)

Los tratamientos para mitigar niveles de vibraciones por encima de los límites, más eficaces se aplican en la fuente de vibración. Los posibles tratamientos de la fuente incluyen:

Mantenimiento preventivo: Los programas de mantenimiento son esenciales para controlar las vibraciones transmitidas por el suelo y evitar que se pueda dar un aumento en los niveles de vibraciones. Particularmente para reducir la rugosidad de las superficies de rodadura se prevé el mantenimiento periódico de ruedas y vías.

Sistemas especiales de soporte: Cuando la evaluación indique que los niveles de vibración serán excesivos o levemente superiores al límite establecido (como ocurre en el K14+300), el sistema de soporte puede requerir modificaciones para reducir los niveles generados.

Para reducir los niveles de vibración transmitida por el suelo pueden utilizarse losas flotantes, traviesas con soporte elástico, sujeciones de alta resiliencia y esteras de balasto. Para ser eficaces, todas estas medidas deben optimizarse para el espectro de frecuencias de la vibración. Cada una de las principales medidas de control de vibraciones para el soporte de la vía se discute a continuación.

- **Fijaciones elásticas**: Las fijaciones elásticas se utilizan para sujetar la vía a losas de concreto. Las fijaciones elásticas son muy rígidas en la dirección vertical, normalmente del orden de 1379 MPa, y proporcionan una cierta reducción de la vibración en comparación con los sistemas de fijación rígida.
- **Esteras de balasto**: Las esteras de balasto consisten en unas almohadillas de caucho u otro tipo de elastómero que se coloca bajo el balasto. En general, deben colocarse sobre una base de concreto para que sean eficaces.
- **Almohadillas para anclajes inferiores**: O anclajes de concreto con soporte elástico, consisten en una almohadilla de caucho montada en la parte inferior de un anclaje de concreto directamente sobre el balasto. Estas almohadillas aíslan de las vibraciones a frecuencias superiores a 25 Hz y son fáciles de instalar o reequipar.

- **Agregado derivado de neumáticos** (TDA): Consiste en una capa de fragmentos de neumáticos envueltos en geosintéticos que se coloca debajo del balasto sobre suelo duro. Se trata de una nueva opción de bajo coste que puede reducir los niveles de vibración a frecuencias superiores a 25 Hz. Esta medida de mitigación ha demostrado su eficacia en el sistema de ferrocarril ligero del Distrito Regional de Transporte de Denver (RTD), así como en el sistema de ferrocarril ligero de la Autoridad de Transporte del Valle de Santa Clara (VTA).

Tratamiento particular sobre el trazado en la zona de vibraciones no aceptables

Cuando los tratamientos de mitigación de vibraciones no se pueden aplicar en la fuente de vibración o se requiere una mitigación adicional después de tratar la fuente, la obra óptima de mitigación de vibraciones se puede considerar a lo largo de la trayectoria de propagación de vibraciones entre la fuente y el receptor.

Zanjas: El uso de zanjas para controlar las vibraciones transmitidas por el suelo es análogo al control del ruido aéreo con barreras acústicas. Este enfoque corresponde a un método práctico para controlar la vibración producidos en unas áreas particulares Una regla empírica dada por Richert y Hall es que si la zanja se encuentra cerca de la fuente, el fondo de la zanja debe batir al menos 0,6 veces la longitud de onda de Rayleigh por debajo de la fuente de vibración. Para la mayoría de los suelos, las ondas de Rayleigh viajan a alrededor de 180 m /s, lo que significa que la longitud de onda a 30 Hz es de 6,0 m, lo que requiere que una zanja sea de aproximadamente 4,6 m de profundidad para ser eficaz a 30 Hz.