

# Producto 4 Estudios y Diseños de Pre-factibilidad

## Entregable 5.1 Revisión Geotécnica

---



*Fuente: Empresa Metro de Bogotá*





# Producto 4 Estudios y Diseños de Pre-factibilidad

## Entregable 4.1 Revisión Geotécnica

---

Preparado por:

Unión Temporal Egis Steer  
Metro de Bogotá  
Carrera 15 #93a-62 Oficina 602  
Teléfono. 746 04 03  
Bogotá D.C. Colombia

+57 1 7460403

Preparado para:

Financiera de Desarrollo Nacional -  
FDN  
Av. Carrera 7 No. 71 - 42  
Torre B Piso 6  
Bogotá D.C. Colombia

Cliente ref: Contrato FDN 033 de 2020

Nuestra ref: 23858501

Este documento fue preparado por la Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá para Financiera de Desarrollo Nacional - FDN. La información contenida en este documento debe considerarse confidencial, cada destinatario reconoce la confidencialidad de la información aquí incluida y se compromete a no divulgarla de ninguna manera. Cualquier persona o institución que utilice cualquier parte de este documento sin el consentimiento expreso por escrito de Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá, se considerará que otorga su conformidad a indemnizar a la Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá por todas las pérdidas o daños que resulten de dicha utilización. La Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá ha llevado a cabo su propio análisis utilizando toda la información disponible en el momento de elaboración del presente documento y señala que la llegada de nuevos datos e información podría alterar la validez de los resultados y conclusiones que aquí se presentan. Por lo tanto, La Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá no se responsabiliza de los cambios en la validez de los resultados y conclusiones debido a eventos y circunstancias actualmente imprevisibles.



## Contenido

Glosario y Abreviaturas .....	iii
1. Introducción .....	1
Antecedentes.....	1
Descripción de la SLMB.....	2
2. Revisión Geotécnica .....	6
Metodología .....	6
Marco Geológico.....	6
Revisión de Información Geotécnica Secundaria .....	28
Riesgos Geogenéticos .....	49
3. Conclusiones y Recomendaciones.....	60
Bibliografía.....	65

## Figuras

Figura 1.1 Esquema Cola de Maniobras .....	2
Figura 1.2 Alternativa de mejor desempeño Calle 72 – Av. Cali – ALO / Subterránea / Línea nueva	4
Figura 1.3 Patio Taller – Predio Fontanar del Río .....	5
Figura 2.1 Localización de la sabana de Bogotá en Colombia, Suramérica .....	7
Figura 2.2 Falla de la Sabana de Bogotá (Azul: Falla Usaquén-Juan Amarillo) .....	9
Figura 2.3 Trazado del proyecto y Geología Urbana .....	15
Figura 2.4 Geología local del proyecto .....	16
Figura 2.5 Mapa geomorfológico de la Sabana de Bogotá.....	17
Figura 2.6 Sección hidrogeológica relevante para el proyecto .....	20
Figura 2.7 Mapa de unidades hidrogeológicas de la Sabana de Bogotá .....	23
Figura 2.8 Esquema de localización de puntos de exploración originados de información secundaria.....	37
Figura 2.9 Perfil de subsuelo esquemático para la Zona Homogénea I. ....	38
Figura 2.10 Humedad natural a profundidad para la Zona Homogénea I.....	39
Figura 2.11 Límite Líquido y Límite de plasticidad a profundidad para la Zona Homogénea I .....	39
Figura 2.12 Peso unitario total a profundidad para la Zona Homogénea I .....	40

Figura 2.13 Perfil de subsuelo esquemático para la Zona Homogénea II .....	41
Figura 2.14 Humedad natural a profundidad para la Zona Homogénea II.....	41
Figura 2.15 Límite Líquido y Límite de plasticidad a profundidad para la Zona Homogénea II .....	42
Figura 2.16 Peso unitario total a profundidad para la Zona Homogénea II .....	43
Figura 2.17 Perfil de subsuelo esquemático para la Zona Homogénea III .....	44
Figura 2.18 Humedad natural a profundidad para la Zona Homogénea III.....	45
Figura 2.19 Límite Líquido y Límite de plasticidad a profundidad para la Zona Homogénea III .....	45
Figura 2.20 Peso unitario total a profundidad para la Zona Homogénea III .....	46
Figura 2.21 Mapa de isoprofundidades del basamento rocoso .....	48
Figura 2.22 Tasas de subsidencia y presencia de pozos en la sabana de Bogotá y a lo largo de la SLMB .....	53
Figura 2.23 Zonas de respuesta sísmica para el trazado .....	58

## Tablas

Tabla 2.1 Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (TM7A-01) ..	30
Tabla 2.2 Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (AC72-02) ...	30
Tabla 2.3 Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (AC80-03) ...	30
Tabla 2.4 Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (SSAL-04) ....	31
Tabla 2.5 Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (TIB-05).....	32
Tabla 2.6 Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (PBOY-06) ...	32
Tabla 2.7 Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (ACCA-07) ...	32
Tabla 2.8 Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (ALO-08) .....	34
Tabla 2.9 Angulo de Fricción para Zona Homogénea I .....	48
Tabla 2.10 Valores de Aa, Av, Ae, Ad para Bogotá. ....	57
Tabla 2.11 Características de los perfiles de suelo C, D, E y F .....	58
Tabla 2.12 Parámetros para espectro sísmico propuesto para edificaciones a lo largo de la SLMB (MCZSB-2010) .....	58
Tabla 2.13 Parámetros para espectro sísmico propuesto para edificaciones de Patio Taller de Suba .....	59
Tabla 3.14 Tabla Resumen de información geotécnica .....	64

## Anexos

Anexo A. Localización de puntos de exploración (información Secundaria Geotécnica)

Anexo B. Información secundaria consultada

Anexo C. Tabla Resumen de resultados de ensayos de campo y laboratorio

## Glosario y Abreviaturas

- Alcaldía Mayor: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- ALO: Avenida Longitudinal de Occidente.
- BRT (Sistema): Sistema TransMilenio, o Sistema de Transporte Masivo
- Consultoría: Formulación, análisis y priorización de alternativas para la expansión del PLMB-T1, y elaborar los estudios y diseños a nivel de prefactibilidad de la alternativa seleccionada para la expansión de la PLMB-T1 y su articulación con otros proyectos de transporte de la Región Bogotá – Cundinamarca.
- DADEP: Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público.
- DNP: Departamento Nacional de Planeación.
- EAAB: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.
- EEB: Empresa de Energía de Bogotá.
- BEM: Empresa Metro de Bogotá.
- Equipo Consultor: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, o Unión Temporal.
- FDN: Financiera de Desarrollo Nacional
- ICANH: Instituto Colombiano de Antropología e Historia.
- IDU: Instituto de Desarrollo Urbano.
- IDPC: Instituto Distrital de Patrimonio Cultural.
- PMMB: Plan Maestro de Movilidad de Bogotá.
- POT: Plan de Ordenamiento Territorial.
- MHCP: Ministerio de Hacienda y Crédito Público.
- MT: Ministerio de Transporte.
- NQS: Avenida Norte Quito Sur.
- PLMB-T1, PLMB: Primera Línea de Metro de Bogotá.
- Regiotram: Tren Ligero de Cercanías de la Sabana de Bogotá.
- SDA, Autoridad Ambiental: Secretaría Distrital de Ambiente
- SDM, Autoridad de Transporte: Secretaría Distrital de Movilidad.
- SDP: Secretaría Distrital de Planeación.
- SHD: Secretaría de Hacienda Distrital.
- SLMB: Segunda Línea del Metro de Bogotá.
- SITP, Sistema: Sistema Integrado de Transporte Público.
- TCC, Adenda 5: Términos de Condiciones Contractuales.
- TRANSMILENIO S.A., TMSA, La empresa (ente gestor del SITP): TransMilenio S.A.

# 1. Introducción

## Antecedentes

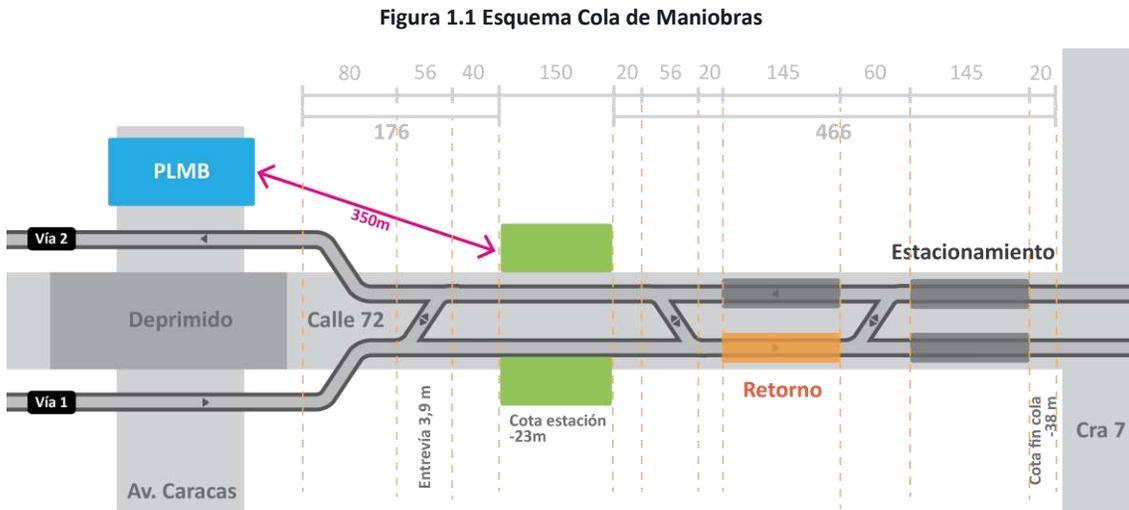
- 1.1 Bogotá como región capital, en aras de mejorar la calidad de vida de sus habitantes, ha venido trabajando en la transformación de su infraestructura en materia de movilidad para todos los modos de transporte, con el fin de que funcionen perfectamente, mediante una programación y operación unificada. Para el caso del transporte público masivo y como parte de este proceso, se busca tener un Sistema Integrado de Transporte mucho más completo y armonioso que incluya varios tipos de servicios, es así como surge la incorporación del sistema metro como nueva opción de medio de transporte.
- 1.2 Bajo este entendido y enfocados en el marco de la red de transporte masivo, además de materializar el desarrollo de la primera línea de metro de Bogotá (PLMB), se proyecta robustecer dicho sistema identificando y teniendo en cuenta la zona de expansión a priorizar logrando el mayor beneficio para la ciudad.
- 1.3 Por tal razón se estructura la expansión de la Primera Línea de Metro de Bogotá - PLMB –T1 o Segunda Línea de Metro de Bogotá - SLMB, mediante el contrato FDN 033 de 2020 cuyo objeto es “Formulación, análisis y priorización de alternativas para la expansión del PLMB-T1, y elaborar los estudios y diseños a nivel de prefactibilidad de la alternativa seleccionada para la expansión de la PLMB-T1”.
- 1.4 El contrato 033 de 2020 establece una evaluación multidisciplinaria distribuida en tres (3) fases con diferentes niveles de detalle, que logra la definición de un corredor óptimo a nivel de prefactibilidad, articulando la operación de la extensión del Sistema Metro con la PLMB y otros proyectos de transporte de la Región Bogotá – Cundinamarca (Regiotram).
- 1.5 En una primera fase o fase uno (1) del contrato 033 de 2020, se realizaron los análisis correspondientes para definir la zona de expansión, la cual arrojó como resultado que la localidad de Suba es la zona o cuenca de la ciudad priorizada hacia donde debería ir la SLMB.
- 1.6 Una vez identificada la Zona de expansión priorizada, se busca conectar la PLMB con la Localidad de Suba, para lo cual se formularon diferentes alternativas de líneas, las cuales fueron desarrolladas en la fase dos (2) de este estudio; es así como se obtiene la línea que discurre en los corredores de la Calle 72, Av. Cali y ALO., como la alternativa de mejor desempeño o mejor calificada mediante una metodología de evaluación por medio de una matriz multicriterio.
- 1.7 Posteriormente se configura el nodo de terminación, mediante la incorporación de diferentes opciones de localización de patio taller y se adelantó igualmente, una evaluación multicriterio para la zona norte del trazado, incluyendo en la evaluación el tramo de la Avenida Longitudinal de Occidente ALO, entre Av. Cali y Av. Suba, el cual arrojó como resultado para el nodo de

terminación, el proyecto de expansión priorizado (PMLB - T2) con terminación en el polígono denominado “Fontanar del Río”, en el cual se implantará el patio-taller.

- 1.8 Finalmente, en la fase tres (3) del proyecto, se desarrollan los estudios de prefactibilidad técnica para esta alternativa, contenidos en los productos 4,5,6 y 7 definidos en los términos de referencia del contrato, el presente documento contiene el desarrollo del entregable 5 de la SLMB detallada a continuación:

### Descripción de la SLMB

- 1.9 La SLMB, presenta una infraestructura mixta mediante la incorporación de dos (2) tipologías de metro: subterráneo y elevado, con una longitud de 15.8 km aproximadamente. Esta línea, comprende además una cola de maniobras en su extremo oriental, 11 estaciones y un patio taller, discurriendo por los corredores de la Calle 72, Avenida Ciudad de Cali, reserva vial ALO y la extensión de la Avenida Transversal de Suba.
- 1.10 El K0+000 se localiza en la Calle 72 a 60 m al oriente de la Carrera 7, donde se contempla una cola de maniobras en tipología subterránea, la cual alberga la zona para maniobras de retorno con sus respectivos cambiavías y una zona para parqueo con capacidad para albergar tres trenes, todo ello con el fin de permitir una adecuada operación de la SLMB, ver Figura 1.1; después de la cola de maniobras, encontramos la estación No. 1 ubicada en la Calle 72 entre las abscisas K0+466 a la K0+616, estación que servirá de integración con los modos de transporte masivo TransMilenio (estación calle 72) y la Primera Línea de Metro de Bogotá PLMB (Estación 16).



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

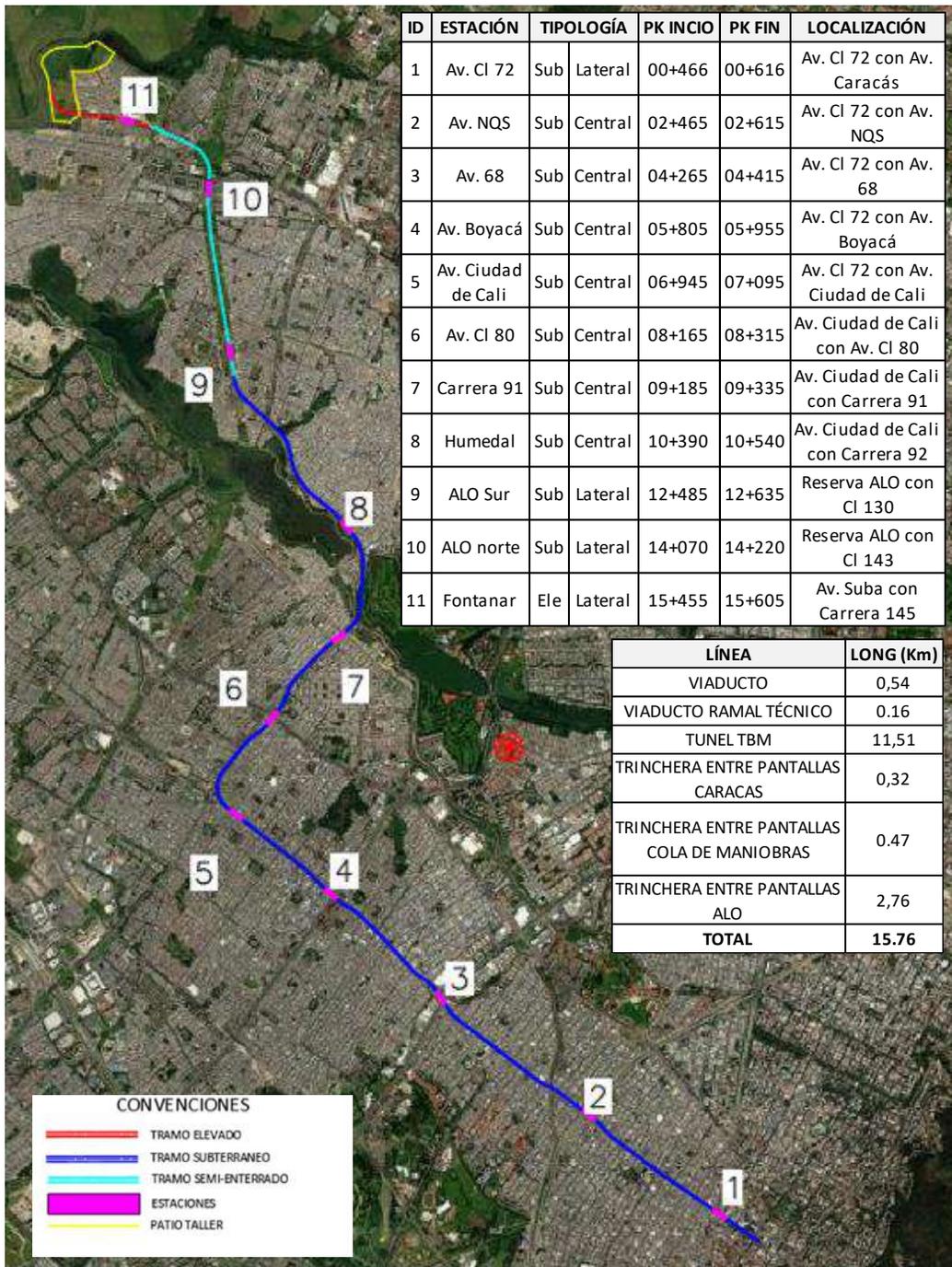
- 1.11 Al occidente de la Avenida Caracas en el corredor de la Calle 72, se proyecta el primer tramo subterráneo de la SLMB mediante la construcción de dos (2) túneles de 7 m de diámetro cada uno, aproximadamente, tipología que continúa hasta llegar a la actual reserva de la ALO.
- 1.12 La estación N° 2 se localiza entre el K2+465 y el K2+615, a la altura de la calle 72 con la Avenida Ciudad de Quito o Carrera 30, estación que tendrá integración con el proyecto de Regiotram Norte y el TransMilenio de la NQS. La estación N° 3 se encuentra localizada entre las abscisas K4+265 al K4+415, a la altura de la intersección de la Calle 72 costado sur con la Avenida 68,

estación que tendrá integración con la futura Estación de la Troncal de TransMilenio de la Av. 68. La estación N° 4 se localiza entre las abscisas K5+805 al K5+955, sobre el mismo costado en el cruce de la Calle 72 con la Avenida Boyacá. La estación N° 5 la última sobre el corredor de la calle 72 se ubica entre las abscisas K6+945 a la K7+095.

- 1.13 Posteriormente, el alineamiento toma dirección norte por el eje de la Avenida Ciudad de Cali o carrera 86, hasta la calle 75 donde toma el costado oriental del corredor para llegar a la estación N° 6 localizada entre las abscisas del K8+165 al K8+315, en inmediaciones del cruce con la Avenida Calle 80, posteriormente por este mismo corredor se llega a la estación N° 7 ubicada entre las abscisas K9+185 al K9+335, a la altura de la calle 90, la estación N° 8) se encuentra ubicada entre el K10+390 al K10+540, al costado norte en la reserva del futuro proyecto de la Troncal TransMilenio de la Avenida Ciudad de Cali a la altura de la carrera 93.
- 1.14 En la Av. Ciudad de Cali a la altura de la carrera 103 se cruza el barrio Nueva Colombia para encontrar la reserva de la ALO. En la reserva de la ALO se cambia el alineamiento vertical, elevando la rasante de la línea para lograr una profundidad aproximada de 7 metros lo que permite modificar el sistema constructivo pasando de excavación con tuneladora a excavación abierta en trinchera.
- 1.15 Sobre la reserva vial de la ALO se localiza la estación N° 9 ubicada entre las abscisas K12+485 al K12+635 a la altura de la calle 130. La estación N° 10) se localiza entre las abscisas K14+070 al K14+220 a la altura de la calle 134 A, en este punto la línea discurre al occidente por la Calle 145 o Transversal de Suba pasando de tipología semienterrada a tipología elevada, a partir de la abscisa K15+060.

La estación N° 11 se localiza entre las abscisas K15+455 al K15+605, esta estación está proyectada con tipo mezzanine con una cota riel aproximada de 9 m sobre el terreno existente, el planteamiento anteriormente descrito, se detalla en la siguiente Figura 1.2:

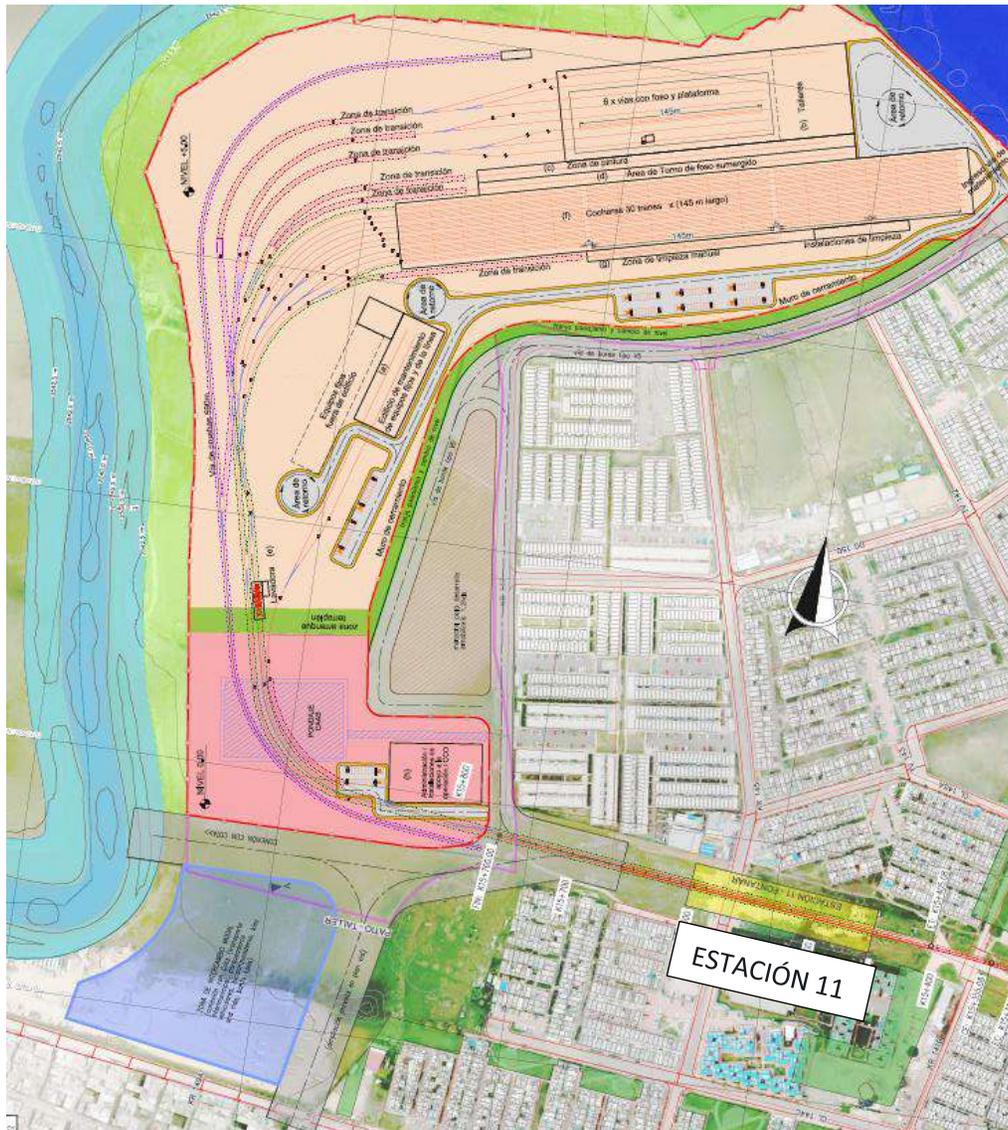
Figura 1.2 Alternativa de mejor desempeño Calle 72 – Av. Cali – ALO / Subterránea / Línea nueva



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

1.16 Desde la estación 11, la línea discurre elevada hasta llegar a inmediaciones del polígono denominado “Fontanar del Río” destinado para la instalación del patio-taller, cuya localización se detalla en la siguiente Figura 1.3 .

Figura 1.3 Patio Taller – Predio Fontanar del Rio



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## 2. Revisión Geotécnica

### Metodología

- 2.1 El presente documento incluye la metodología y resultados de las actividades adelantadas para el desarrollo del Entregable No. 4 del contrato 033 de 2020, en relación con los aspectos de Geología y Geotecnia, a partir de revisión de información secundaria.
- 2.2 Como parte de las funciones de la consultoría se realizó la revisión de información de investigaciones geotécnicas previas desarrolladas en el área de influencia del proyecto, con el ánimo de contar con información relevante para la generación del modelo geotécnico a plantear a lo largo del corredor.
- 2.3 Para este propósito, se tienen en cuenta estudios geotécnicos existentes, de diferente propósito que impliquen la ejecución de estaciones de exploración de subsuelo dentro de un área de influencia aferente que permita conocer las propiedades del subsuelo, teniendo en cuenta el alcance del presente proyecto y las necesidades de información del mismo. Se toman principalmente estudios de suelos para la microzonificación de la Sabana de Bogotá, o para construcción de puentes, estudios viales, edificaciones, líneas de acueducto y alcantarillado, terminales de Transmilenio, y similares, siempre y cuando contengan exploración profunda y tengan, al menos, adecuada descripción del subsuelo, así como caracterización con ensayos de identificación, resistencia y compresibilidad.
- 2.4 En el subtítulo “Marco Geológico” el documento incluye el marco geotécnico-geológico general del trazado y su área de influencia, definiendo el entorno geológico, geomorfológico, tectónico y su asociación con la información geotécnica evaluada.
- 2.5 El subtítulo “Revisión de Información Geotécnica Secundaria” muestra las fuentes consultadas y reflejadas dentro de la recopilación de información aferente al estudio, estableciendo las fuentes de consulta y la información obtenida de dicho proceso.
- 2.6 A continuación, en el subtítulo “Diagnóstico Geotécnico” se condensan apreciaciones y conceptos a partir de la información cuantitativa establecida de la información secundaria obtenida para el estudio.

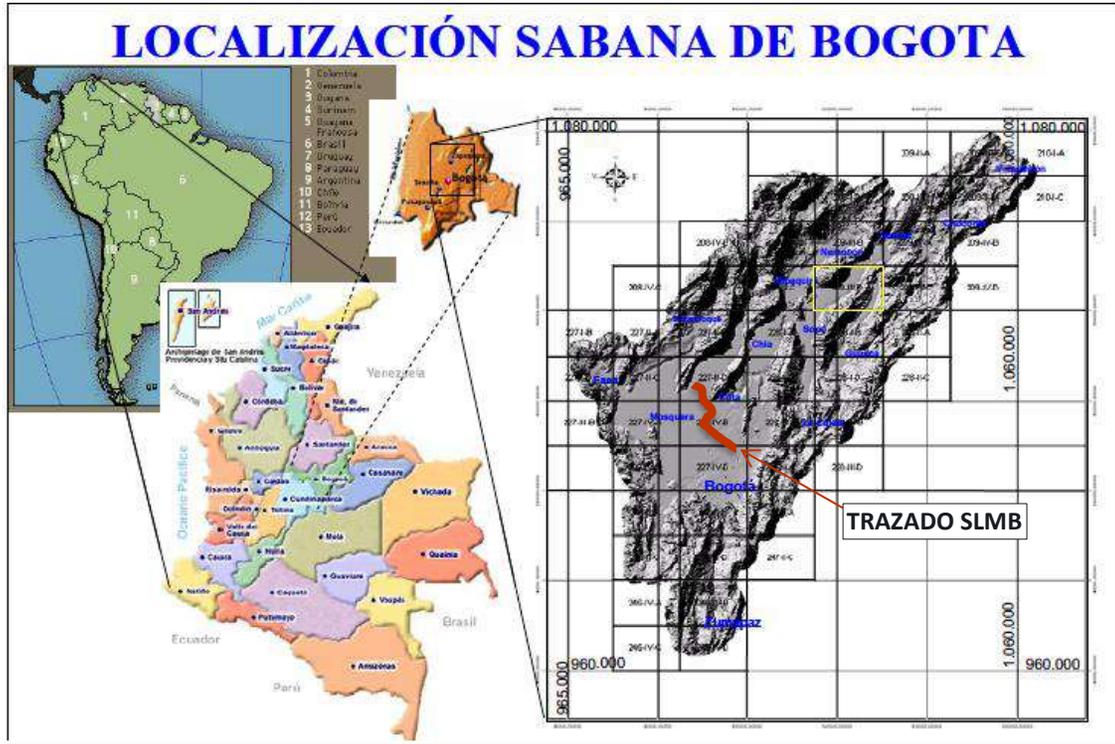
### Marco Geológico

- 2.7 El proyecto de la Segunda Línea del Metro de Bogotá (SLMB) se desarrolla en la ciudad de Bogotá D.C., en el altiplano de la Sabana de Bogotá, geoforma situada en la parte central de la Cordillera Oriental (eje axial), correspondiente a una planicie con una altura promedio de 2.600 msnm., desde el sector de la Carrera Séptima con Calle 72 llegando hasta el lote del Patio taller que se localiza en proximidad del río Bogotá, en la Localidad de Suba. La Sabana de Bogotá, se caracteriza por una gran planicie rodeada al este y oeste por un relieve montañoso,

en donde afloran rocas sedimentarias de origen marino a continental que van desde el Cretáceo Superior al Cuaternario.

- 2.8 El altiplano se extiende de norte a sur desde los municipios de Suesca hasta Sibaté en una longitud de 88 km En la parte central, sentido oeste - este presenta una longitud de 44 km entre el municipio de Facatativá y la localidad de Usaquén (Bogotá). En esta zona se observan planicies lacustres y terrazas altas limitadas al oriente y occidente por serranías, particularmente los Cerros Orientales de la Ciudad de Bogotá (Figura 2.1).

Figura 2.1 Localización de la sabana de Bogotá en Colombia, Suramérica



Fuente: INGEOMINAS, 2004

### Geología Regional

De acuerdo con INGEOMINAS (2005), hoy Servicio Geológico Colombiano (SGC): “El Mioceno es una época de tectónica activa, plegamientos y fallamiento y levantamiento de la Cordillera Oriental y afecta las formaciones antes depositadas y posiblemente se forme la cuenca de la actual Sabana de Bogotá; de éste evento al parecer quedaron registros de algunos vestigios tales como la Formación Chorrera, Marichuela y luego se dió el relleno de esta cuenca con las formaciones Subachoque, río Tunjuelito y Sabana acompañados de eventos de glaciación que generaron los depósitos de la Formación Siecha y Chisacá.”

“Después del evento de máxima deformación del Mioceno, se generaron cuencas intracordillera en las cuales a partir de la parte alta del Mioceno y durante el Plioceno, se deposita la Formación Tilatá que marca el levantamiento de la Sabana de Bogotá desde 600 hasta 2,600 m.s.n.m. registrado en la flora encontrada y estudiada en las secciones del Salto de Tequendama y Chocontá (Hooghiemstra, 1984; en Cooper, et al., 1995). : El mayor levantamiento de la cordillera debió haberse producido entre los 5,3 y 2,6 Ma, a una tasa

*promedio de 0,66 mm/año, con este levantamiento, a finales del Plioceno comienza a formarse la cuenca de la Sabana y su sedimentación de esta empezó aproximadamente hace 3 ma. (Van Der Hammen, 2003). En el Cuaternario la sedimentación fue lacustre, en la parte plana y depósitos fluvioglaciares hacia sus bordes”.*

*“Las fallas que se reactivaron estarían de alguna manera conectando unidades superficiales con el basamento, favoreciendo de esta manera el ascenso de fluidos calientes que brotan como fuentes termales asociadas a los trazos de las fallas de Chocontá -Pericos, Chital, Nemocón, Guatavita y Suralá”.*

*“La geometría de la Sabana de Bogotá responde a un sinclinorio en el que las estructuras sinclinales son amplias y continuas; en tanto que los anticlinales son estrechos, discontinuos y muy deformados a causa de las fallas longitudinales de cabalgamiento, acompañados de un diapirismo de sal que provoca rampas, desplazamientos laterales y zonas de transferencia”.*

*“Dentro del área de la Sabana de Bogotá se pueden establecer dos estilos estructurales: el primero, localizado en el flanco oriental de la Cordillera Oriental, al oriente del sinclinal de Checua, las fallas principales son de cabalgamiento, tiene vergencia al Oriente y las otras fallas son de menor importancia y se comportan como retrocabalgamiento con vergencia le occidente. El segundo estilo estructural se presenta al Occidente; está caracterizado por fallas de cabalgamiento con vergencias al Occidente como sistemas imbricados que nacen y son controlados por fallas de dirección noroeste que sirven como rampas laterales, Neusa al norte y Santa Bárbara – Facatativá, al sur. Este sistema imbricado es el responsable de la generación de anticlinales estrechos y sinclinales amplios que han sido erodados y que son rellenados por sedimentos cuaternarios conformando la planicie de la Sabana” (Figura 2.2).*

Las estructuras geológicas más cercanas al lineamiento de la zona de estudio son: la Falla de Bogotá y el anticlinal de Bogotá, al sur del área. Entre las principales fallas transversales se destacan las Fallas Salitre y San Cristóbal en la parte meridional (Ingeominas, 2005) y la Falla Usaquén – Juan Amarillo, en el área del Proyecto.

*“El anticlinal de Bogotá, está situado en los Cerros Orientales de Bogotá, entre el Alto de Chipaque y la vereda el Hato, sobre la carretera Bogotá - La Calera (McLaughlin, 1975); se une al anticlinal de Bogotá con el anticlinal de Usaquén (McLaughlin, 1975), dada la continuidad de los cerros hacia el norte, y que en general es una estructura anticlinal, hasta la vereda Hato Grande al oriente de Cajicá, con algunas pequeñas interrupciones por fallas”.*

*“Haciendo una interpretación regional dentro de la Sabana se puede relacionar morfológicamente estos cerros orientales con los cerros aislados de Tibitó y los cerros que se forman por el anticlinal de Nemocón; de esta forma se puede considerar una estructura anticlinal segmentada conformada por los conocidos anticlinales de Bogotá, Usaquén y Nemocón”.*

*“El núcleo de esta gran estructura está en rocas de la Formación Chipaque o en las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Labor tierna; el eje tiene un rumbo N10°E, entre Bogotá y Tibitó y cambia N50°E en el sector de Nemocón”.*

*“Los flancos usualmente están afectados por fallas, como la de Bogotá que afecta el flanco occidental y la falla Nemocón que afecta el flanco oriental. La segmentación que se produce en*

la región de Tibitó y el cierre estructural al sur de Nemocón puede ser debido a diapirismo de sal y que se manifiesta en superficie cerca de ahí en las localidades de Zipaquirá y Nemocón”.

Figura 2.2 Falla de la Sabana de Bogotá (Azul: Falla Usaquén-Juan Amarillo)



Fuente: INGEOMINAS, 2005

“La falla de Bogotá bordea los cerros orientales de la sabana (Monserrate y Guadalupe) y se extiende desde el Páramo de Sumapaz a sur de la sabana hasta el norte de la ciudad Bogotá y probablemente continué más al norte fosilizada por los depósitos cuaternarios. Esta falla presenta un rumbo general N10°E y es inversa con vergencia al occidente; desde el sector de Usme hasta Usaquén, el salto va disminuyendo progresivamente, es así como al sur cabalgan

*rocas de la Formación Labor-Tierna sobre rocas de la Formación Bogotá (Usme) y luego sobre las formaciones Cacho y Guaduas hasta desaparecer las evidencias de la falla”.*

*“En relación con la falla Usaquéen, en el proyecto de Microzonificación Sísmica de Bogotá (INGEOMINAS, 1996), no se encontraron indicios de actividad reciente, por lo que fue catalogada como de actividad incierta”.*

*“Otros sectores fallados pequeños, para algunos autores son de gran importancia por la conexión regional de más de uno de ellos como es el caso de la Falla de El Salitre de Velandia & Bermoudes (2002), que une la zona fallada de Zipaquirá, con la curvatura de la falla de Chital sobre la vía Zipaquirá – Pacho y la terminación del anticlinal de Bogotá. Otro caso es el de considerar algunas fallas en zonas terminales de estructuras o serranías como la falla Rodadero de Velandia & Bermoudes (2002) o la Falla de San Cristóbal, de Caro y otros (1997) y que se trazan por debajo de las unidades cuaternarias asumiendo espesores diferenciales de los depósitos a los lados de la falla”.*

### **Estratigrafía de la Sabana**

- 2.9 Con base en la información consultada en el Servicio Geológico Colombiano, se describen las unidades geológicas que conforman el relleno de la Sabana de Bogotá, de techo a base; son sedimentos de ambientes denudativo, aluvial, lacustre y fluvial con edades que van desde el período Neógeno hasta el Cuaternario.

#### *Neógeno*

- 2.10 Parte de este período está agrupado por depósitos de origen denudativo o erosivo, conformado por las formaciones Marichuela, Chorrera y depósitos coluviales asociados al levantamiento de la Cordillera Oriental.
- Formación Marichuela (N1m)
- 2.11 En el valle de Usme, Helmes & Van der Hammen (1995) observan depósitos que suprayacen rocas precuaternarias y que provienen de un sistema de abanicos que se origina a alturas desde los 3.100 a 3.600 msnm., estos depósitos son gravas con clastos hasta tamaño de bloques. Depósitos de este tipo se observan en la región de Usme, La Calera, Laguna del Neusa y en la región del Sisga, en la vereda Suralá.
- 2.12 El origen de estos depósitos se asocia a avalanchas torrenciales inducidas posiblemente por eventos sísmicos o cambios climáticos asociado a lluvias torrenciales; las formas que los caracterizan son lomas bajas y abanicos de morfología alomada de longitudes muy largas, de formas convexas y abruptas (Carvajal et al., 2005).
- 2.13 Al noroccidente del municipio de Chocontá, en la carretera Chocontá – Cucunubá, aflora un depósito de gravas que yace sobre rocas de la formación Guaduas y que corresponde a la Formación Marichuela; es un depósito de 40 m de bloques matriz soportado que envuelve clastos angulosos a redondeados de areniscas y rocas tipo “plaeners”; la matriz es de arena gruesa a conglomerática.
- 2.14 Para Helmes & Van der Hammen (1995), la formación Marichuela siempre se encuentra sobre rocas del sustrato rocoso (rocas cretácicas), la alta deformación que sufren y el carácter sin-orogénico la sitúan por debajo de la secuencia pliocena-cuaternaria, por lo tanto, sería Miocénica.

- Formación Chorrera (N2ch)

- 2.15 Helmes & Van der Hammen (1995), denominan Formación Chorrera a los depósitos con sedimentos mal escogidos que van desde fragmentos de roca hasta grandes bloques; son cantos subangulares, de composición de areniscas, embebidos en una matriz arenosa e intercalados arcillas, arenas, gravas y paleosuelos húmicos negros. Presenta deformación leve y afloran en el sinclinal de Río Frío (parte norte) y Río Frío (parte sur, al oriente del municipio de Subachoque).
- 2.16 En el valle de Subachoque se observan como remanentes de abanicos que buzan suavemente hacia el valle con espesores de hasta 30 m (Helmes & Van der Hammen, 1995), están controlados por tectónica, asociados a ciertos movimientos de falla y levantamiento de la cordillera, lo cual produce material grueso que es transportado y depositado.
- 2.17 Para Carvajal et al, (2005), estos depósitos tienen espesores de 20 a 40 m, están compuestos por bloques de varios tamaños (hasta métricos), angulares que flotan en una matriz arenosa con gravas. Aunque su origen es similar al de la Formación Marichuela (flujos torrenciales gravitacionales), se diferencia de esta por la posición estratigráfica.
- 2.18 No se presentan datos palinológicos ni cronológicos sin embargo su posición entre la parte inferior del Tilatá y la Formación río Siecha, la ubican al final del levantamiento de Cordillera Oriental durante el Plioceno Superior.

- Depósitos Coluviales (Qc)

- 2.19 Se incluyen, en esta denominación, los depósitos de pendientes de origen local, siendo de los más notorios, los observados en el piedemonte del flanco occidental del anticlinal de Bogotá. Los depósitos forman unidades de conos coluviales, conos de talus, lóbulos de soliflucción y flujos torrenciales.
- 2.20 Los conos coluviales y lóbulos de soliflucción son de longitudes cortas y largas, tienen formas convexas e inclinaciones, suaves o abruptas. Son acumulaciones sobre las laderas por procesos de escorrentía superficial, por flujo lento y viscoso de suelos saturado y no saturado. La litología es de bloques angulares a subangulares de diferentes tamaños embebido en un material arcilloso (Carvajal et al., 2005).
- 2.21 Los conos de talus se presentan al pie de las zonas escarpadas en forma de cono o lóbulo, son de longitud muy corta a corta, de formas rectas a convexas e inclinadas; se forman esencialmente por acumulación mecánica de bloques angulares desprendidos por meteorización. La litología es de bloques angulares a subangulares, de variado tamaño, clasto-soportados y con matriz arenosa o arcillosa (Carvajal et al., 2005).
- 2.22 Las siguientes unidades corresponde a depósitos de ambiente aluvial y lagunar, relacionados con el relleno de la Sabana de Bogotá.

- Formación Tilatá (N1t)

2.23 Julibert (1961), en el estudio de la Sabana de Bogotá, llama Formación Tilatá a una terraza alta con sedimentos lacustres y para Helms & Van der Hammen (1995), la Formación Tilatá esta subdividida en los miembros Tequendama, Tibagota (Tilatá inferior) y Guasca (Tilatá superior).

2.24 Morfológicamente la Formación Tilatá muestra terrazas alomadas de varios kilómetros de extensión en forma de abanicos explayados con pendientes suaves a inclinadas; como las observadas en la vía principal Bogotá – Tunja y que corresponde a arenas de grano fino o forma colinas redondeadas a veces alargadas, las cuales están conformadas por gravas y arenas.

2.25 El origen de estos depósitos está asociado con la existencia de abanicos y planicies aluviales antiguas muy disectados y localmente tectonizados (Carvajal et al, 2005).

Edad: Mioceno tardío a Plioceno inferior.

#### *Cuaternario*

2.26 Este período lo conforman las formaciones Subachoque, Tunjuelito, Sabana y Chía.

- Formación Subachoque (Q1su)

2.27 Estos depósitos se encuentran principalmente en los flancos occidentales de los sinclinales de Subachoque y Guasca. Según Helms & Van der Hammen (1995) esta formación es suprayacida por la Formación Sabana y suprayace a la Formación Tilatá o está directamente sobre rocas precuaternarias.

2.28 Para Helms & Van der Hammen (1995), la formación está constituida por material fino, arcillas arenosas, orgánicas y turbas – lignitas, que se alternan con arenas arcillosas y gravas con espesores de 150 m, observado en el corazón del pozo Funza II.

2.29 Helms & Van der Hammen (1995), describen para la parte alta del valle de Subachoque capas gruesas de gravas, hacia el centro del valle y a sur la litología varia y está constituida por capas gruesas de arenas arcillosas con gravas que se alternan con arcillas ya sean arenosas, orgánicas o ricas en turba.

- Formación Tunjuelito (Q1tu)

2.30 Helms & Van der Hammen (1995), llaman formación Tunjuelito al depósito constituido por sedimentos de grano grueso a lo largo de los ríos que cruzan la Sabana de Bogotá, están constituidos por gravas, intercaladas de arenas, arcillas y turbas y que están cubiertas por sedimentos de la Formación Chía. Esta formación aflora en el Valle de Guasca, en la zona del río Tunjuelito y en cercanías a la cabecera del municipio de Cogua.

2.31 Helms & Van der Hammen (1995), esta formación está caracterizada por secuencias de gravas con intercalaciones de arenas arcillosas, arcillas, arcillas orgánicas y arcillas turbosas; las gravas pueden mostrar gradación, los cantos son redondeados, con diámetros hasta de 40 cm. En ciertas localidades los sedimentos gravosos pueden tener espesores de hasta 80 m (río Tunjuelito).

2.32 Estos sedimentos se han encontrado sobre rocas de la Formación Marichuela en el río Tunjuelito y son recubiertas por una delgada capa de sedimentos finos de la Formación Chía

(Helmes & Van der Hammen, 1995). La edad asignada para este depósito es determinada por datos palinológicos y C14 le asignan una edad Pleistoceno. Sin embargo, Van der Hammen (2003), considera que toda la Formación río Tunjuelito cubre todo el Pleistoceno.

- Formación Sabana (Q1sa)

2.33 Se denomina formación Sabana a los depósitos lacustrinos que afloran en toda la zona plana y que hace parte de la Sabana de Bogotá. Para Helmes & Van der Hammen (1995), esta formación está constituida principalmente por arcillas y hacia las márgenes de la cuenca se observan arcillas orgánicas, arenosas y turba – lignita.

2.34 Para Carvajal et al (2005), este depósito es resultado de un antiguo lago que dejó planicies y deltas lacustrinos, los cuales son extensos, de aspecto aterrazado y con morfología ondulada suavemente inclinada y limitada hacia los cauces por los escarpes de estos.

2.35 Para Helmes & Van der Hammen (1995), este depósito tiene por lo menos 320 m (pozo Funza II), está constituido por sedimentos finos y en los dos metros superiores son suelos constituidos por cenizas volcánicas; en general son arcillolitas grises con locales intercalaciones de arenas finas y niveles delgados de gravas y turbas. Mediciones posteriores con geofísica sugieren espesores hasta del orden de 500m.

2.36 La Formación Sabana se presenta suprayaciendo los sedimentos de la Formación Subachoque y por datos de huellas de fisión, C14, indican una edad Pleistoceno medio y tardío (Helmes & Van der Hammen, 1995).

2.37 Esta formación es probablemente la de mayor importancia a lo largo del alineamiento de la segunda línea del Metro de Bogotá, variando principalmente en función de su espesor.

- Formación Chía (Q2ch)

2.38 Esta unidad geológica se distribuye a lo largo del río Bogotá y en la cuenca del Juan Amarillo y, en general, en zonas próximas a los cauces de toda la Sabana.

2.39 Helmes & Van der Hammen (1995), denominan formación Chía a los depósitos constituidos por sedimentos fluviales de grano fino que afloran a lo largo de los ríos principales que generalmente están por debajo de las llanuras de inundación.

2.40 El espesor máximo es de 5 m; está constituido por arcillas, en ocasiones pueden ser moteadas (grises y naranja) como se observa en el sector de Chía y localmente pueden contener limos y en áreas fangosas, arcillas orgánicas diatomíticas ((Helmes & Van der Hammen, 1995).

2.41 Para Carvajal et al (2005), estos depósitos forman terrazas fluviales por erosión, son planas, de suave pendiente y son talladas por la acción de las corrientes fluviales actuales.

2.42 La Formación Chía suprayace sedimentos de la Formación Río Tunjuelito o Formación Sabana; los datos de C14, arrojan edades del Holoceno y hasta de 16.000 años (Van der Hammen, 2005).

### **Geología Estructural**

2.43 De acuerdo con INGEOMINAS (2005): *“Dentro del área de la Sabana de Bogotá se pueden establecer dos estilos estructurales: el primero, localizado en el flanco oriental de la Cordillera Oriental, al oriente del sinclinal de Checua, las fallas principales son de cabalgamiento, tiene*

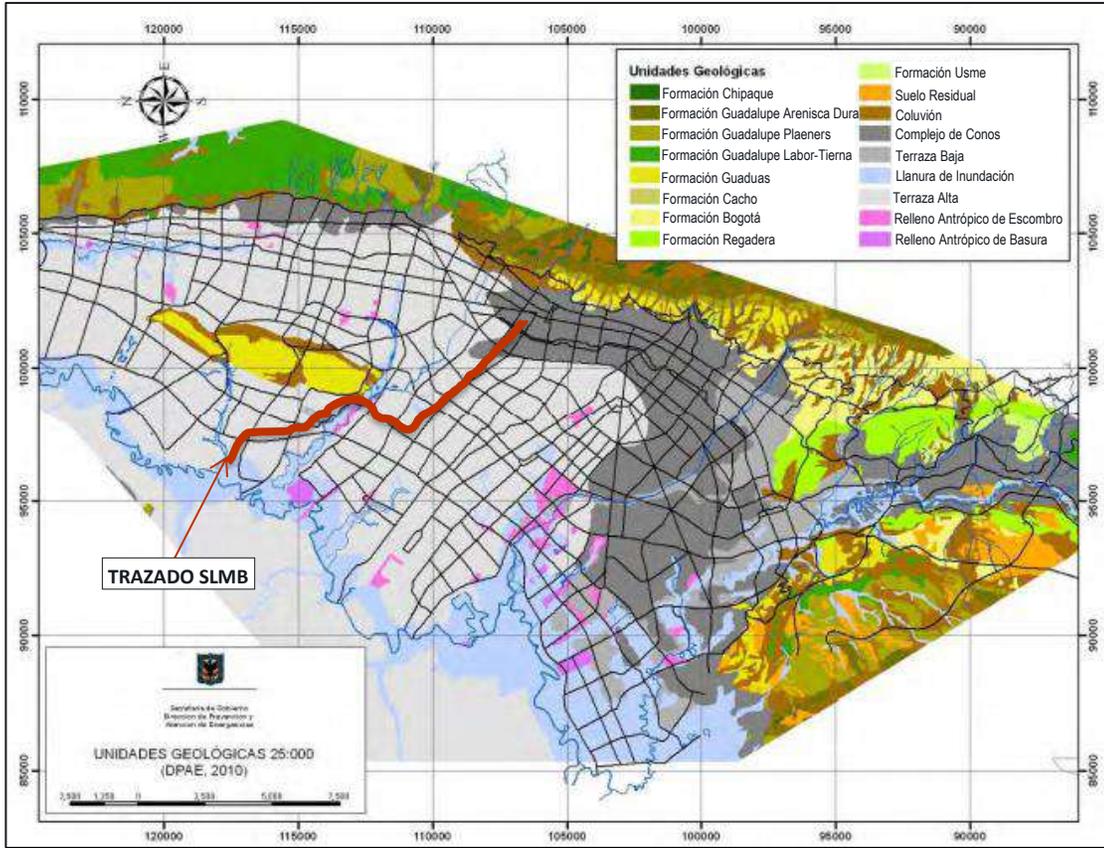
*vergencia al Oriente y las otras fallas son de menor importancia y se comportan como retrocabalgamiento con vergencia al occidente. El segundo estilo estructural se presenta al Occidente; está caracterizado por fallas de cabalgamiento con vergencias al Occidente como sistemas imbricados que nacen y son controlados por fallas de dirección noroeste que sirven como rampas laterales, Neusa al norte y Santa Bárbara – Facatativá, al sur. Este sistema imbricado es el responsable de la generación de anticlinales estrechos y sinclinales amplios que han sido erodados y que son rellenados por sedimentos cuaternarios conformando la planicie de la Sabana“.*

- 2.44 Las estructuras geológicas más cercanas al lineamiento de estudio son: la Falla de Bogotá y la Falla Usaquén-Juan Amarillo, que resulta atravesada por el alineamiento. (INGEOMINAS, 2005).
- 2.45 El anticlinal de Bogotá, está situado en los Cerros Orientales de Bogotá, entre el Alto de Chipaque y la vereda el Hato, sobre la carretera Bogotá - La Calera (McLaughlin, 1975); se une al anticlinal de Bogotá con el anticlinal de Usaquén (McLaughlin, 1975), dada la continuidad de los cerros hacia el norte, y que en general es una estructura anticlinal, hasta la vereda Hato Grande al oriente de Cajicá, con algunas pequeñas interrupciones por fallas.
- 2.46 Haciendo una interpretación regional dentro de la Sabana se puede relacionar morfológicamente estos cerros orientales con los cerros aislados de Tibitó y los cerros que se forman por el anticlinal de Nemocón; de esta forma se puede considerar una estructura anticlinal segmentada conformada por los conocidos anticlinales de Bogotá, Usaquén y Nemocón.
- 2.47 El núcleo de esta gran estructura está en rocas de la Formación Chipaque o en las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Labor tierna, el eje tiene un rumbo N10°E, entre Bogotá y Tibitó y cambia N50°E en el sector de Nemocón.
- 2.48 Los flancos usualmente están afectados por fallas, como la de Bogotá que afecta el flanco occidental y la falla Nemocón que afecta el flanco oriental. La segmentación que se produce en la región de Tibitó y el cierre estructural al sur de Nemocón puede ser debido a diapirismo de sal y que se manifiesta en superficie cerca de ahí en las localidades de Zipaquirá y Nemocón.
- 2.49 La falla de Bogotá bordea los cerros orientales de la sabana (Monserrate y Guadalupe) y se extiende desde el Páramo de Sumapaz a sur de la sabana hasta el norte de la ciudad Bogotá y probablemente continué más al norte fosilizada por los depósitos cuaternarios. Esta falla presenta un rumbo general N10°E y es inversa con vergencia al occidente; desde el sector de Usme hasta Usaquén, el salto va disminuyendo progresivamente, es así como al sur cabalgan rocas de la Formación Labor-Tierna sobre rocas de la Formación Bogotá (Usme) y luego sobre las formaciones Cacho y Guaduas hasta desaparecer las evidencias de la falla.
- 2.50 En relación con la Falla Usaquén-Juan Amarillo, no se han asociado eventos sísmicos y no fue considerada en la microzonificación sísmica de la Sabana de Bogotá como fuente sísmica. Se trata de un rasgo sepultado entre los sedimentos de las Formaciones Chía y Bogotá, principalmente inferido a partir de sensores remotos e interpretación morfológica (Fierro, Et. Al, 2010), así como asociación con fuentes termales (Las Pléyades y Sie Chetupcua), en la zona del humedal Juan Amarillo y el Club Los Lagartos (Royo y Gómez, 1946), atravesada por el trazado propuesto para la segunda línea del metro. Se hipotetiza, a partir de modelos tectónicos, que es una falla de transformación asociada con las compresiones en las fallas del



2.53 La Formación Chía se hace presente exclusivamente en el cruce de los humedales de Juan Amarillo, en los bordes de cauces menores, y cerca del río Bogotá (Figura 2.4).

Figura 2.4 Geología local del proyecto



Fuente: FOPAE, 2010

2.54 Inmediatamente después del paso sobre el humedal de Juan Amarillo, el trazado se acerca a los Cerros de Suba, de la Formación Guaduas, también descrita en el subcapítulo de la Geología general, compuesta por rocas de grano fino a medio, compuestas por arcillolitas y algunos estratos de areniscas, y con presencia de carbón. Dado el cruce en las inmediaciones del cerro, se estima que la profundidad de los depósitos lacustres puede reducirse y estos podrían encontrarse intercalados con depósitos coluviales o aluviocoluviales compuestos por arenas limosas y arcillas arenosas.

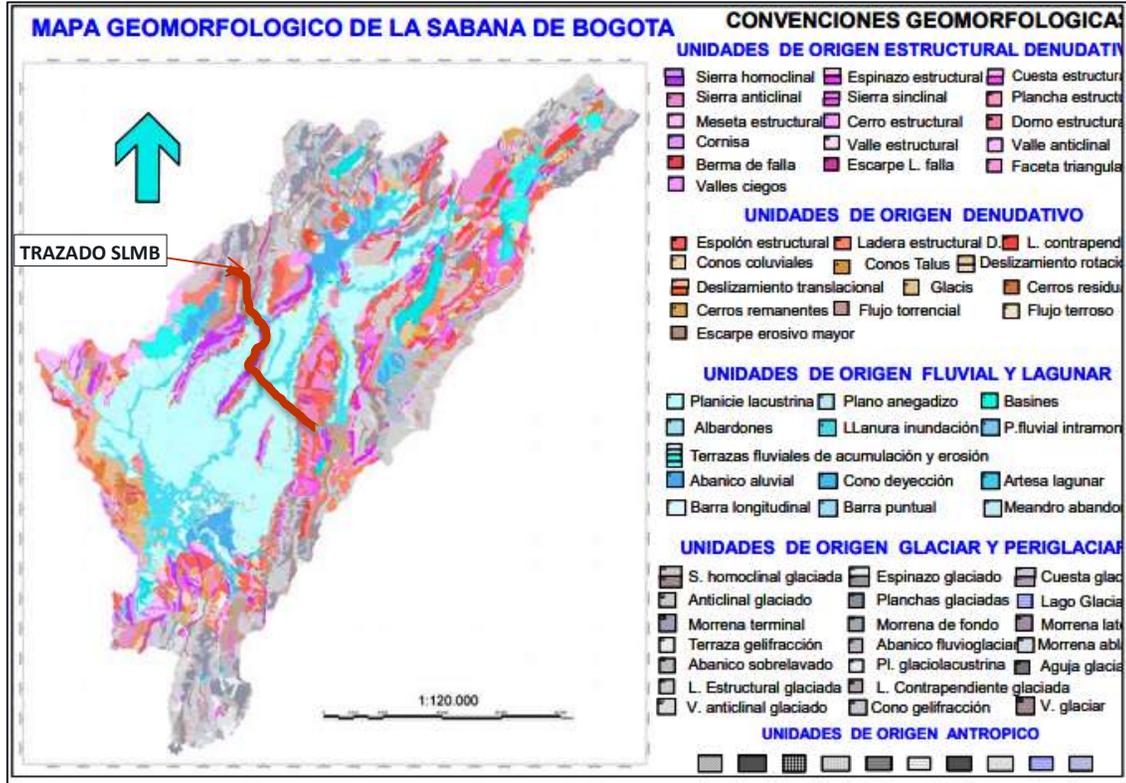
**Geomorfología**

2.55 Regionalmente, la Sabana de Bogotá hace parte de la provincia geomorfológica de la Cordillera Oriental, como se mencionó en los capítulos precedentes, la Formación de la Sabana se originó durante la orogenia andina con sucesos de acumulación de sedimentos en cuencas distensivas y subsidentes afectadas por procesos tectónicos con la generación de plegamientos durante la fase de levantamiento de la cordillera que bordean la cuenca intramontana (Figura 2.5).

2.56 La Sabana de Bogotá está limitada al oriente y occidente por serranías conformadas por rocas sedimentarias de edad Cretácica a Cuaternaria de ambiente estructural afectadas por procesos denudativos de carácter pluvial y glaciar.

2.57 El trazado de la Segunda Línea del Metro de Bogotá se sitúa atravesando la Cuenca de la Sabana de este a oeste en la zona central del altiplano lagunar, disectando planicies aluviales actuales y recientes pertenecientes al río Bogotá que se interdigitan eventualmente con la parte distal de conos de deyección, flujos torrenciales y lóbulos coluviales generados en el piedemonte de los Cerros de Suba. Las geoformas generadas morfogenéticamente pertenecen a los ambientes denudacional, fluvial y lagunar.

Figura 2.5 Mapa geomorfológico de la Sabana de Bogotá



Fuente: INGEOMINAS, 2005

Ambiente fluvial y lagunar

2.58 Las geoformas identificadas en el corredor corresponden a unidades geomorfológicas de ambiente fluvial y lagunar. Tales como planicies y deltas lacustrinos, planos anegadizos (planicies de inundación), conos de deyección y abanicos aluviales.

*Planicies y deltas lacustrinos (Fpla)*

2.59 El trazado del proyecto avanza sobre esta geoforma en la mayor parte del recorrido desde el inicio en la Avenida Caracas con Calle 72, corresponde a una planicie extensa, aterrizada, y de morfología ondulada suavemente inclinada hacia el oeste y limitada por el cauce del río Bogotá, en donde termina, en la Localidad de Suba. Se constituye principalmente de arcillas grises con locales intercalaciones de arenas finas y delgados niveles muy ocasionales de gravas y turbas, en capas paralelas producto de la acumulación de materiales en la cuenca ocupada por el antiguo lago de la Sabana de Bogotá. Los espesores mínimos estimados a lo largo del recorrido de la SLMB son de 40m y máximos hasta de 500 m.

*Planos anegadizos (Fpa)*

- 2.60 En el sector de los humedales de Juan Amarillo y cerca del río Bogotá, en donde se localiza el Patio Taller, al noroccidente del área, el trazado cruza estas geoformas.
- 2.61 Corresponden a artesas de bajo relieve, planas y de formas irregulares, mal drenadas que se localizan en las planicies lagunares o de inundación del río y cuyo origen se relaciona fundamentalmente a encharcamientos pluviales en zonas planas. Presentan suelos residuales finos de 0.1-0.5 m de espesor, localmente con abundante materia orgánica vegetal.

*Planos y planicies aluviales intramontanos (Fpp)*

- 2.62 Corresponde a planicies elongadas de morfología suavemente ondulada localizadas en valles sinclinales. Se constituye 3 – 5 m de sedimento aluvial lacustrino.

*Terrazas fluviales por erosión (Fpi)*

- 2.63 Corresponde al lecho mayor del río Bogotá, cerca del sitio del Patio Taller. Son terrazas de forma plana y suave pendiente, con escarpes de 1 – 5 m y excavadas en suelos arcillosos de la Formación Sabana y con jarillones de protección contra inundaciones.

*Terrazas fluviales de acumulación (Fta)*

- 2.64 Son superficies planas y suavemente inclinadas ( $2^{\circ}$  -  $3^{\circ}$ ) paralelas a los ríos a los cuales limitan con escarpes de diferente altura y espesor. Se forman por la incisión de antiguas planicies de inundación como consecuencia de cambios en el nivel de base de los ríos por cambios eustáticos o climáticos, o movimientos tectónicos. Se constituye de material aluvial con gravas, arenas y limos y de acuerdo a su edad relativa pueden ser recientes, subrecientes o antiguas.

*Abanicos Aluviales (Faa)*

- 2.65 Esta geoforma se distribuye en el municipio de Zipaquirá, en zonas fuera del trazado de la SLMB. Presenta forma de abanico ampliamente displayado y aterrazado de varios kilómetros de extensión, de laderas rectas o cóncavas y con suaves pendientes. Su origen está asociado con acumulación de material aluvial en una zona plana o valle amplio, a la salida de un valle tributario. Se constituye de 50 – 80 m de gravas y arenas con interestratificaciones de arcillas y limos en su parte distal.

*Conos de deyección (Fcdy)*

- 2.66 Distribuidos al pie de los Cerros de Suba. Eventualmente, se interdigitan con la planicie por donde avanza el trazado del proyecto.
- 2.67 Corresponde a una geoforma en forma de cono en planta y de  $5^{\circ}$  -  $10^{\circ}$  de inclinación de decenas de metros de extensión, y ubicados en el punto donde los canales o quebradas de los Cerros de Suba llegan a zonas de valles amplios. Se constituyen de tierras, arena y grava en espesores de 3 – 5 m.

*Ambiente denudativo*

*Conos y lóbulos coluviales de solifluxión (Dco)*

- 2.68 Corresponde a una geoforma distribuida en el sector de la Avenida Ciudad de Cali, en forma de cono o lóbulo de longitud larga, de forma convexa a inclinaciones suaves. Se origina por

acumulación de material sobre las laderas por procesos de escorrentía superficial como por flujo lento y viscoso del suelo saturado y no saturado. Constituida por bloques angulares a subangulares de areniscas de diferente tamaño embebidos en material arcilloso en espesores de 5 – 35 m.

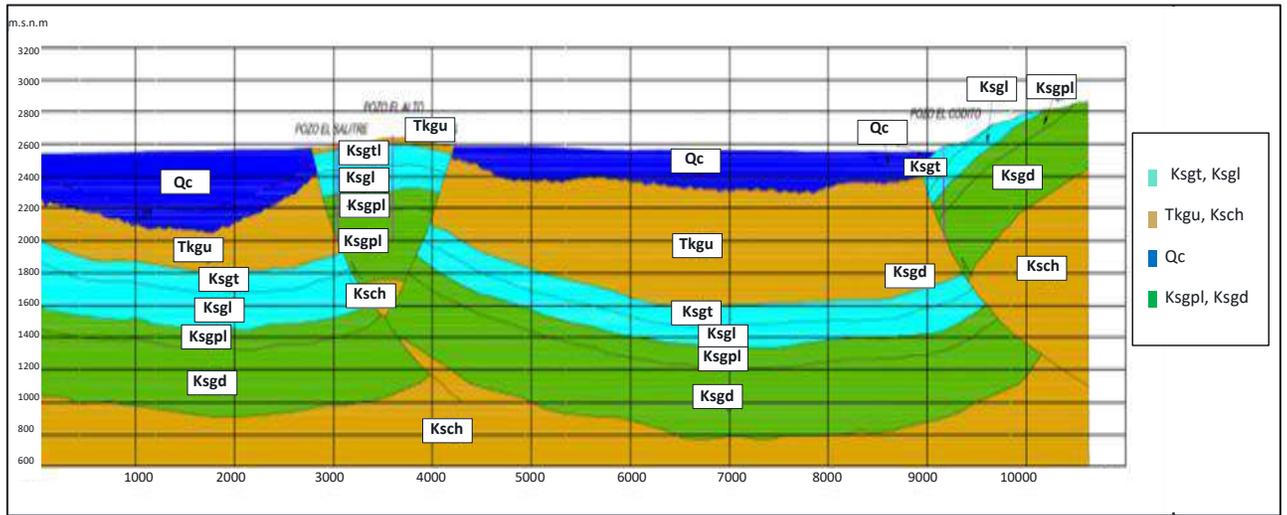
#### *Flujos torrenciales (Dflb)*

- 2.69 Distribuidos en zonas próximas a los cerros orientales de la Sabana, lejos del área del proyecto. Son lóbulos de forma alomada de longitudes muy largas, de forma convexa abruptas a muy abruptas. Constituidos por 20 – 40 m de bloques de areniscas angulares a subredondeados de tamaños métricos, flotantes en matriz arenosa con gravas y arcillas. Su origen se asocia a avalanchas torrenciales inducidas por lluvias torrenciales y eventos sísmicos.

#### **Hidrogeología**

- 2.70 A continuación, se realiza una descripción de las características hidrogeológicas del sector del proyecto, a partir de estudios regionales y detallados de la Sabana de Bogotá de diversos autores, entre los que se destacan el estudio “Caracterización de los Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos de la Cuenca, Anexo 3 del Informe C-NK-NKLAC-INAR-105-ITTE-001 2017-2” dentro del contrato Plan de Manejo Integral del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Bogotá.
- 2.71 De acuerdo con el estudio de la CAR-Nippon (2017): ...la parte Alta y Media de la Cuenca del Río Bogotá, que corresponde a la Sabana de Bogotá, se divide en nueve (9) regiones siguiendo el lineamiento planteado en el “Estudio Hidrogeológico Cuantitativo de la Sabana de Bogotá” llevado a cabo por INGEOMINAS en convenio con la CAR en el año 1993.
- 2.72 Con base en lo anterior se deduce que el trazado de alineamiento de estudio está situado en la Cuenca Media, específicamente, en el sector suroriental y centro oriental donde se sitúan la Ciudad de Bogotá y los municipios de Chía, Cajicá y Zipaquirá. La Sabana de Bogotá corresponde a una región fisiográfica plana a semiplana rodeadas de montañas con una elevación media de 2.600m.n.m.
- 2.73 De acuerdo con la CAR (2017): en el mapa hidrogeológico de Colombia (1989), la cuenca del Río Bogotá pertenece a la Provincia Hidrogeológica Andina Vertiente Atlántica que agrupa las tres (3) Cordilleras de Colombia. Por tal razón, la citada cuenca específicamente pertenece a la Sub-Provincia Hidrogeológica Cordillera Oriental. De la Sub-Provincia hacen parte una o varias cuencas hidrográficas, donde sus límites generalmente corresponden a límites hidrogeológicos. De tal manera, la Cuenca del Río Bogotá se describe hidrogeológicamente agrupando las partes alta y media que encierra la Sabana de Bogotá y la cuenca baja asociada al Valle Medio del Magdalena.
- 2.74 A continuación, en la Figura 2.6 se describen las unidades geológicas asociadas a la hidrogeología del área del proyecto. La sección indicada es cercana y paralela a la Calle 100.

**Figura 2.6** Sección hidrogeológica relevante para el proyecto



Fuente: EAAB, 2001

Formación Guaduas (TKg)

- 2.75 La Formación Guaduas es descrita originalmente por Hettner (1892, en De Porta, 1974) para referirse a los materiales que afloran en la región de Bogotá y que están por encima del Grupo Guadalupe. Hubach (1931), denomina piso Guaduas a la secuencia que suprayace al Grupo Guadalupe y es infrayacida por el piso de Bogotá.
- 2.76 De acuerdo con Sarmiento (1994), los segmentos inferiores de la Formación Guaduas están representados por arcillolitas con laminación lenticular y arcillolitas limosas, cubiertas por limolitas arenosas y areniscas de grano fino finalizando con areniscas y limolitas y mantos de carbón. El segmento 3 se encuentra constituido por capas de areniscas de grano fino y medio, con esporádicas intercalaciones de limolitas y lodolitas, conocido como Arenisca La Guía.
- 2.77 En algunos segmentos, se reconocen mantos de carbón con espesores desde 0.40 hasta 3.0 m, intercalados dentro de una secuencia de lodolitas, limolitas y esporádicas capas de areniscas de grano muy fino donde es común encontrar nódulos de siderita. Otros segmentos constituyen un conjunto de areniscas de grano muy fino medias y gruesas sobre las cuales aparecen depositadas capas intercaladas de lodolitas, limolitas y mantos de carbón con espesores desde 0.65 hasta 1.80 m.
- 2.78 También ha sido citado el conjunto Arenisca Lajosa, representada por un conjunto de arenisca de grano fino y niveles conglomeráticos y una espesa secuencia de limolitas y arcillolitas en capas gruesas y bancos de colores rojizos, verdosos y azulosos, intercalados con areniscas finas.
- 2.79 El contacto inferior de la Formación Guaduas con la Formación Arenisca Labor y Tierna es neto y concordante. El contacto superior con la Formación Arenisca del Cacho es erosivo e inconforme (Sarmiento, 1994). Por palinología la edad de la Formación Guaduas es del Cretáceo Superior al Terciario Inferior. Dado que constituye el núcleo de los Cerros de Suba, se estima que controla el comportamiento hidrogeológico de la zona en la cual la traza se

- 2.80 aproxima a ellos, desde el humedal de Juan Amarillo y en todo su recorrido al occidente de ellos.
- 2.81 Dada su naturaleza principalmente arcillolítica, la permeabilidad de esta unidad es baja, excepto por la fracturación en las capas delgadas de areniscas y limolitas descritas.

Formación Bogotá (Tpb)

- 2.82 La parte inferior está constituida por una sucesión alternante de arenitas subfeldespáticas a sublitoarenitas, de grano medio a fino, color gris verdoso a gris azulado y hacia la base gris café. Interstratificadas ocurren lodolitas y arcillolitas, color gris verdoso, con moteado gris claro y en menor proporción gris rojizo. La estratificación de las capas es paralela a no paralela, con bases irregulares erosivas y estratificación cruzada en artesa y planar. (Acosta y Ulloa, 1997). La parte superior está constituida por una sucesión alternante de arcillolitas y limolitas abigarradas, intercalados esporádicamente se encuentran unas capas de cuarzoarenitas, de grano medio a grueso, en capas muy gruesas. El contacto inferior se trazó en la base de la capa más baja de arenitas subfeldespática, la cual suprayace a una secuencia de lodolitas; el contacto superior no aflora debido a que los depósitos de la Sabana de Bogotá, la subrayasen discordadamente. (Acosta y Ulloa, 1997)

Formación Sabana (Qps)

- 2.83 Se conoce como Formación Sabana, según se ha indicado, a la espesa secuencia de sedimentos de origen lacustres que conforman toda la parte plana y semiplana de la Sabana de Bogotá. Para Carvajal et al. (2005), este depósito es resultado de un antiguo lago que dejó extensas planicies y deltas lacustres de aspecto aterrazado, con morfología ondulada suavemente inclinada, y limitada hacia los cauces por sus escarpes.
- 2.84 Para Helmes & Van der Hammen (1995), este depósito tiene por lo menos 320.0 m constituido por sedimentos finos, en general arcillas grises con intercalaciones de arenas finas y niveles delgados de gravas y turbas, donde los dos metros superiores son suelos constituidos por cenizas volcánicas. Por datos de huellas de fisión en Carbono-14, Helmes & Van der Hammen (1995) indican una edad Pleistoceno Medio y Tardío (Cuaternario). Después de la Microzonificación Sísmica de Bogotá y sus estudios previos adelantados por INGEOMINAS y la Universidad de Los Andes (1995, 2010), los espesores máximos se han estimado hasta el orden de 500m.

Depósitos Coluviales (Qc)

- 2.85 Se incluyen en esta denominación a los depósitos de pendientes de origen local, siendo de los más notorios para el proyecto, los que ocurren en el piedemonte del flanco Occidental de los Cerros de Suba. Estos depósitos se encuentran representados por conos coluviales, conos de talus, lóbulos de solifluxión y flujos torrenciales. En general tienen formas convexas e inclinaciones suaves o abruptas producto de acumulaciones sobre las laderas por acción de la escorrentía superficial con flujo lento y viscoso de suelos saturados y no saturados y por acumulación mecánica de bloques angulares desprendidos por meteorización de la porción de areniscas y limolitas de la Formación Guaduas. La litología está constituida por bloques angulares a subangulares de diferentes tamaños, embebido en una matriz arcillosa.

Depósitos Aluviales (Qal)

- 2.86 Están conformados por arenas, guijarros, gravas finas, limos y arcillas, asociados al cauce de las corrientes superficiales, con un espesor que en la mayoría de los casos no sobrepasa los 10 m, desarrollando una porosidad primaria.
- 2.87 Como se ha mencionado en capítulos precedentes la Sabana de Bogotá está situada en la cuenca alta y media del río Bogotá. El trazado de la Segunda Línea del Metro de Bogotá está situado en la cuenca media e involucra la ciudad de Bogotá, el antiguo municipio de Engativá, actualmente localidad y el municipio anexado de Suba, hoy Localidad de Suba. Morfológicamente, corresponde a una zona plana, horizontal, con un promontorio de topografía montañosa (cerros de Suba), al cual se aproxima la línea, que en todo su recorrido tiene una elevación media de 2.600 m.s.n.m.

#### Terraza Alta (Qta)

- 2.88 Se trata principalmente de una superficie plana ligeramente ondulosa y que está disectada por el Río Bogotá y algunos de sus tributarios. En términos generales, esta unidad está constituida por materiales predominantemente arcillosos con intercalaciones de niveles arenosos y gravas, pobremente estratificadas principalmente de forma lenticular, el cual es correlacionable con la Formación Sabana. Los niveles arenosos y de grava dentro de la unidad, reportados a través de perforaciones, se estiman con una porosidad primaria que les permite considerarse como acuíferos importantes. Los niveles arcillosos y limo-arcillosos se estiman con una porosidad primaria baja y muy baja.

#### Terraza Baja (Qtb)

- 2.89 Comprende los depósitos antiguos originados por los ríos Bogotá y Tunjuelo. Está representada por superficies planas a ligeramente onduladas y poco dissociadas que se elevan sobre el nivel de las llanuras aluviales actuales. Su composición es predominantemente limo-arcillosa. Su contacto con los conos y la terraza alta es neto y se marca con un escarpe suave. Se caracteriza por ser la zona donde se presentan frecuentemente inundaciones y donde se encuentran los humedales y pantanos de la Sabana de Bogotá. En el sector del humedal se restringe a los depósitos sobre la llanura aluvial o los depósitos lagunares (Qdl) que lo conforman, por tal razón su diferenciación en las diferentes restituciones se enmascara con los cambios en las condiciones del humedal en general por su desecación, incremento de vegetación de pastos y el avance del relleno sobre las laderas de las terrazas baja y alta y del mismo humedal, como en el caso del barrio Los Olivos.

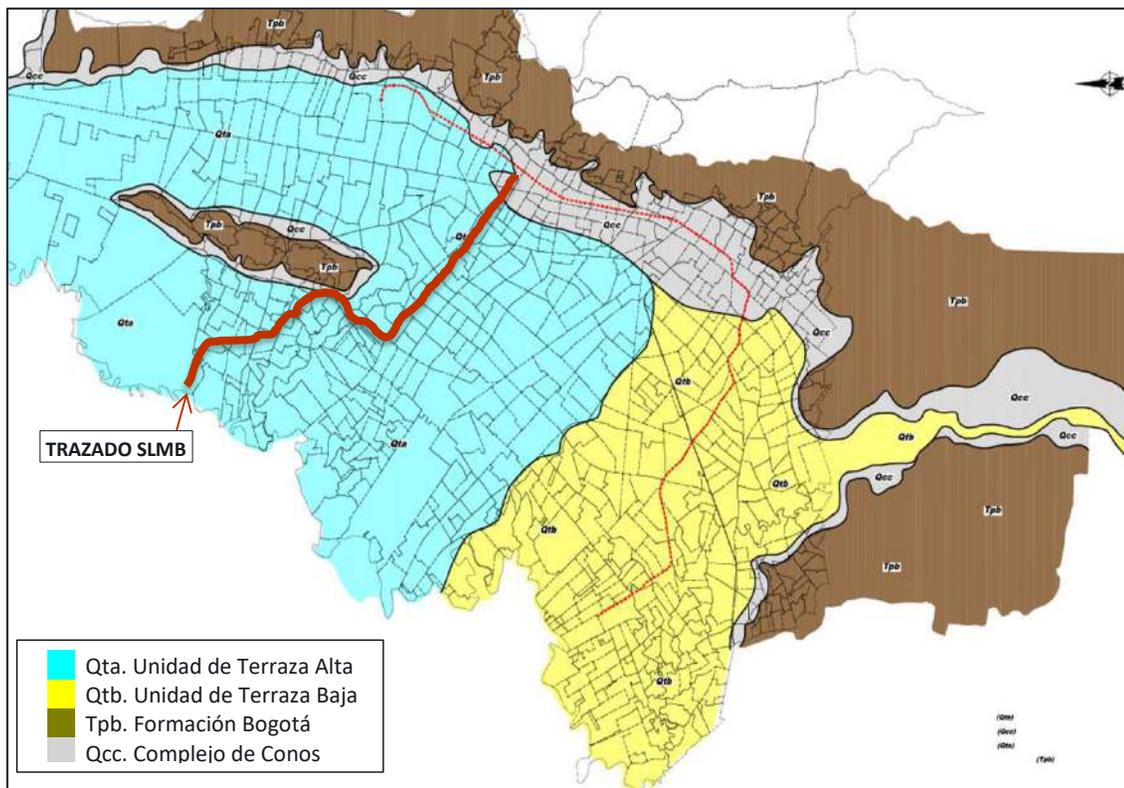
#### Complejo de conos del Río Tunjuelo (Qcc)

- 2.90 Es descrito y definido como fragmentos de varios conos que descendieron de la vertiente este del valle del río y se fusionaron en él para formar un fondo aluvial. Esta unidad es observable en las explotaciones de grava dispuestas sobre las márgenes del río; está compuesta por bloques, cantos y gravas de arenisca y chert, redondeados a subredondeados, con buena selección y en matriz areno-limosa color gris. Presenta intercalaciones lenticulares de arenas con estratificación plano-paralela y cruzada.
- 2.91 De acuerdo con la CAR (2017): *“Para mejor la comprensión y entendimiento de la descripción hidrogeológica del área, la Sabana de Bogotá se divide en Provincias Hidrogeológicas, siguiendo los lineamientos planteados para la elaboración del Mapa Hidrogeológico de Colombia (1989) bajo el patrocinio y dirección del Programa hidrogeológico Internacional de la*

*Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), que define a la Provincia Hidrogeológica como un área con características geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas semejantes”.*

- 2.92 De acuerdo con lo anterior, la Cuenca del Río Bogotá pertenece a la Provincia Hidrogeológica Andina Vertiente Atlántica que agrupa a las tres (3) Cordilleras de Colombia. Por tal razón, la citada Cuenca específicamente pertenece la Sub-Provincia Hidrogeológica Cordillera Oriental. De la Sub-Provincia hacen parte una o varias cuencas hidrográficas, donde sus límites generalmente corresponden a límites hidrogeológicos. De tal manera, la Cuenca del Río Bogotá se describe hidrogeológicamente agrupando las partes Alta y Media que encierran la Sabana de Bogotá y la Cuenca Baja asociada al Valle Medio del Río Magdalena.
- 2.93 Para la caracterización hidrogeológica de la Cuenca del Río Bogotá, se lleva a cabo la recopilación de la información técnica relacionada con estudios geológicos e hidrogeológicos realizados hasta la fecha por entidades oficiales y particulares. La información geológica tiene que ver con la síntesis de la descripción litológica de las diferentes unidades roca aflorantes en el área de estudio, que a su vez conforman las unidades hidrogeológicas (Figura 2.7).

**Figura 2.7** Mapa de unidades hidrogeológicas de la Sabana de Bogotá



Fuente: Extraído de FOPAE, 2001

- 2.94 El Mapa Hidrogeológico de la Cuenca del Río Bogotá se presenta en escala 1:100.000, y resume el resultado de la diferenciación de las unidades geológicas según sus características hidrogeológicas y para tal fin, se cuenta con información hidrogeológica de las unidades aflorantes. El mapa busca, simplemente, obtener una visión global de la dinámica de los flujos

subterráneos locales y regionales que controlan la recarga, la conducción y almacenamiento de las aguas subterráneas en la citada Cuenca.

- 2.95 Las unidades hidrogeológicas de la parte Alta y Media de la Cuenca del Río Bogotá (Sabana de Bogotá) y su parte Baja (Valle Medio del Río Magdalena), se clasifican siguiendo los lineamientos planteados por la IAH (1995), de acuerdo al tipo de porosidad dominante en los sedimentos y rocas (Primaria o intergranular y secundaria o por fracturas) y a su potencialidad acuífera teniendo en cuenta el valor de sus principales parámetros hidráulicos, reflejados en el valor de la Capacidad Específica de cada unidad. En el Mapa Hidrogeológico, la gama azul corresponde a rocas o sedimentos con porosidad primaria, los tonos verdes a rocas con porosidad secundaria y los colores cafés a sedimentos o rocas prácticamente impermeables.
- 2.96 Del total del área correspondiente a la Cuenca del Río Bogotá con una extensión de 5671.0 Km<sup>2</sup>, su parte Alta y Media que corresponde a la Sabana de Bogotá con 4304.7 Km<sup>2</sup>, está conformada por aproximadamente 75% de sedimentos y rocas potencialmente acuíferos. El 25% restante se encuentra constituido por materiales litológicos prácticamente impermeables. Por el contrario, en la parte Baja de la citada Cuenca, con una extensión de 1366.3 Km<sup>2</sup>, únicamente el 30% del área está comprendida por sedimentos y rocas permeables y el 70% por impermeables.
- 2.97 Lo anteriormente expuesto permite clasificar las unidades hidrogeológicas en Acuífero (unidad que contiene agua y permite su movimiento a través de sus poros o fracturas, bajo la acción de la gravedad o las diferencias de presión), en Acuitardo (unidad que almacena y transmite lentamente el agua subterránea hacia una captación artificial o natural) y en Acuicludo (unidad que por su carácter impermeable no almacena ni transmite el agua subterránea). A continuación, se describen los elementos hidrogeológicos relevantes para la SLMB.

#### Acuífero Sabana (Qs)

- 2.98 Este acuífero también conocido como Depósito de Terraza Alta, se caracteriza por ser continuo de extensión regional y multicapa. Se considera de moderada importancia hidrogeológica a pesar de su bajo caudal de producción, debido a que es el más intensamente explotado por su fácil acceso al hallarse muy cerca de la superficie del terreno. Morfológicamente forma una superficie plana a semiplana que sobresale del nivel general del Cuaternario aluvial con una altura de aproximadamente 15.0 m, fluctuando su espesor entre 40.0 y 500.0 m,
- 2.99 Litológicamente está representado por una secuencia de lentes gruesos compuestos por guijarros arenas gruesas a finas de areniscas cuarzosas que alternan con lentes de arcillas y limos arenosos. Comúnmente estos sedimentos cambian de composición litológica a veces a muy cortas distancias, pasando de facies predominantemente gruesas a finas, lo cual significa un cambio en la conductividad hidráulica tanto lateralmente como en profundidad.
- 2.100 Desarrolla acuíferos de tipo libre, colgados, semiconfinados y con mayor frecuencia de tipo confinado. El nivel estático promedio del agua subterránea se encuentra a 20.0 m de profundidad, variando en general desde 10.0 hasta 40.0 m.
- 2.101 En el Acuífero Sabana existen un total aproximado a los 3600 pozos, de los cuales se encuentran en uso un número cercano a los 1700 pozos que producen caudales promedios entre 0.75 y 6.5 l/s con tiempos de bombeo promedio de 4 horas/día.

- 2.102 Hacia la parte Media de la Cuenca, en las regiones de Chicú, Tibitó-Salto de Tequendama, Teusacá, Subachoque, Bojacá-Balsillas y Muña-Suba-Tunjuelito, el Acuífero Sabana aumenta su espesor, variando desde 250.0 hasta 500.0 m, donde se encuentra cubriendo a los acuíferos Tilatá y al Sistema Acuífero Grupo Guadalupe. Aquí los valores de resistividad van desde 30 hasta 250 Ohm-m como producto de un aumento de la granulometría y de la calidad química del agua subterránea, exceptuando la región del Río Chicú, donde el mayor valor de la resistividad no sobrepasa los 30 ohm-m, debido a que el agua subterránea presenta alto contenido de iones en solución por probable contaminación con aguas mineralizadas.
- 2.103 En esta parte Media de la Cuenca del Río Bogotá, el Acuífero Sabana es explotado por aproximadamente 1100 captaciones, entre pozos y aljibes. Existen aproximadamente 1000 pozos con caudales mínimos de 1.0 hasta máximos de 6.0 l/s. Se estima la existencia de cerca de 100 aljibes con caudales de producción promedio de 0.2 l/s con bombeo de 2 horas/día.
- 2.104 Lo anteriormente planteado señala que del Acuífero Sabana en la Parte Alta y Media de la Cuenca del Río Bogotá (Sabana de Bogotá), actualmente se extrae un caudal aproximado a los 1870.0 l/s. La Transmisividad varía de 10.0 a 80.0 m<sup>2</sup>/día, con un Coeficiente de Almacenamiento que oscila desde 3.0 E-6 hasta 5.0 E-07 y Conductividad Hidráulica que fluctúa entre 0.02 y 0.10 m/día. El agua es apta para su consumo con tratamiento previo y para el riego, exceptuando la región del Río Chicú, relevante para el proyecto, donde existe agua mineralizada por presencia de fuentes termales.

Acuífero Grupo Guadalupe (Ksg)

- 2.105 En la Parte Media de la Cuenca, el Sistema Acuífero Grupo Guadalupe se caracteriza por su alto grado de fracturamiento, encontrándose valores máximos de resistividad para las zonas saturadas de 300 ohm-m. Según el inventario efectuado por Ingeominas (1993) este acuífero es explotado por cerca de 140 pozos con rendimientos desde 5.0 a 35 l/s y en algunos casos hasta 70.0 y 80.0 lit/seg como sucede en la región Tibitó-Salto de Tequendama, ubicada en todo el centro de la Cuenca. La Transmisividad presenta valores promedios de 200.0 m<sup>2</sup>/día y el Coeficiente de Almacenamiento valores promedio de 1.0 E-04, fluctuando la Conductividad Hidráulica fluctúa entre 1.0 y 10.0 m/día. En la región del Río Chicú a profundidades mayores de 200.0 m existe agua salobre relacionada con fuentes termales, donde los valores de la resistividad son menores de 50 ohm-m.
- 2.106 En general la calidad del agua subterránea del Sistema Acuífero Grupo Guadalupe es de tipo bicarbonatada cálcica o sódica donde la concentración de los principales iones en solución está por debajo del valor máximo admisible de potabilidad del agua, con excepción del contenido de hierro que puede alcanzar en algunas zonas hasta los 10 ppm. Sus dos principales acuíferos se describen a continuación.

Acuífero Arenisca Labor Tierna (Ksqt)

- 2.107 Es un acuífero continuo de extensión regional, multicapa y de tipo confinado, comportándose como libre cuando aflora en sus partes topográficamente altas, desarrollando una porosidad primaria y secundaria por fracturamiento. Está constituido por una sucesión de areniscas cuarzosas de grano fino a medio en bancos gruesos friables, con intercalaciones de areniscas de grano fino, lodolitas silíceas y limolitas compactas, con un espesor de 100.0 m a 220.0 m, depositados en ambiente marino intermareal.

- 2.108 En sus partes topográficamente altas, es recargado directamente por el agua lluvia y las corrientes superficiales con flujos subterráneos regionales que convergen en profundidad hacia el eje de las estructuras sinclinales, para tomar una dirección hacia el Sur, siguiendo la pendiente de la cuenca hidrogeológica.
- 2.109 Se caracteriza por ser el acuífero más importante dentro del área de estudio, donde los niveles piezométricos del agua se encuentran desde los 30.0 hasta los 130.0 m de profundidad, observándose que éste último descenso viene ocurriendo en forma continua en los últimos 15 años. Por encontrarse a gran profundidad especialmente en el área Central de la Sabana de Bogotá, mayores a 350.0 m y en ciertas zonas a 500.0 m, su captación es limitada.
- 2.110 Este acuífero es considerado de gran importancia hidrogeológica por sus altos caudales de producción y la muy buena calidad del agua en él almacenada, la cual es empleada para abastecimiento de acueductos municipales y en el riego, esencialmente en la floricultura. Es captado por cerca de aproximadamente 115 pozos con profundidades entre 60.0 y 600.0 m. que producen caudales mínimos de 5.0 y máximo de 85.0 l/s con tiempo de bombeo promedio de 8 horas/día, calculándose una extracción total de 140.0 l/s. Los niveles estáticos se vienen profundizando, hallándose actualmente entre los 100.0 y los 130.0.
- 2.111 Su Transmisividad varía desde 15.0 hasta 400 m<sup>2</sup>/día con un promedio de 100.0 m<sup>2</sup>/día. El Coeficiente de Almacenamiento oscila entre 2.5 E-05 y 5.0 E-04 y la Conductividad Hidráulica desde 0.20 hasta 2.5 m/día. Su Capacidad Específica varía de 0.05 a 2.0 l/s/m. El Radio de Influencia teórico para estos caudales y tiempos de explotación, considerando condiciones litológicas homogéneas en la horizontal, fluctúa de 1.6 hasta 18.0 Km de longitud.

Acuífero Arenisca Dura (Kqd)

- 2.112 En la Cuenca Alta y Media del Río Bogotá conforma un relieve abrupto debido a su gran resistencia a la erosión. Se compone en alto porcentaje de cuarzo-areniscas de grano muy fino dura y compacta, intercaladas con lodolitas silíceas, con alta densidad de fracturas. Alcanza un espesor entre 300.0 y 450.0 m, depositado sobre el basamento hidrogeológico del área representado por el Acuícludo Chipaque. Es un acuífero considerado continuo de extensión regional al estar constituido por rocas compactas y competentes muy fracturadas, producto del intenso tectonismo de bloques a que estuvo sometido la Sabana de Bogotá. Es de tipo confinado recargado en los afloramientos directamente por la precipitación y las corrientes superficiales o por flujos verticales provenientes del Acuitardo Plaeners. Este acuífero es captado por cerca de 50 pozos con profundidades entre 200.0 y 850.0 m. De estos pozos actualmente 35 se encuentran en explotación con caudales desde 2.0 hasta los 55.0 l/s con tiempos de bombeo promedio de 8 horas/día, para una extracción total cercana a los 85.0 l/s. Los niveles dinámicos oscilan desde 40.0 hasta 100.0 m de profundidad.
- 2.113 Los principales parámetros hidráulicos recopilados señalan para la Transmisividad un valor desde 20.0 hasta 250.0 m<sup>2</sup>/día con Coeficiente de Almacenamiento del orden de 4.5 E -05. La Conductividad Hidráulica varía de 0.15 a 3.0 m/día, dependiendo de la densidad, longitud, continuidad y ancho de las fracturas, conteniendo una Capacidad Específica promedio calculada en 0.30 l/s/m. Almacena agua dulce de buena calidad físico-química empleado en el consumo humano (acueductos) y en el riego de cultivos de flores, siendo considerado por su gran almacenamiento y poco explotado, de gran importancia hidrogeológica.

*Rocas y Sedimentos con Flujo Esencialmente Intergranular y a Través de Fracturas, Con Limitados Recursos de Aguas Subterráneas*

- 2.114 En este último grupo se encuentran identificados aquellos depósitos sedimentarios Cuaternarios y rocas del Terciario y el Cretáceo que afloran en la Cuenca Alta y Media del río Bogotá (Sabana de Bogotá), que, por su composición litológica, grado de compactación o espesor carecen de capacidad para almacenar agua subterránea en cantidad importante, de tal manera que pueda ser utilizada a través de una explotación. Corresponde a unidades hidrogeológicas donde prevalece litologías de granulometría muy fina a fina (Arcillas o arcillolitas y limos o limolitas) donde el agua subterránea transita lentamente con valores de Conductividad Hidráulica muy bajos. Estas unidades están representadas por Acuitardo (unidad que almacena y transmite lentamente el agua subterránea hacia una captación artificial o natural) y Acuicludo (unidad que por su carácter impermeable no almacena ni transmite el agua subterránea).
- 2.115 Las unidades hidrogeológicas con limitados recursos de aguas subterráneas, identificadas en la Cuenca Alta y Media del Río Bogotá son las siguientes: Acuitardos Plaeners (Ksgpl), Guaduas (TKgu), Regadera (Ter) y Usme (Teu) y los Acuicludos Chipaque (Kch), Bogotá (Teb) y Depósitos Coluviales (Qcol), representando el Acuicludo Chipaque el basamento hidrogeológico de la citada Cuenca, que sirve de límite impermeable inferior a los Acuíferos del Grupo Guadalupe. Acuitardo Plaeners
- 2.116 Aflora en franjas paralelas que separan los acuíferos del Grupo Guadalupe, Arenisca Labor y Tierna en el techo y Arenisca Dura en la base, haciendo parte de los cerros que circundan la Sabana de Bogotá. Consta de lodolitas intercaladas con liditas, limolitas silíceas y delgadas capas de arenisca cuarzosa, con un espesor que varía de 110.0 a 140.0 m.
- 2.117 Se considera de extensión local al estar supeditado a la densidad de las fracturas y diaclasas. Su recarga proviene de la precipitación, las corrientes superficiales y del Acuífero Arenisca Labor y Tierna que le suprayace, recargando a su vez al Acuífero Arenisca Dura que le subyace. La dirección del flujo subterráneo a través de fracturas se ajusta a la pendiente del terreno.
- 2.118 Los valores de sus principales parámetros hidráulicos indican para la Transmisividad variaciones de 1.0 a 5.0 m<sup>2</sup>/día, con Coeficiente de Almacenamiento de 1.0 E-07 y Conductividad Hidráulica muy baja desde 0.01 hasta 0.10 m/día, produciendo caudales menores de 1.0 l/s. Debido a sus bajos parámetros, se le considera de poca importancia hidrogeológica.

*Acuitardo Guaduas (TKqu)*

- 2.119 Aflora en gran extensión de la Sabana de Bogotá, suprayaciendo y confinando a las rocas del Sistema Acuífero Grupo Guadalupe. Está desarrollado en rocas sedimentarias principalmente de granulometría muy fina depositadas en un ambiente lagunar, constituido por gruesas capas de arcillolitas con delgadas intercalaciones de arenisca de grano fino a medio y algunos mantos de carbón, depositados durante el Cretáceo Superior-Terciario Inferior, en un ambiente de llanuras costeras y aluviales, pantanos y ríos, controlados por mareas, con gran aporte de sedimentos continentales, alcanzando un espesor total de aproximadamente 700.0 m.
- 2.120 En la parte inferior de esta secuencia, existen capas delgadas de areniscas de grano fino y medio, con esporádicas intercalaciones de limolitas y lodolitas, conocido como Arenisca La

Guía. Estas capas también aparecen en la parte superior, donde incluyen niveles conglomeráticos, conocida como Arenisca Lajosa. La infiltración directa por precipitación y las corrientes superficiales, se considera muy baja teniendo en cuenta su alto contenido arcilloso.

- 2.121 En su conjunto el Acuitardo Guaduas se caracteriza por ser continuo de extensión regional, con porosidad primaria y secundaria en sus intercalaciones arenosas, aun cuando en los mantos de carbón es común el desarrollo de una porosidad secundaria por fracturamiento. Debido al predominio de su granulometría fina a muy fina, incluyendo la presencia de mantos de carbón que contribuye a la mala calidad físico-química del agua subterránea almacenada en los niveles arenosos, y por ende los bajos valores de sus principales parámetros hidráulicos, permiten clasificar a esta unidad hidrogeológica como un Acuitardo, de muy poca importancia hidrogeológica.
- 2.122 El Acuitardo Guaduas contiene valores bajos de Transmisividad del orden de 5.0 m<sup>2</sup>/día, con Coeficiente de Almacenamiento promedio de 6.0 E -07 y una Conductividad Hidráulica de 0.020 m/día. Debido a su litología, los caudales de agua subterránea que puede aportar en el área de estudio son muy bajos, menores de 0.5 l/s, a partir de niveles estáticos cercanos a los 30.0 m de profundidad. Su Capacidad Específica es menor de 0.05 l/s/m.

#### Acuicludo Depósito Coluvial (Qc)

- 2.123 Aflora a manera de parches aislados en la media pendiente de los cerros que bordean la Sabana de Bogotá, y en los Cerros de Suba, especialmente hacia el sector Occidental, originando sedimentación gravitacional y aluvial que incluye la disposición gradual de materiales de suelo y roca sobre las superficies de pendiente hasta el 7%. Corresponde una serie de depósitos clásticos sueltos, constituidos por bloques y cantos de diferentes tamaños y presencia de gravas gruesa, generalmente compuestos por areniscas cuarzosas y en menor proporción liditas silíceas embebidos en matriz limo-arcillosa con espesores menores de 10.0 m. La composición de la matriz permite catalogarlo como prácticamente impermeable con escaso almacenamiento de agua subterránea y por ello se clasifica como acuicludo, desconociendo sus parámetros hidráulicos.
- 2.124 Dentro de la investigación documental realizada no se halló cartografía que indique la información aquí plasmada.

### **Revisión de Información Geotécnica Secundaria**

- 2.125 Como parte de las funciones de consultoría se realizó una revisión de bibliografía disponible para evaluar la posibilidad de contar con información geotécnica secundaria aferente para el proyecto, la cual se focalizó en información de exploración geotécnica ya ejecutada obtenida en estaciones con exploración realizada a diferentes profundidades, dentro del área de influencia que se puedan considerar útiles.

#### **Fuentes de información secundaria consultada**

- 2.126 Entre las fuentes consultadas para el presente marco y de las cuales se ha extraído información considerada como útil (la cual se incluye en el Anexo B) se enumeran las siguientes (para facilidad de consulta se ha empleado la codificación plasmada entre paréntesis):

(TM7A-01) DISEÑO TRANSMILENIO CARRERA 7- INGETEC – 2017.

(AC72-02) SISGEO “Sistema de información geotécnica” ACUEDUCTO AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ.

(AC80-03) SISGEO “Sistema de información geotécnica” ACUEDUCTO AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ.

(SSAL-04) INGENIERÍA DE DETALLE PARA LA RENOVACIÓN DEL SISTEMA TRONCAL DE ALCANTARILLADO COMBINADO DE LA SUBCUENCA SALITRE GRAVEDAD – Consorcio Rehabilitación Redes 2016-2018.

(TIB-05) ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN, CONEXIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE LA NUEVA CONDUCCIÓN DEL TRAMO 3 DE LA LINEA RED MATRIZ TIBITOC – CASABLANCA Y SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS - EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ E.S.P.

(PBOY-06) GRUPO A: ESTUDIOS DE DIAGNOSTICO ESTRUCTURAL, FUNCIONAL Y DE DISEÑO PARA EL REFORZAMIENTO DE DIEZ (10) PUENTESVEHICULARES Y ONCE (11) BOX COULVERTS, ADICIONALMENTE, ACTUALIZACION SISMICA, DISEÑO DE RAMPASY DEL REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL, PARA LA ADECUACION DE DIEZ (10) PUENTES PEATONALES QUE HACEN PARTE DEL PROYECTO TRONCAL BOYACA EN BOGOTA. – CONSORCIO PUENTES 045.

(ACCA-07) SISGEO “Sistema de información geotécnica” ACUEDUCTO AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ.

(ALO1-08) SISTEMA TRANSMILENIO AVENIDA CIUDAD DE CALI CONSORCIO TRONCALES BOGOTA – INGETEC – 2018.

(ALO2-09) ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA TRONCAL CENTENARIO DESDE EL LÍMITE OCCIDNETE DEL DISTRITO HASTA LA TRONCAL AMÉRICAS CON CARRERA 50, Y DE LA AVENIDA LONGITUDINAL DE OCCIDENTE, RAMAL AV. VILLAVICENCIO Y HASTA LA V. CALI, EN BOGOTÁ – FACTIBILIDAD GEOTECNIA. CONTRATO 1475 DE 2017. REV. 1 UNIÓN TEMPORAL APP-ALO. 2018.

(JUANAM-10) FACTIBILIDAD, ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN (1) PUENTE VEHICULAR EN LA CALLE 129C ENTRE CARRERAS 99 A Y 100 A, SOBRE EL BRAZO DEL HUMEDAL JUAN AMARILLO, EN LA LOCALIDAD DE SUBA, EN BOGOTÁ D.C. INFORME DE ESTUDIOS Y DISEÑOS GEOTÉCNICOS PARA LA SOLUCIÓN DFINITIVA. CONSORCIO INTERPUENTES 075. 2015.

### **Información geotécnica compilada**

- 2.127 En la Tabla 2.1, se indican las coordenadas (Sistema Coordinado MAGNA\_Ciudad Bogotá, Datum D\_MAGNA) de los puntos incluidos como relevantes para el presente estudio, y los cuales han sido sometidos a la revisión y análisis por parte del grupo de estudio de la Unión temporal Egis - Steer. En total se cuenta con 206 (doscientos seis) estaciones de información geotécnica originaria de una fuente secundaria, la cual se aprecia esquemáticamente su distribución a lo extenso del área de influencia del proyecto tal y como se puede apreciar en la Figura 2.8. La información incluyó como consulta en el Anexo B la información que tenga aferencia de importancia en el proyecto, mas no se incluyeron en los análisis las que no posean certeza de su localización.

**Tabla 2.1** Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (TM7A-01)

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
TM7A-01-001	102433	106505	25.00	PT-DP72-01-2017	-
TM7A-01-002	103333	107485	25.00	PT-DP85-01-2017	-

Fuente: INGETEC, 2017

**Tabla 2.2** Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (AC72-02)

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
AC72-02-001	99075	108965	10	1209-1	-
AC72-02-002	99065	108995	10	1209-2	-
AC72-02-003	99055	109010	13.15	1209-3	-
AC72-02-004	99045	109025	10	1209-4	-
AC72-02-005	97870	112292	8	1252-3	-
AC72-02-006	97772	112222	8	1252-4	-
AC72-02-007	97000	110900	20.2	1254-20	-
AC72-02-008	100412	107959	40	1255-16	3.20
AC72-02-009	100492	107874	40.15	1255-17	1.60
AC72-02-010	99050	108980	20	1421-12	3.369
AC72-02-011	99085	109025	20.5	1421-14	3.369
AC72-02-012	99065	109030	20	1421-15	3.369
AC72-02-013	99478	108590	5.2	3596-1	1.20
AC72-02-014	99442	108559	5.5	3596-2	4.00
AC72-02-015	99400	108530	5.2	3596-3	5.20

Fuente: SISGEO EAAB

**Tabla 2.3** Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (AC80-03)

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
AC80-03-001	98220	111110	6.00	513-1	1.70
AC80-03-002	98360	111060	6.00	513-2	1.40
AC80-03-003	98320	110980	6.00	513-3	-
AC80-03-004	99701	109937	3.60	566-1	2.60
AC80-03-005	98660	110995	5.00	621-1	4.30
AC80-03-006	98595	110930	5.00	621-2	-
AC80-03-007	99690	110000	10.00	626-2	1.60

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
AC80-03-008	99680	109990	10.00	626-3	1.00
AC80-03-009	99680	109960	10.00	626-4	1.50
AC80-03-010	99710	109910	1.10	710-1	1.10
AC80-03-011	99710	109896	0.80	710-2	0.80
AC80-03-012	99684	109925	3.60	710-3	-
AC80-03-013	99348	110427	4.00	819-5	4.00
AC80-03-014	101160	108610	10.05	1206-2	-
AC80-03-015	101830	107710	30.10	1211-1	6.00
AC80-03-016	101852	107736	31.40	1211-2	6.00
AC80-03-017	101000	108710	20.00	1254-34	0.30
AC80-03-018	98700	111000	50.00	1254-50	3.80
AC80-03-019	99928	109648	5.00	1279-2	-
AC80-03-020	99800	109680	20.00	1421-8	-
AC80-03-021	99830	109680	20.00	1421-9	-
AC80-03-022	99830	109700	29.50	1421-10	-
AC80-03-023	99800	109710	20.00	1421-11	-
AC80-03-024	101105	108570	20.00	1421-19	-
AC80-03-025	101145	108565	20.00	1421-20	-
AC80-03-026	101150	108600	20.00	1421-21	-
AC80-03-027	101130	108585	30.00	1421-22	-
AC80-03-028	101105	108620	20.00	1421-23	-
AC80-03-029	101869	107678	6.00	2680-5	-

Fuente: SISGEO EAAB

Tabla 2.4 Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (SSAL-04)

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
SSAL-04-001	100059.4	107509.2	10.20	S13	3.40
SSAL-04-002	100090.5	107562.8	10.60	S12	3.40
SSAL-04-003	100145.8	107753.1	10.50	S10	3.40
SSAL-04-004	100109.3	107961.8	10.60	S17	3.40
SSAL-04-005	100095.8	108169.2	10.60	S18	4.50
SSAL-04-006	100104.3	108361.2	10.50	S9	6.20
SSAL-04-007	100152.4	108493.7	10.60	S19	6.20

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
SSAL-04-008	100182.5	108597.4	9.75	S8	6.20
SSAL-04-009	100169.1	108748.8	10.60	S20	6.20
SSAL-04-010	100137	108921.7	12.00	S21	3.35
SSAL-04-011	100105.8	109119.4	8.60	S22	3.35
SSAL-04-012	100074.6	109197.7	10.25	S7	3.35
SSAL-04-013	100020.8	109271.4	10.60	S23	3.35
SSAL-04-014	99987.91	109456.8	10.60	S24	5.40
SSAL-04-015	100030.5	109510.8	7.50	S6	5.40

Fuente: Consorcio Rehabilitación Redes (2018)

**Tabla 2.5** Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (TIB-05)

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
TIB-05-001	98807	111047	2.00	SCPT-1	-
TIB-05-002	98675	111049	22.00	SM-1	-
TIB-05-003	98559	110934	2.00	SCPT-2	-
TIB-05-004	98427	110683	23.00	SM-2	-
TIB-05-005	98148	110231	2.00	SM-3	-
TIB-05-006	98064	110116	21.50	SDMT-1	-

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Tabla 2.6** Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (PBOY-06)

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
PBOY-06-001	98069.3	110087.68	25.00	SGP 27	-

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Tabla 2.7** Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (ACCA-07)

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
ACCA-07-001	97703	115963	5.00	535-2	-
ACCA-07-002	97663	116031	5.00	535-3	-
ACCA-07-003	97721	116069	5.00	535-4	-
ACCA-07-004	97610	115880	5.00	535-5	-

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
ACCA-07-005	98192	112963	22.20	537-7	-
ACCA-07-006	98263	112669	8.00	537-20	-
ACCA-07-007	98211	113316	4.00	587-5	-
ACCA-07-008	97555	115794	5.00	609-1	-
ACCA-07-009	97926	116640	5.00	629-2	-
ACCA-07-010	97624	116122	4.00	643-1	-
ACCA-07-011	98192	112964	22.20	722-7	-
ACCA-07-012	98293	112669	8.00	722-20	-
ACCA-07-013	97845	113818	7.70	722-34	-
ACCA-07-014	97401	114403	7.70	722-35	-
ACCA-07-015	97962	116600	5.00	738-4	-
ACCA-07-016	97703	115963	5.00	853-1	-
ACCA-07-017	97663	116031	5.00	853-2	-
ACCA-07-018	97721	116069	5.00	853-3	-
ACCA-07-019	97610	115800	5.00	853-4	-
ACCA-07-020	97550	115636	3.30	853-5	-
ACCA-07-021	97418	115508	4.60	853-6	-
ACCA-07-022	97599	115272	2.50	855-2	-
ACCA-07-023	97500	115155	2.60	855-3	-
ACCA-07-024	97555	114831	2.50	855-9	-
ACCA-07-025	97535	114965	2.60	855-10	-
ACCA-07-026	98141	113755	2.60	857-2	-
ACCA-07-027	97590	114419	2.60	859-1	-
ACCA-07-028	98188	112723	11.00	918-6	-
ACCA-07-029	98651	117811	3.50	963-7	-
ACCA-07-030	98582	117854	5.00	963-8	-
ACCA-07-031	98635	117949	3.00	964-2	-
ACCA-07-032	97736	116126	3.00	1025-4	-
ACCA-07-033	97742	116339	3.00	1025-18	-
ACCA-07-034	97658	116164	4.00	1025-19	-
ACCA-07-035	97517	115881	2.60	1032-3	-
ACCA-07-036	97768	114159	2.60	1034-1	-
ACCA-07-037	97663	114158	2.50	1034-2	-
ACCA-07-038	97590	114419	2.60	1034-3	-

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
ACCA-07-039	97684	114481	2.60	1034-4	-
ACCA-07-040	97395	115360	2.50	1055-2	-
ACCA-07-041	97356	115138	2.50	1055-4	-
ACCA-07-042	97338	114964	2.60	1055-5	-
ACCA-07-043	98444	117544	3.00	1109-15	-
ACCA-07-044	98354	117502	3.10	1109-16	-
ACCA-07-045	98445	117655	3.00	1109-18	-
ACCA-07-046	98447	117738	3.00	1109-20	-
ACCA-07-047	98188	112723	12.00	1400-29	-
ACCA-07-048	97707	116143	6.00	1412-1	-
ACCA-07-049	97720	116184	7.00	1412-2	-
ACCA-07-050	97725	116245	7.00	1412-3	-
ACCA-07-051	97675	116143	7.00	1412-4	-
ACCA-07-052	97379	114796	7.00	3277-7	-
ACCA-07-053	98212	112988	8.00	3346-1	-
ACCA-07-054	98180	113038	9.70	3346-2	-
ACCA-07-055	98155	113035	8.00	3346-4	-
ACCA-07-056	98190	113012	1.45	3346-5	-
ACCA-07-057	98165	113057	2.50	3346-6	-
ACCA-07-058	98576	117735	6.00	3677-4	-
ACCA-07-059	98444	117444	5.20	3695-6	-
ACCA-07-060	98389	117473	4.80	3695-7	-

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

Tabla 2.8 Puntos de exploración geotécnica extraídos de la Referencia Bibliográfica (ALO-08)

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
ALO-08-001	96614	110620	15.00	TACC-PM-EST-CLL-69A-01	0.80
ALO-08-002	97062	111351	15.00	TACC-PM-EST-CLL-72-01	1.50
ALO-08-003	97239.9	111593	15.00	TACC-PM-EST-CLL-80-01	1.50
ALO-08-004	97709.2	112162.3	15.00	TACC-PM-EST-CLL-86-01	1.50
ALO-08-005	98065.6	112556.4	15.00	TACC-PM-EST-CLL-90-01	2.50
ALO-08-006	98209.3	113537.9	15.00	TACC-PM-EST-CLL-91-01	4.00
ALO-08-007	97666.3	114122.3	15.00	TACC-PM-EST-CLL-95A-01	3.00

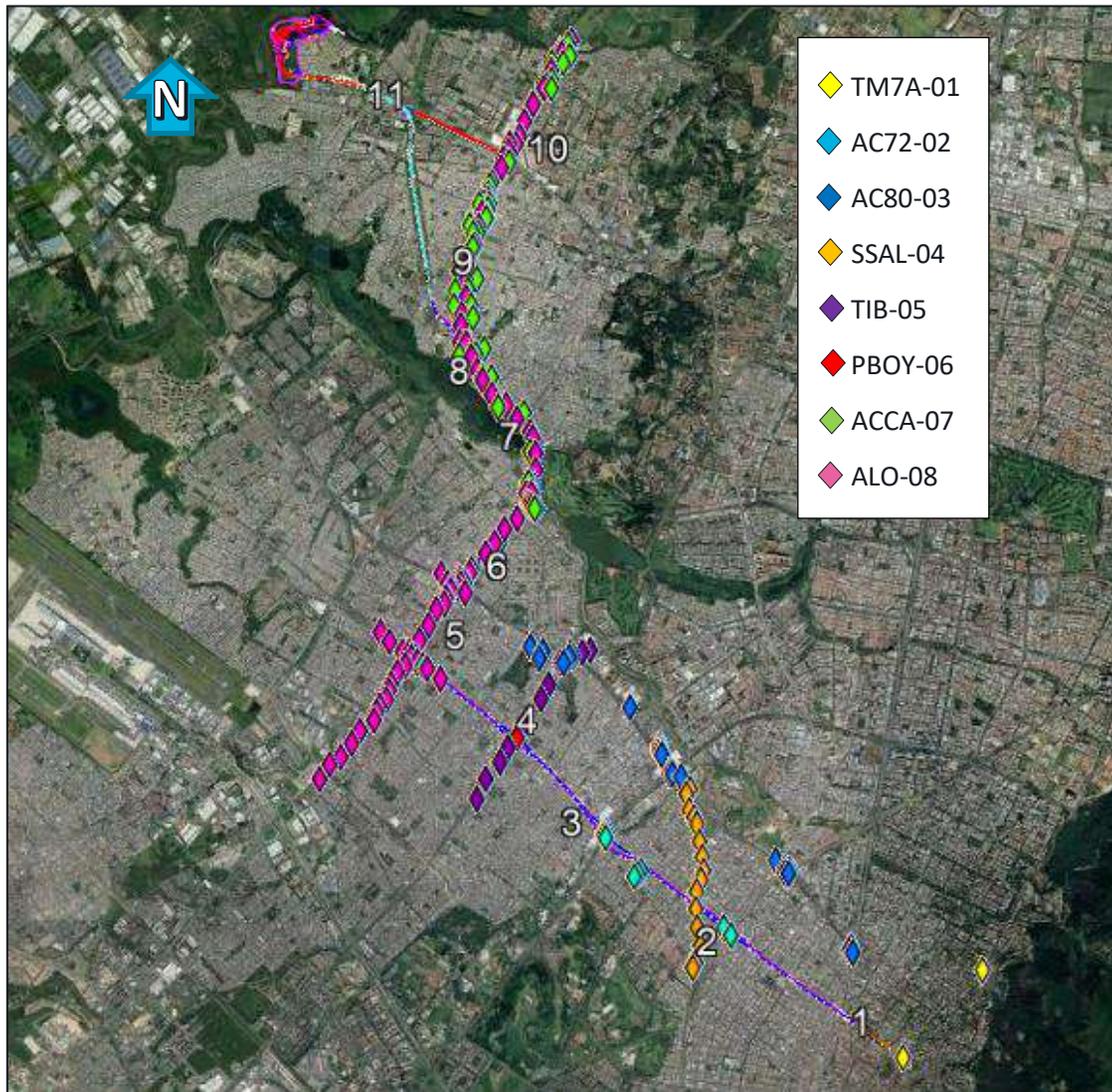
Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
ALO-08-008	97427.4	114869.7	15.00	TACC-PM-EST-CLL-129-01	3.50
ALO-08-009	97506.2	115384.4	15.00	TACC-PM-EST-CLL-132-01	3.50
ALO-08-010	97654.1	116024.5	15.00	TACC-PM-EST-CLL-139-01	2.00
ALO-08-011	97874.9	116539.7	15.00	TACC-PM-EST-AV-SUBA-01	2.50
ALO-08-012	96769.75	111055.64	50.50	TACC-PM-INT-CLLE-72-01	0.50
ALO-08-013	96842.4	111057.2	50.50	TACC-PM-INT-CLLE-72-02	3.40
ALO-08-014	96829.13	111018.97	50.60	TACC-PM-INT-CLLE-72-03	10.50
ALO-08-015	96868.26	110990.08	55.50	TACC-PM-INT-CLLE-72-04	2.30
ALO-08-016	96907.73	110998.54	50.50	TACC-PM-INT-CLLE-72-05	3.40
ALO-08-017	96934.7	110938	50.50	TACC-PM-INT-CLLE-72-06	-
ALO-08-018	97332.8	111774.9	60.30	TACC-PM-INT-CLLE-80-01	4.80
ALO-08-019	97419	111870	60.00	TACC-PM-INT-CLLE-80-02	7.20
ALO-08-020	97425	111824	60.00	TACC-PM-INT-CLLE-80-03	3.70
ALO-08-021	97392	111776	60.10	TACC-PM-INT-CLLE-80-04	4.20
ALO-08-022	97467.2	111854.5	80.00	TACC-PM-INT-CLLE-80-05	7.90
ALO-08-023	97428	111885	80.50	TACC-PM-INT-CLLE-80-06	1.30
ALO-08-024	97354	111739	80.20	TACC-PM-INT-CLLE-80-07	1.40
ALO-08-025	97322	111753	80.00	TACC-PM-INT-CLLE-80-08	0.40
ALO-08-026	97523.5	111937.9	60.50	TACC-PM-INT-CLLE-80-09	7.80
ALO-08-027	97262.7	111671.8	58.30	TACC-PM-INT-CLLE-80-10	4.60
ALO-08-028	98224	112837	100.00	TACC-PM-INT-SALITRE-01	2.00
ALO-08-029	98232	112698	100.00	TACC-PM-INT-SALITRE-02	5.50
ALO-08-030	98165	112843	100.5	TACC-PM-INT-SALITRE-03	4.00
ALO-08-031	98228.18	112864.66	100.00	TACC-PM-INT-SALITRE-04	3.40
ALO-08-032	96895.21	111009.57	80.00	TACC-PM-PP-CLL-72-01	5.40
ALO-08-033	96829.96	111056.43	64.30	TACC-PM-PP-CLL-72-02	-
ALO-08-034	97258.2	111659.41	40.00	TACC-PM-PP-CLL-80-01	2.40
ALO-08-035	97537.98	114387.2	65.00	TACC-PM-PP-JUAMARILLO-01	-
ALO-08-036	97480	114544	19.80	TACC-PM-PP-JUAMARILLO-02	-
ALO-08-037	97554.4	114460.29	8.30	TACC-PM-PP-JUAMARILLO-03	-
ALO-08-038	97480.56	114544.82	12.00	TACC-PM-PP-JUAMARILLO-04	-
ALO-08-039	96476	110375	30.00	TACC-PM-INT-COLECTOR-CLL-66-01	3.00
ALO-08-040	96510	110448	6.20	PT-REDES-T3-06	-
ALO-08-041	96639	110696	6.00	PT-REDES-T3-07	-

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
ALO-08-042	96799	110901	6.00	PT-REDES-T3-08	-
ALO-08-043	96958	111185	6.00	PT-REDES-T3-09	-
ALO-08-044	97311	111746	20.00	PT-REDES-T3-10	-
ALO-08-045	96588	110516	6.40	PT-REDES-T3-11	-
ALO-08-046	96711	110821	6.20	PT-REDES-T3-12	-
ALO-08-047	96620	111168	6.30	PT-REDES-T3-13	-
ALO-08-048	96517	111276	6.00	PT-REDES-T3-14	-
ALO-08-049	97048	110866	6.00	PT-REDES-T3-15	-
ALO-08-050	97199	110749	6.10	PT-REDES-T3-16	-
ALO-08-051	97149	111530	6.20	PT-REDES-T3-17	-
ALO-08-052	97276	111829	20.00	PT-REDES-T3-18	-
ALO-08-053	97205	111936	20.00	PT-REDES-T3-19	-
ALO-08-054	97477	111717	6.20	PT-REDES-T3-20	-
ALO-08-055	97468	111830	6.00	PT-REDES-T3-21	-
ALO-08-056	97406	111898	6.00	PT-REDES-T3-22	-
ALO-08-057	97546	111982	6.00	PT-REDES-T4-01	-
ALO-08-058	97810	112279	6.00	PT-REDES-T4-02	-
ALO-08-059	97920.6	112437.5	6.30	PT-REDES-T4-03	-
ALO-08-060	98208.7	112713.9	6.00	PT-REDES-T4-04	-
ALO-08-061	98223	112978	6.00	PT-REDES-T4-05	-
ALO-08-062	98273.5	113108.3	6.00	PT-REDES-T4-06	-
ALO-08-063	98273	113297	6.00	PT-REDES-T4-07	-
ALO-08-064	98238.9	113470.9	9.00	PT-REDES-T4-08	-
ALO-08-065	98060.4	113684.4	6.00	PT-REDES-T4-09	-
ALO-08-066	97933.75	113839.16	6.00	PT-REDES-T4-10	-
ALO-08-067	97772.4	113957.36	6.00	PT-REDES-T4-11	-
ALO-08-068	97605.3	114228.6	6.00	PT-REDES-T4-12	-
ALO-08-069	97570.9	114425.5	6.40	PT-REDES-T4-13	-
ALO-08-070	97405	114553	6.00	PT-REDES-T4-14	-
ALO-08-071	97416	114746.9	6.00	PT-REDES-T4-15	-
ALO-08-072	97474.6	115064	6.00	PT-REDES-T4-16	-
ALO-08-073	97474	115267	6.00	PT-REDES-T4-17	-
ALO-08-074	97488	115483	6.00	PT-REDES-T4-18	-
ALO-08-075	97574	115659	6.00	PT-REDES-T4-19	-

Código	Este	Norte	Profundidad (m)	Nombre Punto Original	Nivel Freático (m)
ALO-08-076	97620	115868	20.00	PT-REDES-T4-20	-
ALO-08-077	97701	116219	6.00	PT-REDES-T4-21	-
ALO-08-078	97766	116373	6.00	PT-REDES-T4-22	-

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

Figura 2.8 Esquema de localización de puntos de exploración originados de información secundaria



Fuente: Google™ Earth - Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

### Diagnóstico Geotécnico

2.128 Para el propósito de este informe se sintetizó la información de perfiles estratigráficos y propiedades geomecánicas contenida en la información consultada. Esta información está contenida en las Figura 2.9 a la Figura 2.17.

2.129 En la caracterización de subsuelo se consideran tres (3) zonas con una conformación estratigráfica que se puede considerar homogénea para propósitos del análisis de prefactibilidad, en búsqueda de la sintetización de los materiales presentes, sus propiedades y parámetros y por ende algún tipo de comportamiento similar. Es así como, se plantea una sectorización con los siguientes perfiles, basados enteramente en las profundidades de los registros disponibles:

ZONA I: K0+000 – K0+450: (Tramo de la cola de maniobras)

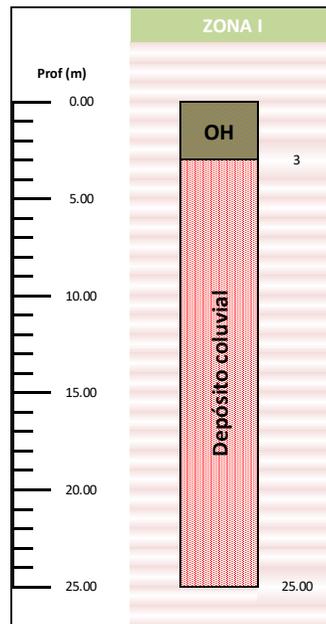
Capa de materia orgánica con suelo limo-arcilloso o rellenos viales: 0.00m – 2.00 m:

Depósitos coluviales con clastos de arenisca en matriz areno-arcillosa, no plástico: 2.00 m – 25.00 m:

2.130 La Zona I implica una incertidumbre acerca de la posible extensión del perfil en el tramo establecido, y ciertamente en referencia a sus límites con las otras zonas del trazado, lo que genera condiciones excepcionales en cuanto a la excavabilidad del material y a los potenciales requerimientos de los métodos de excavación a establecer, ya que difiere en su condición de presencia de materiales de depósito matriz-soportado pero con presencia de clastos. Ciertamente, una excavación lineal de este material motivaría a considerar una solución “cut & cover” para la conformación del trazado en este tramo, e implicaciones especiales para la conformación de una estación en la zona, viéndose favorecido por las condiciones de humedad natural (promedio del perfil cercano a 22%) y los márgenes de plasticidad de la matriz (Índices de plasticidad promedio de 17%).

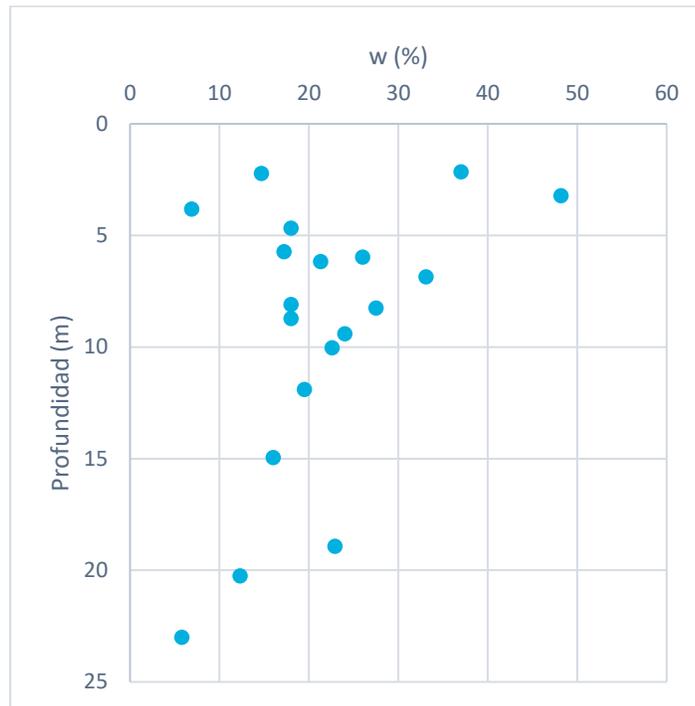
2.131 No obstante, y debido a la carencia de información, es especialmente importante que esta zona se delimite con suficiente claridad en cuanto a su extensión de longitud del trazado, ya que no se cuenta con suficiente información para definir con precisión la transición a la siguiente zona homogénea del tramo (Figura 2.9).

Figura 2.9 Perfil de subsuelo esquemático para la Zona Homogénea I.



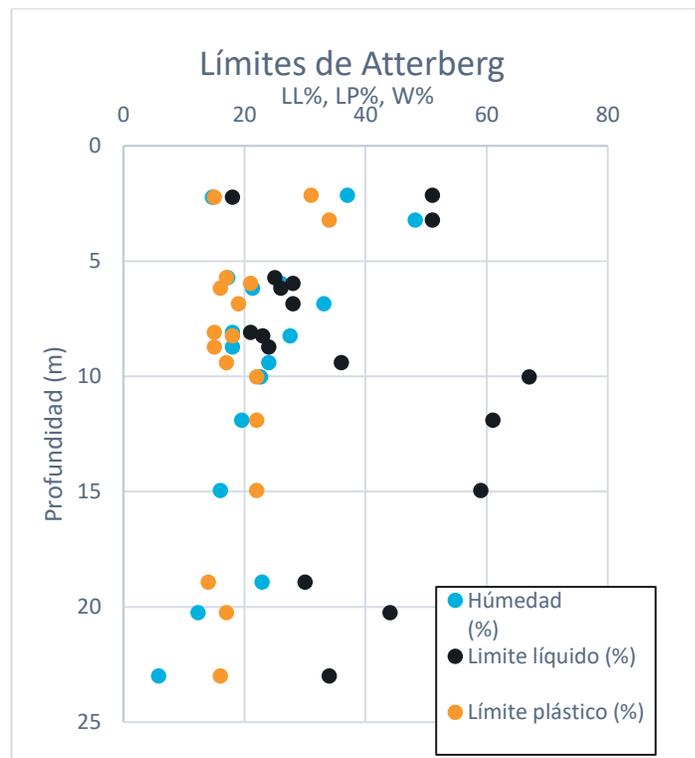
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Figura 2.10** Humedad natural a profundidad para la Zona Homogénea I



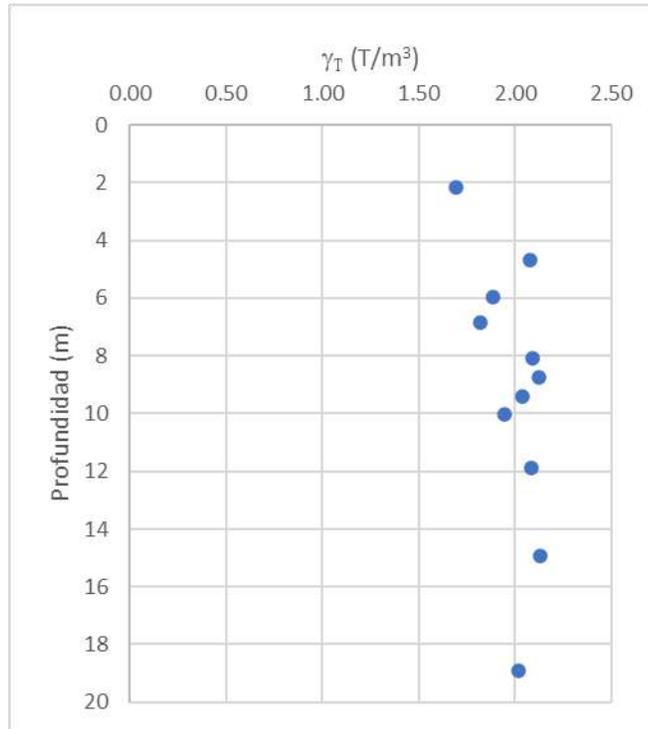
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Figura 2.11** Límite Líquido y Límite de plasticidad a profundidad para la Zona Homogénea I



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Figura 2.12** Peso unitario total a profundidad para la Zona Homogénea I

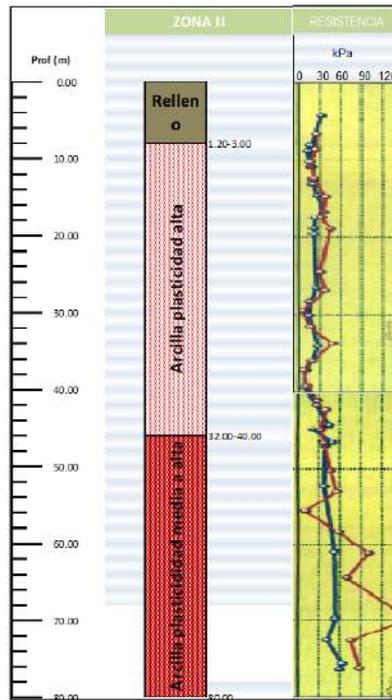


Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

ZONA II: K0+450 – K7+900: (Sector Estación 1 – cercano a Estación 6: Tramo corredor Calle 72)

- 2.132 Material de relleno antrópico y suelo con medio a alto contenido orgánico: 0.00m – (1.20-3.00) m:
- 2.133 Arcilla limosa y ocasionales contenidos de arena: (1.20-3.00) m – (32.00-40.00 m): limosa con humedad media a alta y plasticidad alta a muy alta. Compresibilidad muy alta.
- 2.134 Arcilla con bajos contenidos de limos con humedad media y plasticidad media a alta: (32.00-40.00 m) – 80.00 m:
- 2.135 La zona II se caracteriza por presentar un perfil relativamente homogéneo (lo que será una constante para el material en cuanto a la presencia de materiales arcillosos o arcillo-limosos a lo largo de las zonas homogéneas a medida que se acercan al patio-taller), con altos de humedad con valores máximos de hasta 216% y promedio de 102% y decrecientes con la profundidad. Comportamiento muy plástico (Índice de plasticidad promedio de 96%). No se encuentran contactos con roca en las perforaciones y salvo ocasionales detecciones de arenas limosas en algunos muestreos, el perfil se supone bastante homogéneo, en condiciones variables de humedad natural a profundidad (Figura 2.13). El tramo se configura en subterráneo implementando el uso de zona de transición desde la zona I, que viene en sistema “cut & cover” a implementación de sistema de avance mediante tuneladora, que es el sistema de excavación de todo el tramo de la Zona II. Dada la regularidad del perfil de suelos blandos, y teniendo en cuenta el régimen de aguas subsuperficiales, el sistema en tuneladora es adecuado y se perfila que la mejor opción a tener en cuenta, a falta de definir con precisión la localización de los pozos.

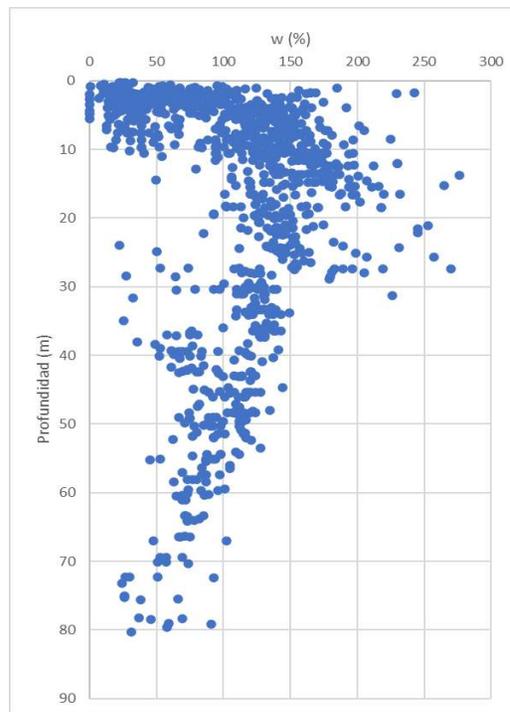
Figura 2.13 Perfil de subsuelo esquemático para la Zona Homogénea II



Convención Resistencia no drenada: Rojo=veleta Sv: Azul Cu =  $q_u/2$

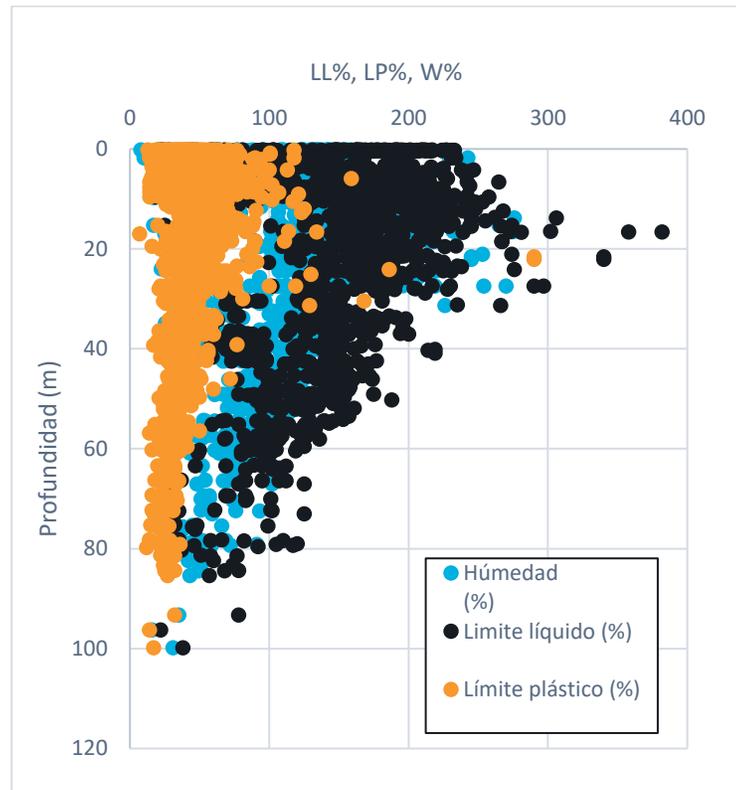
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

Figura 2.14 Humedad natural a profundidad para la Zona Homogénea II



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Figura 2.15** Límite Líquido y Límite de plasticidad a profundidad para la Zona Homogénea II



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Figura 2.16** Peso unitario total a profundidad para la Zona Homogénea II



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

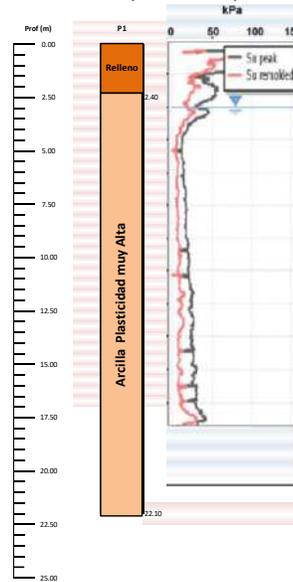
ZONA III: K7+900 – K15+760 (Sector cercano a Estación 7 – Estación 11: a partir de la Av. Cali hasta el patio-taller):

- 2.136 Material de relleno antrópico y suelo con medio a alto contenido orgánico. 0.00m – (0.70-2.40) m:
- 2.137 Arcilla con bajos contenidos de limos con humedad alta a muy alta, y plasticidad alta a muy alta: (0.70.-2.40 m) – 22.10 m:
- 2.138 La zona III, la cual incluye el área dispuesta para el patio-taller, supone un perfil bastante homogéneo, compuesto por arcillas o arcillas con escaso contenido de limos con un muy alto nivel de plasticidad (promedio de 98% de índice de plasticidad) y condiciones de humedad altas (humedad promedio de 103% con picos de hasta 242%), favorecidas por la presencia de

humedales en el inicio de la Zona III, y una conservación de las condiciones lacustres del suelo, lo que es asociable a susceptibilidad a cambios de volumen por alta compresibilidad de los suelos y alta humedad (Figura 2.17). En este tramo se inicia en subterráneo con tuneladora, iniciando una transición hacia configuración semienterrada con implementación en excavación en trinchera a partir del inicio de la reserva ALO, cruzando el barrio Nueva Colombia (cercano a la Estación 9). El sistema de trinchera debe contemplar suficientes elementos de confinamiento y drenaje que permitan retener la excavación durante el periodo de construcción y emplazar un sistema definitivo de estabilización de las excavaciones, los cuales podrán requerir pantallas con elementos de confinamiento con codales y incluso anclajes, junto con elementos de drenaje subhorizontal para reducir la carga sobre las pantallas.

El sistema de avance en trinchera prevalece hasta la calle 145, donde se inicia una transición a tipología elevada en viaducto para alcanzar la cota del patio-taller. En esta transición se requiere la conformación de rellenos y elementos de cimentación para las pilas, que vendrán apoyados en grupos de pilotes flotantes.

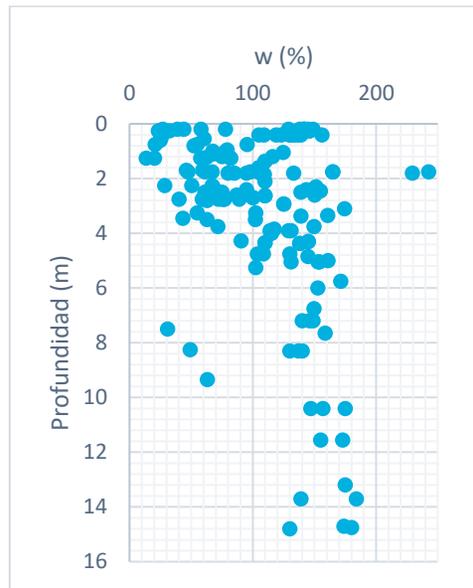
Figura 2.17 Perfil de subsuelo esquemático para la Zona Homogénea III



Convención Resistencia no drenada: Rojo=veleta Sv: Azul Cu =  $q_u/2$

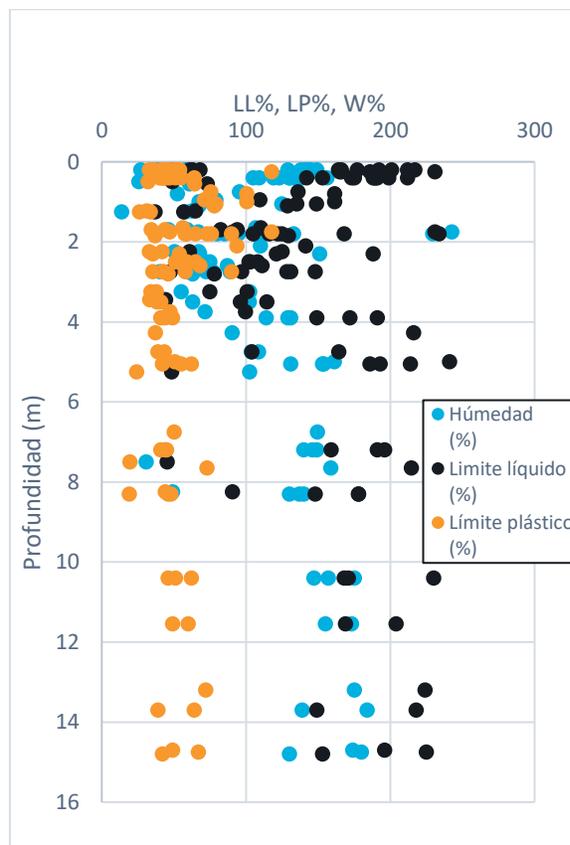
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Figura 2.18** Humedad natural a profundidad para la Zona Homogénea III



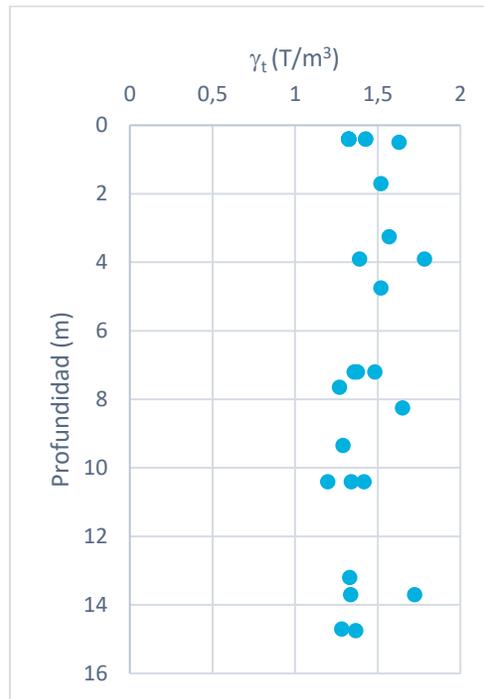
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Figura 2.19** Límite Líquido y Límite de plasticidad a profundidad para la Zona Homogénea III



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

**Figura 2.20** Peso unitario total a profundidad para la Zona Homogénea III



Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

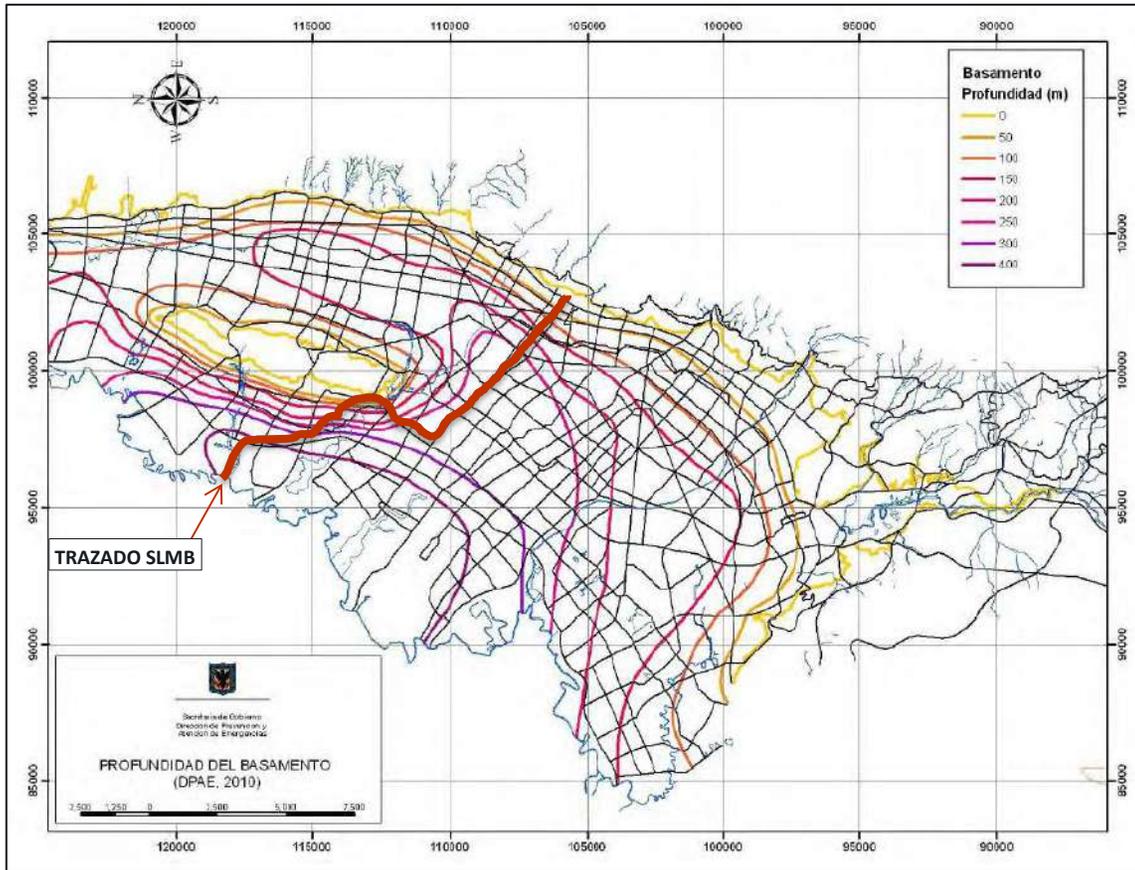
### Perfiles del subsuelo

- 2.139 Como se mencionó en el subtítulo “Marco Geológico”, el perfil del subsuelo a lo largo de la línea proyectada es, principalmente de origen lacustre y aluvial, con depósitos compuestos principalmente por arcillas las cuales, por su génesis, edad, velocidad de sedimentación, actividad biogénica e historia de esfuerzos presentan altos contenidos de humedad acompañados por relaciones de vacíos elevadas que determinan materiales finogranulares, con bajo peso unitario. De hecho, con materiales predominantes CH, MH, e incluso OH en los primeros metros de algunos sectores, se observan valores típicos entre 11 y 16kN/ m<sup>3</sup> y modales alrededor de 13,5kN/m<sup>3</sup> de peso unitario total en los primeros 30 metros del perfil a lo largo del eje Calle 72 Calle 68. Y se tornan mayormente entre 12 y 13,5 kN/ m<sup>3</sup>, con modo alrededor de 12kN/m<sup>3</sup> a lo largo del corredor de la Avenida Ciudad de Cali-ALO, incluyendo el sector de Suba.
  
- 2.140 Excepción a lo anterior es el perfil reportado en una perforación ejecutada en la carrera Séptima con Calle 72 en donde se evidencia que gran parte del perfil puede corresponder a un espeso depósito coluvioaluvial con bloques de areniscas en una matriz arenarcillosa a limoarcillosa con fuerte influencia de niveles piezométricos relacionados con recargas en los cerros vecinos. No se dispone de información sobre la continuidad de tales depósitos a lo largo de la Calle 72 hasta la Avenida Caracas, pero se presume que podrían alcanzar al menos hasta la Carrera Novena.
  
- 2.141 No obstante, se reportan arcillas más orgánicas en los primeros 30m del perfil, cerca de la Avenida Caracas con Calle 72 hasta arribar a la carrera 24, y sobre la ALO antes de arribar al humedal de Juan Amarillo. A profundidad mayor de 30m, el peso unitario total de los

materiales térreos tiende a crecer ligeramente hacia valores entre 16 y 18kN/ m<sup>3</sup>. Este comportamiento resulta coherente con los valores de relación de vacíos (e), altos en los primeros metros del perfil, entre 2 y 3.6 en los primeros 30m, que luego se reducen típicamente a valores intermedios entre 1 y 2 en el corredor Calle 72 – Calle 68 pero permanece en valores altos en el tramo de la Avenida Cali – ALO. Son muy pocos los valores de relación de vacíos reportados por debajo de 0.8, lo cual expresa la alta compresibilidad general del perfil. Se reportan capas consistentes de arena en la zona inicial próxima a la Avenida Caracas por debajo de 45m, de hasta 20m de espesor y en el sector de Suba a profundidad superior a los 70m, y también de 20m de espesor. Ocasionalmente, aparecen en los perfiles, también capas delgadas o láminas arenosas. Son de origen aluvial, asociadas a los cerros próximos.

- 2.142 La humedad natural es muy alta, con valores generales típicos en el perfil de todo el recorrido, entre 120 y 250% con promedio de 85%, incluso cerca de la superficie. El Límite Líquido es consistentemente alto, con valores modales entre 140 y 180% (e incluso puntualmente con valores superiores a 270%) y el índice de Plasticidad tiene valores superiores a 100% en gran parte de los perfiles en los primeros 30 m, si bien se reduce ligeramente con la profundidad, después de los 30m.
- 2.143 A lo largo de la Calle 72, desde la Carrera Séptima, el espesor total del depósito, de acuerdo con las exploraciones disponibles y el plano de isopropundidades (SGC, DPAE (2010)) varían entre 100 y 200m, aproximadamente, creciendo a medida que se avanza hacia el occidente. Cerca de la superficie se encuentra la costra de mayor preconsolidación, conocida en la geotecnia bogotana, provocada principalmente por desecación y flujo descendente estacional. Los 30m más superficiales presentan la consistencia más baja del perfil estratigráfico, con la excepción de los primeros 5 metros de costra descrita. Desde la Avenida Caracas hacia el occidente, son visibles problemas severos de asentamientos en edificaciones de 3 y 4 plantas con más de 30 años de antigüedad (Figura 2.21).

Figura 2.21 Mapa de isoprofundidades del basamento rocoso



Fuente: DPAE, 2021

**Niveles freáticos**

2.144 Los niveles freáticos reportados a lo largo de todo el recorrido son relativamente superficiales, entre 1 y 10 m de profundidad, lo cual es consistente con los valores medidos en el sistema de piezómetros instalados por DEPAE. En las tablas 2.2 a 2.9 se presentan los niveles freáticos reportados en la información secundaria disponible, con valores típicos entre 2 y 4m.

**Resistencia al esfuerzo cortante**

2.145 **Zona I.** Para el perfil típico de la Zona 1 se tomó la perforación ejecutada por INGETEC para el Proyecto Transmilenio, en la carrera 7ª con Calle 72 como típica, la cual muestra en toda la profundidad, hasta 25m, la presencia de masas coluviales compuestas por bloques y clastos de areniscas en matriz de limos arcillosos. Su caracterización de resistencia se hizo a partir del número de golpes en la prueba de penetración estándar. Considerando nivel freático estable a 10m se corrigieron las lecturas y se estimó el ángulo de fricción, encontrando los valores enunciados en la Tabla 2.9..

Tabla 2.9 Angulo de Fricción para Zona Homogénea I

Profundidad (m)	Ángulo de Fricción (°)
0.00 – 4.50	28
4.50 – 6.00	34

Profundidad (m)	Ángulo de Fricción (°)
6.00-25.00	24

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 2.146 La resistencia de los suelos arcillosos, en el resto del recorrido de la línea, expresada en términos de la resistencia no drenada ( $C_u$ ,  $S_u$ ,  $S_v$ ) y tomada como la mitad de la resistencia a la compresión inconfiada o la resistencia al corte medida en veleta, o la cohesión en pruebas de compresión triaxial UU, a pesar de presentar diferencias de trayectorias de esfuerzo, es la forma más frecuente de expresar la resistencia para problemas de cimentaciones y para análisis a corto plazo.
- 2.147 En los perfiles de suelo a lo largo del trazado en análisis, para la segunda línea del metro, se observa sistemáticamente una resistencia no drenada media a alta (entre 100 y 150kN/m<sup>2</sup>) cerca de la superficie y descendiendo rápidamente en los primeros 5 a 8m a valores del orden de 20 a 30kN/m<sup>2</sup> que empiezan a crecer lentamente con la profundidad (entre 25 y 40kN/m<sup>2</sup> a 10m), tornándose poco variable entre profundidad de 15 a 25m ( $C_u$  entre 30 y 50kN/m<sup>2</sup>), y con valores promedio creciendo lentamente (de 50kN/m<sup>2</sup> hasta 53kN/m<sup>2</sup>) a partir de 25m y hasta 50m. Los menores valores, pero con la misma tendencia, se observan en las zonas próximas al río Bogotá en donde se tienen datos.
- 2.148 Desde el punto de vista de parámetros efectivos de resistencia, con la envolvente de Mohr Coulomb, la información secundaria recopilada tiene pocos datos y con mucha dispersión. Sin embargo, las arcillas con trazas orgánicas exhiben ángulos de fricción ( $\phi'$ ) entre 12 y 14° y cohesiones efectivas muy variables entre 10 y 20kPa, en tanto que las arcillas limosas con menores contenidos de materia orgánica presentan ángulo de fricción efectivo de 18 a 25° (los mayores valores en CL) y cohesiones efectivas aún con mayor dispersión, entre 18 y 40 kPa, o hasta 40kPa para las de mayor profundidad. Las arenas intercaladas en el perfil se han interpretado, en la información disponible, con ángulos de fricción de 30° y cohesión de 10kPa, muy probablemente asumidos.

### Compresibilidad

- 2.149 La velocidad de ondas de corte predominante en los perfiles de todo el recorrido de la línea planteada es del orden de 100m/s, de manera que se trata de materiales con muy baja rigidez.
- 2.150 Como se mencionó en los anteriores incisos, los índices de compresibilidad, representados por el Límite Líquido y la relación de vacíos proporcionan una idea general sobre la alta compresibilidad de los suelos de la Formación Sabana. Se refleja de forma más sensible en el índice de compresibilidad, mayor de 1.0 y con ordenes tan altos como 4 en los materiales orgánicos. La compresibilidad se reduce después de los primeros 30m del perfil del sector Calle 72 hasta la Avenida Carrera 68, tendiendo a permanecer en valores entre 1 y 2 a partir de esa zona y hasta terminar la línea en Suba.
- 2.151 La relación de sobreconsolidación (OCR, RSC) es superior a 4 en los primeros 5 a 8m de los perfiles, pero luego se reduce a valores típicos del orden de 1,1 a 1,3.

### Riesgos Geogenéticos

- 2.152 Desde el punto de vista del marco geológico y geotécnico descrito y de las disciplinas asociadas que incluyen la hidrología e hidrogeología, se describen, a continuación, los principales riesgos

detectados a lo largo del corredor de la Segunda Línea del Metro de Bogotá, de acuerdo con las metodologías de construcción planteadas hasta la fecha de ejecución de este informe.

- 2.153 El primer sector homogéneo, a partir de la calle 72 con Carrera Séptima puede tener problemas especiales relacionados con presiones artesianas controladas por depósitos granulares confinados, dado que la zona es próxima a los cerros orientales, sometidos a recarga.
- 2.154 La zona del cruce del humedal de Juan Amarillo es, de acuerdo con IDIGER (2010) una de las zonas del recorrido sujeta a amenazas de inundación, junto con la zona de implantación del patio taller. Esta zona (Juan Amarillo) también puede presentar sectores de presiones artesianas, asociadas con la presencia de la Falla Usaquén – Juan Amarillo.

#### **Susceptibilidad de cambio volumétrico. Expansividad, contracción y colapso**

- 2.155 Como se ha descrito, los perfiles de suelos predominantes a lo largo del trazado se caracterizan por la ocurrencia de suelos finos, principalmente arcillas limosas con plasticidades altas y de alta compresibilidad, así mismo con altos contenidos de humedad. Su contenido de materia orgánica es, en general, calificable como alto.
- 2.156 Con las propiedades descritas, derivadas de sus clasificaciones y descripciones, cabe esperar alta susceptibilidad al cambio volumétrico, asociada con la alta plasticidad y actividad de la componente más fina de los suelos.
- 2.157 Dado que la humedad natural es generalmente alta, mayor que el Límite Plástico, a pesar de la susceptibilidad de expansión, no es evidente la ocurrencia de este comportamiento a lo largo del corredor dado que la tendencia futura será más bien a reducción de la humedad, como se describe a continuación.
- 2.158 En contraste, la reducción de humedad por efecto de cambios climáticos globales o como resultado del fenómeno de “isla caliente” son evidentes en la Sabana de Bogotá y a lo largo del corredor. Esto es, la pérdida de humedad y descenso del nivel freático pueden provocar asentamientos locales y fuertes contracciones, con lo cual aparecerían agrietamientos severos. Este comportamiento ha sido notorio en los depósitos de la Formación Sabana, en las zonas con desecaciones más severas, entre las cuales se han observado algunas del occidente de la Sabana de Bogotá y el río Bogotá. (Vesga ET. Al, 2000, Caicedo ET. Al., 2003; Ávila, 2005). Los autores citados detectaron agrietamientos con profundidades hasta del orden de 7m y colapsos de columnas de suelo que se reflejan en la superficie como asentamientos. El fenómeno descrito es de particular importancia para las obras superficiales como pavimentos de las vías de acceso, y tramos de vía férrea en superficie.

#### **Compresibilidad y Subsistencia**

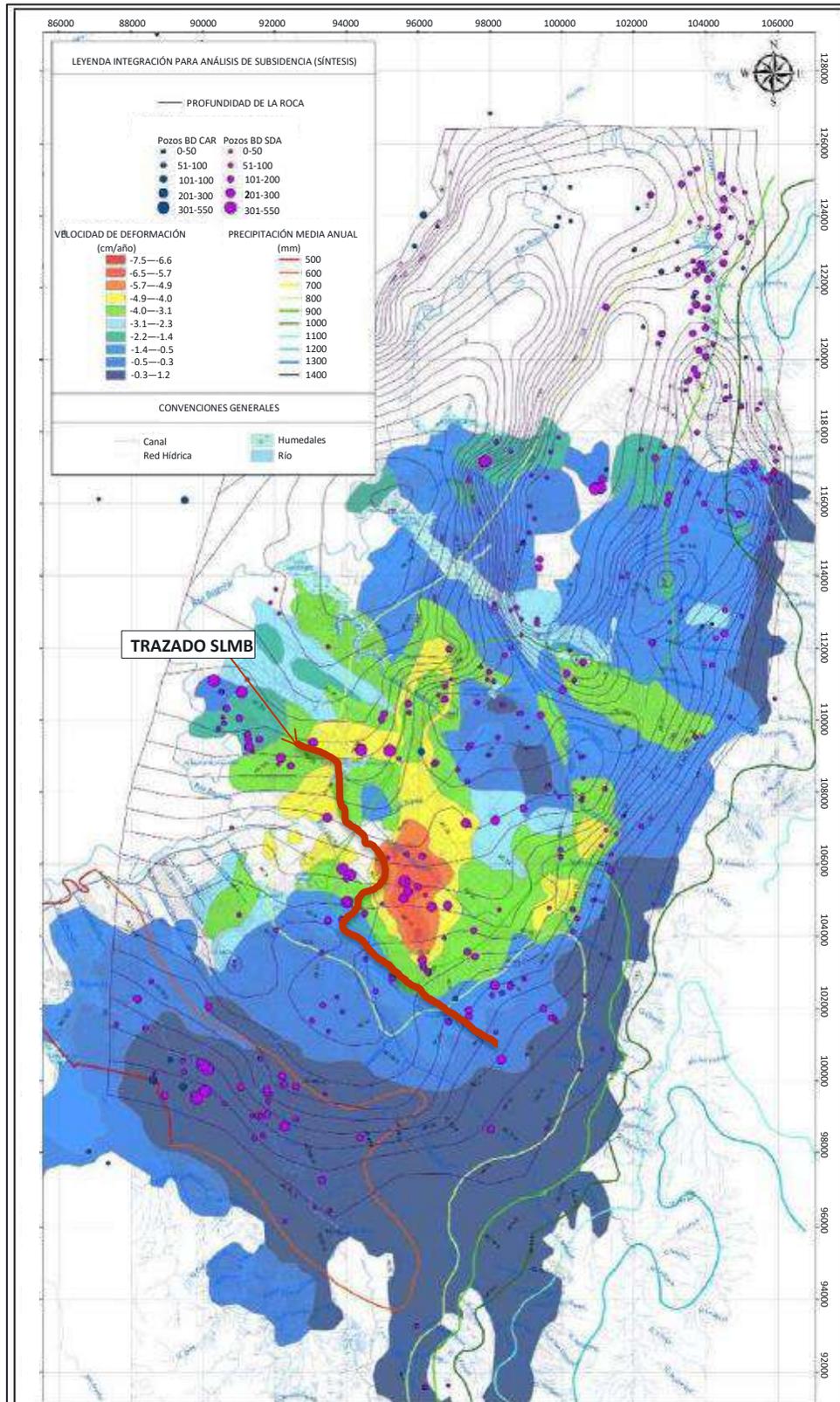
- 2.159 La Sabana de Bogotá está afectada por subsidencias regionales como resultado de reducción de niveles piezométricos por extracción de agua del subsuelo, particularmente de estratos intermedios de materiales granulares presentes en la Formación Sabana, actividad ya proscrita en la ciudad. Sin embargo, está permitida la actividad extractiva de los estratos más profundos del basamento rocoso, alimentados por recarga directa en los cerros vecinos, como se ha descrito en la Hidrogeología. También se ha postulado que los probables descensos de nivel freático estarían relacionados con las restricciones cada vez mayores que tiene la infiltración en la ciudad, como resultado de la urbanización, y la desecación por evaporación, aunadas a

los asentamientos causados por la construcción y la reconstrucción masiva, cada vez con mayores cargas en Bogotá, en los últimos años.

- 2.160 El seguimiento de las deformaciones citadas ha venido adelantándose por el IDIGER (antes FOPAE, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y la Universidad Nacional principalmente, haciendo uso de varias técnicas, desde geográficas tradicionales hasta interferométricas (DinSAR), encontrando que la mayor tasa de movimiento se concentra alrededor de las zonas industriales de la ciudad (Blanco Et. Al., 2010), alejadas del alineamiento de la SLMB. De otra parte, para los estudios de la Primera Línea del Metro de Bogotá, se adelantaron algunos análisis basados en la compresibilidad del perfil y en probables descensos del nivel freático. En tales ejercicios, se dedujeron tasas de subsidencia bastante importantes, del orden de 7 centímetros por año en algunos sectores cercanos a las zonas industriales de Fontibón y Puente Aranda, fuera del área de proyecto, y del orden 0,5 a 3cm por año en la zona de la línea (SLMB), con los mayores valores sobre la calle 72, entre la Avenida Caracas y la Carrera 24. En el resto del recorrido, los valores deducidos, sin muchos datos, son inferiores a 2cm.
- 2.161 Los estimativos del grupo de estudio de la primera línea del Metro de Bogotá asumieron importantes descensos del nivel freático relacionados con la probable presencia de varios sótanos en futuras edificaciones de las zonas aledañas, que provocarían depresiones de varios metros (entre 5 y 12m) en el nivel freático. De igual manera, asumen que las estaciones provocarían depresiones significativas en la tabla de agua con lo cual las subsidencias serían muy importantes. De hecho, se recopilan experiencias de los asentamientos provocados por construcciones en la zona de la calle 72 y el norte de Bogotá, con perfiles similares, que llegaron a provocar asentamientos extremos hasta de 50cm. Por supuesto, estas magnitudes están relacionadas con serios problemas de impermeabilidad en sótanos de edificaciones y sistemas de bombeo en ellos, contribuyendo a la depresión, de manera que los valores citados pueden constituir límites superiores. Se concluye, por tanto, que a lo largo de la calle 72 hasta la Avenida Carrera 68 y luego en la Calle 68 hasta el Corredor de la ALO, dada la antigüedad, la precariedad estructural de las construcciones típicas y el tipo de cimentación (predominantemente superficial), podrían esperarse afectaciones importantes debido a las subsidencias y, en consecuencia, será necesario proveer sistemas de protección.
- 2.162 No obstante, debe considerarse que las construcciones actuales a lo largo del corredor de la Calle 72 y la Calle 68 son predominantemente antiguas, al igual que cerca de la Avenida Ciudad de Cali, con cimentaciones superficiales en zapatas o losas y que el desarrollo de la segunda línea muy probablemente provocará una marcada renovación urbana. Menor riesgo en tal sentido existe a lo largo del corredor de la ALO en donde las construcciones estarían alejadas del corredor del metro, probablemente centrado en la reserva vial actual. De otra parte, en zonas de excavaciones profundas, pueden ocurrir deformaciones en estructuras muy próximas como resultado de deformaciones laterales por alivio de esfuerzos en el proceso o desplazamientos de pantallas.
- 2.163 De cualquier manera, los análisis de asentamientos o subsidencias por depresión del nivel freático, en las etapas posteriores de este proyecto, requerirán un análisis de buen detalle, aunque se parta de suposiciones importantes, que deberán soportarse en experiencias anteriores tanto en la ciudad como en otras latitudes con naturaleza similar.

- 2.164 Las obras mismas asociadas con la SLMB causarían importantes interferencias a la tabla de agua, en particular las estaciones y los túneles, causando ascensos o descensos de los niveles piezométricos, asociados con sus efectos como acuíclulos de capas permeables o como sistemas de captación de aguas subsuperficiales. En este sentido, es de suma importancia contar con exploración y caracterización de buen detalle, que permita construir modelos de acumulación y drenaje subterráneo provocado por las obras, así como parámetros confiables de compresibilidad y consolidación para conducir análisis de subsidencia debidos a las obras, que consideren la presencia del acuífero inferior con recarga permanente, y su control de los niveles piezométricos profundos, con la presencia de las obras, reduciendo la piezometría superficial e intermedia.
- 2.165 El principal efecto de descensos de la tabla de agua es la ocurrencia de asentamientos y subsidencias, dependiendo de su tamaño. Estas subsidencias afectarían las construcciones y redes vitales vecinas. En las mismas obras del metro, tendrían influencia en exigencias estructurales adicionales en pantallas y pilotes, como mayores empujes de tierra, fricciones negativas y reducciones de resistencia, entre otras.

Figura 2.22 Tasas de subsidencia y presencia de pozos en la sabana de Bogotá y a lo largo de la SLMB



Fuente: Universidad Nacional - FOPAE, 2011

- 2.166 Una fuente adicional de subsidencia está asociada con la misma construcción del túnel que tendría forma de campana de Gauss invertida con eje directamente sobre el de la excavación. En diseño de túneles gemelos, se deberá estudiar el efecto superpuesto de las dos campanas con ejes diferentes, con componentes de vectores de movimiento no solamente verticales, que generarían mayores daños en las edificaciones vecinas. Dado que la excavación sería mecanizada, con tuneladora EPB (eng. *Earth Pressure Balance*), la magnitud de los asentamientos en la superficie depende, en primer lugar, de la naturaleza y compresibilidad de los materiales, y más allá, de las presiones en la cámara de la tuneladora, los controles de volumen excavado y volumen de relleno del vacío entre el suelo y el revestimiento, y el diseño y construcción de los sistemas de protección de las construcciones aledañas. En consecuencia, estos aspectos deben ser cuidadosamente analizados y diseñados en las etapas posteriores del proyecto.

#### **Licuación y movilidad cíclica**

- 2.167 Los materiales predominantes son arcillosos a arcillolimosos con solo algunas láminas de arenas de densidad media que están confinadas entre materiales arcillosos y, en consecuencia, con drenaje impedido en condición de carga rápida. Sin embargo, su fracción arcillosa y sus presiones de confinamiento, por la profundidad a que se encuentran, hacen muy remota la susceptibilidad de licuación. Esta conclusión, es válida para todo el corredor a la luz de la información secundaria revisada.
- 2.168 De otra parte, dada la naturaleza de los suelos presentes, arcillosos blandos, el análisis de asentamientos durante sismos, en las estaciones y estructuras elevadas es un factor que requerirá análisis especial en las siguientes etapas del estudio.

#### **Presencia de gases peligrosos**

- 2.169 Debido a la presencia de capas orgánicas y láminas de turbas capaces de generar gases, existe la posibilidad de que generen toxicidad para el personal que enfrente la excavación, y riesgos de incendio o explosión. Si bien tales condiciones pueden ser controladas en la construcción mecanizada, es de suma importancia detectar con buen nivel de precisión la posibilidad de ocurrencia de tales fenómenos, tanto para seguridad del personal involucrado en la excavación como para la continuidad de las obras y reducción de riesgos.

Los principales tipos de gases que pueden generar problemas en la construcción de túneles son: metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y gases amoniacales. En túneles en suelo, estos gases dañinos pueden ocurrir principalmente en presencia de suelos orgánicos o turbosos. Su aparición puede ser súbita, y generan peligros para la salud de los operarios de excavación, combustión e incluso explosión en presencia de oxígeno. Pueden conducir a interrupción del proceso constructivo, y daños severos en las obras, exigiendo costosas obras correctivas y traumáticas demoras.

- 2.170 En el perfil geotécnico de la Segunda Línea del Metro de Bogotá, la presencia de contenido orgánico es general, si bien los materiales orgánicos y puramente turbosos deducidos de la información secundaria, en capas espesas, son menos frecuentes. Se advierte que, dada la exigua información específica a lo largo del corredor mismo, es de suma importancia incrementar el volumen y calidad de la información de exploración.

- 2.171 Para el control de los fenómenos señalados, se requiere monitoreo permanente durante la excavación, y manejo profuso y eficiente de ventilación. Podrían requerirse, incluso, obras locales adicionales como perforaciones al avance, inyecciones y similares. Pueden ser necesarias interrupciones temporales del proceso.

#### **Plan de Exploración para Etapa de Estructuración**

- 2.172 Para esta etapa de prefactibilidad se ha partido totalmente de información secundaria, completando la información existente sobre la línea de proyecto, relativamente modesta a lo largo de las Calles 72 y 68, razón por la cual se decidió adicionar con información fuera de la línea, a lo largo de un corredor amplio, entre las Calles 63 y 80, corredor de más de 1.5 Km de ancho y luego la disponible en la ALO y Avenida Ciudad de Cali con cerca de 500 m de ancho. Por tanto, la información secundaria utilizada arroja incertidumbres que deben ser despejadas desde la siguiente fase del proyecto, antes de conducir el proyecto a estructuración definitiva.
- 2.173 Para la etapa subsiguiente del proyecto, de Factibilidad, resulta absolutamente necesario ejecutar: exploración indirecta, con líneas refracción sísmica, y directa con perforaciones y recuperación de muestras para pruebas de laboratorio, y de sondeos al menos con piezocono sísmico. Puede ser enriquecedor trabajar otras técnicas modernas complementarias como pruebas presiométricas o dilatométricas.
- 2.174 Se deberá contar al menos con un punto de exploración cada 250m a 400m de longitud de línea de metro, a profundidad igual o superior a 50m para edificaciones livianas y a 70m para zonas de puentes o viaductos, y al menos dos puntos por sitio previsto de estación. Se propone ejecutar perforaciones directas y sondeos de piezocono alternados. Así mismo, será conveniente ejecutar al menos cuatro perforaciones, a lo largo del trazado, dedicadas a ensayos “downhole” para obtener parámetros dinámicos tendientes a derivar análisis de respuesta de sitio.
- 2.175 Se necesitará aumentar la densidad de exploración en zonas especiales como la Carrera Séptima a carrera 11, sobre la calle 72, para definir las condiciones especiales de los depósitos coluvio-aluviales, en el sector del humedal Juan Amarillo, para definir las condiciones de los materiales próximos a la falla, y en el Patio-Taller en donde puede requerirse utilizar técnicas especiales de mejoramiento del terreno (por ejemplo: columnas de grava, precarga con mechas drenantes, inserciones rígidas, sistemas de pilotes de suelo cemento o suelo cal, o similares).
- 2.176 De las perforaciones directas se obtendrían: muestras remoldeadas para pruebas de identificación y clasificación, y muestras inalteradas de la mejor calidad posible en suelos blandos, para ensayos de propiedades físicas, parámetros de resistencia drenada y no drenada, obtenidos de pruebas triaxiales, ensayos de compresión unidimensional, para derivar parámetros de consolidación y compresibilidad, y pruebas triaxiales cíclicas, así como ensayos de Bender Element para completar parámetros de comportamiento dinámico.

#### **Riesgo Sísmico**

- 2.177 El subsuelo a lo largo del trazado propuesto para la Segunda Línea del Metro de Bogotá y en el lote para el Patio Taller, como se ha venido describiendo en el texto de este informe, está conformado por materiales esencialmente arcillosos a arcillolimosos, con contenido orgánico importante y, en ocasiones con láminas o capas turbosas. Se detectaron, muy

esporádicamente, materiales arenolimosos a arenoarcillosos. De otra parte, los niveles freáticos detectados son relativamente superficiales, en general. Sin embargo, también como se ha indicado, en las pruebas de piezocono disponibles como información secundaria, se observó que se generaban presiones positivas en el agua de los poros, desde la superficie. El contenido de finos arcillosos es alto. Con las condiciones citadas, el riesgo de licuación o movilidad cíclica es muy bajo.

- 2.178 De otra parte, las arcillas del perfil son de consistencia media a firme cerca de la superficie y blandas a muy blandas en profundidad, sobreconsolidadas en todo el perfil. En consecuencia, si bien la susceptibilidad de licuación es remota, si existe riesgo de asentamientos y deformaciones ante eventos sísmicos fuertes.
- 2.179 El presente subtítulo contiene el estudio preliminar de respuesta dinámica del suelo, el cual se ejecuta con la finalidad de obtener los parámetros sísmicos requeridos para el diseño sismorresistente y la estimación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras suprayacentes al suelo en el alineamiento y áreas de interés para la SLMB. Con el objetivo de poder establecer la respuesta sísmica del corredor en estudio, se utilizaron algunos perfiles conocidos en la ciudad, cerca de la línea o en perfiles similares del mismo origen geológico, en la Formación Sabana.
- 2.180 En relación con las edificaciones de estaciones y del Patio Taller, se hizo uso de los datos de velocidades de ondas S estimados en los primeros 30m del perfil, y de las resistencias no drenadas establecidas a partir de la información secundaria, con el propósito de clasificarlo a la luz de los criterios del código NSR-2010, para proponer el espectro de diseño a partir de las clasificaciones y de la Microzonificación Sísmica de Bogotá.
- 2.181 En etapas subsiguientes, para la recomendación de los espectros de respuesta de los túneles y puentes o viaductos, se deben adelantar estudios de respuesta sísmica local, a partir de información directa, para los cuales se deben realizar dos modelos, uno partiendo del NSR-10, para periodo de retorno de 475 años (en el caso de edificaciones y estaciones) y otro ajustando el espectro de la Microzonificación sísmica de Bogotá para un período de retorno de 1000 años, como exige el CCP-14.
- 2.182 Para la metodología de análisis se crea un modelo de suelo considerando las diferentes exploraciones analizadas y luego, considerando la amenaza sísmica definida para la zona, se seleccionan sismos representativos, para modelar los perfiles y determinar así la respuesta sísmica de los mismos.

#### **Espectro para las estaciones y edificaciones del Patio taller**

- 2.183 El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-resistente NSR-10 establece, en su título A que se puede partir de la clasificación del perfil que allí mismo se consigna, excepto en el caso que existiesen riesgos de inestabilidad del terreno o cuando la clasificación correspondiese a tipo E. En las estaciones y el lote del Patio-taller, para propósitos de este análisis de prefactibilidad, no se cumplirían los criterios correspondientes a los perfiles E, y tampoco existen condiciones morfológicas para evidenciar problemas de estabilidad. En consecuencia, la aproximación de recomendar los parámetros del espectro a partir de la clasificación del perfil se consideró suficiente.

- 2.184 Según la zonificación de amenaza sísmica incluida en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-2010 (AIS, 2010), y la microzonificación sísmica de la Sabana de Bogotá, los sitios donde se construirán estaciones se encuentran en zona de amenaza sísmica intermedia con valor de coeficiente de aceleración pico efectiva  $A_a=0.15$ , a nivel de roca (PGA) (Peak Ground Acceleration, o su traducción del inglés Aceleración Pico en Superficie), para un periodo de retorno de 475 años (tomado del apéndice A-4, Título A NSR-2010). Por tanto, se recomienda adoptar clasificación de perfil D o E, como se indica a continuación, si bien se considera importante adelantar estudios de sitio a lo largo del recorrido en la siguiente etapa de estudios (Tabla 2.10).

**Tabla 2.10 Valores de  $A_a$ ,  $A_v$ ,  $A_e$ ,  $A_d$  para Bogotá.**

Distrito Capital						
Municipio	Código Municipio	$A_a$	$A_v$	Zona de Amenaza Sísmica	$A_e$	$A_d$
Bogotá D. C.	11001	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.06

Fuente: AIS, 2009; NSR-10, Título A.

#### Clasificación del perfil del subsuelo

- 2.185 En la zona de la Carrera Séptima con Calle 72 (primera zona típica) se encuentran suelos firmes y rígidos, con resistencia no drenada probablemente entre 50 y 100kPa. Después de ingresar a la zona lacustre de la Formación Sabana, el análisis de las resistencias no drenadas típicas muestra valores promedio mayores a 50kPa en los primeros 2 a 8m aproximadamente del perfil, pero luego desciende a valores predominantes del orden de 20 a 50kPa hasta alcanzar la roca del basamento, a profundidades mayores a 100m en la primera zona del alineamiento y mayor de 300m en el sector de Engativá y Suba. El promedio de resistencias no drenadas en los primeros 30m se sitúa entre 30 y 50kPa. En consecuencia, desde el punto de vista de la resistencia no drenada promedio  $S_u$ , se confirma que el perfil clasificaría en el grupo D, para la primera zona, en la Carrera Séptima con Calle 72. Al ingresar a la segunda zona, y en el resto del recorrido, el perfil clasificaría como Tipo E. A partir de los criterios citados, a la luz de la NSR-2010, se recomienda adoptar un perfil D para la primera zona y E para las siguientes, de manera preliminar. (Tabla 2.11).

**Tabla 2.11 Características de los perfiles de suelo C, D, E y F**

<b>C</b>	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{S}_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
<b>D</b>	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{S}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
<b>E</b>	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total <b>H</b> mayor de 3 m de arcillas blandas	<b>IP</b> > 20 <b>w</b> ≥ 40% $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{S}_u$
<b>F</b>	Los perfiles de suelo tipo <b>F</b> requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases:	
	<b>F<sub>1</sub></b> — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	<b>F<sub>2</sub></b> — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ( <b>H</b> > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	<b>F<sub>3</sub></b> — Arcillas de muy alta plasticidad ( <b>H</b> > 7.5 m con Índice de Plasticidad <b>IP</b> > 75)	
<b>F<sub>4</sub></b> — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( <b>H</b> > 36 m)		

Fuente: Extraído de NSR-2010 - Título A - Tabla A.2.4.1

2.186 En la ciudad de Bogotá, para edificaciones, se aplica la Microzonificación sísmica de Bogotá (MCZSB), preparada para período de retorno de 475 años, y ejecutando análisis de respuesta sísmica para diferentes perfiles típicos, los parámetros del espectro, para edificaciones, serán como se presenta en la Figura 2.23. La clasificación de las zonas, con base en la MZSB se incluye en Figura 2.23 para referencia y se detalla en el Anexo A.

**Figura 2.23 Zonas de respuesta sísmica para el trazado**



Fuente: Google™ Earth, Decreto 523 de 2010

**Tabla 2.12 Parámetros para espectro sísmico propuesto para edificaciones a lo largo de la SLMB (MCZSB-2010)**

Abscisa	Zona	Fa	Fv	Tc	T <sub>L</sub>	A <sub>0</sub>
0+000-0+477	Piedemonte B	1.95	1.70	0.56	3.0	0,26

Abscisa	Zona	Fa	Fv	Tc	T <sub>L</sub>	A <sub>o</sub>
0+477-0+887	Aluvial 100	1.20	2.10	1.12	3.5	0.18
0+887-0+977	Lacustre 200	1.20	3.50	1.87	4.0	0.18
0+977-9+049	Lacustre 300	1.05	2.90	1.77	5.0	0.16
9+049-9+909	Lacustre 200	1.20	3.50	1.87	4.0	0.18
9+909-10+327	Lacustre 100	1.30	3.20	1.58	4.0	0.20
10+327-11+073	Lacustre 200	1.20	3.50	1.87	4.0	0.18
11+073-11+947	Lacustre 300	1.05	2.90	1.77	5.0	0.16
11+947-15+760	Lacustre 500	0.95	2.70	1.82	5.0	0.14

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

### Espectro de diseño para túneles, vía semisoterrada y viaductos

- 2.187 En relación con las obras mayores para la vía férrea de la segunda línea del Metro de Bogotá, los diseños de las siguientes etapas deberán ejecutarse con los requerimientos del CCP-14 que exigen utilizar espectros de diseño para periodos de retorno de 1000 años. La Microzonificación Sísmica de Bogotá se preparó, como se ha indicado, para edificaciones, con periodo de retorno de 475 años, y no se ha actualizado a la luz del CCP-14.
- 2.188 La misma reglamentación de puentes (CCP-14) permite prever, a este nivel de prefactibilidad, la asignación de parámetros espectrales a partir de la clasificación del perfil en función de sus características. Se considera que, en la etapa de factibilidad y estructuración deben prepararse espectros de respuesta de sitio al menos por zonificación de la línea.
- 2.189 Para propósitos de este nivel de estudio, la asignación de clasificación del perfil, según los criterios del CCP-14 es de tipo E. Para tal clasificación, los parámetros espectrales recomendados se presentan en la Tabla 2.13.

Tabla 2.13 Parámetros para espectro sísmico propuesto para edificaciones de Patio Taller de Suba

Parámetro	Valor
PGA	0.5
Ss	0.6
S1	0.3
Fpga	1.45
Fa	1.5
Fv	2.8

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## 3. Conclusiones y Recomendaciones

- 3.1 Para la preparación de este informe se utilizó, exclusivamente, información secundaria, dado que no estuvo contemplado, en esta etapa de prefactibilidad, la ejecución de exploración directa. Su utilizó información no solo del corredor en estudio sino, además, de corredores viales paralelos en donde se han adelantado estudios recientes, con el propósito de complementar la exigua exploración ejecutada sobre el corredor. El ejercicio se considera suficiente para el nivel de detalle de prefactibilidad ejecutado en esta etapa, pero se recomienda adelantar exploración directa en las siguientes etapas del proyecto. Se contó con información de IDU, IDIGER, EAAB, METRO, SGC, Universidad Nacional de Colombia, y varias empresas privadas.
- 3.2 Los suelos presentes a lo largo de todo el trazo proyectado para la Segunda Línea del Metro de Bogotá son de origen lacustre y aluvial. El basamento rocoso no aparece hasta la profundidad explorada en la información secundaria recopilada. Puede estar a profundidades mínimas de 100 a 200m en el sector calle 72 – Calle 68 y entre 300 y 400m en el eje de la Avenida Longitudinal de Occidente (ALO), en la Avenida Suba. En consecuencia, las obras se ejecutarán y cimentarán en suelos blandos, sin alcanzar la roca.
- 3.3 Solo se detectan diferencias importantes en el perfil de suelos en la primera parte de la línea propuesta, en la Carrera Séptima con Calle 72, en donde se encuentra un gran espesor de material al cual se atribuye origen coluvioaluvial, con bloques de arenisca en matriz arenoarcillosa o limoarcillosa en gran parte del perfil. La conexión genética del depósito con la presencia de los cerros orientales parece obvia, como se estima que es también el régimen hidrogeológico con la recarga. Estos hechos son de particular importancia en el diseño de túneles en el sector. Se anota que, en el pasado, una construcción de varios sótanos que se ejecutó al occidente de esa carrera produjo una falla catastrófica de la contención, que afectó el costado sur de la Calle 72 en cerca de 100m. Se ignora si la perforación se ejecutó en los rellenos que se requirieron sobre la Carrera Séptima y la Calle 72, muy probablemente ejecutados en materiales provenientes de la misma Formación Guadalupe (rechos con fragmentos de roca) o si, en efecto, el material insitu corresponde a un depósito coluvio-aluvial con cantos y fragmentos de roca. Esta incertidumbre deberá despejarse con exploración detallada en la zona.
- 3.4 En caso de comprobarse que se trata de un depósito coluvio-aluvial, debe establecerse su distribución y alcance en la zona, y la probable existencia de intercalaciones con el depósito lacustre de la Formación Sabana, que implicarían complejas condiciones hidrogeológicas con regímenes acucluidos de aguas artesianas. Después de comprendidas estas condiciones se podrá decidir las técnicas de construcción de probables túneles en la zona, que podrían evolucionar hacia sistemas de corte y cubrimiento, particularmente teniendo en cuenta que la Estación Carrera Novena del Sistema Transmilenio podría estar en la misma zona.

- 3.5 Queda también por definir, para el momento de redacción del presente informe, la interacción con la estación Calle 72 de la Primera Línea del Metro de Bogotá, aspecto que resultará definitivo en relación con las obras en el sitio, e incluso en la metodología de construcción y localización de los probables túneles en el sector. Esta zona se caracteriza por la presencia de arcillas limosas orgánicas muy blandas en los primeros 30m, del perfil, aproximadamente, que se reflejan en su compresibilidad, aspecto visible en los asentamientos que existen en las edificaciones de la zona.
- 3.6 La Formación Sabana, en la cual se ejecutarán las obras casi totalmente, a lo largo de la mayor parte del alineamiento propuesto, está compuesta por arcillas limosas, a veces orgánicas, predominantemente de alta compresibilidad, con alto contenido de humedad y baja consistencia. El nivel freático está muy cerca de la superficie. Ocasionalmente, se encuentran estratos delgados de arenas de densidad media, y cerca de la Avenida Caracas lo mismo que al pie de los Cerros de Suba, bancos profundos de arena aluvial.
- 3.7 La subsidencia provocada por el descenso de nivel freático debido a fuentes climáticas puede ser un factor de importancia en el comportamiento del depósito de la Formación Sabana y, en consecuencia, debe estudiarse con cuidado una vez se cuente con parámetros de buena precisión a lo largo del recorrido. Se anticipa que puede presentar valores en el orden de 1 a 5cm. No obstante, la principal incertidumbre radica en el descenso que pueden generar las obras mismas del metro y las nuevas construcciones que se desarrollen en el futuro a lo largo del corredor y, en particular, las que ocurran en el eje Calle 72 – Calle 68 en el cual cabría esperar una renovación futura. El efecto de esta depresión podría ser la generación de solicitaciones adicionales en las estructuras subterráneas y en las fundaciones profundas, y asentamientos de las edificaciones vecinas. En etapas posteriores del estudio, con caracterización de buen detalle de la compresibilidad del subsuelo se deberán ejecutar análisis del efecto probable de la depresión del Nivel Freático y de las subsidencias que causaría.
- 3.8 Hay una fuente adicional de subsidencia probable, generada por el túnel mismo, en relación con la cual debe adelantarse un detallado análisis y diseño en posteriores etapas, después de disponer de exploración y caracterización de mayor detalle. Puede requerirse el diseño y construcción de obras de protección como cortinas de inyecciones, verticales para aislamiento o inclinadas en forma de “tienda canadiense”, o protecciones con micropilotes, o sistemas similares.
- 3.9 Se considera importante, en las siguientes etapas del proyecto, adelantar un estudio detallado de los tipos de construcciones que existen actualmente, su estado, y sus tipos de cimentación, particularmente a lo largo del corredor Calle 72 hasta Avenida Ciudad de Cali y a lo largo de ésta y plantear hipótesis de su evolución en el futuro y el impacto que este factor podría tener sobre probables depresiones del Nivel Freático y, a su vez, sobre subsidencias y, finalmente, sobre las obras del metro suponiendo ya su existencia. La inspección general ejecutada hasta la fecha, y la escasa información existente, permiten suponer que los puentes viales importantes están cimentados sobre pilotes, con longitudes mayores de 35m.
- 3.10 Entretanto, el inventario también habrá de ser de utilidad para comprender el efecto que las obras pudiesen tener sobre las estructuras existentes actualmente que serán, muy probablemente, las que deberán sufrir las afectaciones debidas a la construcción, como asentamientos de las estaciones y subsidencias provocadas por el túnel. Debe considerarse no solamente los desplazamientos verticales (asentamientos) sino, además, los vectores de

movimiento y sus componentes horizontales. Son las distorsiones y deformaciones diferenciales las que pueden provocar los mayores daños, particularmente en estructuras antiguas y son estructuras precarias como las que se ven en gran parte de los sectores adyacentes, debido al nivel de la urbanización de la ciudad.

- 3.11 La comprensión de los fenómenos que podrían ocurrir, y la estimación de sus magnitudes serán de utilidad para prever y diseñar probables técnicas de protección como inyecciones y reinyecciones, pantallas, pilotes o micropilotes, y mejoramiento del terreno, o similares, con el propósito de reducir los daños que pueden ocurrir en las estructuras que existan durante el proceso constructivo y en el futuro, sobre las obras, al cambiar la urbanización cercana a la línea, como se ha descrito. Estos análisis no son de menor importancia si se tiene en cuenta las experiencias anteriores de asentamientos alrededor de edificaciones con sótanos, durante su construcción y aún tiempo después como resultado de cambios en el régimen hidrogeológico o asentamientos a largo plazo. También las experiencias de daños debidos a problemas de inestabilidad provocados por excavaciones profundas. Estas experiencias han generado profundas incertidumbres en la Geotecnia Local y arraigados temores a enfrentar obras profundas, tanto en los técnicos como en las entidades y los responsables del lado del estado.
- 3.12 En principio, se ha previsto que los túneles en suelos blandos, podrán construirse con máquinas tuneladoras de presión balanceada en el frente (EPB), en relación con las cuales existen experiencias exitosas en materiales de similares características, en varios sitios del mundo. En su diseño, deberán considerarse las presiones existentes al nivel de implantación y la presencia del nivel freático cerca de la superficie.
- 3.13 Podrían requerirse también tratamientos especiales ocasionales en sitios más blandos para evitar o controlar cabeceos o desviaciones de la máquina ante presencia de contrastes marcados de rigidez.
- 3.14 En el caso particular del sector de la carrera 7ª en la calle 72 hasta el final de la estación de integración, se recomienda optar por la construcción con sistema “cut and cover”.
- 3.15 Algunos otros tramos en los cuales se prevea el desarrollo de túneles relativamente someros pueden requerir el estudio de técnicas de excavación y cobertura (“cut and cover”). En particular, en el corredor de la ALO, desde el K12+485 hasta el K14+220 en donde existe amplia zona disponible para la construcción, sin edificios cercanos, se puede optar por esa técnica.
- 3.16 De igual manera, las zonas de estaciones subterráneas y pozos de lanzamiento en el K 12+485 y rescate de las máquinas en el K0+616, necesitarán la implementación de técnicas de excavación en suelos blandos, como pantallas con ademes (diversas técnicas por estudiar) y formas de anclaje.
- 3.17 Dada la naturaleza y proximidad de edificaciones susceptibles, deberá considerarse y diseñarse el uso de técnicas de protección para reducir los daños por deformaciones (submuraciones, pantallas, pilotes, micropilotes, inyecciones, reinyecciones, carpas canadienses o similares). El uso de sistemas de construcción de túneles con tuneladora EPB (de frente cerrado con presión balanceada) se recomienda especialmente para la zona de la Calle 72 y Avenida Calle 68, combinadas con medidas de protección como las señas, para las edificaciones.

- 3.18 Para zonas de viaducto se prevé la necesidad de diseñar cimentaciones de profundidades importantes (pilotes o barretes, a profundidades mayores a 40 o 50m), para mantener controlados los asentamientos y deformaciones y se necesitará considerar la probable fricción negativa provocada por desecación y subsidencia en los primeros metros de la superficie. Estos sistemas elevados se han previsto solamente para la última porción del trazado, en la Localidad de Suba, hasta arribar al Patio Taller.
- 3.19 Para patio taller y reemplazos de material para apoyo del semisoterrado, se requiere prever, en posteriores etapas del proyecto, las fuentes probables de materiales para la construcción de la vía férrea, en particular de agregados que estima un volumen aproximado de 918.000 m<sup>3</sup> con una altura de terraplén estimada de 5 m, así como los sitios de disposición de los escombros y sobrantes de excavación y rezagas de túneles. Dado que son fundamentalmente arcillas limosas orgánicas que se recuperarían en forma de lodos, su uso en rellenos estructurales es poco probable, en esta fase del proyecto se estimó un escenario más conservador donde se reemplaza todo el material excavado.
- 3.20 En el lote del Patio-taller se requerirán rellenos para protección contra inundaciones, actualmente existe como infraestructura de protección un jarillón de aproximadamente 5 m de altura, el relleno proyectado igualara la cota aproximada de 1250 msnm, de este jarillón conformando de esta manera una plataforma (se precisa que los datos de cotas corresponden al modelo de referencia propia del nivel de análisis de prefactibilidad). Será necesario adelantar diseños relacionados con técnicas de mejoramiento como precargas, mejoramientos de terreno para facilitar su consolidación, sistemas de confinamiento y contención, y similares. A nivel de prefactibilidad se ha estimado la necesidad de colocar mechas drenantes cada 2m al tresbolillo, con profundidad de 15m. La precarga podría adelantarse con el mismo material de relleno, permitiendo que ocurran las deformaciones al menos 6 meses, antes de reconformar y pavimentar.
- 3.21 El desarrollo y conclusiones de este informe se basan en el uso de exploración del subsuelo ejecutada por fuentes secundarias, para muy diferente propósito y con muy diversas metodologías, criterios técnicos y calidad. De otra parte, la exploración disponible a lo largo del corredor es muy modesta en términos de densidad de ejecución, particularmente en el tramo de corredor en dirección Este – Oeste y en el último sector hacia el lote del Patio Taller. Adicionalmente, la mayor parte de la exploración disponible cuenta con pruebas de identificación y clasificación, mientras que existen muy pocos ensayos de resistencia y compresibilidad, y muchos menos (casi inexistentes) de parámetros dinámicos.
- 3.22 En consecuencia, en las siguientes etapas del proyecto se requiere desarrollar un concienzudo programa de investigación y caracterización del subsuelo con sondeos geofísicos, perforaciones y sondeos geotécnicos, y determinación de parámetros tanto in situ como en laboratorio, que permitan afirmar análisis y prediseños anteriores a la etapa de construcción.
- 3.23 La Tabla 3.14, resumen las condiciones geotécnicas establecidas en el presente estudios, acorde a las disposiciones constructivas recomendadas y los hallazgos establecidos mediante el análisis de la información disponible.

**Tabla 3.14 Tabla Resumen de información geotécnica**

Zona Geotécnica	Configuración / Método Constructivo	Abscisas		Longitud (Km)	Perfil Tipo (NSR10)	Nivel Freático (m)
		Desde	Hasta			
I-A	TUNEL ENTRE PANTALLAS CALLE 72 / CUT & COVER	PK0+000	PK0+450	0,450	D	N/A
I-B	TUNEL ENTRE PANTALLAS CALLE 72 / CUT & COVER	PK0+450	PK0+791	0,341	E	6.00
II	TUNEL BITUBO / TUNELADORA	PK0+791	PK7+900	7,109	E	0.30-10.50
III-A	TUNEL BITUBO / TUNELADORA	PK7+900	PK12+291	4,391	E	0.40-10.50
III-B	TUNEL ENTRE PANTALLAS TRAMO ALO / SEMISOTERRADO	PK12+291	PK15+056	2,765	E	2.00-3.50
III-C	VIADUCTO / VIADUCTO	PK15+056	PK15+760	0,704	E	N/A
III-D	VIADUCTO AL INTERIOR DEL PATIO / VIADUCTO	PK15+760	PK16+060	0,300	E	N/A

Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## Bibliografía

- AIS (2009). “Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia 2009”. Comité AIS-300: Amenaza Sísmica.
- Blanco, P.; Barreto, G.; Ortíz, D. (2010). “La Interferometría Diferencial DInSAR – Una Técnica para el Monitoreo de la Subsistencia en Bogotá D.C.” Boletín Colombiano de Geotecnia.
- EAAB (2001) (cita). Alcaldía Mayor de Bogotá. “Estudios de Soporte Requeridos para la Solicitud de Realinderamiento, Recategorización y Sustracción para la Reserva Van der Hammen en contexto con la UPR Norte y con la Red de Paisaje Circundante”. Línea Base. Componente Físico. Consultado en: [https://bogotá.gov.co/especiales-alcaldia-bogota/van-der-hammen/estudios/3.%20 FINAL-componente%20Fisico.pdf](https://bogotá.gov.co/especiales-alcaldia-bogota/van-der-hammen/estudios/3.%20FINAL-componente%20Fisico.pdf).
- Fierro, J. (2009). “La Relación de la Geología y las Aguas Subterráneas”. Grupo de Investigación en Geología Ambiental TERRAE.
- FOPAE (2012). “Zonificación de la Respuesta Sísmica de Bogotá para el Diseño Sismo-Resistente de Edificaciones” Alcaldía Mayor de Bogotá.
- IDIGER (2016). “Amenaza por Movimientos en Masa en Perspectiva de Cambio Climático”. Alcaldía Mayor de Bogotá. Proyecto de Actualización Componente Gestión del Riesgo para la Revisión y Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial. Volumen 1.
- INGEOMINAS (2005). “Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá”. Escala 1:100.000.
- INGEOMINAS – UPES (1997). “Proyecto Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá”.
- INVIAS (2014). “Norma Colombiana de Diseño de Puentes”. CCP-14.
- Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Rural (2010). “Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistente, NSR-10”. Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo-Resistentes.

## HOJA DE CONTROL

### Preparado por

---

Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá  
Carrera 15 #93a-62 Oficina 602  
Teléfono. 746 04 03  
Bogotá D.C. Colombia  
+57 1 7460403

### Preparado para

---

Financiera de Desarrollo Nacional - FDN  
Av. Carrera 7 No. 71 - 42  
Torre B Piso 6  
Bogotá D.C. Colombia

### Nº Proyecto/propuesta Steer

---

23858501

### Referencia cliente/nº proyecto

---

Contrato FDN 033 de 2020

### Autor

---

Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá

### Revisor/autorizador

---

### Otros colaboradores

---

### Distribución

---

Cliente:

Steer:

### Versión

---

2

### Fecha

---

19-05-2021

