

**METODOLOGÍA APLICADA PARA EL PLAN DE MANEJO
AMBIENTAL Y SOCIAL PARA EL PLAN DE TRASLADO,
PROTECCIÓN, REUBICACIÓN Y/O GESTIÓN DE REDES**

CONSORCIO AMBIENTAL METRO DE BOGOTÁ L1

Tabla de Contenido

3.2	METODOLOGÍA	4
3.2.1	Área de Influencia	7
3.2.2	Caracterización Medio Abiótico.....	10
3.2.3	Caracterización Medio Biótico	53
3.2.4	Demanda, Uso, Aprovechamiento y/o Afectación de Recursos Naturales.....	88
3.2.5	Identificación y Evaluación de Impactos y Riesgos Ambientales	88
3.2.6	Gestión Ambiental y Social	92
4	BIBLIOGRAFÍA	95

Índice de Tablas

Tabla 1	– Etapas de elaboración del PMAS y definición de las Áreas de Influencia.....	8
Tabla 2	– Relación de los laboratorios y resoluciones	29
Tabla 3	– Identificación de los puntos de muestreo	29
Tabla 4	– Tipo de recipientes y preservación de muestras	32
Tabla 5	– Relación de productos suministrados externamente	35
Tabla 6	– Ubicación de estaciones de calidad de aire	43
Tabla 7	– Coordenadas para la Georreferenciación de las estaciones de calidad de aire	44
Tabla 8	– Localización de los puntos de muestreo	52
Tabla 9	– Criterios para la categoría de tamaño.....	64
Tabla 10	– F. Compensación representatividad	65
Tabla 11	– F. Compensación Recarga.....	66
Tabla 12	- Indicadores espacio público verde.....	66
Tabla 13	– Categorías de distribución vertical en el forófito	75
Tabla 14	– Clases de abundancia.....	76
Tabla 15	– Clases de preferencia de forófito	76
Tabla 16	– Índices utilizados para el cálculo de la diversidad Alfa	77

Tabla 17 – Índices utilizados para el cálculo de la diversidad Beta.....	77
Tabla 18 – índices de diversidad alfa y beta.....	86
Tabla 19 – Valores de calificación para cada uno de los criterios evaluados	89
Tabla 20 – Clasificación y rangos de los impactos	92

Índice de Figuras

Figura 1 Proceso Metodológico para la elaboración PMAS	4
Figura 2 Políticas de salvaguardas de la Banca Multilateral objeto de cumplimiento en el PMAS de redes.....	5
Figura 3 Representación del proceso de definición de áreas de influencia	7
Figura 4 Metodología para la Caracterización Geológica.....	11
Figura 5 Metodología para la Caracterización Geomorfológica.....	12
Figura 6 Metodología para la Caracterización Suelos	14
Figura 7 Esquema Conceptual del método de pérdidas del SMA	19
Figura 8 Orden de los Cálculos del Modelo Durante Periodos de Precipitación o Evapotranspiración	20
Figura 9 Relación de la Infiltración Potencial como una Función del Almacenamiento Actual en el Perfil del Suelo.....	23
Figura 10 Tasa de Percolación Potencial como una Función del porcentaje total de volúmenes de almacenamiento superior e inferior	24
Figura 11 Líneas de Igual Tasa de Percolación.....	24
Figura 12 Evapotranspiración Actual Zona de Tensión	27
Figura 13 Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo	31
Figura 14 Desarrollo Metodológico para el Componente Hidrogeológico	36
Figura 15 Flujo para el Desarrollo de la Fase 1	37
Figura 16 Flujo para el Desarrollo de la Fase 3	40
Figura 17 Georreferenciación Puntos de estaciones de monitoreo de CA (puntos del 1-11)	45
Figura 18 Georreferenciación Puntos de estaciones de monitoreo de CA (puntos del 12-21)	45
Figura 19 Georreferenciación Puntos de estaciones de monitoreo de CA (puntos del 22-30)	46

Figura 20 Propuesta de Ubicación de las estaciones de Monitoreo de Calidad de aire	46
Figura 21 Propuesta de Ubicación de las estaciones de Monitoreo de Calidad de aire	47
Figura 22 Entradas típicas Modelo de dispersión de contaminantes	49
Figura 23 Esquema Metodológico del Inventario Forestal.....	55
Figura 24 Diseño del barrido de recolección.....	56
Figura 25 Actividades de registro de información	56
Figura 26 Recorrido área de afectación.....	68
Figura 27 Toma de datos	69
Figura 28 Registro de datos especies vasculares	69
Figura 29 Plantilla de acetato de 600 cm2.....	70
Figura 30 Registro de datos con plantilla de acetato de 600 cm2.....	70
Figura 31 Cuadrante de 100 x 100 cm y subcuadrante de 20 x 30 cm para cálculo de cobertura de flora no vascular de hábito rupícola, terrestres y sobre materia orgánica	71
Figura 32 Recolección de muestras no vasculares	72
Figura 33 Toma de registros especies vasculares.....	73
Figura 34 Zonificación del forófito según Johanson, 1974; Grandstein, 1996, 2003.....	74
Figura 35 Avistamientos de avifauna en puntos de observación.....	81
Figura 36 Registro de nidos en árboles inventariados.....	82
Figura 37 Método de busque libre y captura manual en Anfibios.....	82
Figura 38 Método de búsqueda libre y captura manual de Reptiles.....	83
Figura 39 Método de grabación de audios o cantos de Anfibios	83
Figura 40 Métodos empleados para el registro de mamíferos voladores.....	84
Figura 41 Avistamientos de avifauna en puntos de observación.....	85

3.2 METODOLOGÍA

En los numerales a continuación se presenta la metodología detallada considerada para la elaboración del Plan de Manejo Ambiental y Social – PMAS para el traslado, protección, reubicación y/o gestión de redes a lo largo del corredor de la Primera Línea del Metro de Bogotá – PLMB, de los medios abiótico y biótico. La metodología social se presenta en el capítulo 8 del presente estudio.

Para la elaboración de este PMAS, se tuvo en cuenta lo solicitado por el Contrato 163 de 2019 suscrito entre la Empresa Metro de Bogotá y el Concesionario Metro Línea 1, específicamente lo solicitado en el Apéndice Técnico 15, Anexo 1 Requisitos para la actualización del Estudio de Impacto Ambiental y Social de la PLMB para las Entidades Multilaterales (EIAS), incluyendo entre otros el Plan de Manejo Ambiental y Social de la PLMB para las Entidades Multilaterales y el Plan de Monitoreo y Seguimiento de la PLMB para las Entidades Multilaterales, la Metodología general para la elaboración y presentación de Estudios Ambientales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – (MAVDT, 2010); y la Guía para la definición, Identificación y Delimitación del área de influencia establecida por el (MADS y ANLA, 2018).

En la Figura 1, se presenta el proceso metodológico general, para la elaboración del Plan de Manejo Ambiental y Social – PMAS.



Figura 1 Proceso Metodológico para la elaboración PMAS

Fuente: Metro Línea 1, 2021 Actualizada por el Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

A modo general, la metodología para la elaboración del PMAS para el plan de traslado, protección, reubicación y/o gestión de redes de la PLMB, a realizar en la fase previa del proyecto PLMB, se desarrolló considerando los requerimientos contractuales establecidos en el Apéndice técnico - AT 15

correspondientes a la Gestión Ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo, Anexo 1 de este Apéndice, en el cual se describen los criterios técnicos para la actualización del Plan de Manejo Ambiental y Social y el Plan de Monitoreo y Seguimiento de la PLMB para las Entidades Multilaterales.

Es de anotar que, las características de este contrato de concesión hacen que no se presenten las condiciones ideales de todo proyecto, que consiste en adelantar los diseños al 100% y con ello iniciar los trámites y permisos ambientales para que posteriormente se construya y opere. En este caso, el proyecto de la PLMB está definido en fases que involucran muchos trabajos simultáneos como sucede en la fase previa, donde se trabaja muy en paralelo los diseños, trámites y permisos, y luego cuando se inicie la construcción de las actividades de la fase previa, en paralelo con los diseños, trámites y permisos de la fase de construcción, lo que hace que el PMAS no se presente con toda la información al nivel de detalle que se requiere y sea necesario actualizarlo después de su No Objeción.

De acuerdo con lo anterior, para el presente PMAS se estableció el área de influencia directa, considerando la definida en la Actualización del EIAS para la Primera Línea del Metro de Bogotá, la cual abarca una extensión aproximada de 22 kilómetros, aunque es importante precisar que las obras previstas en el PMAS corresponden a intervenciones discontinuas a lo largo del trazado de la PLMB. A continuación, se sintetizará el proceso de elaboración del presente estudio.

Por otra parte, y como base metodológica para la elaboración del PMAS, se acogen las Políticas de salvaguardas de la Banca Multilateral relacionadas en la Figura 2, con el objeto de garantizar la sostenibilidad ambiental del proyecto, así como prevenir, mitigar y gestionar los riesgos e impactos ambientales y sociales, potencializar los impactos positivos y mejorar el proceso de participación de los diversos actores en la toma de decisiones.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	Banco Mundial (BM)	Banco Europeo de Inversiones (BEI)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Política de medio ambiente y cumplimiento de salvaguardas (OP-703) 2. Política de gestión de riesgo de desastres naturales (OP-704) 3. Política operativa sobre reasentamiento involuntario (OP-710) 4. Igualdad de género en el desarrollo (OP-761) 5. Política de acceso a información (OP-102) 	<ol style="list-style-type: none"> 6. Evaluación ambiental (OP 4.01) 7. Manejo de pesticidas (OP 4.09) 8. Recursos físicos y culturales (OP 4.11) 9. Reasentamientos involuntarios (OP 4.12) 10. Hábitats naturales, OP/BP 4.04 	<ol style="list-style-type: none"> 11. Evaluación de impactos ambientales y sociales y riesgos. 12. Prevención y eliminación de la contaminación. 13. Biodiversidad y ecosistemas. 14. Cambio climático. 15. Patrimonio cultural. 16. Reasentamiento involuntario. 17. Derechos e intereses de grupos vulnerables. 18. Estándares laborales. 19. Salud ocupacional y pública, seguridad en el trabajo.

Figura 2 Políticas de salvaguardas de la Banca Multilateral objeto de cumplimiento en el PMAS de redes

Fuente: (Banca Multilateral, 2022)

La aplicación de cada Política será abordada en cada uno de los capítulos del presente estudio. A continuación, las siguientes precisiones:

- ▶ El reasentamiento de las unidades sociales afectadas por la adquisición predial para la construcción de la PLMB se hará de acuerdo con la Resolución 190 de 2021 “Por medio de la cual se adopta el Plan de Reasentamiento General para la Primera Línea del Metro de Bogotá, como Política de Reasentamiento y de Gestión Social para el proyecto PLMB” y que cuenta con No Objeción de la Banca Multilateral. En caso de requerirse adquisición predial en el marco de este PMAS, se deberá aplicar el respectivo Plan de Reasentamiento. Asimismo, esta política aplica en el contexto de la pérdida de los activos o del acceso a los activos y la pérdida de las fuentes de ingresos o de los medios de subsistencia, ya sea que los afectados deban trasladarse a otro lugar o no.
- ▶ Con relación a la Política de Hábitats Naturales que tiene como objetivo respaldar la protección, el mantenimiento y la rehabilitación de los hábitats naturales y sus funciones aplicando un criterio preventivo con respecto al manejo de los recursos naturales, con el fin de garantizar oportunidades de desarrollo sostenible desde el punto de vista ambiental. Así bien, en el marco del presente estudio se evaluó la aplicación de la política, sin embargo, dentro del área de estudio no se identificaron hábitats naturales vulnerables que mantengan sus funciones ecológicas esto teniendo en cuenta que el proyecto se desarrolla en áreas altamente intervenidas y de intervención antrópica.

Asimismo, se acogieron las referencias técnicas establecidas en las Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad de la (Corporación Financiera Internacional - IFC y Grupo del Banco Mundial). Es así como se complementaron los principios generales sobre medio ambiente, salud y seguridad mediante las guías de Emisiones al aire y calidad del aire, Conservación de la Energía, Aguas residuales y calidad del agua, Manejo de Materiales peligrosos, Manejo de residuos, Ruido, Suelos contaminados, Higiene y seguridad ocupacional, Higiene y seguridad de la comunidad y Construcción y desmantelamiento.

Retomando el desarrollo general del proceso metodológico, es preciso señalar que este se enmarca en un proceso iterativo, el cual ha requerido el análisis continuo, examinando las alternativas del proyecto, con el fin de identificar y mejorar la selección, ubicación, diseño e implementación del proyecto y mejorar la planificación del proyecto, de acuerdo con las Políticas de la Banca Multilateral, y específicamente en respuesta a la Política operativa de salvaguarda Evaluación ambiental (OP 4.01) del (Banco Mundial) y a la Política de Evaluación y gestión de impactos y riesgos ambientales y sociales del (Banco Europeo de Inversiones). En ese sentido, a continuación, se sintetizará el proceso de elaboración, sin embargo, debe entenderse en este contexto, eximido de un proceso lineal.

3.2.1 Área de Influencia

La ejecución del proceso partió de la identificación de las áreas a intervenir, las actividades a realizar y la definición de los procesos constructivos por los Departamentos de Diseño y Construcción del Concesionario ML1. Esto en trabajo conjunto con la consultoría ambiental.

La metodología para la definición de áreas de influencia se fundamenta en la base conceptual referida en el artículo 2.2.2.3.1.1 del (Decreto 1076 de 2015), la Guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia del (MADS y ANLA, 2018) y el Apéndice Técnico AT 15: (Anexo 1 - Requisitos para la actualización del Estudio de Impacto Ambiental y Social de la PLMB para las Entidades Multilaterales (EIAS)), en los cuales se identifican impactos significativos (en el ejercicio de realizar evaluación de impactos preliminar y posteriormente evaluación de impactos definitiva) que puedan generarse durante las diferentes fases y actividades de la relocalización de redes. En este contexto, se definen unas áreas de influencia preliminares y, producto de un proceso de revisión iterativa, se delimitan áreas de influencia definitivas por medios. Se definieron las áreas de influencia, en el marco de la categorización del AID y AII, de acuerdo con lo establecido en el Apéndice Técnico AT 15 (sección 5.1 del Anexo 1) (ver Figura 3).

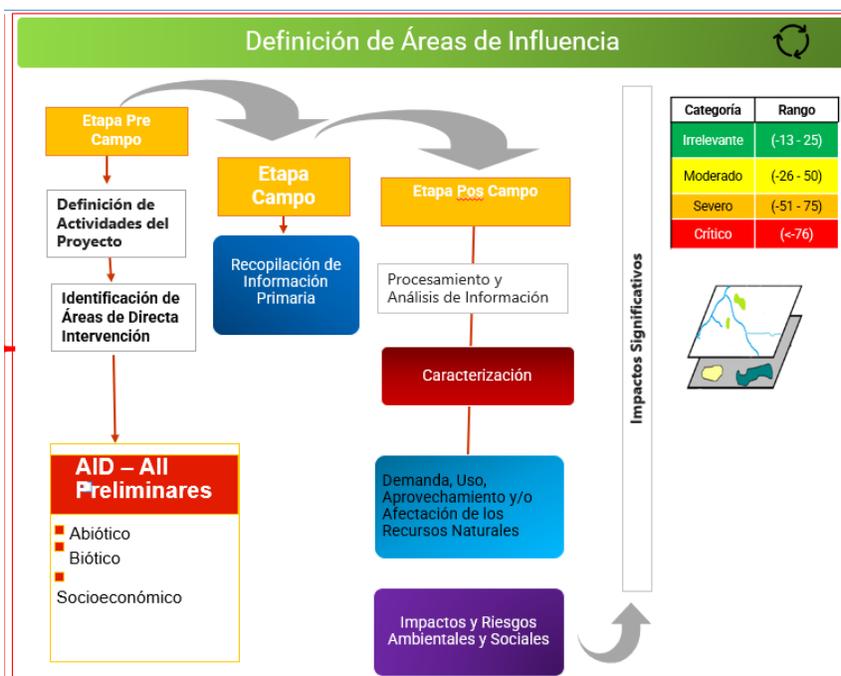


Figura 3 Representación del proceso de definición de áreas de influencia

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

De acuerdo con la Figura 3, el proceso de definición de las áreas de influencia tiene un momento inicial, con la claridad en las actividades proyectadas durante las diferentes fases del PMAS. A partir

de esto y de la información consultada en la etapa pre campo, tales como información secundaria e información cartográfica de diferentes temáticas.

El producto de este primer momento de análisis es la definición de las AID y AII preliminares para cada uno de los componentes y medios, que resulta de la utilización de criterios y variables que se relacionan con la presencia de elementos o condiciones que inciden en la trascendencia o limitación de los posibles impactos.

Un segundo momento es considerado a partir de las caracterizaciones procedentes de la etapa de Campo y del análisis de esta información en esta Poscampo, con lo cual se califican nuevamente los impactos, en el marco de la evaluación ambiental del proyecto (ver Capítulo 7.5 del presente PMAS para mayor detalle de esta evaluación). Mediante estas calificaciones, se identifican los impactos significativos y se ajustan las áreas preliminares definidas inicialmente.

Es importante precisar, que para la delimitación o ajuste de áreas se emplea la información secundaria y primaria obtenida en las diferentes etapas del proceso de elaboración y análisis del estudio. En este sentido.

En este sentido, la Tabla 1, presenta las actividades en las etapas de elaboración del PMAS (pre-campo, campo y pos-campo), y el desarrollo de las actividades realizadas, con relación a la definición de las áreas de influencia.

Tabla 1 – Etapas de elaboración del PMAS y definición de las Áreas de Influencia

Etapa	Descripción de actividades en esta etapa	Descripción en el proceso de delimitación de área de influencia
Pre-Campo	Se consulta información cartográfica secundaria referente a cada uno de los componentes. A partir de la información secundaria, se identifican los aspectos relevantes, como cambios de cobertura, elementos de la Estructura Ecológica Principal; puntos de interés para el desarrollo del proyecto, identificación de elementos barrera o de mitigación de impactos y el uso y aprovechamiento de los recursos naturales.	La información generada en esta etapa es importante para dar una aproximación de las características del medio. Mediante la cartografía de la zona, se permite delimitar un área de influencia preliminar de los componentes y medios, que contenga la manifestación de los impactos preliminares significativos.
Campo	En esta etapa se realiza el reconocimiento del área, con el fin de corroborar la información secundaria consultada y la establecida en las imágenes satelitales, haciendo recorridos de campo previamente definidos y estableciendo puntos de interés para el levantamiento de información y/o muestreos. Adicionalmente, se registra información con respecto a los requerimientos técnicos del proyecto, de los medios abiótico, biótico y socioeconómico.	Ajuste de área preliminar: Con la toma de información primaria, es decir, observaciones, registros y datos, registrada por el grupo interdisciplinario de profesionales, se puede ajustar los límites del área de influencia preliminar en cada componente y medio.
Pos-Campo	A partir de la información de campo y los resultados obtenidos, así como de la evaluación de impactos y la significancia de estos, se realiza un proceso iterativo, que permita ajustar las áreas de influencia preliminares,	Definitiva: Con la información de campo procesada (Análisis, cartográfica ajustada, modelaciones, etc.), se obtiene mayor detalle en cada

Etapa	Descripción de actividades en esta etapa	Descripción en el proceso de delimitación de área de influencia
	obteniendo así áreas de influencia definitivas por componentes y medios. Dicho proceso está apoyado en información geográfica, resultados de modelaciones, observaciones directas, observación participante, entrevistas, entre otros.	componente. Por lo tanto, se puede hacer predicciones de la forma en que los impactos significativos se proyectarían espacialmente, productos de las actividades a ejecutar en el PMAS.

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

Con la definición de áreas de influencia preliminar, se caracterizaron los medios abiótico, biótico y socioeconómico; a la vez que se definió e identificó la demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de los recursos naturales por parte del proyecto. Es preciso señalar que las áreas de influencia preliminar tienden a definirse bajo un concepto de espacialización de los impactos más amplio, con el fin de no implicar reprocesos.

A continuación, se presenta la caracterización de los medios abiótico y biótico.

En la caracterización se acogieron diversas políticas, tales como la Política de medio ambiente y cumplimiento de salvaguardas (OP -703) del (Banco Interamericano de Desarrollo) en el que se resalta la caracterización social, en la identificación sitios de importancia cultural, la Política de gestión de riesgo de desastres naturales (OP-704) del (Banco Interamericano de Desarrollo), a partir de la cual se realizar la caracterización abiótica orientada a la identificación de amenazas naturales en los componentes geosférico e hidrosférico, la Política sobre igualdad de género en el desarrollo (OP-761) (Banco Interamericano de Desarrollo) y la Política de Derechos e intereses de los grupos vulnerables (Banco Europeo de Inversiones), las cuales son abordadas desde la identificación y análisis de las dimensiones demográfica, espacial (acceso a servicios y movilidad), cultural y político organizativa en el área de influencia. Asimismo, se acoge la Política de Recursos físicos y culturales (OP 4.11) del (Banco Mundial) y la salvaguarda del Patrimonio cultural (Banco Europeo de Inversiones), desde la caracterización social y de paisaje, identificando los elementos culturales y físicos de interés.

La caracterización biótica es realizada bajo el principio de identificar las áreas importantes para la biodiversidad, así como las funciones naturales y enfocada en evitar o minimizar pérdidas, tal como lo establece la Política de Biodiversidad y Ecosistemas del (Banco Europeo de Inversiones).

La caracterización abiótica y socioeconómica se realizó a partir de información secundaria de orígenes o fuentes significativas como el EIAS realizado para la etapa de estructuración de la PLMB (Consortio METRO BOG, SISTRA, INGETEC y FDN, 2019) y, a partir de información primaria de los estudios desarrollados por el Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, en el año 2021, dentro de la Actualización del EIAS; los cuales corresponden a monitoreos: de ruido ambiental, aire, calidad de agua y la caracterización biótica de: fauna, flora epífita y forestal.

3.2.2 Caracterización Medio Abiótico

3.2.2.1 Componente Geosférico

3.2.2.1.1 Geología

La caracterización del componente geológico describe las condiciones físicas del entorno regional y local del área de influencia del proyecto, desde el punto de vista de las unidades litológicas y rasgos estructurales presentes. En ese sentido, se realizó en la **etapa pre-campo**, la revisión y estudio detallado de información secundaria existente, consultada dentro de las bases de datos de las entidades públicas y privadas, analizando principalmente la siguiente información:

- ▶ Actualización del Estudio de Impacto Ambiental y Social (EIAS) para la Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB), (Consortio Ambiental Metro de Bogotá, 2021).
- ▶ Estudio de Impacto Ambiental y Social (EIAS) para la Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB), (Consortio METRO BOG, SISTRA, INGETEC y FDN, 2019).
- ▶ Mapa Hidrogeológico de la Sabana de Bogotá, a escala 1:100.000, INGEOMINAS – SGC (2002).
- ▶ Aspectos geoambientales de la Sabana de Bogotá. Publicación No. 27. INGEOMINAS – SGC, 2007.
- ▶ Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Sabana de Bogotá. INGEOMINAS - SGC. (2002).
- ▶ Cartografía Geológica Aplicada a la Zonificación Geomecánica de la Sabana de Bogotá, Volumen II, INGEOMINAS - SGC, (2004).
- ▶ Geología de la Plancha 228, Bogotá Noreste. Escala 1:100.000. SGC. Versión mapa 2008, memoria explicativa 2015.
- ▶ Geología de la Plancha 227, La Mesa. Escala 1:100.000. SGC. Versión año 1998.

Posteriormente, se realizó la **etapa de campo** con el fin de recolectar y procesar información in-situ o primaria de la geología del área de influencia y se procedió a verificar la información secundaria consultada; en los recorridos de campo se verificaron los puntos de interés para el desarrollo del proyecto, como son: las zonas a ser intervenidas, las actividades conexas al mismo y los impactos potenciales que se puedan reflejar a causa del desarrollo de estas. Durante esta fase se realizaron las siguientes actividades: Identificación de unidades geológicas y lineamientos estructurales y caracterización de subunidades y componentes geomorfológicos.

Por último, se realizó una **etapa post-campo** en oficina, la cual tuvo como finalidad principal realizar el procesamiento de los datos obtenidos durante la etapa de campo que permitan establecer y realizar los ajustes cartográficos pertinentes; así mismo se recopiló toda la información recolectada en campo para utilizarla en la elaboración del informe final.

A continuación, en la Figura 4, se presenta la metodología que se utilizó para la caracterización geológica.

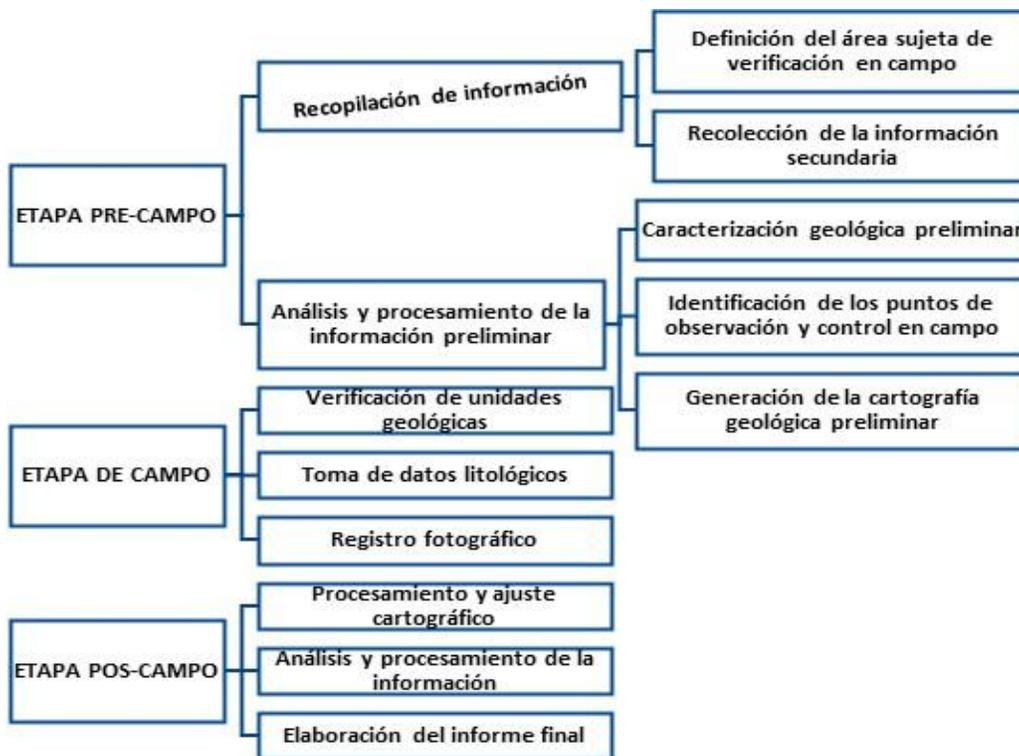


Figura 4 Metodología para la Caracterización Geológica

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

3.2.2.1.2 Geomorfología

Para la caracterización del componente geomorfológico, se tomó como base la siguiente información secundaria:

- ▶ Estudio De Impacto Ambiental Y Social (EIAS) para la Estructuración Técnica Del Tramo 1 De La Primera Línea Del Metro De Bogotá (PLMB), Consorcio Metro Bog (2019)
- ▶ Mapa Geomorfológico de la Sabana de Bogotá, INGEOMINAS – SGC, (2004)
- ▶ Zonificación Geomorfológica de la Sabana De Bogotá, Volumen I, SGC, (2005)

La caracterización del componente geomorfológico tiene como propósito principal identificar, caracterizar y describir las diferentes unidades geomorfológicas desde el punto de vista de la morfogénesis, morfología, morfodinámica y morfometría, las cuales pueden tener implicaciones en el comportamiento de la superficie del terreno en las áreas para la localización de las estructuras del Proyecto. Con este fin se propuso adoptar los lineamientos establecidos en el documento Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia (Ingeominas - SGC, 2011), que

está basado en el sistema del I.T.C. de Holanda, para levantamientos geomorfológicos, plasmado por Van Zuidam, et. at., (1991).

A continuación, se presenta la metodología utilizada para la caracterización geomorfológica. (Ver Figura 5).

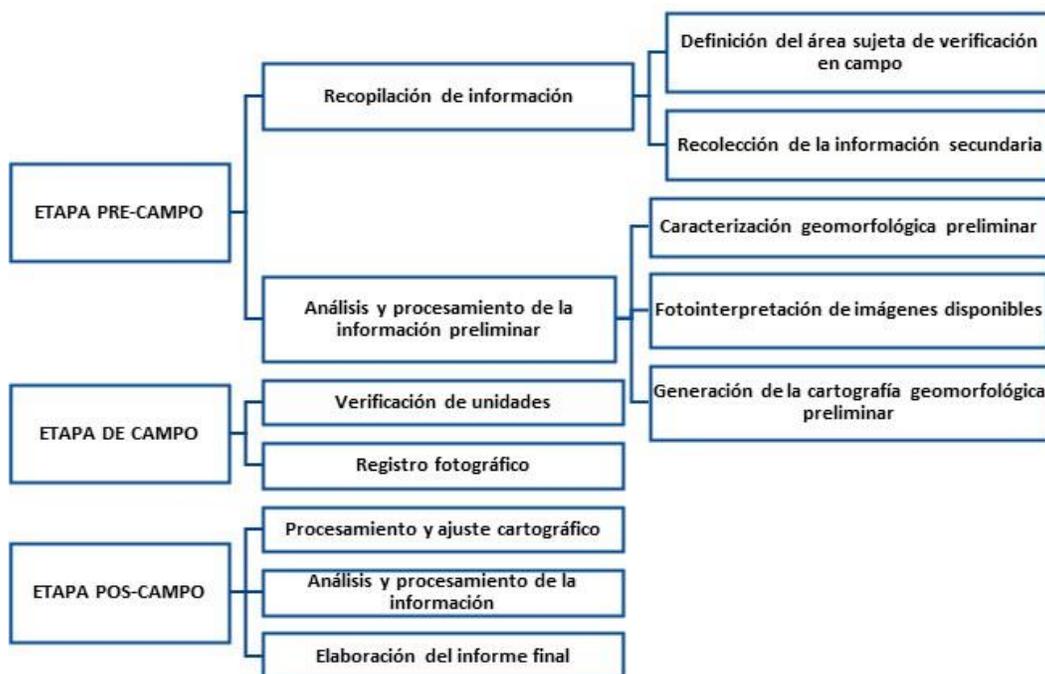


Figura 5 Metodología para la Caracterización Geomorfológica

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

3.2.2.1.3 Paisaje

La zonificación ecológica por unidades de paisaje desempeña un papel destacado en la fase de diagnóstico del territorio ya que permite una aproximación al conocimiento integral del medio biofísico, tal como lo propone la ecología del paisaje.

En términos generales la Ecología del Paisaje responde al interés de comprender de manera integral los patrones y procesos ecológicos en el espacio y el tiempo que percibimos.

La unidad de paisaje (landscape, landshaft, geosistema) se constituye en la unidad fundamental de análisis y se define como “una porción de la superficie terrestre con patrones de homogeneidad, conformada por un conjunto complejo de sistemas producto de la actividad de las rocas, agua, aire, plantas, animales y el hombre, que por su fisonomía es reconocible y diferenciable de otras consecutivas espacialmente (Zonneveld, 1989).

La caracterización del componente paisaje se realizó a partir del análisis de la geomorfología de suelos a escala semidetallada y los atributos aportados al paisaje por las coberturas de la tierra. De

conformidad con el Apéndice Técnico AT 15 (sección 5.1 del Anexo 1) se realizó la determinación de las unidades de paisaje, el análisis de la visibilidad y la calidad paisajística, identificación de los sitios de interés paisajístico y análisis de elementos discordantes y tamaño de discordancia.

Como insumos se tuvo en cuenta la capa de geomorfología de suelos la cual se generó a partir de la caracterización de sitios de interés paisajístico levantados en campo.

3.2.2.1.4 Suelos

Para el desarrollo del componente suelos del PMAS en la etapa pre-campo, se tomó como base la siguiente información secundaria:

- ▶ Actualización del Estudio De Impacto Ambiental Y Social (EIAS) para la Estructuración Técnica Del Tramo 1 De La Primera Línea Del Metro De Bogotá (PLMB), (Consortio Ambiental Metro de Bogotá, 2021).
- ▶ Estudio De Impacto Ambiental Y Social (EIAS) para la Estructuración Técnica Del Tramo 1 De La Primera Línea Del Metro De Bogotá (PLMB), Consortio Metro Bog (2019).
- ▶ Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Cundinamarca, IGAC (2000)
- ▶ Zonificación De Los Conflictos De Uso De Las Tierras En Colombia. Bogotá. Igac. (2002).
- ▶ IGAC. (2012). Levantamiento Detallado de Suelos en las Áreas Planas de 14 municipios de la Sabana de Bogotá. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

El objetivo principal de la investigación en la ciencia del suelo es la comprensión de la naturaleza, propiedades, dinámicas y funciones del suelo, como parte del paisaje y los ecosistemas, la caracterización del componente suelo consideró los siguientes ítems:

- ▶ Identificación del uso actual y potencial del suelo y su relación con el Proyecto acorde con el Plan de Ordenamiento Territorial – POT.
- ▶ Elaboración de mapas a escala de 1:10.000 para el área de influencia directa, que permitan apreciar las características de los suelos y relacionar las actividades del Proyecto con los cambios en el uso del suelo.

Este componente se desarrolló en tres (3) fases. La primera de ellas es una fase pre-campo dónde se realizó una recopilación de información secundaria y se determina la distribución de los suelos y los usos de este. En la fase de campo se realizó una identificación detallada de los suelos presentes en el área de estudio, así como una verificación del uso que está teniendo el mismo en el área de influencia del proyecto y un registro fotográfico de estas condiciones.

Por último, se llevó a cabo la fase post-campo, dónde se realiza el proceso de toda la información recolectada y se realiza un replanteamiento de la distribución del suelo y sus usos en el área de evaluación, todo esto en el marco de la elaboración del informe final.

En la Figura 6 se presenta la metodología utilizada para la caracterización del componente suelo.

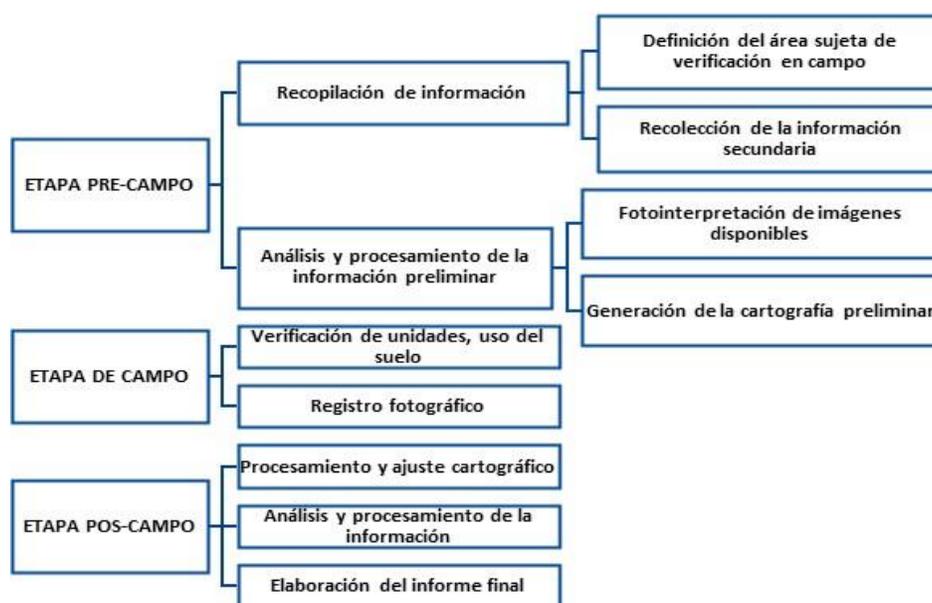


Figura 6 Metodología para la Caracterización Suelos

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

3.2.2.2 Componente hidrosférico

3.2.2.2.1 Hidrología

Para el desarrollo del componente de hidrología, se consideraron las siguientes etapas:

3.2.2.2.1.1 Etapa Pre-Campo

Para la caracterización del componente hidrológico en la etapa pre-campo, se realizó la búsqueda exhaustiva de información hidrológica en la zona de proyecto, la cual incluyó información de precipitación total, precipitación máxima en 24 horas, así mismo la recolección de información de caudales en aquellas cuencas que se encuentren instrumentadas. Este tipo de información se obtuvo de entidades como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB).

La información hidrológica fue complementada con información cartográfica de topografía, orografía, coberturas, geología, suelos, etc. En escala adecuada para el nivel de proyecto (escalas 1:100000 y 1:25000). Esta información fue adquirida en el Instituto Agustín Codazzi IGAC.

3.2.2.2.1.2 Etapa de Campo

Posteriormente, se realizó la etapa de trabajo de campo, en la que a través de recorridos se identificaron los cuerpos de agua existentes en el corredor y sus condiciones actuales. En el trabajo de campo se identificaron los cruces de corrientes con el trazado.

En la visita técnica se observó las estructuras existentes sobre las corrientes objeto de análisis; así como la ubicación de los cuerpos lénticos.

3.2.2.2.1.3 Etapa de Pos-Campo

Finalmente, se realizó el análisis de la información secundaria y primaria, en la etapa pos campo considerando los siguientes aspectos:

3.2.2.2.1.3.1 Identificación de Cuerpos Lénticos y Lóticos

Como se menciona previamente, en la etapa de Pre-Campo, se adquiere la cartografía y las estaciones medidoras de parámetros climatológicos. Para el caso específico de la identificación de cuerpo lénticos y lóticos, se utiliza las planchas en escala 1:25000 con el fin de tipificar las corrientes y los cuerpos de agua de tipo embalse.

La metodología corresponde a la implementación del trazado de la línea del Metro con respecto a las planchas IGAG, de esta manera se identificarán las corrientes o cuerpos lénticos en el área de influencia.

3.2.2.2.1.3.2 Transposición de Caudales

Cuando cerca de la zona de estudio se encuentra localizada una estación de tipo limnimétrica o limnigráfica, se puede realizar la estimación de caudales máximos, medios y mínimos, mediante una transposición teniendo en cuenta la relación de áreas entre la cuenca hidrográfica a la altura de la zona de estudio y la cuenca hidrográfica a la altura de la estación en cuestión, de acuerdo con las siguientes formulas:

- ▶ Caudales Máximos:

$$Q_{sp} = \sqrt{\frac{A_{sp}}{A_{Estación}}} * Q_{Estación}$$

- ▶ Caudales Medios y Mínimos:

$$Q_{sp} = \frac{A_{sp}}{A_{Estación}} * Q_{Estación}$$

En donde:

Q_{sp} : Caudal Instantáneo en el sitio de proyecto, m³/s.

A_{SP}: Área de Drenaje Aferente hasta el sitio de proyecto, km².

Q_{Estación}: Caudal Máximo Instantáneo en la estación, m³/s.

A_{Estación}: Área de Drenaje Aferente hasta la estación, km².

Cabe aclarar que si la estación es limnimétrica solo toma dos medidas de caudal al día, por lo tanto, no se asegura que dicha estación mida el caudal máximo de la corriente como lo hiciera una estación de tipo limnigráfico, por lo tanto, los resultados obtenidos de la transposición se deberán multiplicar por un factor de mayoración obtenido con el método Leste USA (Fuller), obtenido de la siguiente forma.

$$C_m = 1 + 2.66 * (A^{-0.3})$$

Donde:

C_m: Factor de relación de caudales (limnigráficas y limnimétricas)

A: Área de drenaje de la estación, km².

3.2.2.2.1.3.3 Modelos Lluvia - Escorrentía

► Caudales Máximos Instantáneos

Para los estudios hidrológicos de las corrientes que se encuentran en el área de influencia del proyecto, se llevó a cabo la estimación de caudales máximos instantáneos mediante la metodología denominada Método Racional, para aquellas cuencas con área inferior a 80 Ha. Por otra parte, para cuencas con área de drenaje mayor a 80 Ha, se llevó a cabo los cálculos de caudales máximos instantáneos mediante la metodología del hidrograma unitario definido por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB, y aplicado por medio del programa computacional HEC HMS.

► Método Racional

La expresión para el cálculo de los caudales máximos instantáneos de acuerdo con el método racional es la siguiente:

$$Q = 2.78 * (C * i * A)$$

En la cual:

Q: Caudal pico de aguas lluvias, m³/s.

C: Coeficiente de escorrentía, valor adimensional

i: Intensidad de precipitación, mm/h.

A: Área tributaria, Km².

► Método del Hidrograma Unitario del SCS

El hidrograma unitario es un modelo lineal simple que puede usarse para deducir el hidrograma resultante de cualquier cantidad de exceso de lluvia, considerada como uniforme en el espacio y variable en el tiempo. Las siguientes suposiciones básicas son inherentes en este modelo:

- ▶ El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva y las tormentas seleccionadas para el análisis deben ser de corta duración.
- ▶ El exceso de precipitación está uniformemente distribuido en toda el área de drenaje; si ésta es muy grande, debe dividirse en subcuencas analizando tormentas que cubran toda la subárea.
- ▶ El tiempo base de la duración de la escorrentía directa resultante de un exceso de lluvia de una duración dada es constante.
- ▶ Las ordenadas de todas las duraciones de escorrentía directa de una base de tiempo común son directamente proporcionales a la cantidad total de escorrentía directa representada por cada hidrograma. Como tiempo de duración de la lluvia unitaria, se consideró menor o igual a la quinta parte del tiempo de concentración.
- ▶ Para una cuenca dada el hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de la cuenca. El hidrograma unitario se considera único para la cuenca dada, e invariable con respecto al tiempo, y es aplicable solamente cuando no se presenten cambios ni almacenamientos apreciables en la cuenca estudiada.

Para hallar el caudal máximo originado por la escorrentía directa, se utilizó el hidrograma unitario curvilíneo, cuyo pico está definido la siguiente ecuación:

$$q_p = 0.208 A E / T_p$$

$$T_p = (10/9) T_{lag}$$

$$T_{lag} = 0.6 T_c$$

Siendo:

q_p : Caudal unitario máximo, en (m³/s) /mm de lluvia.

A: Área de la cuenca considerada, en km².

E: Precipitación efectiva unitaria, en mm.

T_p : Tiempo al pico del hidrograma, en horas, medido desde el comienzo.

T_{lag} : Tiempo de retardo en horas, medido entre los centros de gravedad del hietograma de lluvia espacial e hidrograma unitario.

T_c : Tiempo de concentración de la hoya hidrográfica, h.

L: Longitud del cauce, en metros.

S: Pendiente de la ladera de la cuenca, en m/m.

Para seguir la metodología del Soil Conservation Service, se ha tomado el tiempo de concentración para la hoya hidrográfica de acuerdo con esta metodología.

La distribución temporal del histograma de lluvia efectiva que causa escorrentía superficial, y la magnitud de las abstracciones de una tormenta, se pueden a partir de las siguientes relaciones empíricas:

$$Q = \frac{(P - 0.20S)^2}{P + 0.80S}$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10.0$$

Donde:

Q: Escorrentía total acumulada, pulgadas

P: Precipitación total del evento, pulgadas.

S: Infiltración o retención potenciales máxima, pulgadas.

CN: Curva número.

3.2.2.2.1.3.4 Caudales Medios

Teniendo en cuenta que en la normativa vigente en la EAB no se cuenta con reglamentación correspondiente al cálculo y estimación de caudales medios diarios, para la estimación de este parámetro se considera adecuado implementar la metodología del Soil Moisture Accounting (SMA), pues esta es una metodología ampliamente utilizada en el ámbito nacional e internacional.

► Metodología del Soil Moisture Accounting (SMA)

El algoritmo empleado por el SMA requiere como dato de entrada la precipitación, la cual debe ser calculada externamente. Este método se basa en volúmenes de almacenamiento que representan las diferentes etapas del ciclo hidrológico, y como va pasando el agua a través de cada volumen. Los volúmenes que se representan son: intercepción de la vegetación (canopy storage), depresiones de la superficie (surface storage), el almacenamiento de la primera capa de suelo (soil storage) y dos capas de agua subterráneas que representan los flujos subterráneos intermedios y los flujos base (groundwater storage 1 y groundwater storage 2). A continuación, se presenta la descripción de cada uno de los volúmenes o almacenamientos empleados por el SMA:

- Almacenamiento por Intercepción de la vegetación (Canopy storage): representa la precipitación que es interceptada por los árboles, arbustos y pastos y que no alcanza a llegar a la superficie del suelo.

- ▶ Almacenamiento de la superficie (Surface storage): este almacenamiento representa el agua que es retenida en depresiones poco profundas en la superficie del suelo, es un almacenamiento temporal.
- ▶ Almacenamiento del suelo (Soil storage): es el volumen de agua que se encuentra en el subsuelo de poca profundidad. Este volumen de almacenamiento se divide en dos zonas:
 - ▶ Zona superior de almacenamiento: la cual es definida como la porción del suelo puede perder agua por evapotranspiración y/o percolación. Esta zona representa el agua contenida en los poros el suelo.
 - ▶ Zona de almacenamiento de tensión, la cual es definida como el área de suelo que pierde agua solamente por evapotranspiración. Esta zona representa el agua unida a las partículas del suelo y que es extraída por las raíces.
- ▶ Dos capas de agua subterránea (GW 1 y GW 2): representan la variación de caudales como los caudales intermedios (flujo que se produce en zonas no saturadas o vadosas, y recarga los cauces en tiempos cortos durante o inmediatamente después de suceder un evento de precipitación) y los caudales base (flujos de agua subterránea que alimentan los cauces principalmente en épocas secas).

En la Figura 7 se presenta un esquema conceptual del método de pérdidas del SMA.

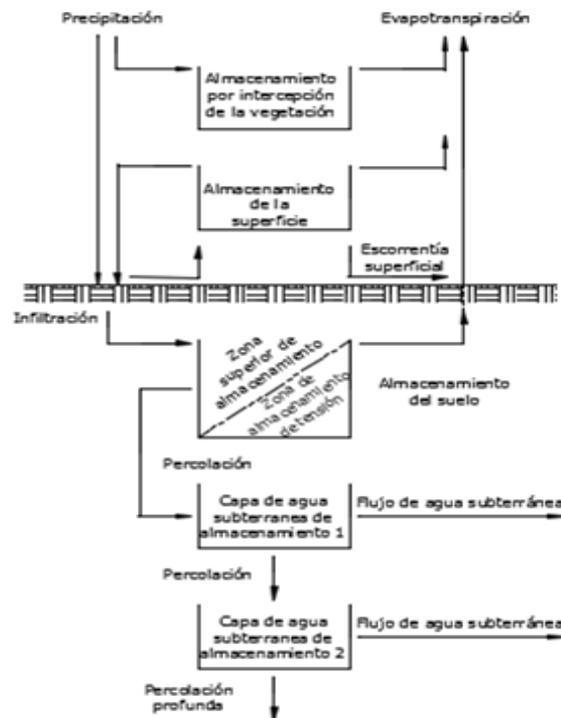


Figura 7 Esquema Conceptual del método de pérdidas del SMA

Fuente: Metodología del Soil Moisture Accounting (SMA),2000

La cantidad de agua de los componentes mencionados anteriormente es controlada por las tasas de salida y entrada tales como la evapotranspiración, la percolación y escorrentía del agua subterránea.

► Cálculos del Modelo

Los cálculos realizados durante la modelación se llevan a cabo mediante dos procesos basados en periodos de precipitación y periodos de evapotranspiración, así como se presenta en la Figura 8.

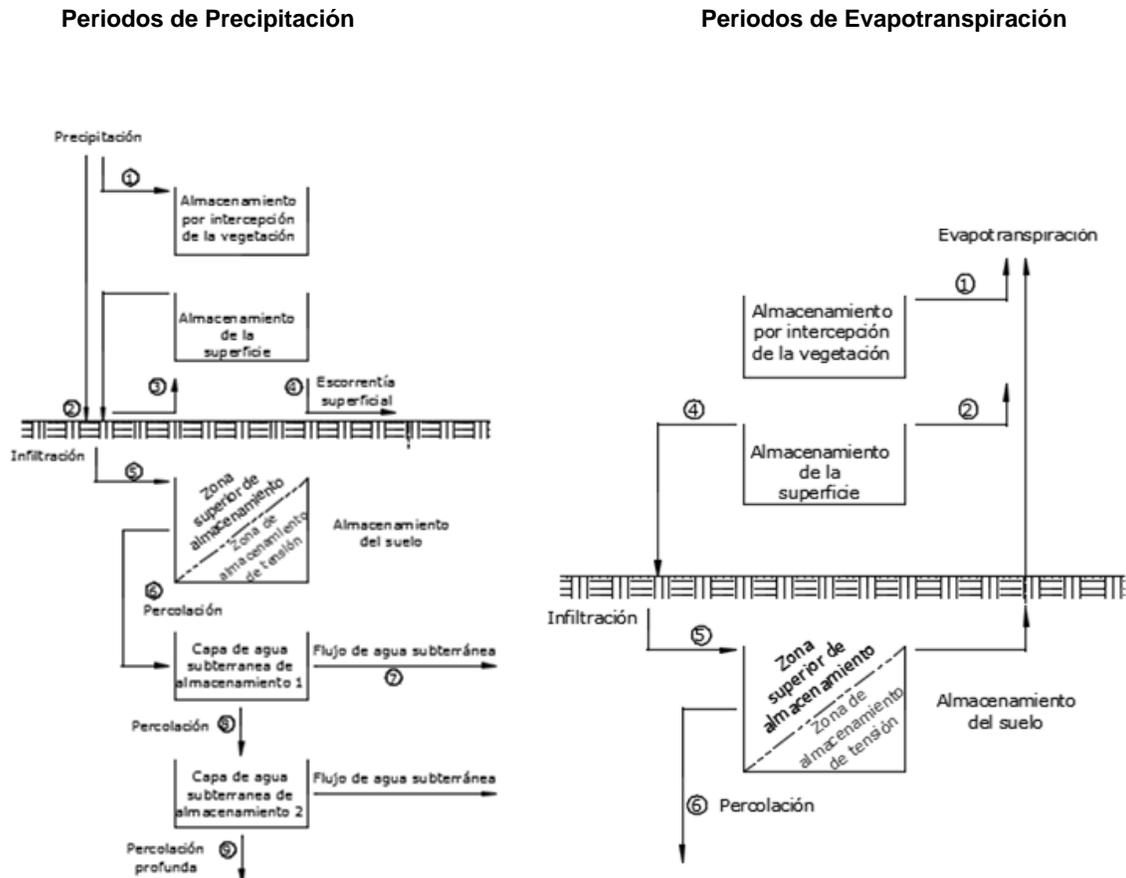


Figura 8 Orden de los Cálculos del Modelo Durante Periodos de Precipitación o Evapotranspiración

Fuente: Metodología del Soil Moisture Accounting (SMA),2000

A continuación, se describe el proceso con el cual se llevan a cabo los cálculos del modelo, de acuerdo con lo observado en la Figura 8.

► Periodos de Precipitación

- Inicialmente se llena el almacenamiento por intercepción.

- ▶ La precipitación de exceso del almacenamiento por intercepción de la vegetación, combinado con el agua almacenada en la superficie al iniciar la precipitación, pasa a ser disponible para ser evacuada por infiltración.
- ▶ Si la combinación del paso anterior excede el volumen del volumen de infiltración potencial máximo, el volumen de agua que es mayor al volumen que se puede infiltrar se convierte en volumen para el almacenamiento por superficie.
- ▶ Cuando la capacidad de almacenamiento de la superficie está completa, el exceso del volumen de agua se evacua por escorrentía superficial.
- ▶ El volumen de agua disponible por infiltración que es igual o menor al volumen de infiltración potencial pasa a llenar el almacenamiento del suelo.
- ▶ El agua en el almacenamiento del suelo después percola hacia la primera capa de agua subterránea (caudal intermedio).
- ▶ El flujo de agua subterránea es conducido fuera de la primera capa de agua.
- ▶ El agua restante pasa a ser disponible para percolación de la segunda capa de agua subterránea (caudales base).
- ▶ El flujo de agua subterránea es conducido fuera de la segunda capa de agua.
- ▶ El agua restante de la segunda capa de agua subterránea percola hacia acuíferos profundos.
- ▶ Periodos de Evapotranspiración

Los periodos de evapotranspiración son calculados cuando no suceden procesos de precipitación. A continuación, se describe su funcionamiento:

- ▶ Inicialmente la evapotranspiración se realiza del almacenamiento por intercepción.
- ▶ Cuando el almacenamiento por intercepción está vacío, la evapotranspiración toma el agua del almacenamiento por superficie hasta que se vacíe totalmente.
- ▶ Posterior el agua para evapotranspiración se toma del almacenamiento del suelo.
- ▶ La tasa de EVT del almacenamiento del suelo se da hasta que el almacenamiento tanto de la zona de tensión como la del almacenamiento superior sea cero. La infiltración hacia estratos inferiores puede ocurrir si la EVT se completa en el paso de análisis y queda agua remanente en el almacenamiento del suelo.
- ▶ Ecuaciones Implementadas en el Modelo

Las ecuaciones mostradas a continuación, son usadas en el método SMA para calcular las tasas de flujo adentro y afuera de los volúmenes de almacenamiento. En cada una de las ecuaciones

presentadas primero se calcula la tasa de flujo en unidades de distancia/tiempo, y luego, es convertida a volumen multiplicando por el intervalo de tiempo de la simulación.

► Infiltración

La cantidad de infiltración durante un intervalo de tiempo es una función del volumen de agua disponible para infiltración (*AvailWater*), el estado del almacenamiento del suelo (el porcentaje que está lleno) (*CurSoilStore/MaxSoilStore*), y la máxima tasa de infiltración. La tasa de infiltración potencial es una función del porcentaje lleno del almacenamiento del suelo, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$PotSoilInfil = MaxSoilInfil - \frac{CurSoilStore}{MaxSoilStore} * MaxSoilInfil$$

En donde:

PotSoilInfil: infiltración potencial (distancia/tiempo)

MaxSoilInfil: máxima tasa de infiltración (distancia/tiempo)

MaxSoilStore: máxima capacidad de almacenamiento del suelo (distancia/ tiempo)

CurSoilStore: almacenamiento actual en el perfil del suelo (distancia/tiempo)

Una vez que la tasa de la infiltración potencial es calculada, la tasa de infiltración actual es el valor más pequeño entre el agua disponible para infiltración y la tasa de la infiltración potencial.

$$ActInfil = Minimum\ of\ AvailWater\ and\ PotSoilInfil$$

El agua disponible para infiltración (*AvailWater*) es la precipitación que no fue interceptada por la vegetación durante un intervalo de tiempo, más el agua en el almacenamiento de la superficie (*CurSurfStore*) al comienzo del paso del tiempo.

Un ejemplo en el cual se puede observar la relación lineal que existe entre la tasa de la infiltración potencial y el almacenamiento del suelo, se presenta en la Figura 9.

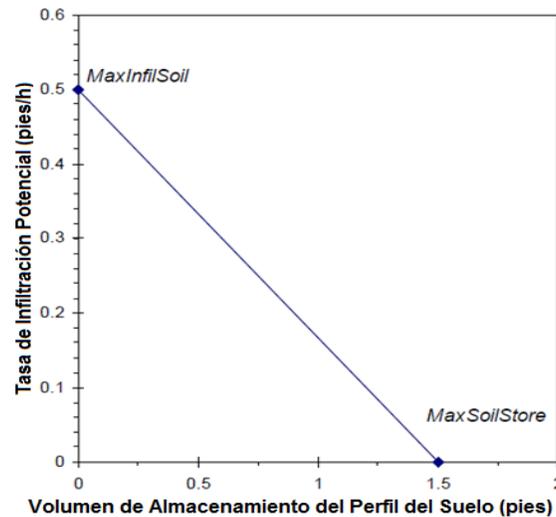


Figura 9 Relación de la Infiltración Potencial como una Función del Almacenamiento Actual en el Perfil del Suelo

Fuente: Tasa de infiltración potencial

Cuando el almacenamiento del perfil del suelo está vacío, la infiltración potencial es igual a la tasa máxima de infiltración. Cuando el almacenamiento del perfil del suelo está lleno, la infiltración potencial es igual a cero.

► Percolación

La percolación potencial es una función de la tasa máxima de percolación y el contenido del volumen de almacenamiento desde que la percolación está ocurriendo.

$$PotSoilPerc = MaxSoilPerc * \left(\frac{Fracción\ llena\ del}{almacenamiento\ superior} \right) * \left(1 - \left(\frac{Fracción\ llena\ del}{almacenamiento\ inferior} \right) \right)$$

En donde:

PotSoilPerc: Percolación potencial para el almacenamiento del suelo.

MaxSoilPerc: Máxima tasa de percolación para el almacenamiento del suelo.

En la Figura 10 se puede observar como la tasa de percolación potencial decrece, para una tasa de percolación máxima y una fracción llena fija en la parte superior del volumen de almacenamiento. Cuando la fracción llena de la parte superior es constante esta relación se asemeja a la de la infiltración.

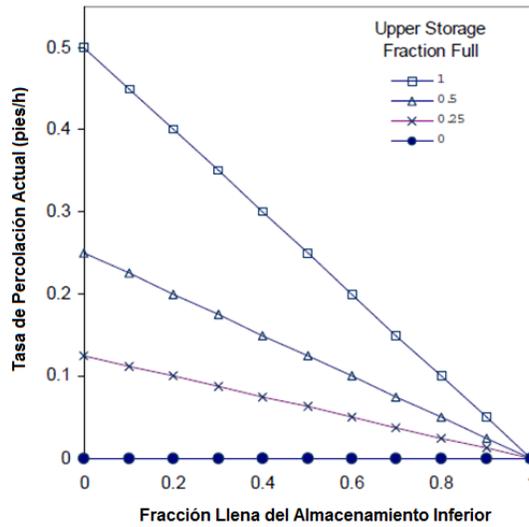


Figura 10 Tasa de Percolación Potencial como una Función del porcentaje total de volúmenes de almacenamiento superior e inferior

Fuente: Tasa de Percolación Potencial

Por otro lado, en la Figura 11 se presentan las curvas de igual tasa de percolación mientras varía la fracción llena del volumen de almacenamiento superior e inferior (McFadden & Dudley, 1994). En esta figura, la percolación máxima ocurrirá cuando el almacenamiento menor es igual a cero y el almacenamiento superior es igual a uno.

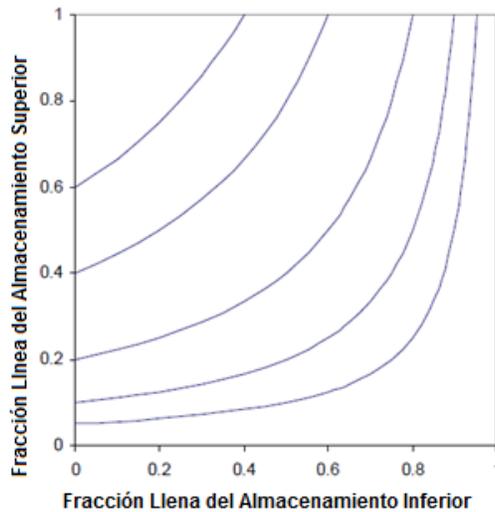


Figura 11 Líneas de Igual Tasa de Percolación

Fuente: Fracción Línea del Almacenamiento Superior

Las ecuaciones específicas para la percolación entre dos volúmenes de almacenamiento se presentan a continuación:

- ▶ Ecuación de percolación del almacenamiento del suelo hacia la primera capa de agua subterránea (CurGw1Store) es:

$$PotSoilPerc = MaxSoilPerc * \frac{CurSoilStore}{MaxSoilStore} * \left(1 - \frac{CurGw1Store}{MaxGw1Store}\right)$$

- ▶ Ecuación de la percolación entre las dos capas de agua subterránea es:

$$PotGw1Perc = MaxGw1Perc * \frac{CurGw1Store}{MaxGw1Store} * \left(1 - \frac{CurGw2Store}{MaxGw2Store}\right)$$

- ▶ Ecuación de percolación del almacenamiento de la segunda capa de agua subterránea hacia el acuífero profundo (CurGw2Store) es:

$$PotGw2Perc = MaxPercGw2 * \frac{CurGw2Store}{MaxGw2Store}$$

Cada tasa de percolación potencial (PotGw1Perc y PotGw2Perc) se multiplica por la longitud del paso de tiempo actual para obtener un volumen.

- ▶ Escorrentía Superficial y Flujo de Agua Superficial

Cuando el almacenamiento del suelo está lleno y el agua disponible para agua de infiltración excede la tasa de infiltración potencial, el exceso de precipitación es transformado a un hidrograma de escorrentía. El flujo de agua subterránea es transformado en caudal de salida de la cuenca utilizando una serie de depósitos lineales. El flujo de agua subterránea para cada capa de agua subterránea al final de un intervalo de tiempo es igual a:

$$EscSub = \frac{ActSoilPerc + CurGw1Store - PotGw1Perc_{Vol} - \frac{Groundwater\ flow\ @\ t * TimeStep}{2}}{RoutGw1Store + 0.5 * TimeStep}$$

En donde:

EscSub: Escorrentía subterránea.

PotGw1Perc: Volumen de percolación potencial en el almacenamiento 1.

Groundwater flow @ t: Flujo de agua subterránea al inicio del intervalo de tiempo t.

ActSoilPerc: Percolación actual del perfil del suelo en la capa de agua subterránea.

CurGw1Store: Profundidad actual de la capa del almacenamiento subterráneo 1.

RoutGw1Store: Coeficiente de encauzamiento del flujo de agua subterránea desde el almacenamiento de agua subterránea 1.

TimeStep: Duración del paso de tiempo de cálculo para el intervalo de simulación.

El volumen de flujo de agua subterránea para un intervalo de tiempo es calculado como el promedio del flujo de agua subterránea que se encuentra al comienzo del intervalo de tiempo y el final del intervalo de tiempo.

$$= (\textit{Groundwater flow at } t + \textit{Groundwater flow at } t + 1) * \frac{\textit{TimeStep}}{2}$$

► Evapotranspiración

Si el potencial de infiltración no es completamente satisfecho para un almacenamiento en un intervalo de tiempo, la insatisfacción del volumen de evapotranspiración potencial se llena desde el siguiente almacenamiento disponible. El volumen de evapotranspiración potencial se satisface primero por el almacenamiento por intercepción de la vegetación, luego por el almacenamiento en la superficie y finalmente por el almacenamiento en el suelo, tal como se ha mencionado anteriormente.

Cuando la evapotranspiración proviene del almacenamiento por intercepción, el almacenamiento de la superficie o de la zona superior del almacenamiento del suelo, ésta es igual a la tasa de evapotranspiración determinada por métodos meteorológicos por el programa HMS. Cuando la evapotranspiración proviene de la zona de tensión radicular, la evapotranspiración actual es una función de esta tasa, del agua que se encuentra actualmente en almacenamiento del suelo, y de la profundidad máxima de la zona de almacenamiento de tensión radicular. La relación es la siguiente:

$$\frac{\textit{ActEvapSoil}}{\textit{PotEvapSoil}} = f\left(\frac{\textit{CurSoilStore}}{\textit{MaxTenStore}}\right)$$

En donde:

ActEvapSoil: Evapotranspiración actual del almacenamiento del suelo (longitud).

PotEvapSoil: Evapotranspiración potencial (longitud).

CurSoilStore: Almacenamiento actual en el almacenamiento del suelo (longitud).

MaxTenStore: Capacidad de la zona de tensión radicular (longitud).

En la Figura 12 se puede observar la función de evapotranspiración en la zona de tensión. En esta figura se observa que mientras que el almacenamiento del suelo exceda el máximo almacenamiento en la zona de tensión, el agua se quita de la zona superior en una tasa de uno a uno, la misma tasa que tiene de la intercepción y el almacenamiento superficial. Una vez que el volumen de agua en el suelo alcanza la zona de tensión, la EVT se determina de la relación entre la evaporación actual del almacenamiento del suelo y la EVT potencial. Esto genera que la tasa de EVT del suelo decrezca a medida que decrece la cantidad de agua disponible y se haga mucho más difícil la extracción de agua del suelo.

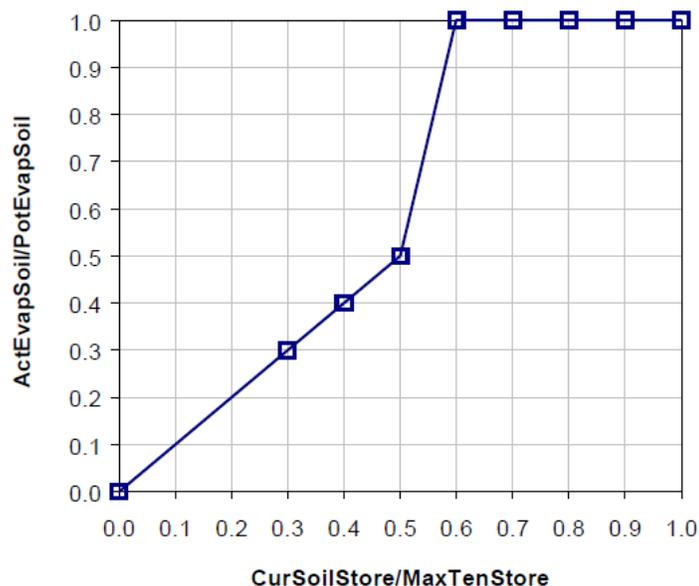


Figura 12 Evapotranspiración Actual Zona de Tensión

Fuente: Evapotranspiración Potencial

► Caudal Base a Partir del Método de Reservorio Lineal

En el método del SMA se sugiere que se traten los caudales base a partir de la metodología de reservorios lineales, debido a que están relacionadas entre sí, sin embargo, la metodología de reservorios lineales puede aplicarse con cualquier tipo de metodología de pérdidas. Esta metodología simula la descarga de caudal por parte del almacenamiento de caudales intermedios y los caudales base. A continuación, a partir de la referencia bibliográfica (9), se realiza una descripción de esta metodología.

El método para caudales base de los reservorios lineales, como su nombre lo dice, usa uno o dos reservorios lineales para modelar el flujo del caudal base después de un evento de tormenta. En este modelo se tiene en cuenta la conservación de masas dentro de la subcuenca.

La infiltración calculada el método de pérdidas es conectado como el flujo de entrada al reservorio lineal. Cuando la metodología de reservorios lineales es empleada con el SMA o el SMA con grilla, la infiltración es conectada como el flujo de salida lateral de la capa de agua subterránea. Para los demás métodos, el cálculo de la infiltración se divide igualmente entre las dos capas definidas en el método del caudal base.

Al comienzo de la simulación se debe especificar el caudal base inicial. El caudal inicial se puede índice de dos maneras, en términos de caudal y en términos de rendimiento de caudal por km².

El coeficiente de almacenamiento de agua subterránea es la constante en el tiempo para el reservorio lineal en cada almacenamiento. Este se mide en horas, y representa el tiempo de respuesta de la hoyo.

Se pueden tener varios reservorios por cada almacenamiento subterráneo, en este caso el flujo se dirige linealmente a través de cada reservorio. Para tener una menor atenuación del caudal se simula con pocos o solo un reservorio, mientras que una gran atenuación se simula con muchos reservorios.

3.2.2.2.1.3.5 Caudales Mínimos

Teniendo en cuenta que en la normativa vigente en la EAB no se cuenta con reglamentación correspondiente al cálculo y estimación de caudales mínimos, se considera adecuado utilizar los estudios de regionalización presentados en el texto denominado como “Atlas Hidrológico de Colombia” de Poveda Jaramillo, G., Vélez Upegui, J. I., & Mesa, S. O. (2000).

► Metodología de Regionalización de Caudales Mínimos

La formulación empleada para la transformación de caudales medios a caudales mínimos mensuales presentada en el “Atlas Hidrológico de Colombia” de Poveda Jaramillo, G., Vélez Upegui, J. I., & Mesa, S. O. (2000), se muestra a continuación:

$$Q_{min} = Q_{med} * C_{\mu}$$

En donde:

Qmin: Caudal mínimo, m³/s.

Qmed: Caudal medio, m³/s.

C_μ: Coeficiente según la región.

C_μ: Coeficiente según la región.

3.2.2.2.2 Calidad del agua

Para determinar la calidad del agua en el Área de influencia del traslado de redes se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos de los monitoreos de agua superficial realizados para los estudios ambientales de la PLMB, estos fueron ejecutados por el laboratorio SGS COLOMBIA S.A.S, en los siete cuerpos de agua identificados; el laboratorio mencionado cuenta con acreditación del Instituto de Hidrología, Meteorología de Estudios Ambientales IDEAM, bajo las resoluciones 1001 del 7 de septiembre de 2021, 390 del 7 de mayo de 2021 y 490 del 8 de junio de 2021.

El parámetro correspondiente a coliformes fecales será analizado por un laboratorio subcontratado (CHEMICAL LABORATORY S.A.S), el cual también se encuentra acreditado por el IDEAM bajo la resolución 537 del 11 de junio de 2021. En la siguiente tabla se relacionan los laboratorios que participaran en el monitoreo de agua superficial:

Tabla 2 – Relación de los laboratorios y resoluciones

Laboratorio encargado del monitoreo	Laboratorio Acreditado	Parámetros acreditados	Resolución	Vigencia
SGS COLOMBIA S.A.S	SGS COLOMBIA S.A.S - SUCURSAL BOGOTÁ	pH, Temperatura, Alcalinidad, Dureza Cálctica, DQO, Conductividad, Caudal, Oxígeno Disuelto, Nitrógeno Total Kjeldhal, Nitrógeno Amoniacal (Amonios), Nitratos, Grasas y Aceites, Hidrocarburos Totales Tensoactivos, Coliformes totales, Fosforo Total, Fosfatos, Fenoles, Turbiedad, Solidos Disueltos Totales, Solidos Sedimentables Solidos Suspendidos Totales, Calcio, Calcio Disuelto, Bicarbonato, Arsénico Total, Bario, Cadmio, Cianuro, Mercurio, Cromo total, Plomo, Aluminio, Hierro, Zinc, Cobre, Plata.	Resolución 1001 07/09/2021 Resolución 390 7/05/2021	25/03/2025
	SGS COLOMBIA S.A.S - SEDE LA SOLEDAD	DBO5	Resolución 490 8/06/2021	8/06/2025
	CHEMICAL LABORATORY S.A.S	Coliformes fecales	Resolución 0537 11/06/2021	18/03/2023

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

El monitoreo fue realizado los días 4,5,8 y 9 de noviembre de 2021 en siete (7) cuerpos de agua: Canal Albina, Canal Arzobispo, Canal Río Fucha, Canal Río Seco, Canal Cundinamarca, Río Bogotá, Canal Tintal II, los cuales se encuentran a lo largo del corredor del trazado de la Primera Línea del Metro de Bogotá.

Los puntos de toma de muestra de cada cuerpo de agua se realizó aguas arriba y debajo de cada uno de ellos, en la siguiente tabla se muestra el número de referencia asignada por el laboratorio para cada cuerpo de agua y la georreferenciación.

Tabla 3 – Identificación de los puntos de muestreo

ID Muestra	Punto De Muestreo	Cota (MSNM)	Coordenadas Geográficas		Coordenadas Planas Origen Nacional	
			Longitud	Latitud	Este	Norte
BO2109466.003	Canal Albina aguas arriba	2555	74°07'04.50"	04°35'57.60"	4876043.577	2066318.554
BO2109466.004	Canal Albina aguas abajo	2556	74°07'01.56"	04°36'01.10"	4876134.310	2066425.857
BO2109441.001	Canal Arzobispo	2580	74°04'04.90"	04°37'42.40"	4881580.815	2069527.220

ID Muestra	Punto De Muestreo	Cota (MSNM)	Coordenadas Geográficas		Coordenadas Planas Origen Nacional	
			Longitud	Latitud	Este	Norte
	aguas arriba					
BO2109441.002	Canal Arzobispo aguas abajo	2578	74°04'08.50"	04°37'45.70"	4881470.078	2069628.690
BO2109590.004	Canal Río Fucha aguas arriba	2556	74°06'32.36"	04°35'50.31"	4877033.280	2066093.221
BO2109590.003	Canal Río Fucha aguas abajo	2557	74°06'45.39"	04°35'56.37"	4876632.189	2066279.877
BO2109590.002	Canal Río Seco aguas arriba	2557	74°07'23.99"	04°36'10.47"	4875443.822	2066714.584
BO2109590.001	Canal Río Seco aguas abajo	2556	74°07'20.70"	04°36'13.60"	4875545.319	2066810.510
BO2109466.001	Canal Cundinamarca aguas arriba	2542	74°10'46.10"	04°39'00.14"	4869226.566	2071933.320
BO2109466.002	Canal Cundinamarca aguas abajo	2540	74°11'06.80"	04°38'43.10"	4868588.071	2071411.275
BO2109550.001	Río Bogotá aguas arriba	2543	74°11'44.16"	04°39'06.78"	4867438.495	2072140.168
BO2109550.002	Río Bogotá aguas abajo	2543	74°12'11.16"	04°38'43.10"	4866605.578	2071414.622
-	Canal Tintal II aguas arriba	2543	74°10'16.00"	04°37'44.30"	4870149.879	2069603.574
-	Canal Tintal II aguas abajo	2543	74°10'19.90"	04°37'51.60"	4870030.115	2069827.875

-Punto seco: Se realiza inspección en los puntos y se encuentra que se están llevando a cabo labores de obra civil del acueducto de Bogotá, por lo tanto, no se puede realizar muestreo ya que no hay cauce.

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

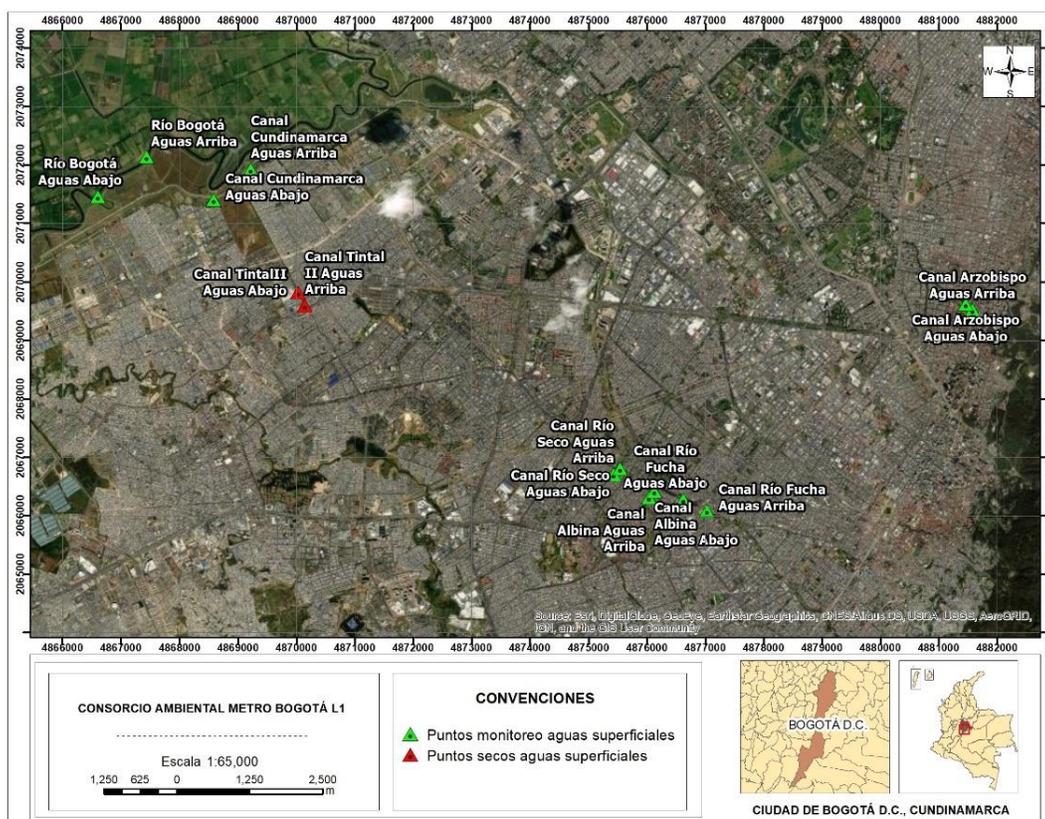


Figura 13 Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

La medición de los parámetros fisicoquímicos se efectuó bajo normas técnicas y métodos oficialmente aceptados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017 y la Environmental Protection Agency (EPA), en las metodologías oficialmente aceptadas y bajo los criterios establecidos por el Decreto 1076 de 2015 emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Los recipientes para las muestras generalmente están hechos de plástico o de vidrio, y se utilizan de acuerdo con la naturaleza de la muestra, sus componentes y tipos de análisis a realizar.

En la siguiente tabla se presentan los diferentes tipos de recipientes y métodos de preservación de muestras, utilizados para el análisis de los parámetros durante el presente monitoreo.

Tabla 4 – Tipo de recipientes y preservación de muestras

Parámetros	L.C.M	Recipiente	Preservación	Método
Alcalinidad Total (mg CaCO₃/L) (A)	5.00	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 2320B: Alcalinidad - Método de valoración. 22ª Edición. 2012
Aluminio Total (mg/L) (A)	0.090	Plástico, Vidrio	HNO ₃ hasta pH<2, Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 3030 K 23ª Edición 2017 – EPA 200.8: Determinación de elementos traza en aguas y residuos por plasma acoplado inductivamente – Espectrometría de masas Rev. 5 .4. 1994.
Arsénico Total (mg/L) (A)	0.0030	Plástico, Vidrio	HNO ₃ hasta pH<2, Refrigerar a ≤ 6 °C	
Bario Total (mg/L) (A)	0.090	Plástico, Vidrio	HNO ₃ hasta pH<2, Refrigerar a ≤ 6 °C	
Bicarbonatos (mg CaCO₃/L) (A)	3.00	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 2320B: Alcalinidad - Método de valoración. 22ª Edición. 2012
Cadmio Total (mg/L) (A)	0.0030	Plástico, Vidrio	HNO ₃ hasta pH<2, Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 3030 K 23ª Edición 2017 – EPA 200.8: Determinación de elementos traza en aguas y residuos por plasma acoplado inductivamente – Espectrometría de masas Rev. 5 .4. 1994.
Calcio Disuelto (mg/L) (A)	0.1500	Plástico	Filtrar inmediatamente después del muestreo. HNO ₃ hasta pH<2	EPA 200.8: Determinación de los elementos traza en aguas y desechos por plasma acoplado inductivamente -Espectrometría de masas. 5.4. 1994.
Calcio Total (mg/L) (A)	0.150	Plástico, Vidrio	HNO ₃ hasta pH<2, Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 3030 K 23ª Edición 2017 – EPA 200.8: Determinación de elementos traza en aguas y residuos por plasma acoplado inductivamente – Espectrometría de masas Rev. 5 .4. 1994.
Caudal, m/s	--	Análisis inmediato		Molinete en campo
Cianuro Total (mg CN/L) (A)	0.010	Plástico, Vidrio	Agregar NaOH 1M hasta alcanzar un pH 12.0 y 12.5	ASTM D7511-09: Cianuro total por análisis de inyección de flujo segmentado, digestión ultravioleta en línea y detección amperométrica
Cobre Total (mg/L) (A)	0.0030	Plástico, Vidrio	HNO ₃ hasta pH<2, Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 3030 K 23ª Edición 2017 – EPA 200.8: Determinación de elementos traza en aguas y residuos por plasma acoplado inductivamente – Espectrometría de masas Rev. 5 .4. 1994.
Coliformes Termotolerantes (Fecales), NMP/100 mL (*)	1.0	Vidrio estéril o bolsas nasco whirl pak	Refrigerar a <8 °C. Debe tener espacio de aire.	SM 9223 B modificado -Sustrato enzimático Multicelda
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	1	Vidrio estéril o bolsas nasco whirl pak	Refrigerar a <8 °C. Debe tener espacio de aire.	APHA-AWWA-WEF-SM 9223 B: Prueba de coliforme de sustrato enzimático - Prueba de sustrato enzimático. 23ª Edición. 2017
Conductividad, µS/cm	--	Análisis Inmediato		Electrométrico SM2510 B
Cromo Total (mg/L) (A)	0.0030	Plástico, Vidrio	HNO ₃ hasta pH<2, Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 3030 K 23ª Edición 2017 – EPA 200.8:

Parámetros	L.C.M	Recipiente	Preservación	Método
				Determinación de elementos traza en aguas y residuos por plasma acoplado inductivamente – Espectrometría de masas Rev. 5 .4. 1994.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg O2/L) (A*)	2.00	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C, el envase debe traer la muestra sin burbuja para el debido análisis	APHA-AWWA-WEF-SM 5210 B: Demanda Bioquímica de Oxígeno - Prueba 5 días de DBO. 23ª Edición. 2017 -ASTM D 888-18 Método C: Oxígeno disuelto por sensor basado en luminiscencia. 2009
Demanda Química de Oxígeno (mg O2/L) (A)	25.00	Plástico, Vidrio	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 5220 D: Demanda química de oxígeno - Reflujo cerrado, Método colorimétrico. 22ª Edición. 2012
Detergentes o surfactantes (Calculado como Dodecil Sulfato de Sodio, Peso Molecular 288.4) (mg SAAM/L) (A)	0.30	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 5540 C: Surfactantes - Surfactantes aniónicos como MBAS. 22ª Edición. 2012
Dureza Cálctica (mg CaCO3/L) (A)	2.00	Plástico, Vidrio	Agregar H ₂ SO ₄ o HNO ₃ hasta alcanzar un pH<2; Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 3500-Ca B: Calcio - Método Titrimétrico EDTA. 22ª Edición. 2012
Fenoles Totales (mg Fenol/L) (A)	0.100	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C y agregar H ₂ SO ₄ hasta alcanzar un pH<2	APHA-AWWA-WEF-SM 5530 B, C: Fenoles - Procedimiento de limpieza - Fotométrico directo (Modificado). 22ª Edición. 2012
Fósforo Total (mg P/L) (A)	0.05	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C y agregar H ₂ SO ₄ hasta alcanzar un pH<2	APHA-AWWA-WEF-SM 4500-P B, E: Fósforo - Preparación de la muestra - Ácido nítrico - Digestión de ácido sulfúrico, Método del ácido ascórbico. 23ª Edición. 2017.
Grasas y Aceites (mg GyA/L) (A)	2.00	Vidrio (boca ancha) lavado con solvente	Acidificar a pH entre 1 y 2 con H ₂ SO ₄ o HCl	NTC 3362 método C: Calidad del agua. Determinación de aceites, grasas y sustancias solubles en solventes orgánicos - Infrarrojo de Partición. Segunda actualización. 2011-11-30
Hidrocarburos Totales (mg Hidrocarburos/L) (A)	2.0	Vidrio (boca ancha) lavado con solvente	Acidificar a pH entre 1 y 2 con H ₂ SO ₄ o HCl	NTC 3362 Método C, Método F: Calidad del agua. Determinación de aceites, grasas y sustancias solubles en solventes orgánicos - Método para la determinación de hidrocarburos. Segunda actualización. 2011-11-30
Hierro Total (mg/L) (A)	0.090	Plástico, Vidrio	HNO ₃ hasta pH<2, Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 3030 K 23ª Edición 2017 – EPA 200.8: Determinación de elementos traza en aguas y residuos por plasma acoplado inductivamente – Espectrometría de masas Rev. 5 .4. 1994.
Mercurio Total (mg/L) (A)	0.0003	Plástico, Vidrio	HNO ₃ hasta pH<2, Refrigerar a ≤ 6 °C	
Nitratos (mg N-NO3/L) (A)	0.0113	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 4 °C	EPA 300.0: Determinación de aniones inorgánicos por cromatografía iónica. Cincinnati-

Parámetros	L.C.M	Recipiente	Preservación	Método
				Ohio. 2.1. 1993
Nitrógeno Amoniacal (mg N-NH₃/L) (A)	1.000	Plástico, Vidrio	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta alcanzar un pH<2; Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 4500-NH ₃ B, C: Nitrógeno (Amoníaco) - Método Titrimétrico de Paso de Destilación Preliminar. 22ª Edición. 2012
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg N/L) (A)	5.00	Vidrio, Plástico	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta alcanzar un pH<2; Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 4500-Norg B / SM 4500-NH ₃ B, C: Nitrógeno (Amoníaco) - Destilación preliminar Método Titrimétrico paso. 22ª Edición. 2012
Ortofosfatos (mg P-PO₄/L) (A)	0.065	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 4 °C	EPA 300.0: Determinación de aniones inorgánicos por cromatografía iónica. Cincinnati-Ohio. 2.1. 1993
Oxígeno Disuelto, mg/L	--	Análisis Inmediato		ASTM 888-12 Método C - Electrodo de luminiscencia
pH, unidades	--			APHA-AWWA-WEF-SM 4500-H+B 23 Edition 2017
Temperatura, °C	--			Termométrico SM 2550 B
Plata Total (mg/L) (A)	0.003	Plástico, Vidrio	HNO ₃ hasta pH<2, Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 3030 K 23a Edición 2017 – EPA 200.8: Determinación de elementos traza en aguas y residuos por plasma acoplado inductivamente – Espectrometría de masas Rev. 5 .4. 1994.
Plomo Total (mg/L) (A)	0.0030	Plástico, Vidrio	HNO ₃ hasta pH<2, Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 2540 C: Sólidos - Total de Sólidos Disueltos Secados a 180°C. 23ª Edición. 2017
Sólidos Disueltos Totales (mg SDT/L) (A)	--	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 2540 F: Sólidos - Sólidos sedimentables. 22ª Edición. 2012
Sólidos Sedimentables (mL/L) (A)	0.1	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 2540 D: Sólidos - Total de Sólidos Suspendedos Secados a 103-105°C. 23ª Edición. 2017
Sólidos Suspendedos Totales (mg SST/L) (A)	--	Plástico, Vidrio	Refrigerar a ≤ 6 °C	APHA-AWWA-WEF-SM 2130 B: Turbidez - Método nephelométrico. 22ª Edición. 2012
Turbiedad (NTU) (A)	1.000	Plástico, Vidrio	Analizar el mismo día; para más de 24 h guardar en oscuridad, refrigerar	APHA-AWWA-WEF-SM 3030 K 23a Edición 2017 – EPA 200.8: Determinación de elementos traza en aguas y residuos por plasma acoplado inductivamente – Espectrometría de masas Rev. 5 .4. 1994.
Zinc Total (mg/L) (A)	0.0900	Plástico, Vidrio	HNO ₃ hasta pH<2, Refrigerar a ≤ 6 °C	

(*) Parámetro analizado con proveedor externo

(A) = Análisis acreditados por el IDEAM bajo Resolución 1001 del 07 de Septiembre de 2021 (Sede Bogotá)

(A*) = Análisis acreditados por el IDEAM bajo Resolución 0490 del 08 de Junio de 2021 (Sede Barranquilla)

L.C.M.: Límite de cuantificación del método analítico.

--: No se presenta un valor de límite de cuantificación debido al método analítico empleado.

Fuente: SGS Colombia S.A.S., «AÑO_DE_INFORME»

Los servicios y productos suministrados externamente se relacionan en la tabla a continuación:

Tabla 5 – Relación de productos suministrados externamente

Parámetro	Proveedor Externo	Acreditado Con
Coliformes Termotolerantes (Fecales), NMP/100 mL (*)	Chemilab S.A.S.	Resolución 1146 del 07 de octubre del IDEAM

Fuente: SGS Colombia S.A.S.

Los resultados de los parámetros analizados en el laboratorio para la muestra de «MATRIZ» tomada fueron comparados con el «NORMA», con el fin de evaluar su cumplimiento normativo.

Adicionalmente, con el fin de establecer la calidad de las aguas superficiales, se determinaron los Índices de Contaminación (ICO's) y el Índice de Calidad del Agua (ICA) los cuales son usados para evaluar el impacto que sobre un cuerpo de agua superficial produce una carga contaminante mediante tratamiento matemático (Fernández, 2005).

3.2.2.2.3 Hidrogeología

La caracterización del componente hidrogeológico consideró un enfoque cualitativo con alcance exploratorio descriptivo, partiendo con una descripción holística de la situación hidrogeológica de la zona a intervenir con las actividades de traslado de redes, basado en la recopilación y análisis de información generada dentro del Estudio de Impacto Ambiental y Social (EIAS) dentro de la Estructuración del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá y la existente en entidades oficiales relacionada con geología, hidrología, hidráulica, hidrogeoquímica e hidrogeología para la ciudad de Bogotá. Esta información existente será complementada con información de campo relacionada con el inventario de puntos de agua subterránea, sondeos eléctricos verticales, pruebas hidráulicas y la toma de muestras de agua para análisis hidrogeoquímico, permitiendo establecer el comportamiento del agua subterránea en la zona de estudio mediante la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual.

Para alcanzar los objetivos propuestos, se estableció una metodología basada en fases secuenciales, las cuales permitirán un desarrollo y análisis sistemático coherente con la información. La investigación se divide en cuatro fases; la primera fase consistió en la recopilación y análisis de información que soportara el estudio, seguido por una fase de campo que permitió obtener datos en relación con la ocurrencia y disponibilidad del recurso hídrico subterráneo, las condiciones geológicas-geoelectricas, los principales parámetros hidráulicos, la composición fisicoquímica de las aguas subterráneas, posteriormente se continuó con una fase de análisis e interpretación de datos obtenidos en campo y su relación con la información recopilada, para finalizar con la elaboración del reporte de resultados lo que permitió establecer el comportamiento hidrogeológico a lo largo del trazado de la PLMB e identificar zonas sensibles, con el fin de establecer medidas ambientales para evitar alteraciones al comportamiento actual del sistema hídrico subterráneo. En la Figura 14 se presenta un diagrama que representa las cuatro fases establecidas para el estudio hidrogeológico.

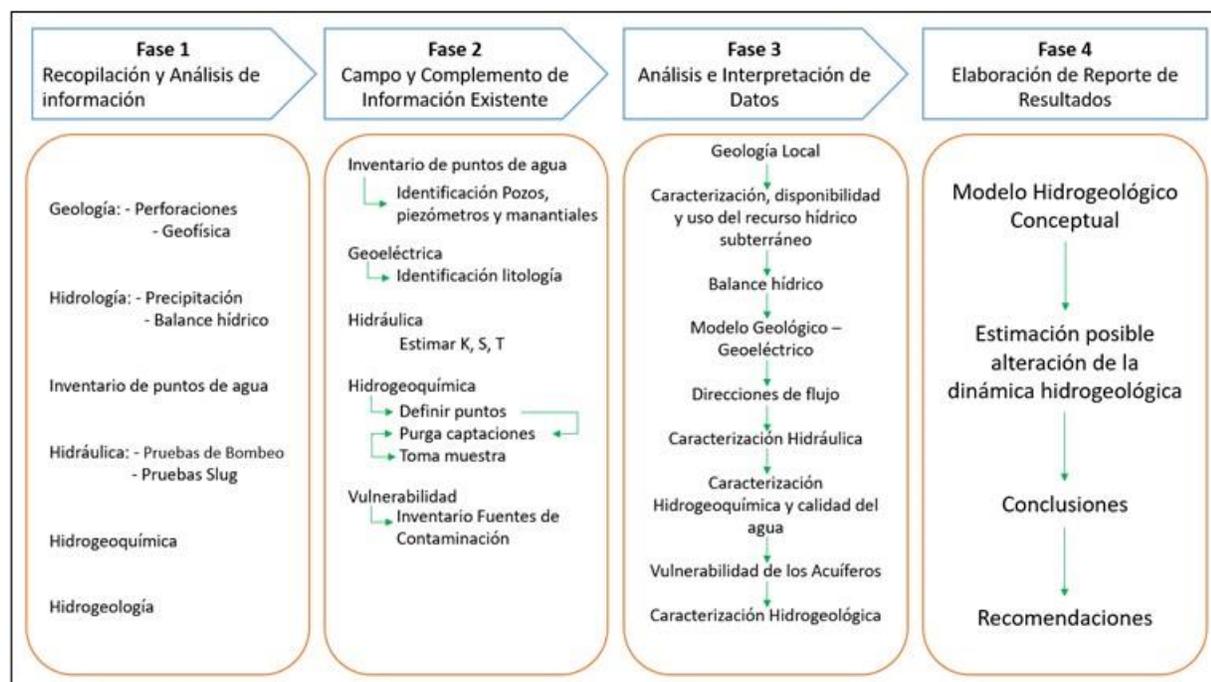


Figura 14 Desarrollo Metodológico para el Componente
Hidrogeológico

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

A continuación, se hace una descripción de cada una de las fases desarrolladas.

3.2.2.2.3.1 Fase 1 Recopilación y Análisis de Información

La recopilación de información existente permite tener una visión holística del conocimiento generado de los diferentes componentes que permiten llegar al entendimiento del comportamiento hidrogeológico de la zona donde se realizarán las actividades de traslado de redes.

Se inició con la recopilación de información generada por la PLMB dentro de Estudio de Impacto Ambiental y Social, así como lo estudio relacionados con geología, hidrología e hidrogeología elaborados por entidades como el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). También se tuvo en cuenta estudios de investigación realizadas por entes académicos y consultoras especializadas en hidrogeología.

La información recopilada fue analizada para evaluar su aplicabilidad y se utilizará como base de la presente investigación. En la Figura 15 se presenta el flujo de la Fase 1.

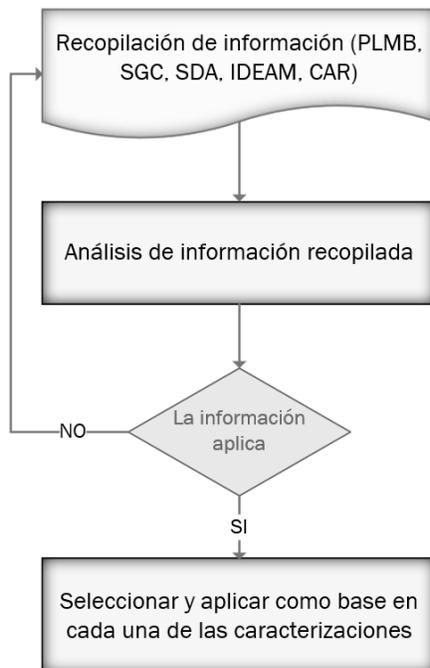


Figura 15 Flujo para el Desarrollo de la Fase 1

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

3.2.2.2.3.2 Fase 2 Campo y Complemento de la Información Existente

Para alimentar y comprobar la información recopilada, se realizaron las siguientes actividades de campo:

- ▶ Muestreo de aguas subterráneas para el análisis hidrogeoquímico y de calidad.
- ▶ Inventario de puntos de agua subterránea.
- ▶ Prospección geoeléctrica
- ▶ Pruebas Slug

3.2.2.2.3.2.1 Muestreo de Agua Subterránea

Para la toma de muestras de agua subterránea para el análisis hidrogeoquímico se realizó una definición de puntos, según lo planteado en (IDEAM & INVEMAR, 2017) en el protocolo de monitoreo de agua, y se siguieron las recomendaciones la guía para el muestreo de precipitación (OIEA/GNIP, 2014) y (Willem G Mook, 2000), para la purga de captaciones y toma de muestras.

Para los trabajos de muestreo y análisis de las muestras de agua, se utilizó el laboratorio AGQ PRODYCOM COLOMBIA SAS, laboratorio acreditado por el IDEAM, teniendo en cuenta lo establecido en la norma NTC-ISO/IEC 17025 "Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios

de Ensayo y Calibración”, y lo establecido en el Decreto 1600/1994 y la Resolución No. 0176 del 31 de octubre de 2003, la cual derogó la resolución No. 0059/2000 y 0079/2002.

El análisis hidrogeoquímico, como parte del presente estudio se encaminó a conocer la composición de las aguas subterráneas, su calidad e interacción con las unidades geológicas.

3.2.2.3.2.2 *Inventario de Puntos de Agua Subterránea*

Con el fin de identificar y precisar el número y localización de los puntos de agua subterránea, la profundidad de los niveles del agua subterránea, sus caudales y tiempos de explotación, se realizó un inventario de las posibles fuentes de agua subterránea existentes en el área de influencia, teniendo en cuenta pozos, piezómetros y aljibes.

El inventario también permitió establecer una posible dirección del flujo subterráneo, los usos del agua subterránea en la zona de estudio, número estimado de usuarios, precisando la situación o estado actual del recurso hídrico subterráneo.

El inventario se realizó siguiendo los estándares establecidos en el “Formulario Único Nacional para Inventario de Puntos de Agua Subterránea” de Ingeominas, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el IDEAM.

3.2.2.3.2.3 *Prospección Geoeléctrica*

Para poder evaluar las condiciones y características hidrogeológicas de las diferentes unidades geológicas potencialmente acuíferas que puedan ocurrir en el área de estudio, es necesario obtener un conocimiento detallado acerca de la conformación geológica del subsuelo, determinando los espesores, profundidad y continuidad de las diferentes capas geológicas que puedan almacenar agua.

Para el presente estudio se ejecutaron ocho (8) SEV's distribuidos en la zona del Patio Taller y zonas de separadores sobre la Av. Primera de Mayo, dado que estas zonas no presentan mayor intervención y se encuentran zonas verdes óptimas para el desarrollo de estas actividades. Los SEV's tendrán un AB/2 entre 150 y 250 m de longitud, dependiendo del espacio en cada punto de investigación, para lograr profundidades de investigación aproximada de hasta 120 m. Es de mencionar que, para el PMAS de Redes, se tomará la información suministrada por los SEV's ubicados sobre los separadores de la Av. Primera de Mayo.

3.2.2.3.2.4 *Pruebas Slug*

Las pruebas hidráulicas tipo Slug son pruebas de tipo puntual, que se realizaron como una alternativa cuando no existen pozos de bombeo, sino perforaciones de poco diámetro (1.5 a 3 pulgadas) o cuando se tienen perforaciones secas (sin nivel de agua subterránea).

La prueba tipo Slug consiste en el cambio súbito de la cabeza hidráulica al interior del piezómetro, este cambio súbito se genera a partir de la inyección de agua o la extracción de agua de forma instantánea (en el menor tiempo); cuando los piezómetros tienen nivel de agua subterránea este cambio en la cabeza hidráulica se puede hacer introduciendo una barra que genera un

desplazamiento igual al volumen de la barra. Su interpretación se realizará a través del método de Hvorslev y Bower and rice, utilizando AquifertTest 2011.1. Durante la ejecución de las pruebas las medidas del descenso o el ascenso del nivel del agua se realizará de forma automática mediante un transductor de presión tipo Diver.

3.2.2.2.3.3 Fase 3 Análisis e Interpretación de Datos

A partir de la información recopilada, analizada y seleccionada, más el aporte de los datos de actualización de niveles estáticos, caudales y resultados de la geofísica, la hidrogeoquímica y la hidráulica, se establecieron las relaciones geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas para el trazado de la PLMB y se tomaran como base para la caracterización del corredor vial donde se realizará el traslado de redes.

Se realizó una síntesis y explicación de la geología local, a partir de la cual se realizaron correlaciones litológicas, de profundidad del nivel del agua, los parámetros hidráulicos, para establecer las unidades hidrogeológicas de la zona de estudio y su potencialidad acuífera.

Mediante el inventario de puntos de agua subterránea se realizó el análisis del recurso hídrico en cuanto al uso y la disponibilidad. La caracterización hidrológica y su relación con los tipos de suelo, cobertura vegetal y pendientes que permitieron establecer la potencial recarga en la zona. Esta caracterización fue soportada con la caracterización hidrogeoquímica, la cual se interpretó mediante los diagramas gráficos de Piper, Stiff y Schoeller que sirvieron para clasificar el agua, correlacionar las aguas superficiales y subterráneas, estimar posibles orígenes y direcciones probables de flujo identificando las posibles áreas de recarga y descarga.

Con base en la información obtenida y relacionada se pudo establecer el comportamiento de las aguas subterráneas a lo largo del trazado de la PLMB y del corredor vial donde se realizarán las actividades de traslado de redes.

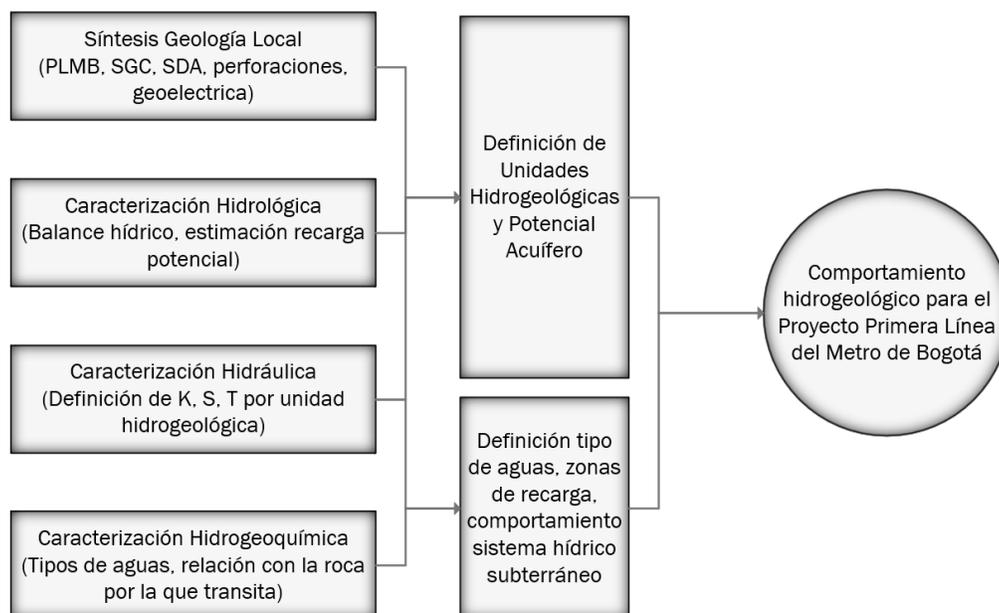


Figura 16 Flujo para el Desarrollo de la Fase 3

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

3.2.2.2.3.4 Fase 4 Elaboración de Reporte de Resultados

Al tener claridad del comportamiento del sistema hídrico subterráneo se construyeron los siguientes reportes claves que permitieron transmitir los resultados del estudio:

- ▶ Modelo Hidrogeológico Conceptual: Mediante las caracterizaciones geológica, hidrológica, hidráulica, hidrogeoquímica y bloques diagrama, perfiles hidroestratigráficos, se explicará el comportamiento hidrogeológico de la zona de estudio.
- ▶ Se formularon las conclusiones que expliquen los resultados obtenidos durante la investigación.
- ▶ Se plantearon las recomendaciones para mejorar el Plan de Manejo y Seguimiento hidrogeológico para el proyecto PLMB.

3.2.2.3 Componente atmosférico

3.2.2.3.1 Meteorología

Las caracterización climática en el área de influencia del proyecto se definieron a partir de las condiciones meteorológicas medias y extremas diarias, mensuales y multianuales, usando como fuente de información los datos de estaciones cercanas al área de influencia y pertenecientes a diversas entidades tales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, el Instituto Distrital de Gestión

de Riesgos y Cambio Climático - IDIGER, la Secretaría Distrital de Ambiente – SDA (a través de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá, RMCAB) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB.

En general, el contenido de este análisis incluyó una descripción de las condiciones climáticas multianuales de las siguientes variables:

- ▶ Precipitación: media diaria, mensual y anual, y su distribución en el área de influencia.
- ▶ Temperatura: media, mínima y máxima, y su distribución espacial.
- ▶ Viento: Dirección y velocidades, identificando la variación mensual y, presentando rosa de vientos.
- ▶ Humedad Relativa: media, máxima y mínima mensual multianual.
- ▶ Presión atmosférica: horaria y mensual multianual.
- ▶ Radiación solar: media mensual y anual
- ▶ Nubosidad
- ▶ Evaporación y evapotranspiración potencial

La información procedente de las entidades es revisada, los datos faltantes fueron complementados mediante la técnica de razón de valores normales o mediante medios mensuales obtenidos de la serie original, acorde con lo establecido por el (Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras - HIMAT, 1990), y posteriormente se examinó la homogeneidad y consistencia de los datos, para evitar distorsiones y una caracterización errónea.

Para ello, se utilizaron métodos gráficos de distribución mensual, y específicamente en la variable precipitación, se aplica el método de regresión gráfica sobre la curva de masa sencilla, en el cual se fija una línea de tendencia ajustada mediante mínimos cuadrados y se evalúa el coeficiente de determinación de la regresión lineal efectuada.

También se realizó un análisis de consistencia que permite evaluar la homogeneidad de una serie con respecto a otra que se conoce es homogénea, para ello se aplica el método de la curva de doble masa en el cual las parejas de valores en la estación analizada y en la estación índice (considerada homogénea) se acumulan y representan gráficamente.

Con relación a la temperatura, se realizó un análisis de la variación inversamente proporcional entre esta variable y la altitud, basados en la premisa que en la región Andina son inversamente proporcionales (Atlas Climatológico de Colombia 1981-2010), siendo altamente significativa en el área de estudio.

Las demás variables son altamente correlacionadas con la precipitación y temperatura y su análisis obedece a un análisis con relación a este argumento.

También se realizó la distribución espacial de variables climáticas como precipitación y temperatura. Esta información se obtuvo mediante modelos ráster de isoyetas e isotermas, procesados con el programa ArcGIS. Y finalmente se presentó la clasificación climática del área de estudio, basada en la clasificación Caldas Lang.

3.2.2.3.2 Identificación de fuentes de emisiones

3.2.2.3.2.1 Etapa pre-campo

Para realizar la identificación preliminar de las fuentes de emisión existentes en el área de intervención del trazado de la primera línea del metro de Bogotá, se utilizó información secundaria proveniente de la Secretaría Distrital de Medio Ambiente y a la Secretaría Distrital de Movilidad. Esta información es igualmente útil para la caracterización del PMAS de traslado de redes.

3.2.2.3.2.2 Etapa de campo

Teniendo en cuenta la información secundaria de la Secretaría Distrital de Ambiente y de Movilidad, mediante un recorrido realizado en campo se verificó las fuentes fijas de emisión.

Con respecto a las fuentes móviles se realizó un monitoreo 24 horas en 29 puntos distribuidos a lo largo del trazado del proyecto y se completó con la información secundaria.

3.2.2.3.2.3 Etapa pos-campo

A la información recolectada en la etapa pre-campo y campo, se le realizó su procesamiento y análisis de acuerdo con dispuesto en el Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

3.2.2.3.3 Calidad del aire

Para el desarrollo de este componente se siguieron los lineamientos indicados en los diferentes protocolos y guías desarrolladas por las autoridades ambientales y adoptados mediante Resolución por el hoy MADS y en el anexo Técnico del Apéndice 15, entre los cuales se pueden mencionar el Protocolo para el Seguimiento y el Monitoreo de la Calidad del Aire del 2010 elaborado por el hoy MADS y el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas del hoy MADS adoptado a través de la Resolución 2154 de 2010.

3.2.2.3.3.1 Etapa pre-campo

3.2.2.3.3.1.1 Macro-localización

Para la macrolocalización de los receptores sensibles de la primera línea del metro, se inició con la identificación de centros de interés con grado de influencia con respecto a la contaminación atmosférica entre ellos: viviendas e infraestructura social, económica, educativa, cultural, recreativa y de salud, entre otros.

Este análisis se realizó mediante imágenes satelitales y cartografía base donde se georreferenció los principales receptores ubicados en el área de estudio considerando los criterios como la dinámica de los vientos y la distribución simétrica de los puntos o estaciones de monitoreo abordando el trazado de la primera línea del metro de Bogotá.

Con base a esta información, la ubicación de los sitios tuvo en cuenta que se pudiera capturar las concentraciones vientos debajo de la fuente de emisión (línea proyectada del metro); el comportamiento de los vientos tiene una variabilidad de la dirección que puede tener una resolución horaria o diaria o mensual, lo cual puede cambiar permanentemente el concepto de vientos arriba y vientos debajo de la fuente de emisión, se determinó que la disposición de las estaciones de calidad de aire se ubicaran alternadamente cerca de la línea del metro, al norte y al sur de la línea del metro a la altura de la Avenida Primera de Mayo y al Oriente y Occidente de la línea eje del metro que recorre la avenida caracas de manera zigzagueante. La Propuesta de la ubicación de los 30 puntos se pueden apreciar en la figura y tabla siguiente.

Tabla 6 – Ubicación de estaciones de calidad de aire

Punto	Laboratorio	Sitio	Dirección sitio
Punto 1	SGS	Patio Taller	Carrera 107 con Calle 59 sur
Punto 2		El jazmín	Carrera 97f con calle 42a sur
Punto 3		Betania	Carrera 88b con calle 49 f
Punto 4		Portal Américas	Calle 42H Sur con carrera 86
Punto 5		Nueva Britalia	Calle 45 Bis Sur con carrera 80
Punto 6		IED Jacqueline	Calle 46 sur con Carrera 77V Bis
Punto 7		Ciudadela Kennedy	Calle 41 g Sur con transversal 78h Bis
Punto 8		Oikos	Calle 39b Sur con carrera 73 c Bis
Punto 9		Kennedy Central	Calle 35 Sur con carrera 74
Punto 10		Cervantes	Calle 26 sur con carrera 72
Punto 11		San Lucas	Calle 37 con transversal 68c
Punto 12	ASOAM	P12. Av. 68 - 1 de mayo	Av. carrera 53 con calle 27 sur
Punto 13		Ponderosa	Transversal 52a Bis con calle 1a
Punto 14		San Esteban	Calle 29a Sur con carrera 50b
Punto 15		Centro Mayor	Carrera 34d con calle 35 sur
Punto 16		El Remanso	Carrera 34d con calle 18 sur
Punto 17		Antonio Nariño	Calle 3a sur con carrera 19
Punto 18		Hospital la Misericordia	Calle 2 con caracas
Punto 19		Inst. Cancerológico	Carrera con Av. Calle 1
Punto 20		San Victorino	Carrera 10 con calle 9
Punto 21		Colegio la presentación	Diagonal 19a con calle 19
Punto 22	AMBIENCIQ	Universidad INCCA	Carrera 13 con calle 24
Punto 23		Sagrado Corazón	Carrera 6 con calle 4
Punto 24		Marly	Calle 46 con caracas
Punto 25		Chapinero	Calle 55 con caracas
Punto 26		U Salle	Carrera 4a con Calle 60a
Punto 27		Calderón	Carrera 15 con calle 63 a
Punto 28		La Concepción	Calle 69 con carrera 15
Punto 29		Calle 76	Calle 76 con caracas
Punto 30		Antiguo Country	Calle 83 con carrera 16a

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

3.2.2.3.3.1.2 *Microlocalización*

Al igual que los aspectos de macrolocalización, las pautas de microlocalización de los equipos fueron adaptados del protocolo de medición y seguimiento de la calidad del aire. La microlocalización corresponde a la ubicación exacta de los equipos dentro de los puntos propuestos; En la Tabla 7 y la Figura 17 a la Figura 21, se encuentra descrita la ubicación y receptores potenciales de las estaciones de monitoreo:

Tabla 7 – Coordenadas para la Georreferenciación de las estaciones de calidad de aire

Punto	Laboratorio	Coordenadas		Receptores Sensibles potenciales
		Latitud	Longitud	
Punto 1	SGS	4°38'330,94" N	74°11'48,06" O	NA
Punto 2		4°38'8,94" N	74°10'58,76" O	Colegio Cafam Bellavista
Punto 3		4°38'42,8" N	74°10'16,78" O	Colegio Porvenir
Punto 4		4°37'47,81" N	74°10'15,63" O	Portal de la Américas
Punto 5		4°36'57,27" N	74°09'54,88" O	Colegio San José
Punto 6		4°36'31,51" N	74°09'43,68" O	Colegio Jackeline
Punto 7		4°37'02,51" N	74°09'29,26" O	Colegio Los periodistas
Punto 8		4°36'56,65" N	74°08'58,42" O	Colegio Las Américas
Punto 9		4°37'19,67" N	74°08'53,48" O	Colegio la Amistad
Punto 10		4°37'15,71" N	74°08'29,80" O	Colegio Miguel Cervantes
Punto 11		4°36'25,09" N	74°08'10,58" O	Residencial
Punto 12	ASOAM	4°36'26,05" N	74°07'39,86" O	Colegio Parroquial Monseñor Emilio De Brigard
Punto 13		4°36'41,53" N	74°07'08,22" O	Colegio Luis Carlos Galán
Punto 14		4°36'11,77" N	74°07'26,24" O	Colegio Benjamín Herrera
Punto 15		4°35'37,10" N	74°07'08,66" O	Colegio Psicopedagógico Villamayor
Punto 16		4°35'49,85" N	74°06'43,64" O	Colegio Marco Antonio Carreño
Punto 17		4°35'31,24" N	74°05'31,44" O	Hospital Santa Clara
Punto 18		4°35'14,04" N	74°05'06,73" O	Hospital la Misericordia
Punto 19		4°35'37,86" N	74°05'17,41" O	Instituto Cancerológico
Punto 20		4°35'52,15" N	74°04'59,19" O	Medicina Legal
Punto 21		4°36'48,79" N	74°04'39,08" O	Residencial
Punto 22		4°36'39,08" N	74°04'23,44" O	Residencial
Punto 23	AMBIENCIQ	4°37'45,24" N	74°04'17,61" O	Residencial
Punto 24		4°38'17,36" N	74°03'52,01" O	Universidad Santo Tomás
Punto 25		4°38'47,55" N	74°04'03,00" O	Residencial
Punto 26		4°38'40,18" N	74°03'33,78" O	Universidad de la Salle
Punto 27		4°39'07,31" N	74°03'58,01" O	Residencial
Punto 28		4°39'34,27" N	74°03'23,55" O	Colegio Gimnasio Moderno
Punto 29		4°40'04,42" N	74°04'04,75" O	Residencial
Punto 30		4°40'07,77" N	74°03'42,46" O	Residencial

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

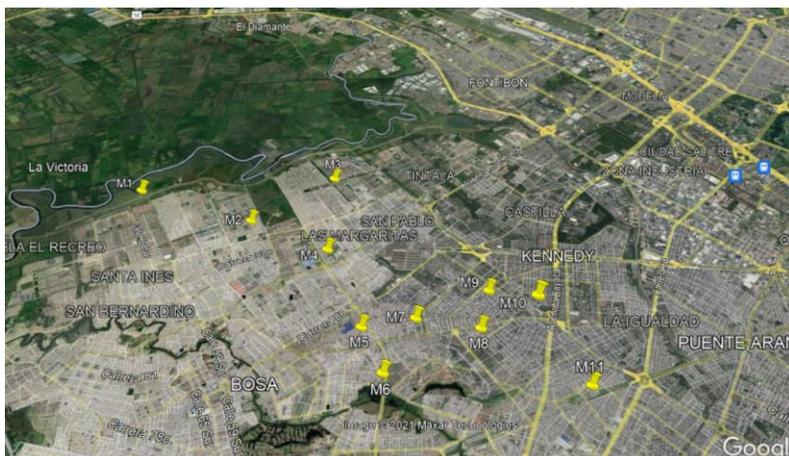


Figura 17 Georreferenciación Puntos de estaciones de monitoreo de CA (puntos del 1-11)

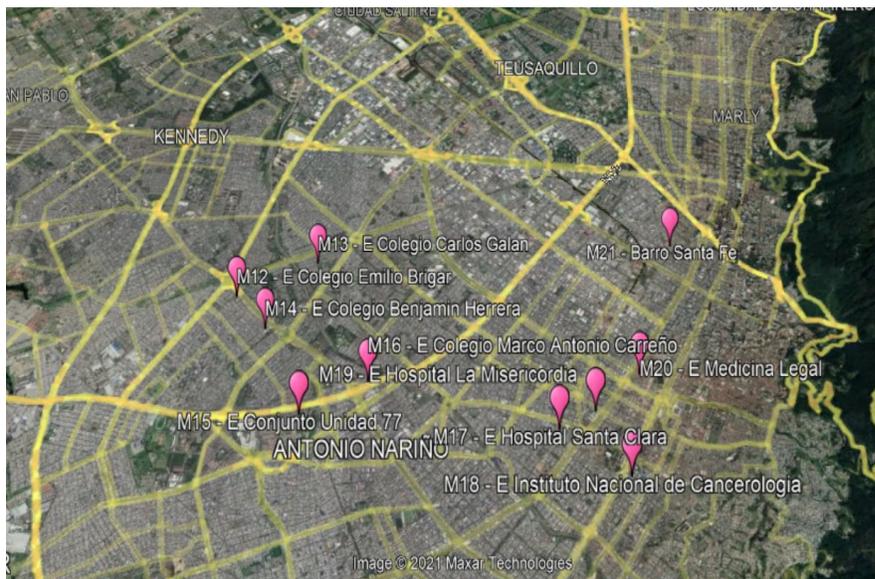


Figura 18 Georreferenciación Puntos de estaciones de monitoreo de CA (puntos del 12-21)

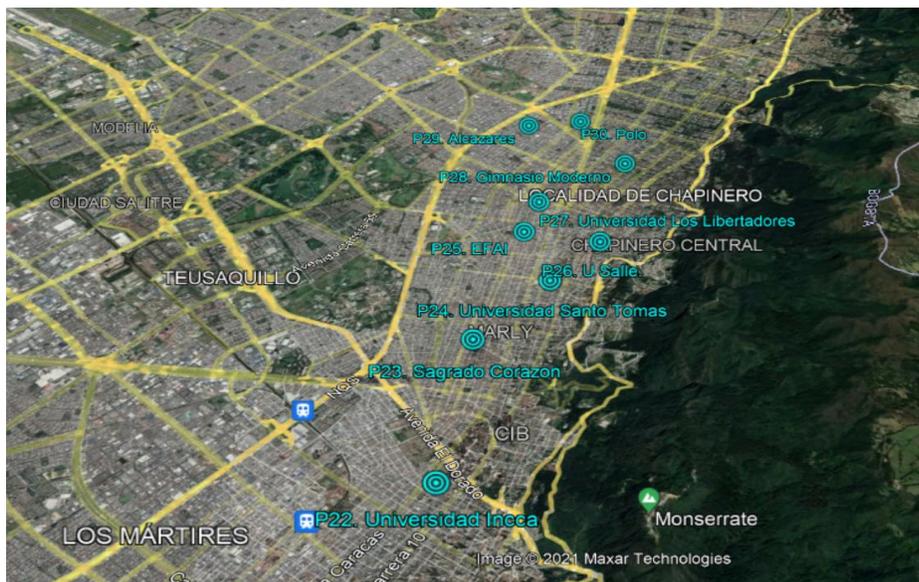


Figura 19 Georreferenciación Puntos de estaciones de monitoreo de CA (puntos del 22-30)

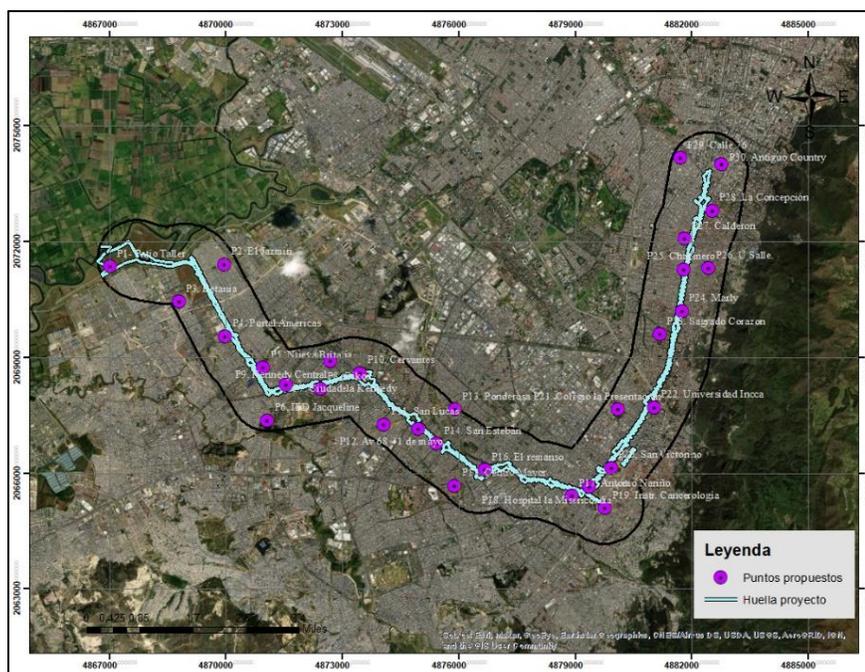


Figura 20 Propuesta de Ubicación de las estaciones de Monitoreo de Calidad de aire

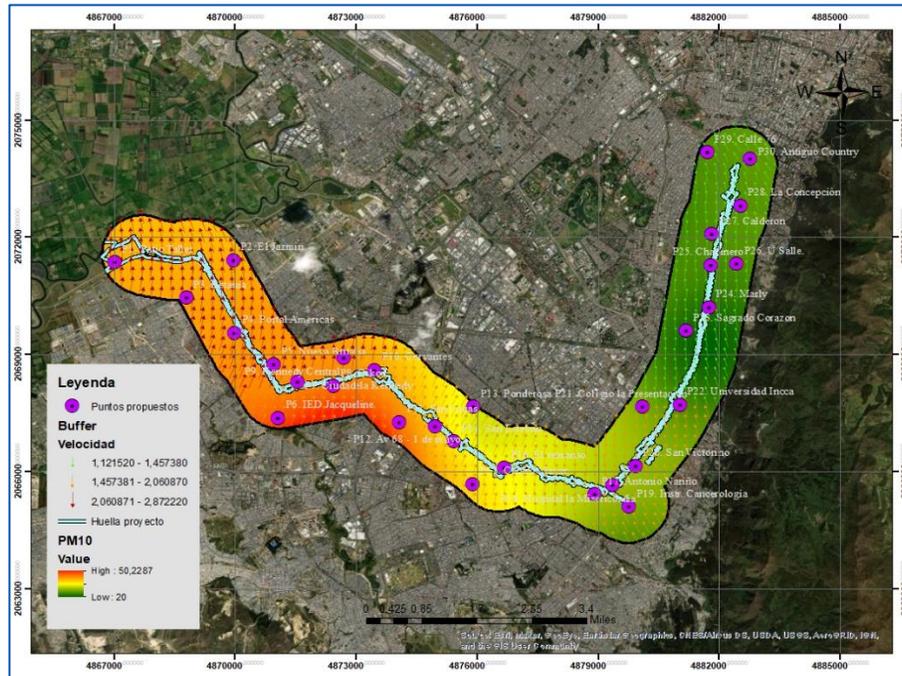


Figura 21 Propuesta de Ubicación de las estaciones de Monitoreo de
Calidad de aire

3.2.2.3.3.2 Etapa de Monitoreo-campo

Antes de realizar la ejecución de los monitoreos se diseñó un protocolo para la realización de los monitoreos de calidad del aire de los estudios ambientales el cual fue aprobado previo al inicio de las actividades de campo. Para este estudio se tomaron en 30 puntos de monitoreo a lo largo del trazado del viaducto de la primera línea del Metro de Bogotá, los cuales son aplicables al área de este PMAS, y además se tuvo en cuenta los lineamientos establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la calidad del aire del MADS y bajo protocolos y técnicas de muestreo avaladas por el IDEAM. La información suministrada por estos puntos de monitoreo se tomará como base en la caracterización del PMAS de traslado de redes.

Estos monitoreos se realizaron con tres laboratorios: ASOAM, AMBIENCIQ INGENIEROS S.A.S y SGS, quienes cuentan con la acreditación por el IDEAM.

Estos laboratorios desarrollaron el monitoreo de calidad del aire e informe final de resultados de acuerdo con los lineamientos exigidos por el “Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la calidad del aire” adoptado a través de la Resolución 2154 de 2010 respectivamente y de acuerdo con lo establecido en el numeral 5.2.3.3, Anexo No. 1 del apéndice técnico 15.

Las estaciones de aire instaladas para los monitoreos de calidad de aire contaron con todos los equipos requeridos para la toma de muestras en campo, así como una estación meteorológica que

permitió tomar los datos climáticos con el fin de verificar el estado del tiempo (seco o lluvia) para garantizar la toma de la muestra.

Los resultados del muestreo fueron verificados con los límites máximos permisibles de acuerdo con el tiempo de exposición de cada parámetro, establecidos en la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017.

3.2.2.3.3.2.1 *Monitoreo-campo*

A partir de la información obtenida de la medición de calidad de aire y el inventario de emisiones mediante la implementación de factores de emisión de las mismas mediante los métodos (FE) promulgados por la EPA/USA, luego de este paso se realizó el tratamiento de la información meteorológica con AERMET VIEW, donde es posible la elaboración de rosas de vientos con WRPLOT, finalmente se ejecutó para cada uno de los contaminantes analizados el modelo con AERMOD VIEW y el procesamiento de los datos obtenidos luego de correr el modelo POST VIEW considerando la normatividad ambiental vigente establecida por el Ministerio de Ambiente en la resolución 2254 de 2017. Esta modelación se realizó en los escenarios descritos en ítem 5.2.3.3 del anexo 1 del AT 15 los cuales se citan a continuación:

- ▶ Primer escenario: Línea Base
- ▶ Segundo escenario: Etapa Preoperativa (construcción)
- ▶ Tercer escenario: Etapa de operación y mantenimiento.
- ▶ Cada modelo de dispersión debe contar con un procedimiento y análisis detallado de la siguiente información:
 - ▶ Datos de entrada y de salida (anexar los archivos de entrada y salida.
 - ▶ Procedimiento y/o metodología utilizada.
 - ▶ Criterios de selección
 - ▶ Validación de la información de entrada
 - ▶ Información adicional necesario y requerido acorde a las características del proyecto.
 - ▶ Estimación del aporte de la fuente para todos los parámetros solicitados en el monitoreo de calidad de aire.

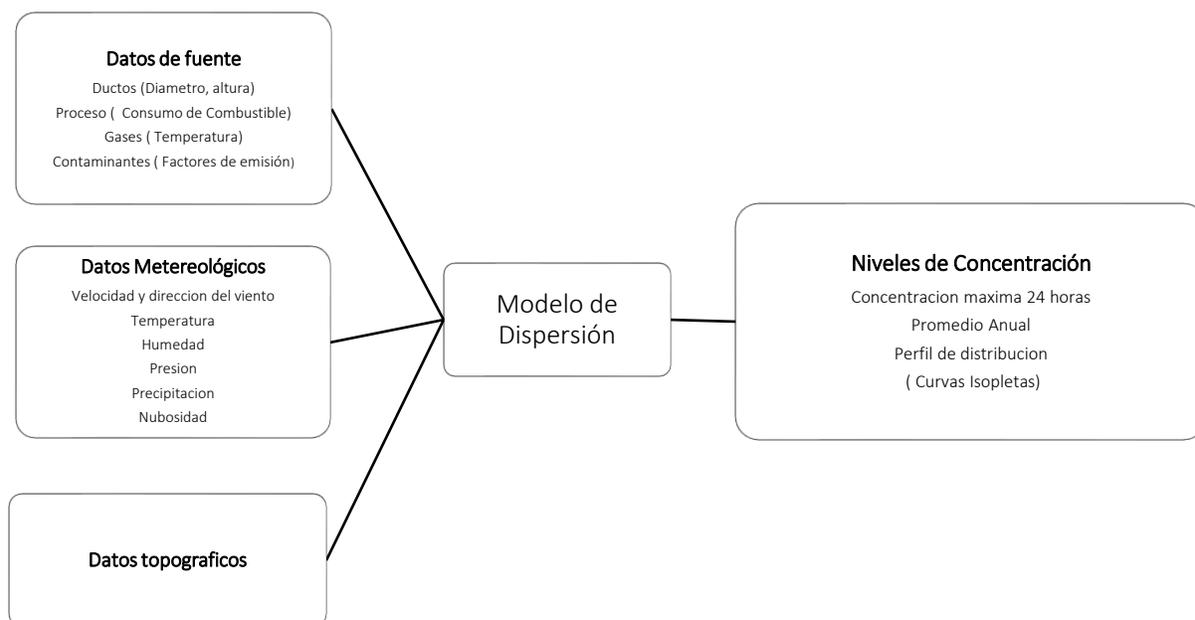


Figura 22 Entradas típicas Modelo de dispersión de contaminantes

El estudio se desarrolló a partir de la información técnica de las fuentes a modelar identificando tasas de emisión por contaminante y temperatura de salida de los gases. La metodología para la estimación de niveles de concentración de contaminantes con el modelo AERMOD de la EPA, consta en general de seis pasos fundamentales:

Configuración: Definición de los contaminantes a evaluar de acuerdo con el proceso productivo, descripción de los tiempos de trabajo de las fuentes de emisión, establecimiento de las salidas de las simulaciones a través de tablas de resultados y salidas gráficas.

- ▶ **Terreno:** Introducción de información de superficie en el dominio de interés, mediante el diseño de mallas de receptores cartesianos separados por una distancia de 100 m, identificación de receptores sensibles relacionados con centros poblados; esta información es alimentada al preprocesador de terreno AERMAP, el cual permite asignar a cada uno de ellos la elevación correspondiente y altura de escala necesaria para el cálculo de la pluma en el modelo, basado en un mapa de referencia de tipo .DEM o GEOTIFF. Por otra parte, se identifican las coberturas vegetales, así como las áreas que ocupa cada una de ellas, para estimar los valores de rugosidad, albedo y relación de flujo calor sensible / latente, incluidos dentro de la estimación de parámetros de capa límite en AERMET.
- ▶ **Meteorología:** Para la descripción de la capa límite en la zona de estudio se utiliza información meteorológica horaria de modelos meteorológicos de mesoescala o regionales que permitan aproximar las características de la atmosfera en la zona mediante la definición de una estación meteorológica virtual que suministre la información requerida, por lo menos de 1 año consecutivo, posteriormente esta información meteorológica de superficie y de propiedades

verticales de la atmosfera (radiosondeo), es procesada mediante el preprocesador AERMET, junto con las características de superficie identificadas; para los periodos de mayores y menores lluvias, se calculan los parámetros descriptores de la capa límite de la zona de estudio en la cual se estimará la dispersión de los contaminantes en la atmósfera.

- ▶ Emisiones: se identifican las fuentes de emisión relevantes (bombas de fracturación, generadores de energía, unidades de hidratación y mezcladores), así como su ubicación y características de funcionamiento, con el fin de seleccionar el factor de emisión apropiado para la estimación de emisiones.
- ▶ Ejecución: una vez ingresada toda la información suministrada por las etapas anteriores, el modelo se ejecuta realizando los cálculos de nivel de concentración en cada punto receptor para cada hora de información meteorológica disponible, estos valores son agrupados y promediados en resolución, diaria o anual para su presentación en la modalidad seleccionada en la etapa de configuración.
- ▶ Posprocesamiento: Los resultados son presentados en forma de gráficos de isoconcentración o isopleas para el área de interés sobre imágenes de terreno, utilizando superposición de imágenes, adicionalmente se tabulan los niveles de concentración para extraer los valores promedio.

3.2.2.3.3 *Análisis De Resultados*

Una vez realizados los análisis complementarios del laboratorio y teniendo los datos recolectados en campo de los muestreos pertenecientes a las muestras recolectadas en la campaña de calidad del aire, se siguió con el desarrollo del informe final.

3.2.2.3.4 *Ruido Ambiental*

La caracterización del componente ruido en el Área de Influencia del proyecto, se realizó con base en los monitoreos realizados dentro de la actualización del EIAS de la PLMB.

Para efectos de medición en el horario diurno y nocturno, se consideró los horarios de medición de las 07:01 horas hasta las 21:00 horas como horario diurno y desde las 21:01 horas hasta las 07:00 horas, como lo indica el artículo 2 de la Resolución 627 de 2006.

De igual forma se incluyeron los aspectos mínimos para la realización del monitoreo definidos en el Anexo 3 de la Resolución 627 de 2006, como se indica a continuación:

- ▶ Establecer el número de horas diurnas y nocturnas durante las cuales se efectúa la toma de mediciones: De acuerdo con el capítulo III del anexo 3 de la Resolución 627 de 2006, establece que: “*El número de horas de medición por período diurno o nocturno, en cada sitio, no será inferior a 2*”, es decir el monitoreo se ejecutará diurno y nocturno día hábil y no hábil por consiguiente en cada punto y jornada de medición se obtendrán dos horas de monitoreo, cumpliendo con el requerimiento.

- ▶ Establecer los horarios de medición: De acuerdo con el capítulo III del anexo 3 de la Resolución 627 de 2006, con respecto a los horarios de medición recomiendan lo siguiente: “no hacer mediciones de más de una hora continua en cada punto”, por lo tanto, para este estudio se realizará mediciones cumpliendo los intervalos de medición descritos en el numeral 2.4.7 del presente documento.
- ▶ Establecer el número de días por semana y el número de semanas por mes durante los cuales se efectúan las mediciones: El número mínimo de días a la semana en los cuales se efectuarán las mediciones es de dos (2), uno de ellos tiene que ser un domingo, y el número mínimo de semanas por mes a medir es una (1).

3.2.2.3.4.1 Reconocimiento del sitio de muestreo

La selección del sitio de muestreo y la ubicación del equipo de medición se realizó de acuerdo con lo estipulado en la norma vigente (Resolución 627 de 2006), la cual solicita que se debe realizar una inspección del lugar para verificar que no se encuentren obstrucciones o interferencias que impidan el buen desarrollo de la captura de datos. En zonas urbanas y de expansión urbana, el ruido ambiental se mide instalando el micrófono a una altura de cuatro (4) metros medidos a partir del suelo y a una distancia equidistante de las fachadas, barreras o muros existentes a ambos lados del punto de medición, si estos no existen en uno de los costados, el punto se sitúa a una distancia de cuatro (4) metros medidos horizontalmente desde el costado que las posea, si no existen en ninguno de los costados, se toma el punto equidistante entre los límites del espacio público correspondiente. En ninguna circunstancia se pueden efectuar mediciones bajo puentes o estructuras similares.

3.2.2.3.4.2 Monitoreo de Ruido

De acuerdo con el trazado de la primera línea del metro de Bogotá, durante el periodo del 10 julio al 02 de agosto del 2021, se realizó un monitoreo de ruido ambiental en 29 puntos. La selección del sitio de muestreo y la ubicación de los equipos de medición se realizó de acuerdo con lo estipulado en la norma vigente (Resolución 627 de 2006), para lo cual se realizó una inspección del lugar para verificar que no se encontraran obstrucciones o interferencias que impidieran el buen desarrollo de la captura de datos. Es importante mencionar, que la información obtenida de estos monitoreos será utilizada para la caracterización a realizar en el PMAS de traslado de redes.

En zonas urbanas y de expansión urbana, el ruido ambiental se midió instalando el micrófono a una altura de cuatro (4) metros medidos a partir del suelo y a una distancia equidistante de las fachadas, barreras o muros existentes a ambos lados del punto de medición, si estos no existen en uno de los costados, el punto se sitúa a una distancia de cuatro (4) metros medidos horizontalmente desde el costado que las posea, si no existen en ninguno de los costados, se toma el punto equidistante entre los límites del espacio público correspondiente. En ningún momento se efectuaron mediciones bajo puentes o estructuras similares.

En la siguiente tabla se muestran los puntos del muestreo referenciados y con la clasificación de acuerdo con la norma:

Tabla 8 – Localización de los puntos de muestreo

Punto	Ubicación Norte	Ubicación Este
M1	E 4871998,639 N 2068230,459	N 4°36'59,67" W 74° 9'15,91"
M2	E 4869317,234 N 2071073,288	N 4°38'32,13" W 74°10'43,11"
M3	E 4870158,773 N 2069579,307	N 4°37'43,51" W 74°10'15,71"
M4	E 4870749,403 N 2068715,696	N 4°37'15,41" W 74° 9'56,49"
M5	E 4871093,269 N 2068019,190	N 4°36'52,74" W 74° 9'45,29"
M6	E 4871771,695 N 2068281,174	N 4°37'1,31" W 74° 9'23,28"
M7	E 4871998,639 N 2068230,459	N 4°36'59,67" W 74° 9'15,91"
M8	E 4872560,632 N 2068309,674	N 4°37'2,28" W 74° 8'57,67"
M9	E 4873554,346 N 2068681,063	N 4°37'14,43" W 74° 8'25,43"
M10	E 4874105,161 N 2067936,662	N 4°36'50,21" W 74° 8'7,51"
M11	E 4874625,138 N 2067358,396	N 4°36'31,40" W 74° 7'50,60"
M12	E 4875153,297 N 2067080,046	N 4°36'22,36" W 74° 7'33,44"
M13	E 4875663,991 N 2066662,664	N 4°36'8,79" W 74° 7'16,84"
M14	E 4876074,208 N 2066404,462	N 4°36'0,40" W 74° 7'3,51"
M15	E 4876589,762 N 2065937,349	N 4°35'45,21" W 74° 6'46,75"
M16	E 4877238,401 N 2066268,498	N 4°35'56,03" W 74° 6'25,71"
M17	E 4877645,884 N 2065832,259	N 4°35'41,84" W 74° 6'12,46"
M18	E 4878431,493	N 4°35'37,38"

Punto	Ubicación Norte	Ubicación Este
	N 2065694,137	W 74° 5'46,95"
M19	E 4879335,179	N 4°35'28,36"
	N 2065415,861	W 74° 5'17,60"
M20	E 4879407,071	N 4°35'37,50"
	N 2065696,332	W 74° 5'15,28"
M21	E 4879809,926	N 4°35'49,34"
	N 2066059,185	W 74° 5'2,22"
M22	E 4880077,14	N 4°36'5,68"
	N 2066560,385	W 74° 4'53,57"
M23	E 4880980,159	N 4°36'55,76"
	N 2068096,374	W 74° 4'24,33"
M24	E 4881586,416	N 4°37'56,95"
	N 2069973,866	W 74° 4'4,74"
M25	4881820,162	N 4°38'29,37"
	N 2070968,739	W 74° 3'57,20"
M26	E 4881974,534	N 4°38'57,21"
	N 2071823,135	W 74° 3'52,23"
M27	E 4882286,986	N 4°39'33,25"
	N 2072929,015	W 74° 3'42,14"
M28	E 4882411,732	N 4°39'59,94"
	N 2073748,153	W 74° 3'38,13"
M29	E 4882429,366	N 4°40'8,28"
	N 2074004,146	W 74° 3'37,57"

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

3.2.2.3.4.3 *Análisis de resultados de Ruido*

En esta etapa se realizó una valoración de los niveles de ruido ambiental, durante los horarios diurno y nocturno en los puntos ubicados en el área del proyecto, teniendo en cuenta los usos del suelo. Esta valoración considero las mediciones en campo (Leq) hechas en ponderación A y tiempo de respuesta S y las compara con la normatividad ambiental vigente.

3.2.3 Caracterización Medio Biótico

3.2.3.1 Ecosistemas estratégicos, sensibles y/o áreas protegidas

El POT reconoce el conjunto de las áreas de valor ecológico como un sistema, y para orientar su manejo estableció categorías y regímenes específicos de uso para tratar las áreas protegidas de acuerdo con la naturaleza de servicios ambientales que prestan y su vocación, articulándolas a las actividades humanas, en función de su papel ambiental más amplio.

El Sistema de Áreas Protegidas del Distrito Capital, se concibe este sistema como parte de un sistema regional mayor, e integrado entre el territorio urbano y rural del D.C. En consecuencia, el plan define el conjunto de áreas que conforma el sistema de áreas protegidas (Artículo 81), las identifica y delimita como suelo de protección, y determina el régimen de usos específico para dos grupos:

- ▶ Áreas protegidas del orden nacional y regional
- ▶ Áreas protegidas del orden distrital

Las áreas protegidas declaradas por los órdenes regional o nacional hacen parte del sistema de áreas protegidas del Distrito Capital, para efectos de planificación e inversión, acogiendo el régimen de usos, planes de manejo y reglamentos específicos establecidos para cada una por la autoridad ambiental competente.

3.2.3.2 Ecosistemas Terrestres

El estudio sobre ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, 2017 muestra los Ecosistemas presentes para el territorio nacional, esta información fue consultada y cruzada con el área de influencia, identificando las formaciones vegetales presentes

3.2.3.3 Coberturas de la Tierra

Con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se procedió a realizar una interpretación y clasificación de coberturas a lo largo de toda el área de influencia del proyecto Metro de Bogotá L1 a través de la imagen satelital LÍDAR empleada para tal fin, en el cual se identificaron 16 tipos de coberturas teniendo en cuenta la clasificación de coberturas Corine Land Cover (CLC) (IDEAM, 2010) y el Plan de Ordenación y manejo de la Cuenca hidrográfica (POMCA) del Rio Nare (MINAMBIENTE, 2017).

3.2.3.4 Vegetación

Se resalta que las actividades relacionadas con el PMAS se iniciaran de manera anticipada a las actividades asociadas a las obras del viaducto, razón por la cual, los tramites y/o permisos asociado al componente forestal y de paisaje, se solicitará inicialmente únicamente para las áreas o individuos forestales que pudiesen verse afectados por la actividad de relocalización de redes y en el momento en el que se tenga claridad de las afectaciones particulares por las obras de construcción del viaducto al componente forestal y de paisaje se solicitaran los permisos correspondientes para esta otra actividad. A continuación, se describe la metodología empleada para cada una de las actividades del componente de vegetación.

3.2.3.4.1 Inventario forestal

El proceso del inventario forestal se desarrolló en tres etapas: la Etapa previa (Antes), la Etapa de campo (Durante) y la Etapa de oficina (Después), cabe destacar que las etapas de campo y oficina de desarrollan de manera simultánea, esto con el fin de ir generando la información actualizada y verificada con respecto al estado actual del arbolado en la zona. En la Figura 23 se detalla el esquema metodológico que se detallara en el presente numeral.

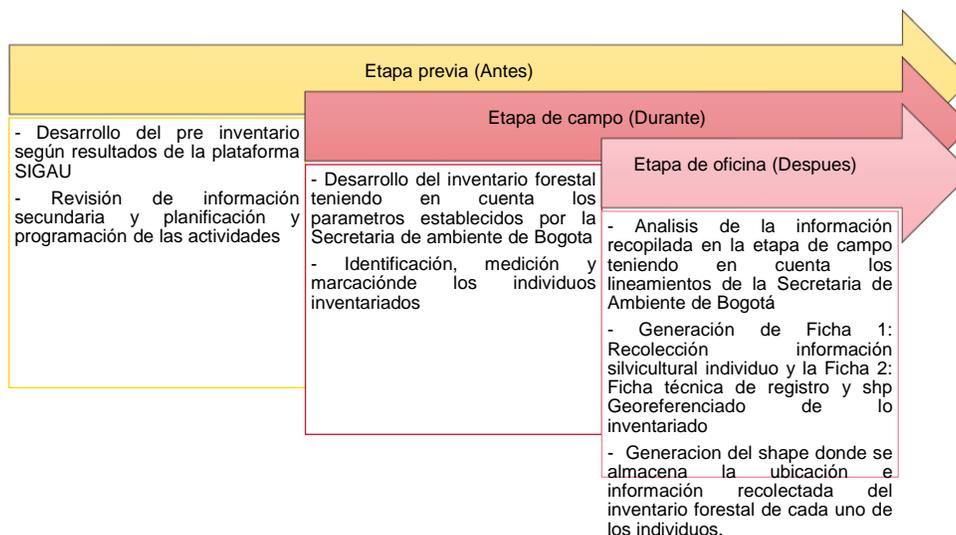


Figura 23 Esquema Metodológico del Inventario Forestal

3.2.3.4.1.1 Etapa previa (antes):

El Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano de Bogotá D.C. - SIGAU es un sistema único que contiene toda la información de los árboles localizados en el espacio público de la ciudad de Bogotá, con la información contenida en este sistema fue posible conocer las características y localización de todos y cada uno de los árboles registrados dentro del área de intervención destinada para el proyecto alrededor de los seis tramos.

De igual manera, en esta etapa se realizó la revisión de la posible existencia de árboles patrimoniales en el área del proyecto de acuerdo con la Resolución No. 6971 de 2011 y la Resolución 0814 de 2020 de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá y el visor del Jardín Botánico

3.2.3.4.1.2 Etapa de campo (durante):

Desarrollo del inventario forestal, teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) y la identificación, medición y marcación de los individuos inventariados.

Para el levantamiento de la información en campo se tiene en cuenta lo expuesto en el Decreto 531 de 2010 Artículo 10, en donde se establecen las directrices para el otorgamiento de permisos y autorizaciones, por lo que para cada individuo inventariado se registran las variables dasométricas, físicas, sanitarias, silviculturales, y de ubicación geográfica requeridas para el diligenciamiento de la Ficha N°1: Recolección información silvicultural individuo y la Ficha N°2: Ficha técnica de registro, formatos definidos por la Secretaria Distrital de Ambiente.

► Barrido y recolección de la información

El inventario forestal se realiza por barrido de tramos en un patrón de línea regresiva o en “S”, de esta forma; Se inicia el barrido por anden derecho, hasta encontrar una calle principal, posteriormente, se

cruza la calle para iniciar el barrido de regreso, si hay separador, se realiza primero el barrido del separador y posteriormente del andén izquierdo, como se muestra en el siguiente diagrama:

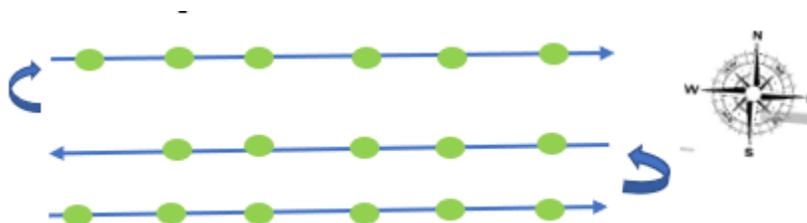


Figura 24 Diseño del barrido de recolección

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

► Levantamiento de información y registro de variables objeto de evaluación

En concordancia con lo establecido en la Ficha N°1: Recolección información silvicultural individuo y la Ficha N°2: Ficha técnica de registro, formatos definidos por la Secretaria Distrital de Ambiente, se realizó el levantamiento de la información en formatos diseñados para que el procedimiento de identificación de variables fuese certero y ágil.



Figura 25 Actividades de registro de información

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

A continuación, se definen cada una de las variables a identificar para cada uno de los individuos inventariados.

- Numero de árbol: Se define como un número con el cual se identifica y marca un árbol dentro de un espacio determinado, este debe ser consecutivo (Resolución 4090, 2007).
- Código Distrital: es un código de referencial el cual está basado en el SIGAU (Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano), este número nos indica la localidad, áreas geográficas, área de coordinación y supervisión y nos permite identificar un árbol y las características de este (Decreto 383, 2018).

- ▶ Código SIADAMA: Son códigos implementados por el DAMA, los cuales están asociados a nombres científicos y nombres comunes de especies que se encuentran en la ciudad de Bogotá (Puentes Gómez et al, 2007).
- ▶ Nombre Científico: está definido por el género y especie de acuerdo con la Nomenclatura Internacional, se compone principalmente de palabras con raíces del latín y el griego, estas palabras describen características particulares de las plantas, también permiten identificar y diferenciar especies a plenitud (Resolución 4090, 2007).
- ▶ Nombre Común: Terminología con la cual se identifican los individuos arbóreos por una población para su territorio (Resolución 4090, 2007).
- ▶ PAP (Perímetro a la Altura del Pecho): Longitud medida alrededor del tronco (fuste), la cual se toma a 1.30 m de altura a partir de la base del Árbol (Resolución 4090, 2007).
- ▶ Metros Lineales (Setos): Longitud que poseen los Setos desde su inicio hasta su final, se especifica lineales por que comprenden una sola dimensión (Gutiérrez E., et al, 2013).
- ▶ Altura Total: Se define como la longitud en metros que posee un árbol desde su base hasta el punto apical del mismo (Resolución 4090, 2007).
- ▶ Altura Comercial: es la longitud que posee el fuste de un árbol para ser aprovechado y destinado con algún fin comercial (Gutiérrez E., et al, 2013).
- ▶ Altura Fustal: Es la altura en metros, comprendida desde la base de un árbol hasta el punto en donde aparece la primera rama del mismo (Resolución 4090, 2007).
- ▶ Diámetro Polar de la Copa: Es la longitud en metros que se calcula a partir de la altura total, a la cual se le subtrae la altura fustal (Resolución 4090, 2007).
- ▶ Diámetro Ecuatorial de la Copa: Esta definida como la longitud de la proyección horizontal mayor ortogonal de la copa, determinada desde la parte inferior del árbol (Resolución 4090, 2007).
- ▶ Perímetro Basal: Longitud determinada alrededor del tronco (fuste), la cual se toma en el rango de 0 a 0.1 m de altura a partir de la base del Árbol (Resolución 4090, 2007).
- ▶ Estado Físico: Está determinado por la apariencia física del árbol, en donde la mayoría de las causas están dadas por acciones antrópicas, se contempla el estado físico de la copa, el fuste y las raíces (Castillo F., 2006). Este se puede caracterizar como Bueno, regular y malo.
- ▶ Excesiva Ramificación (ER): Se define como la cantidad exagerada de ramas en todo el fuste de un árbol, impidiendo incluso la visualización del mismo por la gran densidad de ramas presentes.
- ▶ Podas Anteriores Antitécnicas (PAA): se presentan cuando existen desgarraduras o heridas en el fuste, cuando permanecen secciones de la rama cortada introducidas en el fuste. La poda de la rama no se hizo de acuerdo a la superficie del tronco, cuando la cicatriz generada queda expulsando exudados o necrosis de tejidos del individuo y cuando la cicatriz genera compartimentalización (JBB, S.F).
- ▶ Podas Anteriores Técnicas (PAT): Se definen cuando el trabajo de podas ha sido bien realizado y no queda evidencia de daños, cicatrices mal curadas, u otras características

pertencientes a Podas Anteriores Antitécnicas (JBB, S.F).

- ▶ Ramas Secas (RS): Estas Son Ramas las cuales no poseen o presentan follaje seco.
- ▶ Rebrotos (RB): Se presenta cuando se genere un nuevo individuo a partir del fuste, raíces o tocón de alguna planta ya establecida.
- ▶ Copa Asimétrica (CA): se da cuando la copa presenta una forma irregular no asociada a la especie.
- ▶ Ramas Pendulares (RP): Son Aquellas que se arquean y descuelgan a lo largo de su longitud por efectos de su arquitectura y la acción de la gravedad (Chaux E., 2012).
- ▶ Ramas con Peligro de Caída (RPC): Son ramas que por su tamaño y arquitectura se pueden desgarrar y causar incidentes o accidentes.
- ▶ Desgarre de Rama (DDR): Se presentan cuando una rama se desprende del tronco, dejando consigo una cicatriz y en algunos casos la rama se mantiene unida al árbol tan solo por algunas fibras.
- ▶ Descope (Des): Se Presenta cuando se una sección importante de la copa y el fuste del árbol es considerada como tala no permitida (Decreto 383, 2018).
- ▶ Normal (NO): Es un árbol que no presenta irregularidades en su copa.
- ▶ Densidad: Hace referencia a la cantidad de follaje presente en la copa de un individuo arbóreo, se describe como denso (D), medio (M), ralo ® y muy ralo (MR) (resolución 4090, 2007).
- ▶ Estado Físico del fuste: Hace referencia al estado físico del fuste, y como se puede describir el mismo en cuanto a su morfología características físicas y daños físicos ejercidos sobre el mismo. Esta se puede clasificar en tres categorías Bueno, Regular y Malo.
- ▶ Bifurcado (B): se define como un individuo arbóreo cuenta con dos fustes, antes de una altura de 1.3 m desde su base (Chaux E., 2012).
- ▶ Bifurcación Basal (Bb): se presenta cuando un individuo arbóreo, presenta una bifurcación desde su base (Chaux E., 2012).
- ▶ Bifurcaciones Basales (B basales): Se dan cuando un árbol posee numerosas ramificaciones basales, en general su diámetro puede ser muy homogéneo (Chaux E., 2012).
- ▶ Fuste Recto (FR): Cualidad que presentan los árboles que es su tronco no presentan alguna torcedura evidente (Chaux E., 2012).
- ▶ Inclinado (I): Hace referencia a sí un árbol presenta inclinación o no (Chaux E., 2012).
- ▶ Grados de Inclinación (GDI): Se entiende como el número de grados que presenta un individuo arbóreo cuando está inclinado con respecto a la vertical (Chaux E., 2012).
- ▶ Muy Inclinado (MI): esta característica se presenta cuando un árbol presenta más de 45° de inclinación (Chaux E., 2012).
- ▶ Torcido (TO): es un fuste que no presenta rectitud en su totalidad.
- ▶ Compartimentalizado (C): Proceso en el que se separa el tejido podrido del que se encuentra sano en una herida, permitiendo así protegerlo, esto genero abultamientos de

tejido sano por crecimiento sobre el área que se decidió proteger (Arellano et al., 2000).

- ▶ Madera Revirada (Rv): este efecto se produce cuando la madera de un fuste que toma una forma de a manera de espiral
- ▶ Acanalado (Ac): fustes que presentan ángulos abruptos y secciones aplanadas.
- ▶ Anillado (An): Consiste en un corte circular generado sobre la corteza del fuste con el fin de impedir el tránsito de nutrientes en el árbol, produciendo así una desvitalización paulatina del árbol (Decreto 383, 218).
- ▶ Descortezado (Dc): Hace referencia a la ausencia de corteza en el tronco de un árbol por causas externas al árbol en su mayoría el descortezado se presenta por acciones antrópicas.
- ▶ Socavamiento Basal: Se define así al daño estructural que presentan los árboles en su base y ponen en riesgo la función de soporte del mismo, pudiendo generar volcamientos (Chaux E., 2012).
- ▶ Afectación por Guadaña (Ag): Es la evidencia de la afectación de las guadañas usadas para el mantenimiento de zonas verdes sobre el fuste de un árbol generalmente en la base (JBB, S.F).
- ▶ Presencia de Objetos Extraños (PO): Descripción que se da cuando el árbol presenta objetos ajenos a su naturaleza.
- ▶ Presencia de Encerramientos: esta característica se da cuando el tronco de un árbol se encuentra confinado por algún tipo de barrera antrópica.
- ▶ Daño Mecánico (DM-L, DM-M, DM-G): se identifican como afectaciones al fuste directa o indirectamente antrópicas (JBB, S.F).
- ▶ Grietas (Gri): se evidencian como aberturas longitudinales y profundas sobre el fuste de un árbol.
- ▶ Fisuras (Fis): son aberturas pequeñas y superficiales que se presentan en el tronco.
- ▶ Cavidades (Cav): Son huecos abiertos de manera antrópica sobre los fustes de árboles generalmente ubicados en separadores (JBB, S.F).
- ▶ Arquitectura Pobre (AP): se presenta cuando el fuste de un árbol se encuentra en condiciones extremas y presenta mucha facilidad para desplomarse o volcarse.
- ▶ Corteza Incluida: Se genera cuando la corteza queda atrapada en la base de dos ramas, generando así un punto marcado en el cual se evidencia el contacto entre dos tejidos (Arellano et al., 2000).
- ▶ Estado Físico de la Raíz: Es el estado en el que se encuentran las raíces y su evidencia en cuanto a si es apreciable o no (Na_No apreciable), si es apreciable se describe lo específico que se percibe como lo son RD_ raíces descubiertas, PRADR_ Poda Raíz Antitécnica dentro del radio crítico, PRT_ poda Raíz Técnica, PRAFR_ Poda Raíz Antitécnica fuera del radio crítico, Res_ raíces estranguladoras, Ren _Raíces entorchadas y Mon_ montículos. Aparte se genera una descripción general de la raíz clasificada en Bueno, Regular y Malo (Resolución 4090, 2007).
- ▶ Estado Sanitario: Concierno al estado del árbol con respecto al ataque de enfermedades o

plagas que se presenten en el individuo.

- ▶ Herbívora (He): Es un síntoma que se evidencia por ausencia parcial o total en el follaje, causado por insectos defoliadores de distintos órdenes (Chaux E., 2012; JBB, S.F).
- ▶ Antracnosis (An): Enfermedad generada por un hongo que las hojas y los meristemos, se evidencia en forma de manchas oscuras hundidas (JBB, S.F).
- ▶ Agallas (Ag): Este año se presenta cuando se deforman los tejidos foliares o de crecimiento debido a la alimentación que hacen los hospederos, generando un crecimiento anormal. Se presenta por insectos de diferentes órdenes (JBB, S.F).
- ▶ Necrosis (Ne): También conocida como muerte de los tejidos, en este caso los tejidos obtienen color negro. Es ocasionada generalmente cuando los patógenos segregan sustancias que interfieren con los procesos de las células (JBB, S.F).
- ▶ Tumores (Tu): Se presenta cuando los tejidos presentan un crecimiento excesivo y extraño con respecto a las células que comúnmente se generan en estas zonas, sus razones principales son debido a hormonas y reguladores segregadas por algún patógeno o agente externo al árbol, que afectan las células meristemáticas, dando así origen a los abultamientos conocidos como tumores (JBB, S.F).
- ▶ Clorosis (Cl): Es un Cambio en el color normal de las hojas (verde generalmente), a colores rojizos, bronceados o amarillentos generándose irregularmente o en patrones definidos. Se presenta cuando se elimina la clorofila presente en las hojas, se inhibe la producción de esta o hay deficiencia de ciertos nutrientes elementales (JBB, S.F).
- ▶ Marchitamiento (Ma): Se presenta por una pérdida radical en la turgencia las células, por afectaciones en la raíz o infecciones vasculares en los individuos, estas no permiten la adecuada absorción de Agua; Sus causas son variadas, desde nematodos, hongos y bacterias (JBB, S.F).
- ▶ Cáncer (Ca): también conocido como Chancros, se determina a partir de la identificación de zonas donde se presenta necrosis asociada a hundimientos en el fuste y en las ramas (JBB, S.F).
- ▶ Pudrición Localizada (PL): Se genera con el ablandamiento de tejidos en zonas específicas asociado a sustancias acuosas con necrosis en el área (JBB, S.F).
- ▶ Mildios (Mi): Es una infección que genera puntos de color amarillento en el Haz o envés de las hojas que no cuenta con luz solar constante, después de un tiempo el hongo esporula y genera un mildio blanquecino que ataca las hojas, tornándolas a un color amarillo o cobrizo, hasta secarlas (JBB, S.F).
- ▶ Carbones (C): Son puntos oscuros producidos por un ataque de hongos que se presentan sobre las hojas (JBB, S.F).
- ▶ Royas (Ro): Son originadas por hongos, y se determinan por la aparición de manchas en las hojas de forma alargada o redonda, estas generan un polvo fino que presenta tonalidades de amarillas a rojas (JBB, S.F).
- ▶ Puntos de Succión (PSU): Se identifican por la aparición de puntos en las hojas que ocasionan decoloraciones, son causadas por insectos (Hemíptera), que presentan

aparatos bucales picador chupador al momento de extraer la savia (JBB, S.F).

- ▶ Puntos Tráslucidos (PT): Se generan por la presencia de algunos insectos hospederos o defoliadores, al deteriorar parcialmente las hojas permitiendo así que la luz pase fácilmente a través del tejido.
- ▶ Presencia de Insectos (Pi): Se refiere al avistamiento de insectos sobre cualquier parte del árbol que puedan afectar el estado sanitario de la copa.
- ▶ Ninguna de las anteriores (Na): Se selecciona esta opción cuando el árbol no presenta ningún daño o afectación fitosanitaria en la copa.
- ▶ Resinosis (Re): se presenta por la producción exagerada de resina debido alguna afección presentada en el árbol, se presenta en coníferas.
- ▶ Chancros (Ch): se determina a partir de la identificación de zonas donde se presenta necrosis asociada a hundimientos en el fuste y en las ramas (JBB, S.F).
- ▶ Pudrición Localizada en el Fuste (PLF): Se genera con el ablandamiento de tejidos en zonas específicas asociado a sustancias acuosas con necrosis en el Fuste (JBB, S.F).
- ▶ Gomosis (Go): Se presenta cuando en el fuste se encuentran hongos que afectan un área entre la corteza y el cambium vascular y el árbol exuda gomas (JBB, S.F).
- ▶ Tumores (Tu): Se presenta cuando los tejidos presentan un crecimiento excesivo y extraño con respecto a las células que comúnmente se generan en estas zonas, sus razones principales son debido a hormonas y reguladores segregadas por algún patógeno o agente externo al árbol, que afectan las células meristemáticas, dando así origen a los abultamientos conocidos como tumores (JBB, S.F).
- ▶ Agallas (Ag): Este daño se presenta cuando se deforman los tejidos foliares o de crecimiento debido a la alimentación que hacen los hospederos, generando un crecimiento anormal. Se presenta por insectos de diferentes órdenes (JBB, S.F).
- ▶ Presencia de Insectos (Pi): Esta característica se presenta cuando se observan insectos que pueden afectar el Fuste y su estado sanitario.
- ▶ Ninguna de las anteriores (Na): se presenta cuando el fuste del árbol no posee afectaciones en su extensión.
- ▶ Pudrición Localizada de la Raíz (PLR): Se genera con el ablandamiento de tejidos en zonas específicas asociado a sustancias acuosas con necrosis en la Raíz (JBB, S.F).
- ▶ Ninguna de las anteriores (Na): se presenta cuando la Raíz del árbol no posee afectaciones en su extensión.
- ▶ Parcialmente Seco (PS): Esta condición se selecciona cuando el árbol presenta ramas secas, esta ralo, pero aún conserva vitalidad y algunas ramas con hojas vigorosas. Su estado físico y sanitario son regulares.
- ▶ Seco (Se): Se da cuando el árbol no posee ninguna rama con hojas vigorosas, presenta ramas secas en su totalidad, está muy ralo y su estado físico y sanitario es muy malo. Por lo general se consideran muertos en pie.
- ▶ Sano: Son árboles que presentan buenas densidades de copa, con hojas vigorosas en toda su extensión, con poco o nada de afectaciones físicas y sanitarias.

- ▶ Estado General Sanitario de la copa, fuste y raíz: Se refiere a la clasificación general que se le da al estado fitosanitario del árbol, dependiendo de lo observado en el campo, se caracteriza en tres estados, Bueno, Regular y Malo.
- ▶ Procedimiento de medición altura total, comercial y fustal, perímetro a la altura del pecho, el perímetro basal y diámetro polar de la copa.

Para la realización del Inventario Forestal, se hace necesaria la construcción de una adecuada instrucción para la utilización de los instrumentos durante el proceso de captura de la información dasométrica. Para determinar alturas totales, alturas comerciales, y diámetro polar de la copa, se utilizó el Hipsómetro Nikon Forestry Pro II, este equipo posee tres funciones, la primera de ellas consiste medir distancias, la segunda nos permite determinar las alturas tomando la base como punto inicial y posteriormente, un punto dos ya sea el ápice del árbol, la primera rama o el punto al cual se desee tomar la altura comercial y la tercer función consiste en ubicarse a una distancia determinada y accionar el hipsómetro, este nos brinda dos ángulos a la base y a la altura deseada y posteriormente se pueden calcular en oficina, para efectos de este proyecto se está determinando la altura con la segunda función, ya que nos permite tener la altura deseada al instante. Se tiene una precisión: de $\pm 27,4$ cm a 914 m, ± 91 cm más allá de 914 m

En árboles en pie, esta circunferencia se mide a 1,30 metros del suelo para árboles sin aletones o con aletones o raíces aéreas de menos de 1 m. En el caso de que el árbol presente aletones, se debe medir a 30 cm sobre el final de los aletones o de las raíces aéreas, si son mayores de 1 m. En cuanto a la medición del diámetro polar de la copa es necesario ubicarse justo al lado del árbol y anclar la cinta métrica sobre la base del árbol; estirar la cinta hasta la distancia requerida, evitando que la cinta se doble y tenga catenaria, tomar la medida en metros con dos decimales.

▶ Marcaje de individuos

La información recolectada en campo consistió principalmente en la ubicación del individuo al cual le corresponde un consecutivo, con la siguiente estructura: "T0 - 0000": Letra e índice que simboliza la "T" de Tramo y el respectivo índice del tramo, seguido de un guion y consecutivo del individuo dentro del tramo.

3.2.3.4.1.3 Etapa de oficina (después):

La fase de oficina se realiza con el objetivo de procesar la información capturada acorde con los parámetros solicitados por la Secretaría Distrital de Ambiente, para ello, se realiza el descargue del Formulario de recolección de información silvicultural por individuo (Ficha 1) y la ficha técnica de registro (Ficha 2) en la página de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. En la ficha 1 se registran todos los datos capturados en campo y en la ficha 2 se realiza la descripción detallada de las características físicas y sanitarias cada individuo inventariado, anexando fotografía general y de detalle del respectivo individuo arbóreo.

Con respecto a la georreferenciación de los individuos arbóreos, se realiza la descarga de los puntos GPX del GPS empleado, se cargan a una plataforma SIG y se proyectan al sistema de coordenadas

Magna Sirgas Colombia Bogotá, esta actividad se realiza con el fin de obtener un referente para la relocalización exacta del individuo, es decir, con la información topográfica del proyecto se realiza el ajuste del individuo con el fin de minimizar el error de localización generada por los equipos GPS y a partir de la Ortofoto se realiza la verificación y comprobación de la información, con el objetivo de obtener un archivo formato shp con la ubicación exacta (Georreferenciado) de cada uno de los árboles en el área del proyecto (Superponiendo el proyecto definitivo con cada uno de los individuos vegetales afectados), a escala no mayor a 1:500 o la requerida para apreciar la ubicación, numeración e identificación de especie de los individuos.

Por otro lado, teniendo en cuenta la plataforma del Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano para Bogotá, D. C. se realizó una correlación con los individuos inventariados esto con el objetivo de identificar y asignar el código SIGAU correspondiente o determinar si es necesario crear y registrar el individuo en la plataforma SIGAU. Esto siguiendo los lineamientos establecidos en el Decreto 531 de 2010 Artículo 7, modificado por el Decreto 383 de 2018 donde se establece que todas las entidades y personas autorizadas que realicen manejo silvicultural de acuerdo a lo establecido en este Decreto reportarán según los protocolos definidos en los manuales de operaciones del sistema de información a la Secretaría Distrital de Ambiente, la cual verificará su ejecución y lo reportará al SIGAU.

3.2.3.4.2 *Caracterización florística a partir de transectos de vegetación*

Para llevar a cabo la caracterización florística de la vegetación asociada al área de estudio, se tomó como base la metodología de muestreo empleada fue la propuesta por (Chow F. & Cruz J., 2009); para la cual, se realizó un muestreo mediante transectos con parcelas lineales de 100 metros de largo x 10 metros de ancho, distanciados cada 100 metros. El criterio para establecer el punto inicial de transectos fue la presencia de los individuos forestales sobre cada tipo de cobertura asociada al área de influencia de la PLMB. En cada una de las parcelas lineales se evaluó la vegetación arbórea registrando datos dasométricos. En total se evaluaron 144 parcelas lineales ubicadas en cinco coberturas: Pastos limpios (3), Pastos arbolados (2), Ronda de cuerpos de agua urbanos (15), Parques urbanos (7), Otras zonas verdes urbanas (9) y Separadores viales (108).

- ▶ Índices de diversidad
 - ▶ Índice de Simpson

El índice de Simpson se deriva de la teoría de probabilidades, y mide la probabilidad de encontrar dos individuos de la misma especie en dos 'extracciones' sucesivas al azar sin 'reposición'. Éste índice toma un determinado número de especies presentes en el hábitat y su abundancia relativa, y representa la probabilidad de que dos individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie. Es decir, cuanto más se acerca el valor de este índice a la unidad, existe una mayor posibilidad de dominancia de una especie y de una población; y cuanto más se acerque el valor de este índice a cero mayor es la biodiversidad de un hábitat. (Magurran, 1988).

- ▶ Índice de Shannon-Weiner

El Índice de Shannon-Weiner expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Magurran, 1988; Peet, 1974; Baev y Penev, 1995). Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están presentadas en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1988).

▶ Índice de Margalef

Es un índice de medición de riqueza específica, éste índice transforma el número de especie por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra (Moreno, 2001).

▶ Categorías de tamaño

De acuerdo con lo establecido dentro Decreto 531 del 2010, expedido por el alcalde Mayor de Bogotá D.C, y lo definido para las categorías de tamaño se clasificaron los individuos en 3 grandes grupos, correspondiente a: fustales, latizales y brinzales, teniendo en cuenta el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y la altura total (Ht) del individuo, calculado a los individuos por medio de los transectos para cada tipo de cobertura, en este caso, la cobertura de pastos arbolados.

Tabla 9 – Criterios para la categoría de tamaño

Categoría de Tamaño	CRITERIOS	
	DAP (cm)	Ht (m)
Fustal	≥ 10	≥ 1,5
Latizal	< 10	≥ 1,5
Brinzal	--	< 1,5
TOTAL		

Fuente: Consorcio Ambiental Metro L1, 2021.

▶ Parámetros

▶ Dominancia

La dominancia, corresponde al área total ocupada por los individuos, calculado por medio del área basal (AB) de los individuos, a través de la ecuación:

$$AB [m^2] = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{PAP [m]}{\pi} \right)^2$$

Donde AB: Área basal m² y PAP: Perímetro a la Altura del Pecho

▶ Abundancia

Hace referencia al número de individuos por hectárea y por especie en relación con el número total de individuos. Se distingue la abundancia absoluta (número de individuos por especie) y la abundancia

relativa (proporción de los individuos de cada especie en el total de los individuos del ecosistema). (Lamprecht, 1990)

► Frecuencia

Permite determinar el número de parcelas en que aparece una determinada especie, en relación al total de parcelas inventariadas, o existencia o ausencia de una determinada especie en una parcela. La abundancia absoluta se expresa como un porcentaje (100% = existencia de la especie en todas las parcelas), la frecuencia relativa de una especie se determina como su porcentaje en la suma de las frecuencias absolutas de todas las especies. (Lamprecht, 1990).

3.2.3.4.3 *Inventario y Balance de zonas verdes*

Para el desarrollo del Balance de Zonas Verdes se usó la metodología descrita en el anexo técnico de la Resolución Conjunta No. 001 de 2019, de la Secretaría Distrital de Ambiente y la Secretaría Distrital de Planeación (2019).

Para zonas verdes endurecidas las cuales se encuentren por fuera del sistema hídrico, únicamente se calculará factor de compensación por índice de espacio público verde por habitante y recarga de acuíferos si es el caso. Para el cálculo del área total a compensar se aplicará la siguiente formula:

$$AC = A_i \times F_c = (\text{Representatividad} + \text{Recarga de auiferos} + \text{Índice de espacio público verde por habitante})$$

Donde:

AC: Área compensar por endurecimiento de zonas verdes

A_i : Área a endurecer por desarrollo del proyecto, obra o actividad.

F_c : Factor de compensación, el cual es igual a la sumatoria de cada uno de los factores de compensación individuales descritos

► Factor de Compensación por Representatividad

La representatividad es definida como el porcentaje mínimo necesario de una unidad de análisis, para asegurar su representación en la Estructura Ecológica Principal definida por el Distrito. Este factor está definido por los tres (03) elementos del espacio público natural más representativos del Distrito. Sin embargo, se resalta que la presente metodología solo aplicara a endurecimientos sobre el Corredor Ecológico de Ronda de ríos, quebradas y canales. (Véase Tabla 10)

Tabla 10 – F. Compensación representatividad

Representatividad		
Ecosistemas	Área Has	F. Compensación
Parque Ecológico Distrital de Montaña	667,44	3
Parque Ecológico Distrital de Humedal	716,44	2.5
Corredor Ecológico de Ronda	4993,02	2

Fuente: Anexo técnico Resolución conjunta N° 001 de 2019.

► Factor de Compensación por Recarga de Acuíferos

Este factor incrementa la compensación por endurecimiento en las zonas de recarga de acuíferos teniendo en cuenta el polígono definido por la Secretaría Distrital de Ambiente mediante el estudio del Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital.

Tabla 11 – F. Compensación Recarga

Zona de endurecimientos	Factor de Compensación
Endurecimiento en Zona de recarga de Acuíferos 1.5	1.5

Fuente: Anexo técnico Resolución conjunta N° 001 de 2019.

► Factor por Índice de espacio público verde por habitante

Este factor evalúa la deficiencia de zonas verdes por habitante en cada localidad (Tabla 12), por lo cual será mayor el factor de compensación por endurecimiento para las localidades con menor índice. El índice se actualizará de acuerdo con los índices generados por la Secretaría Distrital de Planeación.

Tabla 12 - Indicadores espacio público verde

Localidad	Indicador Espacio Público Verde	Factor de Compensación
Chapinero	15.83	1
Teusaquillo	14.13	
Santafé	10.67	
Bosa	9.45	1.25
Barrios Unidos	8.82	
Kennedy	6.64	
Puente Aranda	6.33	
Antonio Nariño	4.35	1.5
Mártires	2.11	

Fuente: Reporte Técnico de Indicadores de Espacio Público 2017. Defensoría del Espacio Público en Resolución Conjunta No. 001 de 2019.

3.2.3.4.4 Diseño paisajístico

El diseño paisajístico se fundamenta en la comprensión y en el entendimiento del lugar al tratarse de un entorno consolidado a nivel urbano como en términos de paisaje con una imagen característica reconocida. Del mismo modo, se contemplan las condicionantes físicas como el relieve, el perfil vial y las características ambientales o microclima local a nivel de precipitación, temperatura, humedad relativa y contaminación, además, de las zonas de vida y del inventario de especies existentes; todos

estos factores determinantes para el establecimiento como del buen desarrollo de las coberturas vegetales en el entorno urbano.

Adicionalmente, es trascendental considerar las condicionantes urbanas actuales del lugar de intervención caracterizado por un entorno ya estructurado y consolidado de la ciudad con dinámicas específicas de usos como eje financiero y centralidad urbana, principalmente de actividad comercial, institucional y de oficinas, y particularidades de paisaje como individuos arbóreos establecidos y un separador central establecido diseñado por el JBB.

El alcance del componente asegura la integración y armonía del proyecto con el paisaje urbano bogotano, así como con los elementos de la Estructura Ecológica Principal (EEP) y la matriz de espacios verdes de la ciudad. Desde el componente, se acogen los lineamientos ambientales que rigen los diseños para asegurar que el espacio público del proyecto tenga un carácter propio, donde las coberturas vegetales acompañen las actividades que se desarrollan en este y la vegetación como elemento vivo del espacio público dialogue con la infraestructura y los elementos construidos.

3.2.3.5 Epifitas

Para la caracterización de las especies epífitas, fue necesario la recolección de información que permitiera obtener los datos de riqueza, abundancia y distribución de estas, dentro del área de intervención del proyecto.

Por lo tanto, se realizó un recorrido exploratorio por el área, en el cual se comprobaron las unidades de cobertura, con el fin de determinar las posibles áreas de muestreo en las cuales se desarrollaría la caracterización.

3.2.3.5.1 Etapa Pre – Campo

- ▶ Diseño de muestreo y tamaño de muestra.

El diseño muestral y el tamaño de la muestra propuesto y desarrollado se estableció a nivel de las coberturas vegetales naturales y según la presencia de árboles y arbustos en áreas en las cuales hay representatividad de especies epífitas; como se mencionó anteriormente el muestreo se realizó mediante parcelas sobre los individuos arbóreos con actividad de tala, donde se registró no sólo especies de hábitat cortícola sino especies en otro tipo de hábitat, como terrestre, rupícola y sobre materia en descomposición.

Las coberturas con presencia de vegetación arbórea y/o arbustiva caracterizadas corresponden a Otras zonas verdes urbanas (Ozvu), Parques urbanos (Pu), Red vial (Rv), Separadores viales (Sv) y Zonas recreativas (Zr), ya que las áreas propuestas para las actividades de las obras se encuentran inmersas dentro del área urbana de la ciudad de Bogotá.

3.2.3.5.2 Etapa de Campo

Se realizó la caracterización de especies epífitas y en categoría de veda con base a las áreas de intervención definitiva y los ecosistemas definidos, donde se evaluarán la mayoría de árboles con DAP

superior a 10 cm de DAP, con base a las características generales nombradas en la metodología de Gradstein (2003) (RRED-analysis) para especies vasculares y no vasculares, en caso de encontrar áreas de ecosistemas con un alta extensión en el proyecto, se realizarán análisis de representatividad con base a lo indicado en la circular 016 de 2019 de ANLA.

Las técnicas de muestreo, unidades de muestreo, esfuerzos de muestreo, y técnicas de colecta son acordes a aquellas aprobadas por la ANLA donde otorga el Permiso de Estudio para la Recolección de Especímenes a la empresa G&R INGENIERIA Y DESARROLLO (Resolución 00216 del 07 de febrero de 2020), las cuales se describen a continuación.

► Transectos para La Composición Florística

Para la flora vascular, la unidad de muestreo fueron los árboles forófitos sobre los cuales se puedan registrar tales especies. Por tanto, se inventariaron y describieron todos los individuos de flora vascular en categoría de veda presentes en ocho (8) árboles forófitos ubicados en parcelas de 0,1 ha, en cuanto a la forma y tamaño, se harán parcelas rectangulares de 100 x 10 m (0,1 ha) siendo representativas para una (1) hectárea de cobertura vegetal, según los parámetros de la metodología REDD modificada (Gradstein et. al, 2003).

Para flora silvestre no vascular, en los mismos forófitos (5 – 8 forófitos) se registrarán las especies y su cobertura (cm²) ocupada en cuatro (4) cuadrículas de 20 cm x 30 cm (600 cm²) una en cada punto cardinal (norte, sur, este y oeste), colocados únicamente sobre el fuste principal.



Figura 26 Recorrido área de afectación

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

► Características de los forófitos

En cada una de las parcelas establecidas, dentro del área propuesta, en la cual hay presencia de especies menores, se realizaron recorridos con el propósito de identificar los árboles y arbustos que cumplieran los criterios de selección de forófito mencionados por Wolf (1993), Gradstein et. al, (2003) y Gradstein et. al, 1996. Estos criterios se refieren a árboles preferiblemente de gran porte, con alturas que dominen en el dosel, diámetros a la altura del pecho (DAP) superiores a 10 cm (dándole prioridad a los de mayor diámetro), ramificaciones y corteza profusa.

Cada forófito fue registrado en un formato de campo para la flora epífita y georreferenciando su posición con un GPS, en el cual se registró el número del transecto y el número consecutivo del árbol forófito dentro de la misma; en el caso de realizar las parcelas en puntos de muestreo del componente flora arbórea, se asignaba el mismo número para la caracterización de epífitas, con lo que se generó un conjunto de puntos de cada transecto y forófito muestreado (Figura 27).



Figura 27 Toma de datos

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

► Muestreo de especies epífitas vasculares.

Entre los métodos más usados para cuantificar la abundancia de las especies de epífitas vasculares se encuentra el conteo del número de individuos presentes en el forófito. Para las Epífitas Vasculares se revisó todo el árbol, desde la base hasta el dosel externo, mediante una exploración visual directa o con la ayuda de binoculares y una cámara fotográfica. Se registraron todas las especies de epífitas vasculares presentes y se hizo conteo de individuos; para las especies gregarias, se contaron los individuos, agrupaciones, genets o ramets (vástagos laterales).



Figura 28 Registro de datos especies vasculares

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

► Muestreo de especies epífitas no vasculares.

Dadas las características morfo-fisiológicas de las plantas epífitas no vasculares y su consideración como grupos clónales, autores como Gradstein *et al*, abordan la representatividad de estos organismos bajo los parámetros de presencia-ausencia y señalan que ésta es una manera eficiente para establecer análisis de diversidad.

Para las especies de briófitos y líquenes se estimó el porcentaje de cobertura (cm²) sobre los forófitos mediante una cuadrícula en cm² de un acetato de 20x30 cm, equivalente a 600 cm²; esta se ubicó directamente sobre el forófito a muestrear en el estrato del “Tronco”, contabilizando el número de cuadros ocupados por cada una de las especies de epífitas no vasculares (Gradstein *et al*, 2003). En cada uno de los forófitos se establecieron cuatro (4) de estas plantillas en el tronco, una en cada punto cardinal (norte, sur, este y oeste). Con los datos obtenidos a través de esta metodología, se estimó la cobertura de las especies epífitas no vasculares en centímetros cuadrados (cm²) para cada cobertura vegetal del área del proyecto caracterizada.

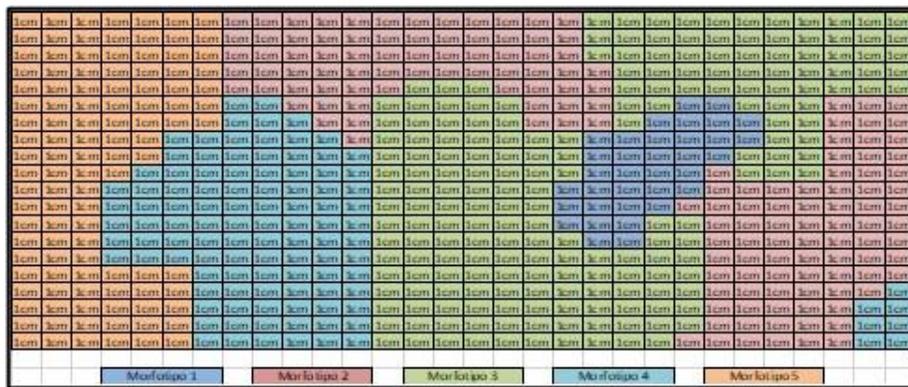


Figura 29 Plantilla de acetato de 600 cm²

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021



Figura 30 Registro de datos con plantilla de acetato de 600 cm²

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

Gran parte de los líquenes cortícolas son líquenes costrosos, los cuales forman una capa delgada sobre la corteza o incluso ocurren dentro de las células de la corteza periférica. Estos se recolectaron desprendiendo un trozo de corteza con un objeto corto punzante (navaja). El método de colecta para los líquenes más conspicuos y mejor conocidos, los cuales son los foliosos y filamentosos, consiste en desprenderlos manualmente, debido a que permanecen ligeramente adheridos al sustrato.

La diversidad de líquenes esperados en un estudio depende del número de “microhábitats” disponibles (sitios grandes o pequeños con condiciones de crecimiento idénticas). Estos pueden cubrir partes considerables de las ramas o el tronco, o estar restringidos a unos pocos centímetros cuadrados. Los microhábitats difieren considerablemente en humedad y exposición a la luz de acuerdo con la zona del árbol hospedero, por esta razón las condiciones que se dan en el dosel no son similares a las que se dan en la base del tronco.

► Caracterización de especies epífitas en otros tipos de hábitat.

Para las especies sobre otro tipo de hábitat como terrestre, rupícola o sobre materia orgánica, se implementó una parcela de 1 m² dentro de cada transecto de 100 m X 10 m, donde se estimó la cobertura en cm², mediante la utilización de una plantilla de acetato de 600 cm², colocada 5 veces al azar en cada parcela, con el fin obtener una medida aproximada de la ocupación de las especies de briofitos y líquenes en estos hábitats.

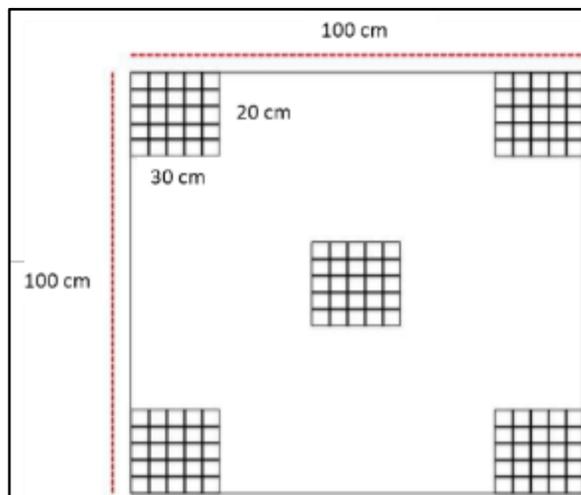


Figura 31 Cuadrante de 100 x 100 cm y subcuadrante de 20 x 30 cm para cálculo de cobertura de flora no vascular de hábitat rupícola, terrestres y sobre materia orgánica

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

Para las especies vasculares, se contó cada individuo epífita cuando fue posible o cada grupo como una unidad cuando estas se encontraban en agrupaciones para estimar la abundancia de los individuos por especie.

► Recolección y preservación

Para las especies no vasculares de hábito epífita, rupícola y/o terrestre su colecta se efectuó realizando una separación por morfoespecies de los ejemplares registrados, asignándoles un código de colecta con base a morfoespecies y de esta forma se evitó repetir la colecta de muestras de la misma especie. Para la extracción de las muestras de las especies del sustrato (es decir, corteza en el caso de las especies no vasculares con hábito arborícola, rocas para las rupícolas y directamente sobre el suelo en el caso de las terrestres) se utilizó un objeto cortante, que permitió extraer los cilios para el caso de los líquenes y las hepáticas talosas y los rizoides en los briofitos, de gran importancia para su posterior determinación por parte de los especialistas en la taxonomía de estas plantas no vasculares. La identificación de las epífitas no vasculares fueron realizadas por el Herbario Tropical (No. de registro 245).



Figura 32 Recolección de muestras no vasculares

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

La preservación de las muestras de las especies no vasculares de hábito epífita, rupícola y/o terrestre se realizó mediante el empaquetado de estas en bolsas de papel kraft; el proceso de secado se efectuó por exposición al aire libre, de modo que se mantuvieron abiertas las bolsas de papel el mayor tiempo posible.

Para las epífitas vasculares no se realizó toma de muestras botánicas, ya que se presentaron pocos individuos de especies generalistas, por lo tanto, se tomaron registros fotográficos al detalle y en alta resolución, lo que permitió al profesional experto, realizar la identificación hasta el nivel de especie.



Tillandsia recurvata

Figura 33 Toma de registros especies vasculares

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

► Zonificación del forófito.

La distribución de epifitas varía de acuerdo con los gradientes ecológicos horizontales y verticales. Horizontalmente, ellos pueden variar entre tipos de bosques y especies hospederas (forófitos); mientras que verticalmente, varían dentro del mismo árbol (ter Steege y Cornelissen 1989, Kernan y Fowler 1995, Freiberg, 1999).

Es conocido que la presencia de flora silvestre (vascular y no vascular) sobre los árboles forófitos está determinada por factores tales como la humedad, la radiación solar y la exposición a los vientos, por tal motivo los muestreos se efectuaron de manera estratificada en 3 zonas del forófito, haciendo una adaptación de la zonificación planteada por Johansson (1974), de tal forma que la (Zona I) (base del tallo, desde 0 hasta aproximadamente 2 metros de altura) corresponde a la zona en la cual se encuentran con mayor frecuencia las especies no vasculares y donde se realizó el muestreo en cada árbol inventariado; las zonas más altas del árbol correspondientes a la copa central (Zona II) y copa externa (Zona III) no fueron evaluadas mediante toma de muestras; sin embargo, en estas zonas se realizó la inspección visual detallada con el fin de confirmar la presencia o ausencia de especies vasculares.

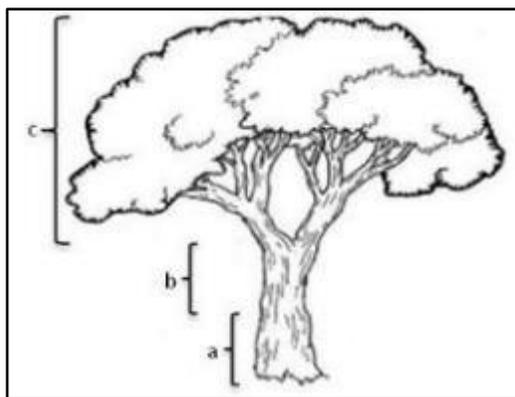


Figura 34 Zonificación del forófito según Johanson, 1974; Grandstein, 1996, 2003

Fuente: Johanson, 1974; Grandstein, 1996,2003. Consorcio ambiental Metro L1, 2021

3.2.3.5.3 Etapa Post Campo

- ▶ Procedimiento identificación de flora vascular y no vascular.

Para la identificación de las especies en laboratorio, a las muestras de flora silvestre no vascular, se les retira los fragmentos tanto de las plantas como de los hongos liquenizados con la ayuda de pinzas y estereoscopio (Wild M3Z), son rehidratados con agua destilada y dispuestos en láminas portaobjetos para ser observados detalladamente con un microscopio binocular (Olympus CH2).

Los briófitos se identifican hasta el nivel de especie usando tratamientos taxonómicos recientes Sharp *et al.* (1994), Churchill y Linares (1995) y Buck (1998) para los musgos; Uribe y Aguirre (1997) y Gradstein y Costa (2003) para las hepáticas. En la determinación taxonómica de líquenes se usaron las claves de Sipman (2008) disponibles en línea en el sitio web del Jardín Botánico de Berlin, así como la clave de Lücking y Rivas-Plata (2008).

Los datos de distribución geográfica para Colombia se basan en Churchill y Linares (1995) para los musgos y en Uribe y Gradstein (1998) para las hepáticas. El sistema de clasificación sigue a Buck y Goffinet (2000) para Bryophyta (musgos), Crandall-Stotler y Stotler (2009) para Marchantiophyta (hepáticas).

Para las epífitas vasculares se usan claves y tratamientos taxonómicos disponibles para cada familia vegetal (Flora Neotropica, Flora de Colombia, Flora de Venezuela, etc.) y se revisan colecciones del Herbario Nacional Colombiano (COL). El sistema de clasificación para las epífitas vasculares se basa en APG III.

- ▶ Procesamiento de la información.

Durante la caracterización de las especies epífitas realizada en campo, se tomaron datos por medio de una tableta digital para facilitar la captura y tratamiento de los mismos, los formatos utilizados se

estructuraron de acuerdo con los valores de interés, necesarios para generar una base de datos confiable según las necesidades de la metodología.

Toda la información registrada en campo es tabulada en matrices de Excel® para totalizar los datos de acuerdo con las unidades de cobertura vegetal y grupos botánicos de flora vascular y no vascular (familias, géneros, especies).

► **Análisis estructural.**

El arreglo estructural expresa la organización espacial de las poblaciones de epífitas. Para establecer esta estructura en el área de intervención, se analizan las siguientes variables:

- **Distribución horizontal:** localización de las especies con relación a las unidades de cobertura.
- **Distribución vertical:** en el caso de las especies vasculares se determina su presencia en las tres zonas del forófito, en el caso de las epífitas no vasculares se evalúa únicamente en la zona 1.

La metodología para el análisis de los datos tendientes a descripción de la distribución vertical de las especies, se basan en la zonificación vertical del forófito para identificar el rango de distribución de cada especie en su hospedero. Para determinar la distribución vertical de las Epífitas en su hospedero, se definieron tres (3) rangos de distribución.

Tabla 13 – Categorías de distribución vertical en el forófito

No. De Partes en el Forófito	Distribución en el Forófito
1	Restringida
2	Uniforme
3	Amplia

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

- **Abundancia:** en el caso de la flora no vascular corresponde al área en cm² de cobertura de cada especie y para las epífitas vasculares correspondería al número de individuos de cada especie.

Para calcular la abundancia absoluta y relativa de las epífitas no vasculares se emplearon las siguientes formulas:

- Abundancia absoluta = Número de individuos por especie.
- Abundancia relativa = Número de individuos de cada especie con relación al número total de individuos.

$$Ar_{Spi} = \frac{N^{\circ} \text{ individuos } Sp_i}{N^{\circ} \text{ total de Individuos}} * 100$$

$$Cobertura (\%) = \text{Promedio \% de Cobertura de la } Sp_i$$

$$CrSpi = \frac{Cobertura (\%)}{\sum Cobertura Total} * 100$$

► Abundancia – Cobertura.

Se presentará para cada una de las especies discriminadas entre vasculares y no vasculares el rango de abundancia para cada una de ellas, mediante el análisis del valor de abundancia y / o cobertura de cada una, según la escala de Braun-Blanquet.

Se presenta la propuesta para la formulación de este análisis.

Tabla 14 – Clases de abundancia

Clase	Epifitas Vasculares	Epifitas No Vasculares	Abundancia
	Abundancia (%)	% Cobertura	
I	[1 - 5]	0-5	Rara
II	(5 - 10]	6 - 10	Escasa
III	(10 - 15]	11 - 15	Poco abundante
IV	(15 - 20]	16 - 20	Abundante
V	> 20	> 20	Muy Abundante

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

- **Frecuencia:** en el caso de las epífitas no vasculares es el número de unidades muestrales (forófito) en las que se presenta la epífita. Para las especies vasculares corresponde al número de veces en las que se encontró el individuo.

Como parte del análisis de frecuencia se estimará la relación epífita – hospedero, determinado por cinco clases de preferencia para la vegetación epífita.

Tabla 15 – Clases de preferencia de forófito

Clase	Preferencia	Rango
1	Especificidad de forófito	<5 %
2	Preferencia marcada	5-20 %
3	Preferencia significativa	20.1-30 %
4	Preferencia marginal	30.1-50 %
5	No preferente	50.1-100 %

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

► Análisis estadístico de datos

La diversidad alfa, se analiza para cada cobertura vegetal de acuerdo con los índices de riqueza, dominancia y equidad: índices de Simpson (D), Shannon-Weiner (H') e índice de equidad de Pielou (Magurran 1989, Villareal *et al.* 2006), utilizando el programa estadístico PASS®. En la Tabla 16, se citan los índices utilizados para cálculos de diversidad alfa.

El índice de diversidad de Shannon mide la heterogeneidad de la comunidad, el valor máximo es indicador de una situación en la cual todas las especies son igualmente abundantes; sus valores se encuentran entre 0 y 5.

El índice de dominancia de Simpson mide la dominancia de las especies, este índice evalúa la probabilidad de que dos individuos de una comunidad infinitamente grande, tomados al azar, pertenezcan a la misma especie. Sus valores se encuentran entre 0 y 1, cuando el valor es cercano a cero la dominancia es menor y, por ende, la diversidad mayor.

Con base en los valores de diversidad del índice de Shannon-Weiner, el índice de equidad de Pielou expresa la equidad como la proporción de la diversidad observada en relación con la máxima diversidad esperada. Es una relación entre la diversidad observada y el máximo valor de diversidad esperado. Varía entre cero (0) y 0.1, donde adquiere el valor de 0.1 cuando todas las especies presentan la misma abundancia.

Tabla 16 – Índices utilizados para el cálculo de la diversidad Alfa

Índice	Fórmula	Variables
Dominancia de Simpson	$D = \sum (n_i / N)^2$	D = Dominancia
		ni = número de individuos por especie
		N = número de individuos totales
Diversidad de Shannon-Weiner	$H' = -\sum (n_i / N) * \ln(n_i / N)$	H' = Diversidad
		ni = número de individuos por especie
		N = número de individuos totales
Equidad de Pielou	$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$	H' max = ln(S)
		H' =es el valor del índice de Shannon

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

Por último, la diversidad beta se evaluó en términos de la similitud observada entre los hábitats evaluados en términos de especies compartidas entre estos. Para lo anterior se realizó un análisis de conglomerados por medio del índice de Bray-Curtis, el cual es bastante robusto y tiene en cuenta las bajas abundancias de especies compartidas (ver Tabla 17).

Tabla 17 – Índices utilizados para el cálculo de la diversidad Beta

Índice	Formula	Variables
Bray-Curtis	$I_{Simpson} = \frac{2pN}{aN + bN}$	aN = número de individuos en el sitio A
		bN = número de individuos en el sitio B

Índice	Formula	Variables
		pN = Sumatoria de la abundancia más baja de cada una de las especies compartidas por los dos sitios.

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

► Determinación del grado de amenaza

El grado de amenaza para las epífitas (vasculares y no vasculares) se determinó consultando los siguientes documentos:

- Resolución 1912 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones”.
- Resolución 0213 de 1977 del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables (INDERENA), por la cual se establece veda para algunas especies y productos de la flora silvestre con los nombres de musgos lamas, líquenes, quiches, parásitas, orquídeas.
- Libro Rojo de Briófitas de Colombia (Linares y Uribe 2002).
- Libro Rojo de las plantas de Colombia: Bromelias, labiadas y pasifloras (García y Galeano 2006).
- Resolución 1912 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones”.
- Resolución 0213 de 1977 del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables (INDERENA), por la cual se establece veda para algunas especies y productos de la flora silvestre con los nombres de musgos lamas, líquenes, quiches, parásitas, orquídeas.
- Libro Rojo de Briófitas de Colombia (Linares y Uribe 2002).
- Libro Rojo de las plantas de Colombia: Bromelias, labiadas y pasifloras (García y Galeano 2006).

► Determinación de la rareza y/o endemismo

Para conocer el grado de rareza y/o endemismo de las especies epífitas se consultó las siguientes fuentes de información:

- Global Biodiversity Information Facility (<http://www.gbif.org>).
- Missouri Botanical Garden (<http://www.tropicos.org/Home.aspx>).
- Catalogue of life (<http://www.catalogueoflife.org/>). Estructura horizontal y vertical de la vegetación epífita.

3.2.3.6 Fauna

Para realizar la caracterización de fauna en la zona de estudio se implementaron los procedimientos oficiales para este tipo de proyectos, teniendo en cuenta la metodología general para la elaboración y presentación de Estudios Ambientales del Ministerio de Ambiente, acogida mediante Resolución 1402 de 2018 y el Manual de Métodos para el Desarrollo de Inventarios de Biodiversidad del Instituto Alexander von Humboldt del 2006 (Villareal H, 2006).

Teniendo en cuenta los lineamientos anteriores, se realizaron tres (3) fases en el proceso metodológico para identificar las especies de fauna presentes en la zona: en primer lugar, se hizo una recopilación de información secundaria por medio de una revisión bibliográfica, en segundo lugar, se obtuvo información primaria por medio de muestreos en campo y finalmente, se realizó el análisis de los datos obtenidos.

A continuación, se detalla la metodología empleada para cada uno de estos grupos de información:

3.2.3.6.1 Información secundaria

► Avifauna

Se revisaron los registros de avifauna para las localidades incluidas dentro del área de estudio, presentes en las bases de datos en línea, reportes en documentos científicos, con el fin de establecer las especies potencialmente presentes o concurrentes dicha área.

Dentro de las bases de datos en línea se incluyó el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB, 2020), colecciones en línea de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL, s.f.) y eBird (EBird, 2021), registrados a fecha de corte del 6 de agosto de 2021.

La búsqueda bibliográfica se realizó en publicaciones científicas circunscritas al área de estudio y sus alrededores (p. e. artículos científicos) y literatura gris (p.e. documentos e informes técnicos, documentación oficial de ámbito local, trabajos de grado, centros de documentación de autoridades ambientales regionales y locales).

Dentro de la información consultada se tuvo en cuenta aquella expuesta en Planes de Ordenamiento Territorial por localidades, los cuales se remiten a listados cortos principalmente resultado de muestreos rápidos o consulta con la comunidad, bases de datos como las mencionadas anteriormente, NaturaLista (Escobar, 2020), y estudios realizados por la Fundación Humedales Bogotá (Humedales, 2017), la Línea base para el metro realizada por la empresa Ingetec, 2018 (Ingetec, 2018), la secretaria distrital de planeación Bogotá (PPRU, 2019) e instituciones educativas como la Universidad El Rosario (Tovar, 2019).

► Herpetofauna

Esta fase consistió en la compilación de información secundaria de herpetología que puede ser encontrada en el área de estudio del proyecto, incluyendo información registrada en los listados taxonómicos disponibles de Herpetos (Reptiles y Anfibios), teniendo en cuenta la distribución

altitudinal de cada especie, tipo de hábitats en el que se encuentran y características biofísicas del área de estudio.

Los listados que se tuvieron en cuenta para la recopilación de información secundaria son los que se citan a continuación: (Almonacid, 2009), (CAR, 2018), (Cruz Barbosa, 2015), (Cantillo & Gracia, 2013), (Consultoria Colombiana S.A, 2014), (Gomez-Cortés, Ruiz-Agudelo, Valencia-Aguilar, & Ladle, 2015), (Guarnizo, Armesto, & Acevedo, 2014), (Lynch & Rengifo, 2001), (Méndez & Pinto, 2018), (Paternina & Capera, 2017), (Yara Contreras, 2020), (SA, 2012) & (Velásquez, 2019).

► Mastofauna

Para obtener información de la Mastofauna con distribución potencial en la línea del metro 1 en Bogotá D.C, se realizó una búsqueda exhaustiva de información secundaria en diferentes fuentes para las cuales se aplicó un filtro altitudinal de 2540 – 4000 m.s.n.m e información sobre ecología de la especie. Se realizó una revisión en el Sistema de Información de Biodiversidad de Colombia (SIB, 2021), en Global Biodiversity Information Facility (GBIF), registros biológicos de las especies en colecciones biológicas, artículos científicos (Pérez-Torres & Ahumada, 2004; Jiménez-Alvarado, y otros, 2017; Ramírez-Chaves, Suárez-Castro, & González-Maya, 2016; Solari, y otros, 2013; Tamsitt, Valdivieso, & Hernández-Camacho, 1964) y libros (Gardner, 2007; Patton, Pardiñas, & D'Elía, 2015). A partir de estos documentos se construyó un listado de especies que por su comportamiento, distribución y ecología presentan una alta probabilidad de ocurrencia en Bogotá D.C. Posteriormente, para determinar la presencia de especies sensibles y categorizadas en distintos grados de amenaza, se consultó la Resolución 1912 de 2017 (MADS, 2017), la lista roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) y los apéndices I, II y III de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2021). Adicionalmente, sobre el listado final de las especies potenciales se realizó una búsqueda a cerca del tipo de distribución, hábitat y si son migratorias o no (Amaya-Espinel & Zapata, 2014).

3.2.3.6.2 Información primaria

3.2.3.6.2.1 Avifauna

Para la caracterización de esta comunidad faunística se utilizaron dos (2) metodologías:

► Avistamiento directo:

Se realizaron dentro del área de estudio jornadas de avistamiento directo, en recorridos durante las jornadas de la mañana: entre las 06:00 am a 10:00 am, periodo del día de mayor actividad de las aves. Se implementó la técnica de transectos de ancho variable, la detección se realizó recorriendo un sendero preestablecido en el área de interés, manteniendo una velocidad constante de la misma manera los recorridos se realizan entre máximo dos observadores para evitar sonidos o movimientos que puedan alterar la presencia de las aves; de igual forma, se implementaron puntos de censo distanciados entre sí mínimo cada 250 a 300 metros a lo largo del corredor, priorizando las zonas con

una cobertura vegetal más prominente (Estructura ecológica principal) y los cuerpos de agua que atraviesa el proyecto, el censo se realizó durante máximo 30 minutos continuos en cada punto seleccionado. Durante los avistamientos fueron registradas tanto las aves observadas directamente como las identificaciones por medio auditivo.



Figura 35 Avistamientos de avifauna en puntos de observación

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

► Censo de nidos:

Se realizó la búsqueda de nidos presentes en la totalidad de los árboles marcados e identificados durante la ejecución del inventario forestal en el área proyectada para intervención. A los nidos identificados se les realizó el respectivo registro fotográfico, en los que las condiciones lo permitieron se verificó el estado de desarrollo y la especie a la que pertenece; así mismo, teniendo en cuenta el inventario se asignó el nombre de la especie forestal en donde se registra cada nido.



Figura 36 Registro de nidos en árboles inventariados

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

3.2.3.6.2.2 Herpetofauna

► Método Encuentro Visual Azaroso

Para el registro de muestreo de herpetofauna (Anfibios y reptiles), se realizaron desplazamientos aleatorios mediante el método de Encuentro Visual Azaroso VES (por sus siglas en inglés, Visual Encounter Surveys) (Crump & Scott , 1994). En concordancia con lo descrito por (Martínez Baños, Pacheco Florez, & Ramírez Pinilla, 2011), y (Heyer, R; Donnelly, M. A.; Mcdiarmid, R. W.; Hayek, L. C.; Foster, M. S., 1994). Esta metodología fue implementada de manera independiente para anfibios y reptiles.

► Método búsqueda libre y captura manual

Se realizó el método captura de Anfibios adultos empleando (búsqueda libre y captura manual), en horario diurno (10:00 – 01:00) y nocturno (18:00 a 21:00) levantando troncos podridos, rocas y removiendo hojarasca acumulada en el suelo, capturando los ejemplares con la mano (Figura 37). De esta manera es posible contar prácticamente todos los anfibios adultos presentes.



Figura 37 Método de busque libre y captura manual en Anfibios

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

Se empleó la misma metodología de búsqueda libre y captura de reptiles los cuales pueden atraparse manualmente en su ambiente, por ejemplo, debajo de rocas, troncos y otros objetos en los que se pueden refugiar las especies. El uso de una lazada de cuerda delgada sujeta al extremo de una vara o de una caña de pescar es una técnica efectiva para atrapar por el cuello a lagartijas de diversos tamaños y de comportamiento huidizo cuando se posan momentáneamente en lugares al alcance de una persona (Ver Figura 38).



Figura 38 Método de búsqueda libre y captura manual de Reptiles

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021.

► Método por muestreos acústicos.

Por otro lado, se realizaron muestreos acústicos de los anuros en el horario nocturno (18:00-21:00), en diferentes puntos a lo largo del área de estudio (Ver Figura 39). Los puntos de muestreos se encontraban entre $200\text{m} < \text{longitud} \leq 3000\text{m}$. por unidad de cobertura, ya que, según la experiencia de algunos autores, es suficiente para evitar el recuento de canto en el hábitat (Giró, 2019). Dentro de un rango de 150 metros a cada lado del recorrido (modificado de Heyer et al 2001), durante máximo cinco (5) días.



Figura 39 Método de grabación de audios o cantos de Anfibios

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

En estos recorridos se priorizaban en los cuerpos aguas lenticos o loticos donde el individuo esté vocalizando (el más común es el canto de advertencia). Si no se puede localizar al animal visualmente desde un principio, es importante por lo menos localizar el área inmediata desde donde está vocalizando, e intentar una grabación. Una vez identificada el área, es recomendable intentar grabar a una distancia comprendida entre 0.5 m y 2 m. Si se trata de un tipo de vocalización que se repite en forma rápida y constante, un par de minutos pueden bastar para grabar varias docenas de cantos. Si se trata de vocalizaciones más espaciadas en el tiempo, entonces se busca grabar nítidamente entre 10 y 30 cantos. (Angulo, Rueda Almonacid, Rodríguez-Mahecha, & La Marca, 2006)

3.2.3.6.2.3 Mastofauna

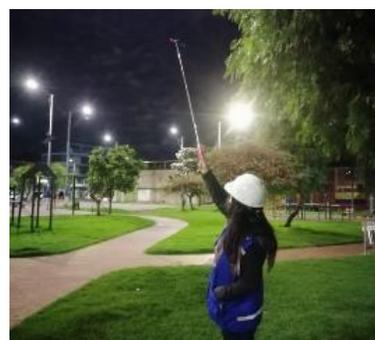
- ▶ Muestreo de mamíferos voladores
 - ▶ Muestreo de actividad acústica de los murciélagos

El monitoreo acústico de los murciélagos insectívoros se realizó mediante grabaciones pasivas (puntos de grabación) utilizando un detector de ultrasonido Echo Meter Touch 2 pro conectado a un Smartphone (Figura 40). Las grabaciones se realizaron por medio de la aplicación Echo Meter Touch Bat Detector 2.8.3, la cual guarda las grabaciones como archivos .wav sin ningún tipo de compresión (Echo Meter Touch 2, 2021). El detector se mantuvo a una altura promedio de dos metros sobre el nivel de suelo con el micrófono en un ángulo de 45°, esto con el fin de no afectar la calidad de las grabaciones por los ruidos de fondo de la ciudad.

Se realizaron grabaciones de 180 segundos cada 300 o 350 metros entre las 18:00 h – 21:00h, priorizando las zonas pertenecientes a la estructura ecológica principal de la ciudad que se encuentren cercanas al corredor. Se realizaron dos replicas en cada punto de muestreo durante dos noches consecutivas. Se tomaron 10 puntos de grabación en cada tramo, exceptuando el tramo cinco donde solo se realizaron seis puntos de grabación debido a la ausencia de coberturas asociadas a zonas verdes.



Instalación de redes de niebla



Detección acústica pasiva

Figura 40 Métodos empleados para el registro de mamíferos voladores

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

3.2.3.6.2.4 Registros adicionales

Se realizaron entrevistas informales a personas de la comunidad con el fin de registrar aquellas especies fácilmente identificadas por ellos, respaldando así el muestreo biológico y complementando el esfuerzo de muestreo en los diferentes hábitats



Figura 41 Avistamientos de avifauna en puntos de observación

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021.

3.2.3.6.3 Análisis de datos

Para todas las especies registradas con base en información primaria se buscó realizar su registro fotográfico de ser posible para su posterior identificación taxonómica hasta el nivel jerárquico más específico posible.

Una vez completada la identificación de especies tanto por información primaria como secundaria, se establecieron las categorías de amenaza de acuerdo con tres (3) criterios diferentes, dos (2) de carácter internacional y uno (1) nacional. El primero corresponde a la clasificación dada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), el segundo es el de La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), el cual incluye tres (3) apéndices a saber: I, II, III. Por último, el criterio nacional está dado por la Resolución 1912 de 2017 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en donde al igual que la IUCN se reconocen tres (3) categorías de amenaza: Vulnerable (VU), En Peligro (EN) y En Peligro Crítico (CR).

Así mismo, se establecieron las especies endémicas y casi endémicas según los criterios de (INBIO, 2015), (Solari, y otros, 2013) y (Acosta Galvis, 2015), al igual que los usos dados a la fauna silvestre en la región, según bibliografía disponible.

► **Análisis acústico mamíferos**

Los murciélagos que capturan insectos en el aire tienen el problema de que sus presas se mueven constantemente en un espacio tridimensional. Por lo tanto, para que el murciélago tenga una captura exitosa de su presa debe seguir constantemente su posición. El proceso de captura de sus presas mediante señales de ecolocalización se puede dividir en tres fases: búsqueda, aproximación y terminal (Kalko & Schnitzler, 1998). Durante la fase de búsqueda el murciélago emite pulsos para detectar sus presas, los pulsos son relativamente largos y con barridos de frecuencia poco pronunciados. Una vez ha detectado la presa, el murciélago entra en fase de aproximación, donde a medida que se va acercando a su presa debe actualizar información más frecuentemente, por tanto, la tasa de emisión de pulsos se vuelve progresivamente más rápida y los pulsos son cada vez más cortos y de barridos más pronunciados para evitar la superposición eco-pulso. En la fase terminal, la tasa de repetición del pulso aumenta a lo largo del ataque, y justo antes de la captura, un murciélago puede transmitir 200 pulsos por segundo, que se fusionan con lo que percibimos como un "zumbido" o zumbidos de alimentación (Kalko & Schnitzler, 1998; Schnitzler & Kalko, 1998; Eklöf & Rydell, 2017).

Particularmente, las fases de búsqueda son las que indican una conducta de forrajeo (búsqueda de presas potenciales y reconocimiento del entorno) y son útiles para realizar la identificación taxonómica (Kalko & Schnitzler, 1998); y las fases terminales son asociadas con intentos o capturas de presas (Griffin, Webster, & Michael, 1960). Dado que aún no existen librerías de referencia de los llamados de ecolocalización de murciélagos para Colombia, la identificación taxonómica se efectuó mediante la revisión de bibliotecas de referencia publicadas para el neotrópico (Arias-Aguilar, y otros, 2018; Jung, Kalko, & von Helversen, 2007; Jung, Molinari, & Kalko, 2014; López-Baucells, y otros, 2016; Rydell, Arita, Santos, & Granados, 2002; Zamora-Gutierrez, y otros, 2016; Zurc, Guillén-Servent, & Solari, 2017). Teniendo en cuenta todo lo anterior, se realizó identificación taxonómica de los sonotipos (grupo de sonidos con las mismas características y que se asume que corresponde a la misma especie) (Bader, y otros, 2015) encontrados en las grabaciones, y posteriormente se realizó un conteo del número de fases acústicas encontradas en los espectrogramas para cada sonotipo. La identificación taxonómica y el conteo de fases acústicas se realizó mediante el programa BatExplorer 2.1.

► **Análisis estadístico**

En lo referente a los análisis estadísticos de los datos de fauna obtenidos en los trabajos de campo se realiza el cálculo de los índices de diversidad y dominancia de Simpson y el índice de Shannon utilizando el programa estadístico PAST, esto con el fin de calcular la riqueza específica de cada cobertura teniendo como base una matriz de abundancias para cada especie registrada en un hábitat específico. Adicionalmente, se realiza análisis de Jaccard para determinar el grado de disimilitud entre cada una de las coberturas.

en la Tabla 18 se encuentran los índices de diversidad Alfa y Beta utilizados para analizar la diversidad registrada para el componente fauna del presente proyecto.

Tabla 18 – índices de diversidad alfa y beta

Representatividad de los muestreos	
$E(S) = \sum 1 - \frac{(N - N_i)/n}{N/n}$ <p>Dónde:</p> <p>E (S)= número de especies encontradas en el tamaño n de muestra</p> <p>N= número total de individuos en la muestra</p> <p>n= tamaño de muestra estandarizado</p> <p>N_i = número de individuos en la i-ésima especie</p>	<p>Elaboración de curvas de acumulación de especies y comparación con los valores de riqueza máximos esperados a partir de las funciones de Chao 1 y 2, y Bootstrap.</p> <p>Las curvas de acumulación de especies fueron realizadas por el método de rarefacción mediante el programa EstimateS (Colwell, 2013).</p>
Análisis de las comunidades	
<p>Simpson:</p> $D = \frac{\sum_{i=1}^s n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$ <p>Dónde:</p> <p>S = número de especies</p> <p>N = total de organismos presentes</p> <p>n = número de ejemplares por especie.</p>	<p>Shannon-Wiener:</p> $H' = -\sum p_i \ln p_i$ <p>Dónde:</p> <p>P_i = abundancia proporcional de la especie i</p> <p>El cálculo de estos índices correspondientes a la diversidad alpha, se realizó con la ayuda del programa Past 3.19 (Hammer et al., 2001).</p>
<p>Shannon:</p> $H' = -\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$ <p>Dónde</p> <p>p_i= abundancia proporcional de la especie i, es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.</p>	<p>El índice de Shannon y Weaver (1949) permite conocer la relación entre el número de especies y su abundancia relativa para describir la estructura de una comunidad (Moreno 2001)</p>
Diversidad Beta	
$I_J = \frac{c}{a + b - c}$ <p>Donde,</p> <p>aN = número de individuos en el sitio A</p> <p>bN = número de individuos en el sitio B</p> <p>pN = sumatoria de la abundancia más baja de cada una de las especies compartidas por los dos sitios</p>	<p>Evaluada mediante la similitud entre coberturas y el grado de recambio de especies de una cobertura a otra. La medición de la diversidad beta está basada en proporciones o diferencias (Magurran, 1988). En este caso se evalúa con base en datos cualitativos (presencia- ausencia de especies) (Moreno, 2001).</p> <p>El intervalo de valores para este índice va de 0 cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios, hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies (Moreno, 2001).</p>

Fuente: Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

Por otro lado, se realizaron las curvas de acumulación de especies a partir de los registros obtenidos, en donde la unidad de muestreo correspondió a los puntos de grabación acústica establecidos para cada tramo. Teniendo en cuenta que a partir de registros acústicos no se puede establecer abundancias relativas de los individuos, se realizaron las matrices de incidencia a partir de datos de presencia-ausencia. Por lo tanto, el análisis de la curva se realizó con los estimadores no paramétricos basados en incidencias ICE, Chao 2 y Bootstrap (Villareal, y otros, 2004). Las curvas de acumulación se realizaron con el software EstimateS v. 9.1.0, implementando la función que aleatoriza 100 veces el orden de adición de las especies.

3.2.4 Demanda, Uso, Aprovechamiento y/o Afectación de Recursos Naturales

Las actividades para ejecutar para el traslado de redes conllevan una incidencia sobre los recursos naturales, así como de las necesidades de materiales e insumos para la ejecución de las obras y del manejo que se haga de los residuos sólidos y líquidos que se generen como consecuencia de los procesos de construcción. Por ello se realizó la identificación cualitativa y cuantitativa de los recursos naturales sobre los cuales el proyecto prevé su demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación.

3.2.5 Identificación y Evaluación de Impactos y Riesgos Ambientales

A partir de la caracterización y de la identificación de otros proyectos que se superponen con el área de influencia, se realizó la evaluación de impactos y riesgos ambientales y sociales.

La evaluación ambiental es concebida a partir del análisis de impactos en el escenario actual o denominado sin proyecto y, de la evaluación de impactos a causa de las actividades del proyecto, con el fin de determinar la alteración o implicaciones que ocasionaría la ejecución del EIAS en cada uno de los medios físico, biótico y socioeconómico del escenario existente, abordando además, la alteración a causa de proyectos futuros que se superponen a escala temporal y espacial con el proyecto, en el marco de un análisis de impactos acumulativos.

Para el desarrollo de la evaluación ambiental se acogió la Política OP 4.01 - Evaluación ambiental del (Banco Mundial, BM, 1999), la Política Evaluación y gestión de impactos y riesgos ambientales y sociales del (Banco Europeo de Inversiones - BEI, 2013), lo descrito en el documento de Estandarización y Jerarquización de Impactos Ambientales de Proyectos Licenciados por la (ANLA, 2021); y como base metodológica, se utilizó la Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental de (Conesa Fernández, 2010). Las evaluaciones se realizaron identificando los impactos directos, indirectos e inducidos y acumulativos, en el contexto del área de influencia del proyecto.

Es preciso señalar que la evaluación implica un análisis desde la noción de los proyectos que se superponen espacialmente con el área de influencia y temporalmente hasta la fecha proyectada de culminación del proyecto (abril de 2025), con el fin de identificar los impactos acumulativos y sinérgicos, esto a la vez configurado para seguir los lineamientos de la Política de Evaluación y gestión de impactos y riesgos ambientales y sociales del Banco Europeo de Inversiones.

La evaluación ambiental se desarrolla progresivamente partiendo de la identificación de las actividades existentes en el entorno y de las actividades previstas por el proyecto. A partir de esta identificación, y mediante un consenso de expertos, se definen los aspectos e impactos existentes y proyectados en cada componente de los medios abiótico, biótico y socioeconómico. Teniendo claridad en estos dos (2) aspectos, se establece una matriz de doble entrada que consiste en una correlación de las actividades identificadas versus la relación de aspectos- impactos definidos.

A través de la matriz se identifica la naturaleza (positiva o negativa) de los impactos para cada una de las actividades establecidas, tanto en el escenario sin proyecto cómo en el escenario con proyecto. Posteriormente y como se indicó, la metodología de (Conesa Fernandez, 2010) es usada para establecer el cálculo de la importancia de los impactos, en la cual, a través de escalas de valor asignadas a cada parámetro, se halla un nivel de importancia.

Se evaluaron los criterios definidos para caracterizar el impacto, siendo estos: Naturaleza (N), Intensidad (IN), Extensión (EX), Momento (MO), Persistencia (PE), Reversibilidad (RV), Sinergia (SI), Acumulación (AC), Efecto (EF), Periodicidad (PR) y Recuperabilidad (MC). A continuación, en la Tabla 19 se realiza una descripción detallada de cada uno de ellos, para la obtención de la matriz de valor de importancia.

Tabla 19 – Valores de calificación para cada uno de los criterios evaluados

Criterios	Valor	Descripción del valor
Naturaleza (Signo)	-1	Cuando la acción produce una modificación desfavorable en el medio o en alguno de sus componentes.
	1	Cuando la acción produce una modificación favorable en el medio o en alguno de sus componentes.
Intensidad (I) Representa el <u>grado de destrucción o afectación</u> de las actividades sobre el componente y el ámbito específico en que actúa, independientemente de la extensión afectada	1	Baja: Una afectación mínima y poco significativa.
	2	Media: Se refiere a un grado de incidencia moderado del efecto sobre el medio.
	4	Alta: Grado de incidencia fuerte que actúa sobre el medio.
	8	Muy Alta: Grado de incidencia muy fuerte que actúa sobre el medio.
	12	Total: Destrucción total del componente en el área en la que se produce el impacto.
Extensión (EX) Hace referencia al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto en que se sitúa el factor, es decir, el porcentaje de área afectada por la acción con respecto al entorno	1	Puntual: Cuando se afecta únicamente el sitio donde se está ejecutando la actividad que genera el impacto.
	2	Parcial: Si el efecto se manifiesta en un área mayor donde se ejecuta una actividad puntual.
	4	Amplio o Extenso: Si el efecto se manifiesta en un área mayor donde se ejecuta la actividad puntual y parcial.
	8	Total: Si el impacto no admite una ubicación precisa dentro del entorno del Proyecto este se considera total

Criterios	Valor	Descripción del valor
	5	Puntual + Sensible
	6	Parcial I + Sensible
	8	Extenso I + Sensible
	12	Total I + Sensible
Momento (MO) Es considerado como el tiempo transcurrido entre la ejecución de la actividad y el comienzo del efecto o impacto sobre el componente	1	Largo plazo: El tiempo transcurrido entre la ejecución de la acción y la aparición del efecto es mayor a 5 años.
	2	Mediano plazo: El tiempo transcurrido está comprendido entre 1 y 5 años.
	4	Inmediato: Cuando el tiempo transcurrido entre la ejecución de la acción y la aparición del efecto es menor de 1 año.
	8	Inmediato (Inferior a 1 año) + CR
	6	Mediano Plazo (Entre 1 y 5 años) + CR
	5	Largo Plazo (Mayor de 5 años) + CR
Persistencia (PE) Hace referencia al <u>tiempo</u> que en teoría <u>permanecerá el efecto</u> desde su aparición y a partir del cual se iniciará el proceso de recuperación <u>ya sea de forma natural o mediante la adopción de medidas</u>	1	Momentáneo: duración menor a 1 año.
	2	Temporal: entre 1 y 10 años
	3	Persistente: entre 10 y 15 años
	4	Permanente: mayor de 15 años
Reversibilidad (RV) La posibilidad de reconstrucción del componente afectado por la ejecución de las actividades del proyecto de forma natural y <u>sin intervención antrópica</u>	1	Corto plazo: Recuperación del medio en un periodo inferior a 1 año.
	2	Mediano plazo: Recuperación del medio en un intervalo de 1 a 10 años.
	3	Largo plazo: Recuperación del medio en un intervalo de 10 a 15 años.
	4	Irreversible: Cuando el factor ambiental alterado retorna a sus condiciones originales en un tiempo superior a 15 años.
Sinergia (SI) Son el resultado de las relaciones complejas entre impactos de un mismo proyecto o de varios proyectos. Un impacto sinérgico puede evidenciarse cuando el efecto combinado de dos impactos sea mayor que su suma o cuando estos facilitan la aparición de un tercer impacto.	1	No Sinérgico: Cuando las acciones que provocan las manifestaciones actúan de manera independiente.
	2	Sinérgico: Cuando las acciones que provocan las manifestaciones se dan de manera simultánea reforzando el efecto.
	4	Muy Sinérgico: Cuando las acciones que provocan las manifestaciones se dan de manera simultánea potencializando de forma significativa el efecto.
Acumulación (AC) Es el incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando la(s)	1	Simple: Se presenta cuando el efecto se mantiene o se disminuye por la suspensión de la actividad que lo genera.

Criterios	Valor	Descripción del valor
actividad(es) que lo está generando persiste de forma continua o reiterada	4	Acumulativo: Se presenta cuando tras la continuidad de una acción el efecto se incrementa.
Efecto (EF) Se refiere a la forma de manifestación del efecto sobre un componente como consecuencia de una actividad	1	Indirecto: Se presenta cuando su manifestación no es consecuencia directa de la acción, sino que se presenta a partir de un efecto.
	4	Directo: Se presenta cuando la repercusión de la acción tiene consecuencias directas sobre el medio
Periodicidad (PR) Se refiere a la regularidad de manifestación del <u>efecto en el tiempo</u>	1	Irregular: Se presenta de manera esporádica, con menor frecuencia y certeza.
	2	Periódico: Cuando los plazos de manifestación presentan una regularidad y cadencia establecida.
	4	Continuo: Las manifestaciones del efecto permanecen constantes en el tiempo.
Recuperabilidad (MC) Se refiere a la posibilidad de recuperación, parcial o total del componente afectado, por medio de intervención humana, es decir utilizando <u>medidas de manejo</u> .	1	Recuperable de manera inmediata: Se refiere a la disipación del impacto en el corto plazo.
	2	Recuperable a mediano plazo: la recuperación del medio o la disipación del impacto se da en el mediano plazo y/o concluye cuando la actividad generadora finaliza.
	3	Recuperable a largo plazo: la recuperación del medio o la disipación del impacto se da en el largo plazo.
	4	Mitigable/Corregible: Cuando se deben implementar acciones dirigidas a reducir los impactos y efectos negativos o cuando se deben implementar acciones dirigidas a recuperar, restaurar o reparar las condiciones del medio afectado por un Proyecto, obra o actividad
	8	Irrecuperable/Compensable: Cuando se deben implementar acciones dirigidas a resarcir y retribuir a las comunidades, las regiones, localidades y al entorno natural por los impactos o efectos negativos generados por un Proyecto, obra o actividad, que no puedan ser evitados, corregidos, mitigados o sustituidos.

Fuente: Conesa Fernandez, 2010 y ANLA, 2021

Una vez asignado el valor a cada impacto dentro de los parámetros mencionados, se procedió con la cuantificación de la importancia de la acción sobre cada factor ambiental. La importancia fue representada conforme con la siguiente ecuación:

$$I = +/- 1[3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Como resultado de este proceso se obtiene la matriz de importancia con valores de impacto negativo, que oscilan entre -13 y -100 y de impacto positivo entre 13 y 100. Una vez obtenidos los valores de importancia para cada impacto, estos se clasifican de acuerdo con los siguientes rangos (Tabla 20).

Tabla 20 – Clasificación y rangos de los impactos

Naturaleza	Categoría	Rango
Impactos naturaleza negativa	Irrelevante	(-13 - 22)
	Moderado	(-23 - 40)
	Severo	(-41 - 59)
	Grave*	(-60 -77)
	Crítico	(<-78)
Impactos naturaleza positiva	Considerables	(13 - 30)
	Relevantes	(31 - 47)
	Muy relevantes	(48 - 100)

Fuente: Conesa Fernandez, 2010, adaptado por Consorcio Ambiental Metro Bogotá L1, 2021

Aunada a la valoración cuantitativa del impacto (matriz de calificaciones), la Evaluación de Impacto Ambiental es complementada mediante un ejercicio descriptivo en torno a sustentar cada una de las interacciones (“actividad y aspecto-impacto) calificadas. En ese sentido, cada impacto es abordado mediante una ficha en la que, inicialmente se presenta la relación de las calificaciones obtenidas en la matriz y en seguida, se presenta la descripción de las interacciones, enfocado a demostrar los criterios que incidieron en el nivel de importancia obtenido. En general, la Evaluación de Impacto Ambiental es realizada por un equipo multidisciplinar, con el fin de lograr una visión objetiva en cada componente del estudio.

El resultado de esta evaluación permite definir las áreas de influencia definitivas del estudio y revisar los capítulos ya elaborados. Las áreas de influencia se definieron teniendo en cuenta la superposición cartográfica que se generó en los medios abiótico, biótico y socioeconómico de las áreas directas e indirectas, definidas en las zonas donde se prevé la manifestación de los impactos ambientales significativos, su delimitación vinculada con la caracterización ambiental y la identificación y evaluación preliminar de impactos ambientales y sociales.

Finalmente, los resultados de la evaluación se incorporarán al proceso general de toma de decisiones, reflejado directamente en el Programa de Manejo y de Seguimiento y Monitoreo, con el fin de prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos ambientales negativos.

3.2.6 Gestión Ambiental y Social

3.2.6.1 Plan de Manejo Ambiental y Social

Se establecieron las fichas de manejo ambiental definidas en el Apéndice técnico 15 y en concordancia con lo solicitado por las salvaguardas de la Banca, con el objeto de prevenir, mitigar, corregir y compensar los posibles impactos generados por las diferentes actividades del proyecto e identificados y evaluados en el aspecto anterior.

Se desarrollaron los respectivos programas de manejo ambiental y social y la estructuración del plan de seguimiento y monitoreo ambiental y social, teniendo en cuenta además el plan de gestión de seguridad y salud en el trabajo y el plan de gestión del riesgo de desastre; todo con base en los referentes normativos aplicables y vigentes, así como las políticas de salvaguardas y estándares de la

Banca Multilateral relacionados con el proyecto. En general, se adoptaron en todos los programas, especialmente en medidas orientadas a mejorar la eficiencia en el uso del agua y la energía; mejorar las prácticas encaminadas a reducir, reutilizar y reciclar desperdicios y materiales; minimizar el consumo y las emisiones de sustancias peligrosas y brindar un entorno laboral seguro y saludable y en cumplimiento con la legislación y las normativas ambientales. Con relación al medio social, se establecieron medidas para encaminar la igualdad de género en las actividades proyectadas, programas y medidas de acceso a la información mediante los programas de información y comunicación pública y Programa de Metro escucha Metro resuelve; asimismo se definieron medidas de manejo para la protección del patrimonio cultural, para el manejo de la flora y la fauna, y para el control de emisiones de gases efecto invernadero

3.2.6.2 Plan de Monitoreo y Seguimiento

Se establecieron los programas de seguimiento y monitoreo correspondientes con las fichas del aspecto anterior, las cuales incluyen los respectivos indicadores.

3.2.6.3 Plan de Gestión de Riesgos y Desastres

El propósito del Plan de Gestión del Riesgo es identificar, analizar y clasificar las amenazas; para determinar los potenciales elementos vulnerables y elaborar un análisis de riesgos para establecer las medidas de intervención prospectiva y correctiva y por último los lineamientos para el manejo del desastre en caso de la manifestación de las amenazas.

Para ello se tuvo en cuenta las directrices establecidas en el Decreto 2157 del 20 de diciembre de 2017 y los procesos básicos establecidos por la Ley 1523 para la gestión del riesgo. A continuación, se presenta de manera general las actividades realizadas en las etapas de precampo, campo y postcampo con respecto al Plan de Gestión del Riesgo.

3.2.6.3.1 Recopilación y revisión de información secundaria

Se revisó el marco normativo y conceptual para la atención de emergencias en Colombia y se realizó un análisis cartográfico preliminar de la zona (Hidrología, geomorfología, condiciones climáticas, vías de acceso y áreas aptas para la ubicación de instalaciones temporales), para definir la existencia de amenazas de origen o socio naturales.

Como información base para la elaboración del capítulo Plan de gestión del riesgo (PGR) para el PMAS del traslado de redes, se tomó la caracterización del área de influencia y las actividades descritas en el capítulo Descripción del Proyecto.

3.2.6.3.2 Etapa de campo

En la fase de campo se realizó reconocimiento del área de intervención, así mismo en la caracterización socio ambiental se identificaron probables amenazas antrópicas. También se revisó la capacidad de respuesta de entidades de apoyo como Bomberos, centros de salud, policía, entre otros, frente a eventuales emergencias relacionadas con las actividades constructivas de traslado de redes.

3.2.6.3.3 *Etapa Post Campo*

En la etapa postcampo luego de haber recolectado toda la información primaria y secundaria posible se lleva a cabo la realización del capítulo de Plan de Gestión del Riesgo teniendo en cuenta los requerimientos de la Ley 1523 de 2012 y las directrices del Decreto 2157 de 2017 con el propósito de identificar, priorizar y formular las acciones necesarias para conocer y reducir las condiciones de riesgo que se pueden presentar y que pueden generar daños y pérdidas al entorno, así mismo la respuesta y atención de desastres en articulación con los sistemas de gestión de las entidades de la zona del proyecto.

3.2.6.4 **Cronograma de Ejecución**

Se elaboró un cronograma, en el cual se representó gráficamente, el tiempo de aplicación de las actividades involucradas en las Medidas de Manejo Ambiental y de los Programas de Seguimiento y Monitoreo.

4 BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Galvis, A. R. (2015). *Lista de anfibios de Colombia*. Recuperado el 24 de 11 de 2015, de Batrachia: <http://batrachia.com>
- Almonacid, J. R. (2009). Anfibios y reptiles de los bosques de La Aguadita, región del Salto de Tequendama y Puerto Salgar departamento de Cundinamarca. 20-34.
- Amaya-Espinel, & Zapata. (2014). *Guía de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia. Insectos, murciélagos, tortugas marinas, mamíferos marinos y dulceacuícolas* (Vol. 3). Bogotá D.C, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible / WWF-Colombia.
- (s.f.). *Anexo 1 - Requisitos para la actualización del Estudio de Impacto Ambiental y Social de la PLMB para las Entidades Multilaterales (EIAS)*.
- Angulo, A., Rueda Almonacid, J., Rodríguez-Mahecha, J., & La Marca, E. (2006). Técnicas de Inventario y Monitoreo para los Anfibios de la Región Tropical Andina. *Conservación Internacional SERIE MANUALES para la conservación*, 93-134.
- ANLA. (2021). *Estandarización y Jerarquización de Impactos Ambientales de Proyectos Licenciados por ANLA*.
- ANLA. (2021). *Estandarización y Jerarquización de Impactos Ambientales de Proyectos Licenciados por ANLA*.
- Arias-Aguilar, A., Hintze, F., Aguiar, L., Rufay, V., Bernard, E., & J. R. (2018). Who's calling ? Acoustic identification of Brazilian bats. *Mammal Research*, 63, 231–253.
- Bader, E., Jung, K., Kalko, E. K., Page, R. A., Rodriguez, R., & Sattler, T. (2015). Mobility explains the response of aerial insectivorous bats to anthropogenic habitat change in the Neotropics. *Biological Conservation*, 186, 97–106. doi:10.1016/j.biocon.2015.02.028
- Banca Multilateral. (2022). Bogotá D.C.
- Banco Europeo de Inversiones - BEI. (2013). Environmental and Social Handbook. *Volumen 1: Normas ambientales y sociales del BEI*.
- Banco Europeo de Inversiones - BEI. (2013). Environmental and Social Handbook . *Volumen 1: Normas ambientales y sociales del BEI*.
- Banco Europeo de Inversiones . (s.f.). Política de Evaluación y gestión de impactos y riesgos ambientales y sociales .
- Banco Europeo de Inversiones. (s.f.). Derechos e intereses de los grupos vulnerables .
- Banco Europeo de Inversiones. (s.f.). Patrimonio cultural.
- Banco Europeo de Inversiones. (s.f.). Política de Biodiversidad y Ecosistemas.

- Banco Interamericano de Desarrollo. (s.f.). Política de gestión de riesgo de desastres naturales (OP-704) .
- Banco Interamericano de Desarrollo. (s.f.). Política de medio ambiente y cumplimiento de salvaguardas (OP -703).
- Banco Interamericano de Desarrollo. (s.f.). Política sobre igualdad de género en el desarrollo (OP-761).
- Banco Mundial. (s.f.). Política de Recursos físicos y culturales (OP 4.11).
- Banco Mundial. (s.f.). Política operativa de salvaguarda Evaluación ambiental (OP 4.01).
- Banco Mundial, BM. (Enero de 1999). O.P 4.01 - Environmental Assessment.
- Banco Mundial, BM. (Enero de 1999). O.P 4.01 - Environmental Assessment.
- Cantillo, E., & Gracia, M. (2013). *DIVERSIDAD Y CARACTERIZACIÓN FLORÍSTICA DE LA VEGETACIÓN NATURAL EN TRES SITIOS DE LOS CERROS ORIENTALES DE BOGOTÁ*. D. C. Bogotá.
- CAR. (2018). *ESTUDIOS DE SOPORTE REQUERIDOS PARA LA SOLICITUD DE SUSTRACCIÓN PARA LA RESERVA FORESTAL PRODUCTORA REGIONAL THOMAS VAN DER HAMMEN EN CONTEXTO CON LA UPR NORTE Y CON LA RED DE PAISAJE CIRCUNDANTE* . Bogotá.
- CITES. (2021). Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres.
- Conesa Fernandez, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Conesa Fernández, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Consortio Ambiental Metro de Bogotá. (2021). *Actualización Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Primera Línea del Metro de Bogotá*. Bogotá D.C.
- Consortio METRO BOG, SISTRA, INGETEC y FDN. (2019). *Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) - Estudio de Impacto Ambiental y Social*. Bogotá D.C.
- Consortio METRO BOG, SISTRA, INGETEC y FDN. (2019). *Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) - Estudio de Impacto Ambiental y Social*. Bogotá D.C.
- Consultoria Colombiana S.A. (2014). *Estudio de impacto ambiental del proyecto Alférez San Marcos*. Bogotá.

- Corporación Financiera Internacional - IFC y Grupo del Banco Mundial. (s.f.). *Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad.*
- Crump , M., & Scott , N. (1994). Visual Encounter Surveys. *Smithsonian Institution Press, Washington D.C.*, 84-92.
- Cruz Barbosa, E. (2015). IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN SOCIOECOLÓGICA DE BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL HUMEDAL LA VACA (BOGOTÁ, CUNDINAMARCA). *Tesis de Posgrado para optar al Título en gestion territorial y avalúos.*
- Echo Meter Touch 2. (2021). *Echo Meter Touch 2 and 2 PRO for ANDROID User Guide*. Obtenido de Wildlife Acoustics: Echo Meter Touch 2 and 2 PRO for ANDROID User Guide
- Eklöf, J., & Rydell, J. (2017). *Bats: In a world of echoes*. Springer International. doi:10.1007/978-3-319-66538-2
- Gardner, A. (2007). *Mammals of South America, Marsupials, Xenarthrans, Shrews, and Bats* (Vol. 1). Chicago & London: The University of Chicago Press.
- Giró, I. B. (2019). *REPRODUCCIÓN Y VOCALIZACIONES EN ESPECIES DE RANAS DEL GÉNERO ELEUTHERODACTYLUS DEL ORIENTE DE CUBA.*
- Gomez-Cortés, A., Ruiz-Agudelo, C., Valencia-Aguilar, A., & Ladle, R. (2015). *Ecological functions of neotropical amphibians and reptiles: a review*. Cali.
- Griffin, D. R., Webster, F. A., & Michael, C. R. (1960). The echolocation of flying insects by bats. *Animal Behaviour*, 8(3-4), 141-154. doi:10.1016/0003-3472(60)90022-1
- Guarnizo, C., Armesto, O., & Acevedo, A. (2014). *Dendropsophus labialis (Catálogo de Anfibios y Reptiles de Colombia)*. Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Heyer, R; Donnelly, M. A.; Mcdiarmid, R. W.; Hayek, L. C.; Foster, M. S. (1994). Measuring and Monitoring Biological Diversity: standard methods for amphibians. *Smithsonian Institution Press, Washington D.C.*, 84-92.
- IDEAM. (s.f.). *Atlas Climatológico de Colombia 1981-2010*. Bogotá D.C.
- INBIO. (20 de Noviembre de 2015). *INBIO*. Obtenido de http://www.inbio.ac.cr/estrategia/Estudio_2004/Paginas/diversidad02.html
- Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras - HIMAT. (mayo de 1990). *Técnicas Estadísticas Aplicadas en el Manejo de Datos Hidrológicos y Meteorológicos*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/009198/009198.pdf>
- Jiménez-Alvarado, J. S., Moreno-Díaz, C., Alfonso, A. F., Giordano, A., Vela-Vargas, I. M., Gómez-Hoyos, D. A., & González-Maya, J. F. (2017). Ciudades biodiversas: mamíferos medianos de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá D. C., Colombia. *Mammalogy notes*, 4(1), 37-41.

- Jung, K., Kalko, E. K., & von Helversen, O. (2007). Echolocation calls in Central American emballonurid bats: signal design and call frequency alternation. *Journal of Zoology*, 272(2), 125-137. doi:10.1111/j.1469-7998.2006.00250.x
- Jung, K., Molinari, J., & Kalko, E. (2014). Driving factors for the evolution of species-specific echolocation call design in new world free-tailed bats (Molossidae). *PLOS ONE*, 9(1), 1-9. doi:10.1371/journal.pone.0085279
- Kalko, E., & Schnitzler, H. (1998). How echolocating bats approach and acquire food. En K. T., & R. P., *Bat biology and conservation* (págs. 197–204). Smithsonian Institution Press.
- López-Baucells, A., Rocha, R., Bobrowiec, P., Bernard, E., Palmeirim, J., & Meyer, C. (2016). *Field guide to Amazonian bats*. Petrópolis, Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (INPA). doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Lynch, J., & Rengifo, J. (2001). *Guía de Anfibios y Reptiles de Bogotá y sus alrededores*. Alcaldía Mayor de Bogotá. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA). Bogotá.
- MADS. (2017). Resolución 1912. *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible*.
- MADS. (s.f.). Decreto 1076 de 2015. *Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*.
- MADS y ANLA. (2018). *Guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia*.
- Martínez Baños, V., Pacheco Florez, V., & Ramírez Pinilla, M. P. (2011). Abundancia relativa y uso de microhábitat de la rana *Geobatrachus walkeri* (Anura: Strabomantidae) en dos hábitats en Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 907-920.
- MAVDT. (2010). *Metodología General para la elaboración y presentación de Estudios Ambientales*.
- McFadden, & Dudley, E. (1994). Soil Moisture Accounting in Continuous Simulation Watershed Models. *Project Report*. University of California.
- Méndez, M., & Pinto, M. (2018). *Riama striata* (Peters, 1863). Catálogo de Anfibios y Reptiles de Colombia. 61-67.
- Paternina, R., & Capera, V. (2017). *Atractus crassicaudatus* - Serpiente Sabanera Catálogo de Anfibios y Reptiles de Colombia. 7-13.
- Patton, J. L., Pardiñas, U. F., & D'Elía, G. (2015). *Mammals of South America, rodents* (Vol. 2). Chicago & London: The University of Chicago Press.
- Pérez-Torres, P., & Ahumada, J. A. (2004). Murciélagos en bosques alto-andinos, fragmentados y continuos, en el sector occidental de la sabana de Bogotá (Colombia). , 9(0), 33–46. *Universitas Scientiarum, Revista de la Facultad de Ciencias*, 9, 33-46.

- Ramírez-Chaves, H. E., Suárez-Castro, A. F., & González-Maya, J. F. (2016). Cambios recientes a la lista de los mamíferos de Colombia. *Mammalogy Notes*, 3(1), 1-9. doi:10.47603/manovol3n1.1-9
- Rydell, J., Arita, H. T., Santos, M., & Granados, J. (2002). Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatan, Mexico. *Journal of Zoology*, 257(1), 27-36. doi:10.1017/S0952836902000626
- SA. (26 de Noviembre de 2012). San Juan de Dios, 444 años de historia. Bogotá, Colombia.
- Schnitzler, H., & Kalko, E. (1998). How echolocating bats search and find food. En K. T., & R. P., *Bat biology and conservation* (págs. 183–196). Smithsonian Institution Press.
- Solari, S., Muñoz Saba, Y., Rodríguez Mahecha, J., Defler, T., Ramirez Chavez, H., & Trujillo, F. (2013). Riqueza, endemismo y conservación de Iso mamíferos de Colombia. *Mastozoología Neotropical*.
- Solari, S., Muñoz-saba, Y., Rodríguez-Mahecha, J. V., Defler, T. R., Ramírez-Chaves, H. E., & Trujillo, F. (2013). Riqueza, endemismo y conservación de los mamíferos de Colombia. *Mastozoología Neotropical*, 20(2), 301–365.
- Tamsitt, J. R., Valdivieso, D., & Hernández-Camacho, J. (1964). Bats of the Bogotá Savanna, Colombia, with notes on altitudinal distribution of neotropical bats. *Revista de biología tropical*, 12(1), 107-115.
- Velásquez, J. S. (2019). *Inventario preliminar de fauna silvestre en áreas verdes urbanas de Bogotá: investigación participativa en protección y bienestar familiar*. Bogotá.
- Villareal, H., Álvarez, M., Córdona, S., Escobar, F., Fragua, G., Gast, F., . . . Umaña, A. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Bogotá, Colombia: Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Yara Contreras , A. C. (2020). *SERPIENTE SABANERA O SERPIENTE TIERRERA (Atractus crassicaudatus, Duméril, Bibron y Duméril 1854)*. Bogotá: SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE DIRECCIÓN DE CONTROL AMBIENTAL SUBDIRECCIÓN DE SILVICULTURA, FLORA Y FAUNA SILVESTRE GRUPO FAUNA SILVESTRE.
- Zamora-Gutierrez, V., Lopez-Gonzalez, C., MacSwiney, M. C., Fenton, B., Jones, G., Kalko, E., . . . Jones, K. (2016). Acoustic identification of Mexican bats based on taxonomic and ecological constraints on call design. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(9), 1082-1091. doi:10.1111/2041-210X-12556
- Zurc, D., Guillén-Servent, A., & Solari, S. (2017). Chillidos de ecolocación de murciélagos emballonuridae en una sábana xerófila-semiseca del caribe Colombiano. *Journal of Neotropical Mammalogy*, 24(1), 201–218.

