



METRO LÍNEA 1

PRIMERA LINEA DEL METRO DE BOGOTÁ



ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA RECEPTORA - SER 2 Y SU LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115 KV

L1T1-0000-000-CON-ED-AMB-ES-0002

CONTROL DE EMISIONES		
REVISIÓN	FECHA	EMITIDO PARA
VBB	21/12/2022	Emitido para revisión y comentarios del cliente e Interventoría
VA0	21/12/2022	Emitido para comentarios internos – Emisión preliminar para comentarios

El contenido de este documento no podrá ser divulgado a terceros ya sea en parte o en su totalidad sin autorización escrita de METRO LÍNEA 1 SAS
The content of this document may not be disclosed to third parties either in part or in full without written authorization from METRO LÍNEA 1 SAS
未经 METRO LÍNEA 1 SAS 的书面授权，不得将本文件的内容部分或全部透露给第三方

CONTROL DE CAMBIOS		
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO
VBB	21/12/2022	Emitido para revisión y comentarios del cliente e Interventoría
VA0	21/12/2022	Emitido para comentarios internos – Emisión preliminar para comentarios

APROBACIÓN ML1			
	FIRMA	NOMBRE	CARGO
REVISÓ		Claudia Marcela Diaz	Coordinadora Ambiental
REVISÓ		Oscar Rene Avella	Director Ambiental y SST
REVISÓ		Alexandra Coredor	Director Ambiental y SST
APROBÓ		Yi Liming	Vicepresidente Ambiental y SST

	APROBACIÓN CPA INGENIERÍA S.A.S.		
	FIRMA	NOMBRE	CARGO
ELABORÓ		Hector Julian Lopez	Coordinador de proyectos
REVISÓ		Sonia Ardila	Directora de proyectos
APROBÓ		Sonia Ardila	Directora de proyectos

Tabla de contenido

5	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....	1
5.1	Medio Abiótico	1
5.1.1	Geología	1
5.1.2	Geología Estructural/Tectónica	18
5.1.3	Amenazas naturales.....	22
5.1.4	Geomorfología	37
5.1.5	Suelos y usos del Suelo	50
5.1.6	Hidrología	62
5.1.7	Calidad del Agua	67
5.1.8	Usos del Agua	67
5.1.9	Hidrogeología.....	68
5.1.10	Geotecnia.....	86
5.1.11	Atmósfera	99

Índice de tablas

Tabla 1 – Unidades geológicas locales.....	2
Tabla 2 Unidades geológicas superficiales en el área del proyecto	17
Tabla 3. Clasificación de intensidad sísmica observada.....	23
Tabla 4 Caracterización de eventos sísmicos en el departamento de Cundinamarca	28
Tabla 5. Microzonificación sísmica del área de influencia.	32
Tabla 6. Jerarquización geomorfológica de acuerdo con el SGC.....	40
Tabla 7. Jerarquización geomorfológica de acuerdo con el IGAC.....	42
Tabla 8. Clasificación morfogenética del área de influencia.....	42
Tabla 9. Rangos pendientes para el área de estudio.	44
Tabla 10. Clasificación de relieve relativo	45
Tabla 11. Rango de longitud de ladera	46
Tabla 12. Rango de forma de ladera.....	47
Tabla 13 Tipos de erosión y severidad	48
Tabla 14 Jerarquización geomorfológica del área de influencia de acuerdo con el SGC	52

Tabla 15. Paisajes geomorfológicos	52
Tabla 16. Uso actual del suelo con sus respectivas características.....	58
Tabla 17. Uso potencial del suelo	59
Tabla 18. Conflictos del uso del suelo para el área de estudio	61
Tabla 19. Datos de la Cuenca del río Fucha.....	66
Tabla 20 Caudales Medios Mensuales (m ³ /s).....	66
Tabla 21. Características hidrogeológicas regionales del área de estudio.....	70
Tabla 22 Ponderación del parámetro “pendiente”.....	77
Tabla 23. Ponderación del parámetro “suelos”.....	77
Tabla 24. Ponderación del parámetro “Tipos de roca”.....	78
Tabla 25. Ponderación del parámetro “Tipo de cobertura”.....	79
Tabla 26 Potencial de recarga basado en el “Tipo de Cobertura”	81
Tabla 27 Resultados calidad de agua subterránea In-situ estudio Hidrogeológico.....	85
Tabla 28-Rangos de valores utilizados en los parámetros de zonificación geotécnica.....	88
Tabla 29-Factores evaluados para la zonificación geotécnica del área de estudio con su respectivo factor de ponderación.....	88
Tabla 30-Calificación asignada para componente de pendientes	89
Tabla 31-Calificación asignada para componente litológico.....	90
Tabla 32-Calificación asignada para componente de coberturas.....	90
Tabla 33-Calificación asignada para componente geomorfológico	90
Tabla 34-Calificación asignada para componente hidrogeológico	91
Tabla 35-Calificación asignada para componente edafológico	91
Tabla 36-Calificación asignada para componente de uso del suelo.....	91
Tabla 37-Calificación asignada para componente de sismología.....	92
Tabla 38-Calificación asignada para componente hidrológico	92
Tabla 39-Calificación asignada para la zonificación geotécnica del área de influencia	93
Tabla 40-Puntos de muestreo (Ubicación y profundidades).....	95
Tabla 41-Puntos de perfil de resistividad	95
Tabla 42-Resumen pruebas de laboratorio.....	97

Tabla 43 Resumen ensayo de consolidación	97
Tabla 44 Resistencia al corte no drenado por ensayos de compresión inconfiada.....	98
Tabla 45 Resistencia al corte de diseño	99
Tabla 46 Localización Estaciones Meteorológicas	99
Tabla 47 Precipitación máxima en 24 horas	104
Tabla 48 Rangos de Denominación Termal.....	109
Tabla 49 Rangos de denominación de Precipitación.....	109
Tabla 50 Zonificación Climática	109
Tabla 51 Zonificación Climática en Área de Estudio.....	110
Tabla 52 Fuentes fijas en radio menor a 100 m pero fuera de área de influencia del proyecto	112
Tabla 53 Receptores sensible en el área de estudio	113
Tabla 54. Coordenadas de estaciones de aire	120
Tabla 55. Características de los compuestos estudiados.....	124
Tabla 56. Estaciones de muestreo de calidad de aire	126
Tabla 57. Clasificación y puntos de corte del ICA.....	131
Tabla 58. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio según la resolución 2254 de 2017	132
Tabla 59. Máximos reportados en condiciones ambientales	133
Tabla 60. Concentraciones de PM 10	134
Tabla 61. Concentración promedio de PM10 en los puntos de monitoreo	135
Tabla 62. Concentración y valor del ICA de pm10 en los puntos de monitoreo	136
Tabla 63. Concentraciones de pm 2,5 obtenidas por cada estación	137
Tabla 64. Concentración promedio de PM 2,5 en los puntos de monitoreo	138
Tabla 65. Concentración y valor del ICA de PM 2,5 en los puntos de monitoreo	139
Tabla 66. Concentraciones de NO2 obtenidas por cada estación.....	140
Tabla 67. Concentración promedio de NO2 en el área del proyecto.....	141
Tabla 68. Concentración y valor del ICA de NO2 en los puntos de monitoreo	142
Tabla 69. Concentraciones de so2 obtenidas por cada estación	143
Tabla 70. Concentración promedio de so ₂ en el área del proyecto	144

Tabla 71. Concentraciones de CO obtenidas por cada estación	146
Tabla 72. Concentración promedio de CO en el área del proyecto	147
Tabla 73. Concentración y valor del ICA en los puntos de monitoreo	148
Tabla 74. Concentraciones de ozono (O3) registradas en las tres estaciones de monitoreo	149
Tabla 75. Concentración promedio de o3 en el área del proyecto	150
Tabla 76. Concentración y valor del ICA en los puntos de monitoreo	151
Tabla 77. Coordenadas de punto de ruido.....	154
Tabla 78. Fechas día hábil y no hábil.....	154
Tabla 79. Distribución de las medidas.	155
Tabla 80. Receptores sensibles	156
Tabla 81. Fuentes generadoras de ruido	156
Tabla 82. Puntos de monitoreo ruido	158
Tabla 83. Condiciones ambientales	161
Tabla 84. Condiciones predominantes.....	161
Tabla 85. Formula de ajustes realizados	163
Tabla 86. Resultados diurno y comparación con la normatividad	164
Tabla 87. Resultados diurno sector B parques zona urbana	165
Tabla 88. Resultados sector a diurno con los valores maximos permisibles res. 627-2006	166
Tabla 89. Ruido ambiental nocturno y normatividad.....	167
Tabla 90. Resultados sector a nocturno con los valores maximos permisibles res. 627-2006	168
Tabla 91. Corrección por tonalidad de impulsividad	169
Tabla 92. Incertidumbre	169

Índice de Figuras

Figura 1 Columna estratigráfica general de Bogotá.....	9
Figura 2 Componente geológico dentro del área de influencia	10
Figura 3 Características geológicas del área de estudio	11

Figura 4 Columna estratigráfica de la Formación Sabana.....	12
Figura 5 Perfil geológico del área de influencia	13
Figura 6 Perfil geológico del área de influencia	14
Figura 7 Clasificación de unidades geológicas superficiales para suelos	16
Figura 8. Clasificación de unidades geológicas superficiales para rocas	17
Figura 9 Unidades geológicas superficiales en el área de interés.....	18
Figura 10 Estructuras geológicas en la Sabana de Bogotá.....	21
Figura 11 Intensidad máxima observada para la ciudad de Bogotá, D.C.....	24
Figura 12 Intensidad máxima observada para la ciudad de Bogotá, D.C.....	25
Figura 13 Zonas de amenaza sísmica (NSR-10) para Cundinamarca.....	26
Figura 14. Histograma sísmico de Bogotá, D.C.....	27
Figura 15. Esquema de metodología usada para la microzonificación sísmica de Bogotá, D.C.	29
Figura 16 Descripción de zonas de respuesta sísmica.....	30
Figura 17 Mapa de microzonificación sísmica en Bogotá, D.C.	31
Figura 18 Condiciones que incrementa la posibilidad de amenazas por remoción en masa.....	33
Figura 19. Mapa de amenaza por remoción en masa para Bogotá, D.C.	34
Figura 20. Amenaza por remoción en masa dentro del área de interés.....	35
Figura 21. Amenaza por inundaciones dentro del área de interés	37
Figura 22. Esquema de jerarquización.....	39
Figura 23. Componente geomorfológico del área de influencia.	41
Figura 24. Terrazas altas dentro del área de estudio.	43
Figura 25. Rango de inclinación de las laderas.	45
Figura 26. Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto por el SGC.....	51
Figura 27 Unidades cartográficas dentro del área de estudio.	53
Figura 28 Unidades agrológicas dentro del área de estudio.	55
Figura 29. Leyenda producida por la metodología CLC para clasificación de coberturas.	57
Figura 30. Uso actual del suelo.....	59
Figura 31. Uso potencial del suelo dentro del área de influencia	60
Figura 32. Conflictos de uso del suelo en el área de influencia.....	62

Figura 33. Sistema Hídrico	63
Figura 34 Zonificación Hidrográfica SER 2	64
Figura 35 Caudales Medios Mensuales Estación Fontibón (m ³ /s)	67
Figura 36. Provincias hidrogeológicas de Colombia.	69
Figura 37. Unidades hidrogeológicas dentro del área de influencia	72
Figura 38. Vulnerabilidad de acuíferos en la sabana de Bogotá (Método GOD)	74
Figura 39. Vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en SER 2 (Método GOD)	75
Figura 40. Potencial de recarga dentro del área de influencia	82
Figura 41. Perfiles topográficos del área de influencia	83
Figura 42. Diagrama de Piper de la Formación Sabana	85
Figura 43 Mapa de microzonificación geotécnica en el área de interés	94
Figura 44 Gráfica NSPT vs profundidad	96
Figura 45 Localización Estaciones Meteorológicas	100
Figura 46 Temperatura Mensual Estación Venado Oro Vivero	101
Figura 47 Temperatura Mensual Estación Unisalle Centro	102
Figura 48 Promedios Mensuales de Precipitación	103
Figura 49 Precipitación Número de Días	104
Figura 50 Representación de la Nubosidad	105
Figura 51 Distribución Mensual de Nubosidad	106
Figura 52 Comportamiento Mensual de Brillo Solar (Horas de Sol al Día).....	107
Figura 53 Rosa de Vientos Estación Kennedy 01-11-2018 – 08-11-2022.....	108
Figura 54 Zonificación climatológica resultado de interpolación.....	111
Figura 55. Campo eléctrico emitido por la subestación calle primera (límite de color: 1 kV/m)	114
Figura 56. Campo eléctrico emitido por la subestación calle primera a un metro de altura (límite de color: 1- kV/m).	115
Figura 57. Campo eléctrico emitido por la subestación San José a un metro de altura (límite de color: 1- kV/m)	116
Figura 58. Isolíneas de densidad de flujo magnético producido por la subestación calle primera y los circuitos que la conforman a una altura de 1 m sobre el suelo.....	117

Figura 59. Densidad de flujo magnético producido por la subestación Calle primera y los circuitos que la conforman a una altura de 1 m sobre el suelo, para un límite de color de 10 μ T.....	118
Figura 60. Densidad de flujo magnético producido por la subestación San José y los circuitos que la conforman a una altura de 1 m sobre el suelo, para un límite de color de 10 μ T.....	119
Figura 61 Estación de monitoreo P-01.....	127
Figura 62 Estación de monitoreo P-02.....	127
Figura 63 Estación de monitoreo P-03.....	128
Figura 64 comparación de concentraciones de PM10 en cada uno de los puntos monitoreados y comparación con normatividad	136
Figura 65. Comparación de concentraciones de PM 2,5 en cada uno de los puntos monitoreados y comparación con normatividad	139
FIGURA 66. Comparación de concentraciones de NO2 en cada uno de los puntos monitoreados y comparación con normatividad	142
Figura 67. Comparación De Concentraciones De So2 En Cada Uno De Los Puntos Monitoreados Y Comparación Con Normatividad	145
Figura 68. Comparación de concentraciones de CO en cada uno de los puntos monitoreados y comparación con normatividad	148
Figura 69. Comparación de concentraciones de O3 en cada uno de los puntos monitoreados y comparación con normatividad	150
Figura 70. PUNTO-1.....	159
Figura 71. PUNTO-2.....	159
Figura 72. PUNTO-3.....	160
Figura 73. Localización de los puntos de monitoreo ruido.....	160
Figura 74 Resultados de ruido ambiental diurno	165
Figura 75. Resultados de ruido ambiental diurno p-03	166
Figura 76. Ruido ambiental nocturno	168

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Después de haber definido las áreas de influencia para cada uno de los medios, se realizó una caracterización de acuerdo a las condiciones establecidas en los términos de referencia generales para estudios de impacto ambiental para proyectos de tendido de las líneas de transmisión del sistema regional de interconexión eléctrica, compuesto por el conjunto de líneas con sus correspondientes módulos de conexión (subestaciones) que se proyecte operen a tensiones mayores a 50 kV y menores a 220 kV y a las condiciones establecidas en el documento “Metodología para la elaboración de estudios ambientales del año 2018 elaborado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

5.1 Medio Abiótico

5.1.1 Geología

El área del proyecto denominado “SER 2” se encuentra ubicado en la parte noroccidental de la ciudad de Bogotá D.C. En esa zona se han desarrollado múltiples estudios geológicos, realizados por entidades oficiales como el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Corporación Autónoma Regional (CAR) y diferentes universidades de Colombia como la Pontificia Universidad Javeriana, la Universidad Nacional y la Universidad de los Andes. Como se mencionó previamente en la sección metodología del presente estudio, las principales fuentes de información para el desarrollo del proyecto corresponden a los siguientes trabajos: “Geología de la Plancha 227 La Mesa, escala 1:100.000 del año 1998” , “Memoria explicativa de la plancha 227 La Mesa, escala 1:100.000 del año 2001”, “Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá (POMCA)” del año 2014 y 2019, Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá del año 2017, el Mapa Geológico de Colombia 2015 escala 1:100.000 elaborado por el SGC el EIAS de Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) elaborado por INGETEC en el 2019 y el EIA del proyecto “Construcción de subestación calle primera y línea de transmisión a 115kV” elaborado por CPA Ingeniería S.A.S en el 2020.

Por medio de la información recolectada en cada uno de estos estudios, con la labor de interpretación de imágenes satelitales (Encontradas en Google Earth y del proyecto) y con la rectificación realizada en la fase de campo, se pudo establecer la caracterización geológica del área de influencia del presente proyecto.

La caracterización geológica fue realizada a partir de dos enfoques; el primero de ellos se desarrolló a escala regional y el segundo a nivel local (En el área intervenida por la construcción de la subestación).

5.1.1.1 Geología regional

La sabana de Bogotá es una región que conforma el altiplano Cundiboyacense, geográficamente se encuentra ubicada dentro del departamento de Cundinamarca sobre la parte axial de la Cordillera Oriental y corresponde a la cuenca alta y media del río Bogotá (Reyes Torres, 2004). Esta zona se caracteriza por ser un área conformada por rellenos lacustres cuaternarios, en ella se encuentran rocas de los periodos Cretácico Superior, Paleógeno, Neógeno y Cuaternario y se presentan altitudes que

oscilan entre 2650 y 3750 m.s.n.m (Julivert, 1963). Las formaciones rocosas de la región se encuentran afectadas por estructuras geológicas compuestas por pliegues sinclinales, anticlinales, sistema de fallas normal, inverso y de desplazamiento de rumbo principalmente en dirección NNE-SSW (CAR, 2019).

De acuerdo con las características litológicas de la zona en el Cretácico se han identificado las siguientes formaciones: Formación Chipaque y Grupo Guadalupe (Formación Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna). Por otro lado, en el Paleógeno se han identificado la Formación Guaduas, Formación Cacho, Formación Bogotá, Formación Regadera y Formación Usme. Finalmente, en el Neógeno y Cuaternario se presenta la Formación Tiltatá, Formación Subachoque, Formación Río Tunjuelo, Formación Sabana y Formación Chía (Secretaría de ambiente, 2017).

5.1.1.2 Geología local

La caracterización del área de influencia geológica para el proyecto “Construcción de subestación eléctrica receptora – SER 2 y su línea de transmisión a 115 KV” se realizó por medio de tres fases diferenciables y descritas en la sección metodología del presente informe.

Como se mencionó previamente la primera fase (Fase pre-campo) consistió en la recolección de información secundaria de acuerdo con estudios geológicos realizados en la zona y en las áreas cercanas. Las fuentes de información corresponden a trabajos realizados por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) como el documento Geología de la Sabana de Bogotá (2005), el Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá (2004), el Mapa Geológico de Colombia (2015) y la geología de la plancha 227, La Mesa. Adicionalmente, fue estudiado el documento de actualización del POMCA del río Bogotá- Volumen I- Caracterización Física-Parte 1 y el EIAS de Estructuración Técnica del tramo 1 de la primera línea de Bogotá (PLMB).

Durante la segunda fase (Fase de campo) se realizó fotointerpretación por medio de imágenes satelitales disponibles en el software ArcGIS 10.8 y en Google Earth.

Finalmente, en la tercera fase (Fase post-campo) se hizo un análisis de la información recolectada en las dos fases previas. De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de esta metodología, se pudo identificar que el área de influencia del proyecto se encuentra sobre La Formación Sabana. Las características de esta clasificación se podrán observar a continuación:

Tabla 1 – Unidades geológicas locales

Eón	Era	Período	Época	Nombre	Nomenclatura	Área (Ha)	Área %
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno	Formación Sabana	Qsa	13,99	100%

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

5.1.1.2.1 Sondeo eléctrico Vertical SEV

Con el objetivo de poder realizar una mejor caracterización de la hidrogeología de la zona, se realizaron dos sondeos eléctricos verticales (SEV) del lugar de construcción de la subestación. Las coordenadas y ubicaciones gráficas; de las dos líneas realizadas se pueden observar en el (Anexo D _Aspectos Abióticos\Hidrogeológico)

Los resultados litológicos obtenidos en cada uno de los SEV's se pueden observar a continuación:

▶ SEV 1:

Capa superior (0 -0,724m): Relleno anisotropico

Capa media superior (0,724 - 1,039m): Arcilla limosa

Capa media inferior (1,039 - 5,044m):Arcilla plástica impermeable

Capa inferior (>5,044m): Arcilla limosa

▶ SEV 2:

Capa superior (0 - 0,383m): Relleno anisótropico

Capa intermedia superior (0,0383 - 1,187m): Relleno

Capa intermedia: (1,187 - 4,926m): Arcilla Plástica

Capa intermedia inferior (4,926 - 12,849 m): Arcilla limosa

Capa inferior (>12,849): Arcilla plástica

De acuerdo con los estratos obtenidos, se puede identificar que la mayoría de estos corresponden a arcillas con distintas características, por esto, se puede decir las capas que se encuentran en el subsuelo de la estación no son capaces de almacenar agua (baja porosidad) y no se afectarán con la etapa de construcción y operación. También es importante mencionar, que en caso de existir pequeñas zonas de almacenamiento agua estas no tendrán conexión horizontal y por esto será una afectación puntual y que se auto regulará en un corto periodo de tiempo

5.1.1.3 Estratigrafía/Caracterización Litológica

En las siguientes secciones se describirán cada una de las formaciones encontradas a nivel regional y local.

5.1.1.3.1 Estratigrafía a nivel regional

Las unidades que afloran en la Sabana de Bogotá de acuerdo con los documentos "Geología de la Sabana de Bogotá" y el "Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero subsuperficial o somero en el

perímetro urbano del Distrito Capital” se indicarán a continuación, es importante tener en cuenta que están ordenadas desde la formación más antigua a la más reciente.

Rocas del cretácico:

▶ Formación Chipaque (Ksch)

Constituida por arcillolitas grises oscuras con horizontes silíceos de colores gris oscuro. Hacia la zona central y el techo la formación se caracteriza por una sucesión fina principalmente de arcillolitas intercaladas con bancos arenosos de un espesor menor a 20 metros, la zona del techo presenta abundantes arcillas, sin embargo, es la zona más arenosa presentando una laminación interna plano-paralela. Las areniscas están dispuestas en capas medias y gruesas con contactos ondulados, continuos, intercaladas con capas de limolitas con laminación lenticular y continua de areniscas de grano fino. De acuerdo con el INGEOMINAS la edad de formación se encuentra en el Cenomaniano Superior- Santoniano (Secretaría de ambiente, 2017).

De acuerdo con similitudes litológicas y de fauna esta unidad se encuentra relacionada con las Formaciones Simijaca, La Frontera y Conejo que afloran al occidente del río Bogotá (Secretaría de ambiente, 2017). Finalmente, la unidad se localiza sobre la Formación Une en contacto neto y concordante y debajo de la formación Arenisca Dura en contacto gradual y concordante (Veloza Franco, 2013).

▶ Grupo Guadalupe (Ksg)

El Grupo Guadalupe se encuentra ubicado por encima de la Formación Chipaque al oriente de la Sabana de Bogotá y sobre la Formación Conejo al occidente Sabana de Bogotá. Por otra parte, este grupo se encuentra suprayacido por la Formación Guaduas y se encuentra ubicado geográficamente en los cerros orientales de Bogotá. Finalmente es importante mencionar que esta secuencia es afectada por procesos de tectonismo intenso (Veloza Franco, 2013).

▶ Formación Arenisca Dura (Ksgd)

Se encuentra Opñubicada al oriente de la Sabana de Bogotá, conformando así parte de los anticlinales de Bogotá, Machetá, San José, Sopó - Sesquilé y en alrededores de la Calera; parte de los anticlinales de Tabio, Cota-Zipacquirá, Caldas, Nemocón, Canadá (Zona occidental); y parte de los anticlinales de Soacha, Mochuelo, San Miguel (Zona sur). Esta formación presenta afloramientos en la zona del embalse de Muña y en los alrededores de Facatativá (Veloza Franco, 2013).

De acuerdo con sus características litológicas, la formación se encuentra compuesta por areniscas cuarzosas, blancas a amarillentas (Por alteración) de granos que varían de fino a muy fino, y estratificaciones que varían desde muy delgada a gruesa. Estas areniscas están intercaladas con limolitas silíceas y arcillolitas de color gris claro. Adicionalmente, al occidente de la sabana las areniscas son más lodosas, registrando un espesor de 320 m, mientras que al oriente el espesor registrado es de 407m (Veloza Franco, 2013).

Finalmente, esta formación presenta un contacto neto con la Formación Plaeners (Contacto superior) y la Formación Conejo (Contacto inferior zona occidental) y un contacto concordante y transicional con la Formación Chipaque. Se estima que esta unidad data de la edad Santoniano – Campaniano (Veloza Franco, 2013).

▶ Formación Plaeners (Ksgp)

Se encuentra ubicada al oriente de la Sabana de Bogotá, conformando así parte de los anticlinales de Bogotá, Machetá, San José y Sopó - Sesquilé; parte de los anticlinales de Tabio, Cota-Zipaquirá, Caldas, Nemocón, Canadá (Zona occidental); y parte de los anticlinales de Soacha, Mochuelo y San Miguel, el sinclinal de Granillas, el embalse de Muña y las localidades de Facatativá y la Calera (Zona sur) (Veloza Franco, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 2013).

De acuerdo con las características litológicas, la formación se encuentra constituida por secuencias de arcillolitas, limolitas silíceas, chert fosfático con intercalaciones de capas delgadas de areniscas de grano muy fino, areniscas fosfáticas y fosforitas con abundantes foraminíferos bentónicos (Veloza Franco, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 2013).

En la zona central y del norte de la Sabana se presenta un contacto neto concordante con la Formación Lidita Superior, mientras por otro lado, en la zona central y del sur se presenta un contacto con la Formación Arenisca Dura (Contactos inferiores). Adicionalmente, la formación presenta un contacto superior gradual rápido con la Formación Arenisca Labor-Tierna. Finalmente, esta formación pertenece a una edad entre el Campaniano Temprano y el Maestrichtiano temprano (Veloza Franco, 2013).

▶ Formación Arenisca Labor-Tierna (Ksglt)

De acuerdo con las características litológicas, la formación se encuentra constituida por capas muy gruesas de areniscas cuarzosas y feldespáticas entre blancas y grises claras de grano fino a grueso y a veces conglomeráticas, intercaladas con capas delgadas de arcillolitas grises claras. En la formación también es posible la identificación de estructuras sedimentarias como la estratificación cruzada (Veloza Franco, 2013).

Se estableció un límite determinado por un contacto rápido y concordante con la Formación Plaeners, y un contacto neto y concordante con la Formación Guaduas. Es importante señalar que las dos formaciones (Arenisca de Labor y Tierna) se agrupan por su homogeneidad litológica y expresión morfológica, pero se encuentran separadas por una secuencia de 20 m de lodolitas y arcillolitas. Finalmente, esta unidad data de la era Maestrichtiano (Veloza Franco, 2013).

Rocas del Paleógeno:

▶ Formación Guaduas (KTg)

Esta unidad aflora en los sinclinales de Río Frío, Neusa, Zipaquirá, Checua-Lenguazaque, Sesquilé Subachoque, en el sinclinal de Teusacá y en la Calera y al sur de los sinclinales de Usme y Soacha. La edad de esta unidad se encuentra entre el Maestrichtiano Tardío y el Paleoceno Temprano y presenta un contacto neto concordante con la Arenisca Tierna (Contacto inferior) y un contacto neto con la Arenisca del Cacho (Contacto superior) (Veloza Franco, 2013).

La Formación Guaduas se encuentra dividida en 3 secciones que se describirán a continuación (Veloza Franco, 2013):

- ▶ Conjunto inferior: Esta sección presenta una caracterización litológica conformada por arcillolitas gris oscuras hasta fosilíferas hacia la base. Se presentan intercalaciones de lodolitas y delgadas capas de areniscas de grano fino con estratificación ondulosa. Hacia el techo se presenta una secuencia de 90 m con mantos de carbón intercalados con capas delgadas de lodolitas, limolitas con laminación lenticular y areniscas.
- ▶ Conjunto Medio: Esta sección se encuentra identificada por dos niveles de areniscas. El segmento inferior tiene un espesor de 30 m y se encuentra constituido por areniscas de grano fino a medio en capas delgadas intercaladas con limolitas y lodolitas con laminación plano paralela. Por otra parte, el segmento superior tiene un espesor de 620 m y se encuentra conformada por intercalaciones de mantos de carbón con secuencias de lodolitas laminadas, limolitas y algunas capas de arenisca de grano muy fino y nódulos de siderita. Adicionalmente, la parte superior de este segundo segmento se encuentra conformada por areniscas de grano fino con estratificación plano paralela y conglomerados de intraclastos conformando un nivel de Arenisca Lajosa.
- ▶ Conjunto superior: Esta sección se encuentra constituida por una capa de 220 m de espesor, conformada por limolitas y arcillolitas en capas que varían entre gruesas y muy gruesas y que presentan colores rojizos, verdosos y azulosos; intercalados con areniscas de grano medio.

▶ Formación Cacho (Tpc)

Esta unidad se encuentra ubicada entre la edad del Paleoceno Medio y el Paleoceno Superior. Adicionalmente esta unidad presenta un contacto neto erosivo e inconforme progresivo con la Formación Guaduas (Contacto inferior) y un contacto neto y concordante con la Formación Bogotá (Contacto superior) (Veloza Franco, 2013).

De acuerdo con las características litológicas, la formación está constituida por medio de areniscas de grano fino a grueso de colores pardo, blanco y rosado con textura ripiosa. En la base de la unidad se presenta estratificación cruzada e intercalaciones con capas delgadas a medias de arcillas abigarradas. Finalmente, esta sección se caracteriza por tener expresiones de relieve formando crestones (Veloza Franco, 2013).

▶ Formación Bogotá (Tib)

Se presentan afloramientos en los sinclinales de Río Frío, Checua-Lenguazaque, Subachoque, Teusacá. Sesquilé y Sisga, la edad de esta unidad se encuentra ubicada entre el Paleoceno tardío y del Eoceno temprano. Adicionalmente se encuentra debajo de la Formación Regadera presentando un contacto neto concordante, y encima de la Formación Cacho presentando también un contacto neto concordante (Veloza Franco, 2013).

De acuerdo con las características litológicas, esta unidad presenta un espesor de 1095 y se encuentra constituida por el predominio de arcillolitas abigarradas, principalmente rojas, con intercalaciones de areniscas verdosas de grano fino que gradan a limolitas y arcillolitas limosas (Veloza Franco, 2013).

▶ Formación Regadera (Tir)

El nombre de esta unidad se encuentra basado en el Embalse La Regadera ubicado al sur de Usme. Los afloramientos se encuentran ubicados entre los sinclinales de Usme y Sisga. En la base se presenta un contacto concordante con la Formación Bogotá, mientras que en el techo se encuentra un contacto discordante con la Formación Usme salvo en el sinclinal de Sisga, que se presenta el mismo tipo de contacto, pero con la Formación Tilatá (Veloza Franco, 2013).

De acuerdo con las características litológicas la formación se constituye por capas entre medianas y gruesas de areniscas de tamaño medio a grueso y conglomerados que se pueden comparar con bancos detríticos que alternan con arcillas abigarradas y lodolitas arenosas de diversos colores. Composicionalmente son litoarenitas con cuarzo y líticos de chert volcánicos y metamórficos de cuarcitas y pizarras (Veloza Franco, 2013).

▶ Formación Usme (Tiu)

El nombre de esta unidad se encuentra basado en la población de Usme (Cundinamarca) y sus afloramientos se presentan en la parte superior del Sinclinal de Usme. Adicionalmente la formación presenta una edad entre el Eoceno superior y el oligoceno inferior (Veloza Franco, 2013).

De acuerdo con sus características litológicas, la unidad está compuesta por lodolitas grises claras con esporádicas intercalaciones de areniscas de cuarzo y feldespato, en capas medias paralelas. Adicionalmente esta unidad se encuentra compuesta por dos niveles, el inferior consiste en una capa de 100 m compuesto por arcillolitas cafés y grises, mientras el superior consiste en una capa de 200 m de arcillolitas limosas de carios colores intercaladas con areniscas de grano fino a medio que en el tope cuentan con capas de lignito y restos de materia orgánica (Veloza Franco, 2013).

Depósitos del Neógeno-Cuaternario:

▶ Formación Tilatá (N1t)

Denominación para grupo de areniscas de grano grueso con clastos de cuarzo que afloran en la Hacienda Tilatá en la represa del Sisga. Esta formación se encuentra dividida en los miembros Tequendama, Tigabota y Guasca. El origen de estos depósitos está asociado con la existencia de

abanicos y planicies aluviales que existieron y que son zonas disectadas y localmente tectonizadas (Montoya Arenas & Reyes Torres , 2005).

De acuerdo con sus características litológicas, la formación se encuentra constituida por dos niveles, el primero es representado por capas gruesas de arenas y gravas, donde el tamaño de grano de las arenas varía principalmente entre grano grueso y medio intercaladas con capas gruesas de gravas grano soportadas y matriz soportadas. En el techo de la unidad se encuentran intercalaciones de arenas de grano fino y muy fino. Por otro lado, el segundo nivel presenta capas muy gruesas de gravas grano soportadas con tamaños de guijos y guijarros que varían entre los 5 cm y 20 cm de forma elongada, subredondeados y con imbricación. En este nivel comúnmente se presentan lentes de arcillas y capas delgadas cuneiformes de arena (Montoya Arenas & Reyes Torres , 2005).

▶ Formación Subachoque (Q1su)

Esta unidad corresponde a un abanico aluvial explayado y aterrazado por varios kilómetros, con suaves pendientes y de origen asociado a acumulación de sedimentos aluviales.

De acuerdo con sus características litológicas, la formación se encuentra constituida por capas gruesas de gravas en el centro del valle de Subachoque, y capas gruesas de arenas arcillosas con gravas que alteran con arcillas arenosas, orgánicas o ricas en turba (Montoya Arenas & Reyes Torres , 2005).

De acuerdo con estudios realizados por huellas de fisión, la unidad se caracteriza por pertenecer al Pleistoceno temprano.

▶ Formación Río Tunjuelo (Qrtsa)

Se encuentra constituido por el depósito de sedimentos de grano grueso a lo largo de los diferentes ríos que cruzan a lo largo de la Sabana de Bogotá. Su edad corresponde al Pleistoceno y sus afloramientos se encuentran ubicados en el Valle de Guasca, el área del río Tunjuelo y cerca al municipio de Cagua.

De acuerdo con sus características litológicas, esta formación se encuentra constituida por secuencias de gravas con intercalaciones de arenas arcillosas, arcillas, arcillas orgánicas y arcillas turbosas. La capa de gravas puede presentar espesores de 80 m y está conformada por cantos redondeados de diámetros menores a 40 cm que pueden presentar gradación. Estos depósitos son de origen fluvial, presentan bajas pendientes y conforman abanicos aluviales explayados (Montoya Arenas & Reyes Torres , 2005).

▶ Formación Sabana (Qsa)

Se encuentra conformada por depósitos lacustres que afloran en la zona plana de la Sabana de Bogotá y que se encuentran catalogados por presentar una edad entre el Pleistoceno medio y el Pleistoceno tardío. De acuerdo con sus características litológicas, la formación se encuentra compuesta por 320 m de sedimentos finos, principalmente arcillas de color gris con intercalaciones en arenas finas, en la zona central. Localmente, esta unidad presenta un complejo de suelos conformado por cenizas volcánicas

► Formación Chía (Qch)

Esta formación se encuentra conformada por los depósitos de sedimentos fluviales de grano fino, que presentan afloramientos en los principales ríos y que están por debajo de las llanuras de inundación. Su edad corresponde a la era del holoceno.

De acuerdo con sus características litológicas, la formación presenta un espesor de 5m y está compuesta por arcillas de inundación y arcillas orgánicas/diatomíticas que locamente pueden contener limos fluviales. Estos depósitos forman terrazas fluviales planas y de poca pendiente que son talladas por la acción de las corrientes fluviales actuales (Veloza Franco, 2013).

Finalmente, de acuerdo con el estudio de EIAS para la estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá (PLMB) elaborada en el 2019 por INGETEC, se pudo establecer una columna estratigráfica general para toda la región de Bogotá, esta será presentada a continuación (INGETEC, 2019).

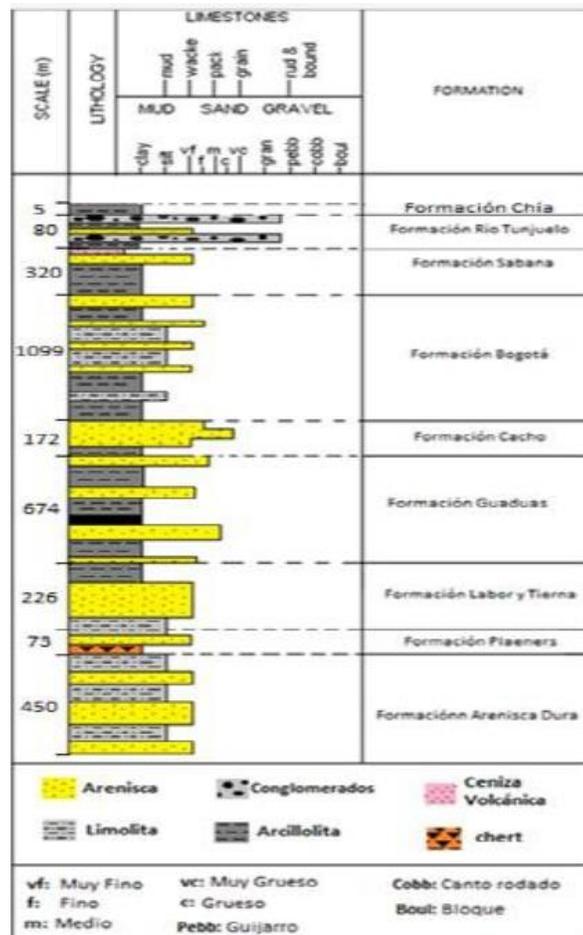


Figura 1 Columna estratigráfica general de Bogotá

FUENTE: WSP, 2021

5.1.1.3.2 Estratigrafía a nivel local

Como se mencionó previamente, de acuerdo con el análisis geológico realizado, se pudo identificar que la unidad geológica mínima presente a lo largo de la subestación y de la línea de transmisión corresponde a la Formación Sabana (INGETEC, 2019).

En la sección anterior se había realizado una descripción de la estratigrafía de la Formación Sabana, sin embargo, en esta sección se hará una profundización con el objetivo de conocer detalladamente las características litológicas y estructuras presentes en el área de influencia.

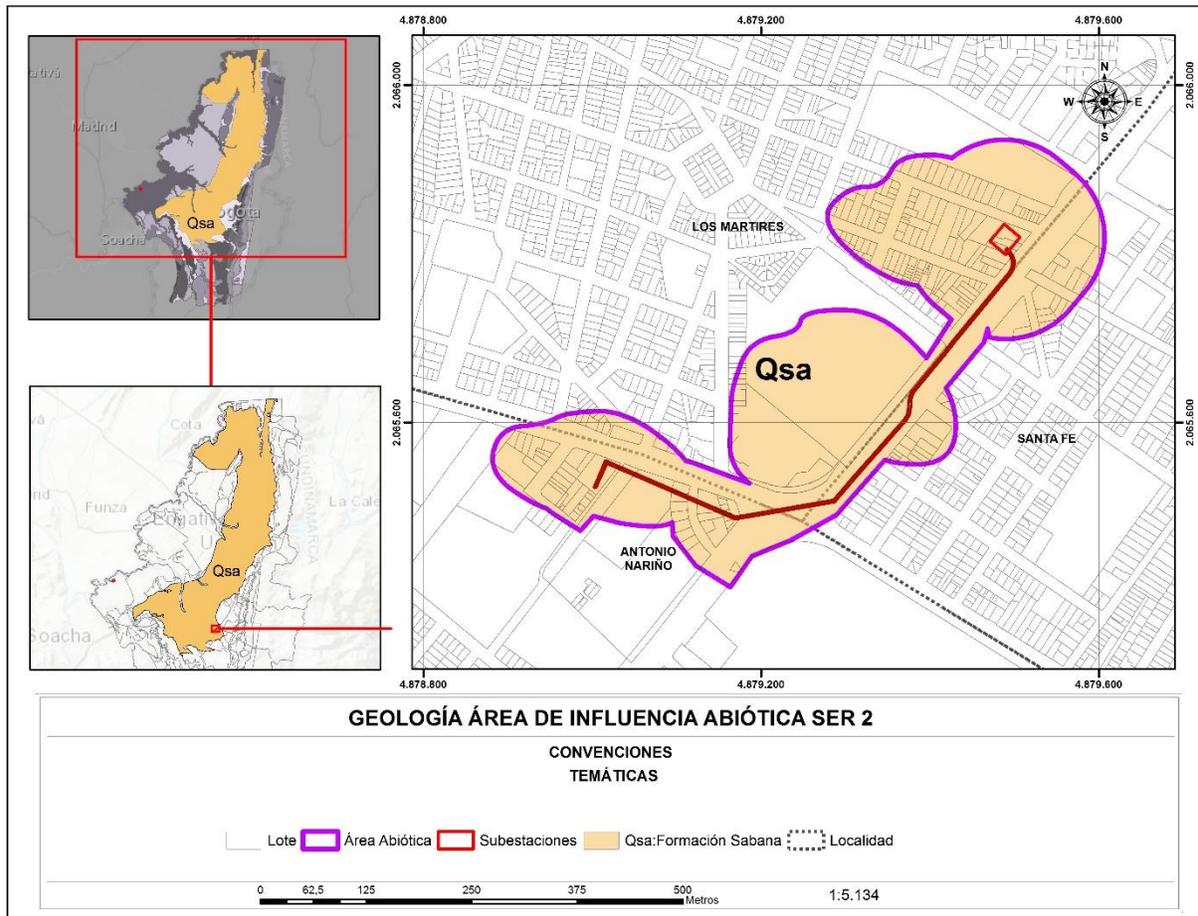


Figura 2 Componente geológico dentro del área de influencia

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

- ▶ Ubicación geográfica: Esta unidad geológica presenta aflora en toda la zona plana que conforma la Sabana de Bogotá (Montoya Arenas & Reyes Torres , 2005).
- ▶ Características litológicas: La unidad presenta un espesor de máximo 320 metros y está compuesta por sedimentos finos, adicionalmente, en la capa superior presenta dos metros de suelos constituidos por cenizas volcánicas en general son arcillolitas grises con locales

intercalaciones de arenas finas y niveles delgados de gravas y turbas (Montoya Arenas & Reyes Torres , 2005).

- ▶ Edad y posición estratigráfica: La Formación Sabana se encuentra suprayaciendo la Formación Subachoque y por medio de dataciones de carbono-14 se reporta una edad del Pleistoceno medio superior (Helmens, 1991) (Montoya Arenas & Reyes Torres , 2005).



Figura 3 Características geológicas del área de estudio

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

De acuerdo con el EIAS para la estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá (PLMB) elaborada en el 2019 por INGETEC, la columna estratigráfica de la zona corresponde a la siguiente figura.

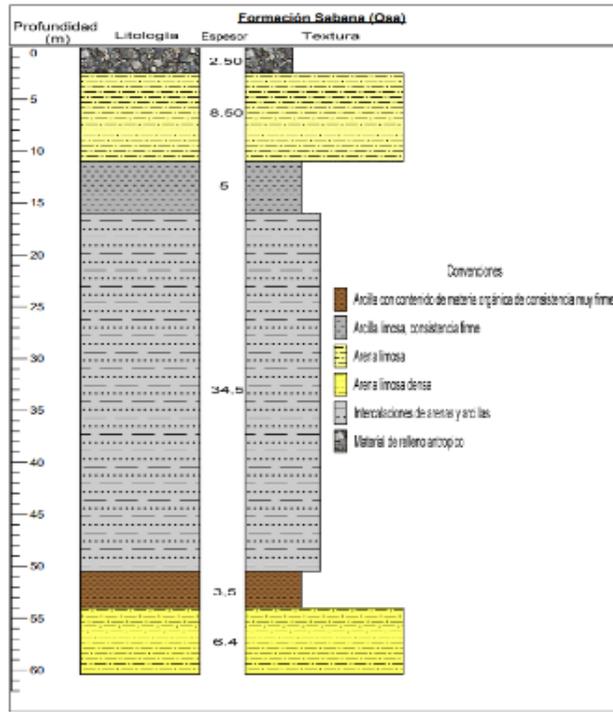


Figura 4 Columna estratigráfica de la Formación Sabana

FUENTE: WSP, 2021

La columna estratigráfica presenta un grosor menor de 60 metros y se encuentra constituida principalmente por arcillas y arenas. De acuerdo con el esquema, se pudieron evidenciar 6 estratos, el inferior consiste en una arena limosa densa de 5 metros de espesor, esta se encuentra suprayacida por una capa de 4 metros de espesor compuesta por arcilla con contenido de materia orgánica. La tercera capa es la más extensa abarcando un espesor de casi 35 metros en los que se presentan intercalaciones de arenas y arcillas, la cuarta capa está compuesta por un estrato de 5 metros constituido por arcilla limosa, este estrato se encuentra suprayacido por arena limosa con un espesor de 4 metros; como en casi todas las regiones de Bogotá la capa superior está constituida por relleno antrópico, con un espesor aproximado de 2 metros.

Finalmente, se realizó un perfil geológico tratando de abarcar la mayor distancia presente en el área de influencia, este solo muestra una única unidad geológica representada por la Formación Sabana (Qsa). Adicionalmente puede observarse una variación en la topografía de menos de 10 metros y no se encuentra ningún tipo de estructura como pliegues o fallas.

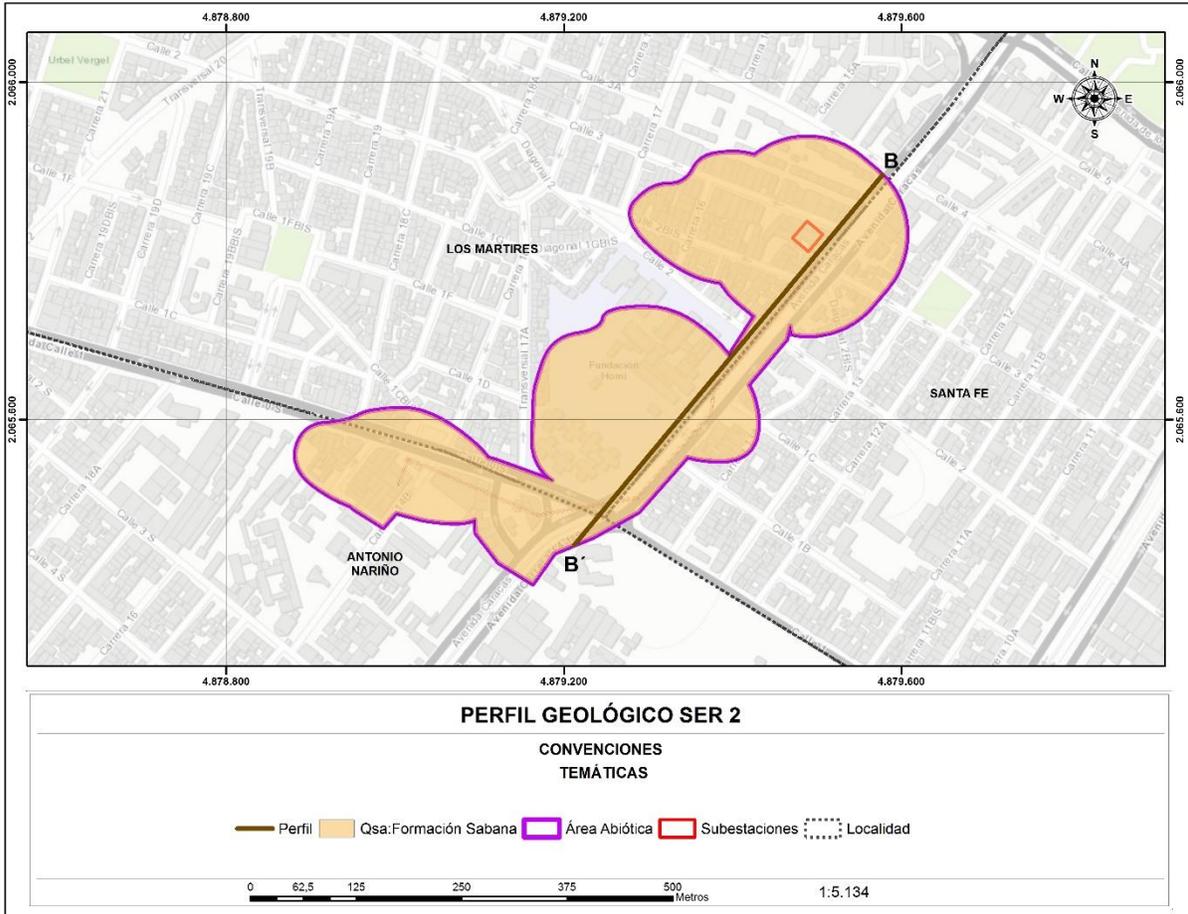


Figura 5 Perfil geológico del área de influencia

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

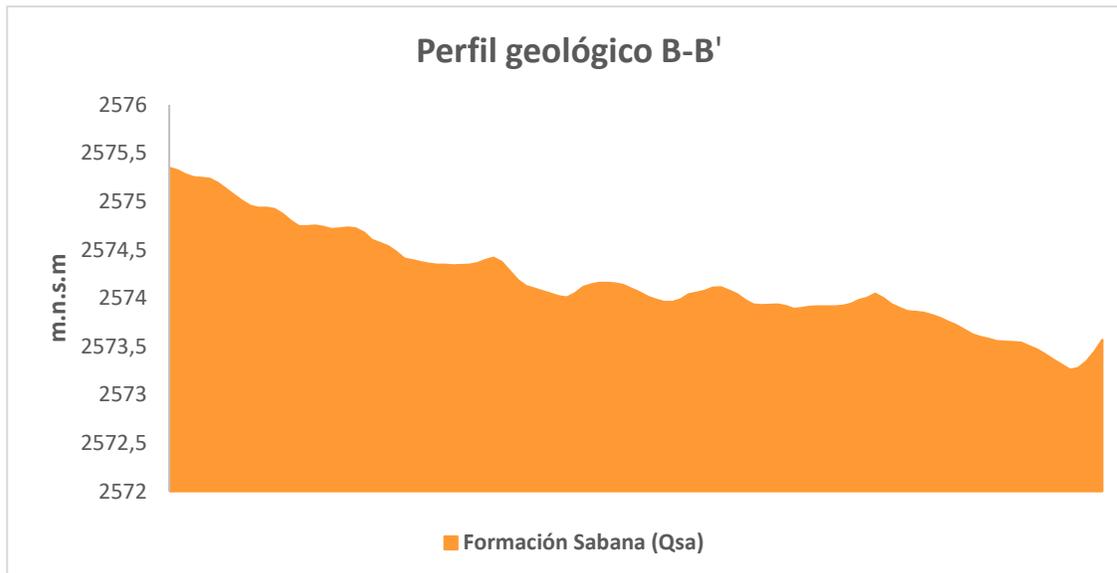


Figura 6 Perfil geológico del área de influencia

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.1.4 Definición de unidades geológicas superficiales

De acuerdo con Hermelin la unidad geológica superficial se encuentra definida como “El conjunto de materiales que conforman la superficie de la tierra hasta profundidades del orden decenas de metros” (Montoya Arenas & Reyes Torres , 2005), en otras palabras, estas formaciones están compuestas por suelos y por rocas. De acuerdo con Salazar (1995) las unidades superficiales son cuerpos correlativos de los procesos morfodinámicos, debido a acciones de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie.

Para la caracterización por medio de unidades geológicas superficiales (UGS) del presente proyecto, se siguieron las normas establecidas en el documento “Propuesta Metodológica para la cartografía geológica aplicada a la ingeniería” desarrollada en el “Proyecto: Compilación y levantamiento de Información Geomecánica” (Padilla Acosta, Jiménez Vanegas, Romero Ballén, Montero Olarte, & Calderon, 2004).

Las unidades geológicas superficiales son rocas y suelos que comprenden:

- ▶ Rocas y sus estructuras
 - ▶ Suelos residuales y saprolitos
 - ▶ Depósitos transportados (cualquier ambiente o de gravedad)
 - ▶ Depósitos de origen volcánico
- ▶ Parámetros usados en la definición de las unidades geológicas superficiales

Para la clasificación de estos componentes se debe tener en cuenta el principio de que los materiales en su estado actual dependen de la combinación de variables como el origen, la diagénesis, la historia tectónica, el metamorfismo, los procesos de meteorización, entre otros.

La caracterización de unidades geológicas se da a través del estudio de 5 variables que serán descritas a continuación (Padilla Acosta, Jiménez Vanegas, Romero Ballén, Montero Olarte, & Calderon, 2004)

- ▶ Litología: Este parámetro estudia la composición mineralógica y la forma en que estos componentes se interrelacionan, es decir, es el estudio de la textura y composición de cuerpos rocosos y suelos
 - ▶ Dureza: Esta característica corresponde a la resistencia de los materiales a ser rayados por otro material. Para este procedimiento se evaluó la afectación del material por un golpe de martillo
 - ▶ Condición de discontinuidades: Este parámetro se refiere al conocimiento de estructuras como las fracturas, las diaclasas, la estratificación, la foliación, la laminación, entre otras.
 - ▶ Meteorización: Proceso de descomposición química y física de los materiales como consecuencia de efectos naturales (Tectónica, cambios de temperatura, oxidación). Este concepto es muy importante ya que la meteorización causa efectos sobre la resistencia y comportamiento de la deformación de materiales rocosos.
 - ▶ Rasgos estructurales: Constituida por procesos geodinámicos endógenos, propios de la evolución de la corteza terrestre. Se deben examinar estructuras como pliegues, diaclasas, fallas, entre otros.
- ▶ Nomenclatura para las unidades geológicas superficiales

La simbología de las unidades geológicas superficiales usadas en el presente proyecto sigue los lineamientos planteados por el Servicio Geológico Colombiano (2004). La nomenclatura usada se presentará a continuación (Padilla Acosta, Jiménez Vanegas, Romero Ballén, Montero Olarte, & Calderon, 2004).

Tipo de Material	Unidades	Origen	Tipo de U.G.S	Simbolo/Composición	Simbología Resumida	COLOR
SUELOS (S)	Transportados (St)	Fluvial (Stf)	Aluviones de lechos fluviales	Stf/ta,lm	Stf1	342
			Lienzo de inundación	Stf/ta,ar	Stf2	66
			Terzaca aluvial	Stf/ta,gr	Stf3	48
			Abenico/cono-aluvial	Stf/ab-co,gr,ar	Stf4	44
			Depósitos lomeriales	Stf/ta,bl,gr,ar	Stf5	53
			Depósitos lomeriales	Stf/ta,bl,gr,a	Stf6	63
		Lagunar (Stl)	Depósitos lacustres	Stl/a,lm	Stl1	255
			Depósitos paludales	Stl/a,lm,tur	Stl2	290
			Depósitos fluvio-lacustres	Stl/ta,a,gr	Stl3	300
		Glaciar (Stg)	Morrenas	Stg/mn,bl,gr,ar	Stg1	40
			Tilitas	Stg/tl,gr,ar	Stg2	47
		Fluvio-Glaciar (Stfg)	Abenicos fluvio-glaciares	Stfg/ab,gr,ar	Stfg1	61
			Terzacas fluvio-glaciares	Stfg/ta,gr,ar,a	Stfg2	58
		Volcanico (Stv)	Depósitos de ceniza	Stv/cm,ar,a	Stv1	127
			Lapilli	Stv/ta,bl,gr,ar,lm	Stv2	131
			Tefras	Stv/t	Stv3	130
			Lahares	Stv/ta,bl,gr,ar	Stv4	133
			Flujos de piroclastos	Stv/ta,gr,ar,lm	Stv5	134
			Flujos de lodo volcánicos	Stv/ta,lar,lm,a	Stv6	132
			Igrombitas	Stv/igni	Stv7	128
			Coladas de lava	Stv/cd,ar,lm,a	Stv8	129
			Depósitos de leona	Stv/ta,lm	Stv9	110
			Depósitos de duras	Stv/cd,ar,lm	Stv2	100
		Eolico (Ste)	Bajares	Ste/b,ar,lm	Ste3	102
			Depósitos de deltas	Ste/cd,ar,lm	Ste1	98
			Barras	Ste/b,ar,a,bl	Ste2	109
		Costero (Stc)	Playas	Stc/pla,ar,lm	Stc3	115
			Arrecifes	Stc/ta,ar	Stc4	108
			Terzacas	Stc/ta,ar,a,gr	Stc5	40
			Planicies	Stc/pla,lm	Stc6	95
	Coluviones		Stc/cr,a,bl	Stc1	13	
	Taluz/cono de taluz		Stc/tl,cl,gr	Stc2	1	
	Coluvial (Stc)	Derrubios de pendiente	Stc/bl,fr,gr	Stc3	29	
		Flujos (de lodo, arena y de escombros)	Stc/tl,lar,gr,lm	Stc4	31	
		De Rocas Sedimentarias (Sra)	S.r. de roca parental de textura clástica cementada y granulometría gruesa arenítica y conglomerados	Sra/ar,cng	Sra1	91
			S.r. de roca parental de granulometría fina; arcilitas, limolitas y arenitas	Sra/a,lm,ar	Sra2	104
	De Rocas Igneas Intrusivas o extrusivas (Sri-Sra)	S.r. de roca parental de textura cristalina masiva y granulometría gruesa	Sri/ar,lm,a	Sri1	204	
		S.r. de roca parental de composición básica y granulometría fina	Sra/a,lm,ar	Sri2	196	
	De rocas Igneas Volcanicas (Sriv)	S.r. de roca parental de origen volcánico y granulometría fina a gruesa	Sriv/ar,lm,a,bl	Sriv1	268	
	De Rocas Metamórficas (Srm)	S.r. de roca parental de textura cristalina y bien foliada	Srm/a,lm,ar	Srm1	125	
		S.r. de rocas parentales de textura cristalina masivas y granulometría gruesa (cuarcita, mármol, náser)	Srm/ar,a,lm	Srm2	120	
	Depósitos Antropicos (Sa)	Depósitos Antropogenicos	Reellenos sanitarios o de basuras	Composición heterogénea	Srab	480
			Reellenos de excavaciones o de escombros o botaderos	Composición heterogénea	Sraae	382

Figura 7 Clasificación de unidades geológicas superficiales para suelos

FUENTE: COMPILACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN GEOMECAÁNICA.
ELABORADO POR INGEOMINAS EN EL 2004.

TIPO DE MATERIAL	UNIDAD	SIMBOLO	COLOR
ROCAS R	BLANDAS (Resistencia baja $\sigma_c < 1000$ Kg/cm ²)	Rb	216
	INTERMEDIAS (resistencia intermedia a alta σ_c de 1000 a 2000 Kg/cm ²)	Ri	169
	DURAS (Resistencia alta a muy alta. $\sigma_c >$ de 2000 Kg/cm ²)	Rd	257

Figura 8. Clasificación de unidades geológicas superficiales para rocas

FUENTE: COMPILACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN GEOMECÁNICA.
ELABORADO POR INGEOMINAS EN EL 2004.

► Definición de unidades geológicas superficiales:

De acuerdo con los lineamientos establecidos por el Servicio Geológico Colombiano (2004) para la definición de unidades geológicas superficiales, examinando las variables de litología, dureza, condiciones de las discontinuidades, grado de meteorización y rasgos estructurales; en el área de influencia se presentan dos unidades conocidas como Depósitos Fluvio lacustres (Stlf1) y Coluviones (Strc1). A continuación, se presentará la descomposición y características de esta unidad.

Tabla 2 Unidades geológicas superficiales en el área del proyecto

Tipo de material	Unidad	Origen	Tipo de UGS	Símbolo/Com posición	Simbología resumida	Area (ha)	Area %
Suelos (S)	Transportados (St)	Fluvio Lacustre (Stl)	Depósitos fluvio lacustres	Stlf/ar,a,gr	Stlf1	13,38	95,64
Suelos (S)	Translocado (St)	Coluvial (Strc)	Coluviones	Strc/ar,a,bl	Strc1	0,61	4,36
Total						13,99	100

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

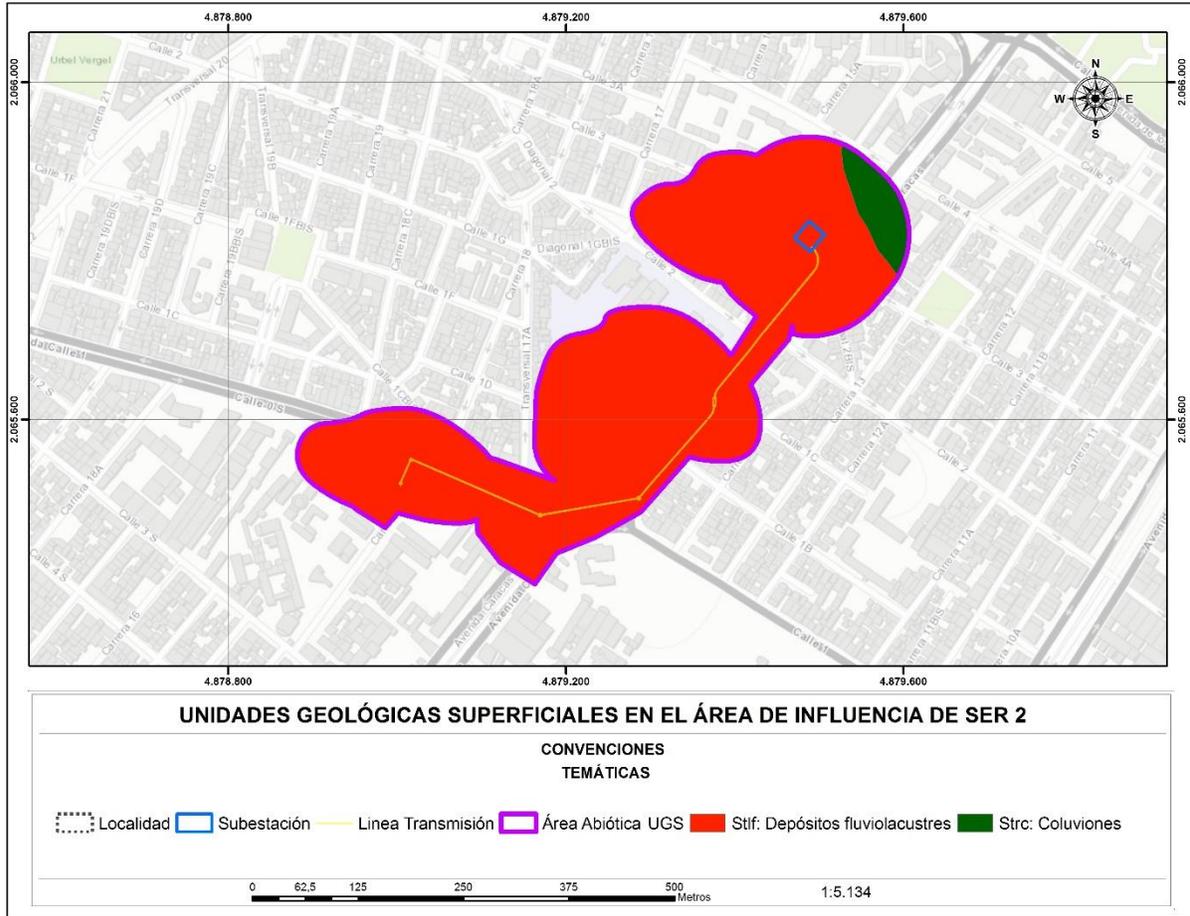


Figura 9 Unidades geológicas superficiales en el área de interés

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.2 Geología Estructural/Tectónica

5.1.2.1 Geología estructural a nivel regional:

La cuenca del río Bogotá se encuentra ubicada geográficamente en el plano axial y flanco occidental de la Cordillera Oriental. Esta región presenta zonas de alta complejidad estructural como consecuencia de episodios tectónicos presentados durante el Cretácico temprano y de esfuerzos compresivos durante la Orogenia Andina en el Mioceno Medio (CAR, 2019).

El desarrollo del proyecto y el área de influencia se encuentran ubicadas en la cuenca media del río Bogotá. Esta región se caracteriza por comprender toda la zona central de la Sabana de Bogotá y parte de la zona del Tequendama. Adicionalmente en la zona se presentan dos tipos de estructuras: La primera se presenta al oriente de la región y se encuentran representadas por fallas de cabalgamiento que tienen vergencia al oriente, por otro lado, la segunda se encuentra representada por fallas

secundarias asociadas a retrocabalgamientos con dirección NW-SE y vergencia al occidente (CAR, 2019). Las principales fallas de la zona se encuentran descritas a continuación:

- ▶ Falla Porvenir: Estructura ubicada en el occidente de la Serranía de Chía – Cota y se extiende hacia el norte hasta Zipaquirá. El tipo de estructura es una falla inversa con vergencia al occidente, en la parte sur se encuentra localizada debajo de los depósitos cuaternarios, por otra parte, en el sector norte afecta las formaciones Dura, Plaeners y Labor-Tierna, esta última cabalga sobre la Formación Guaduas, por lo que su desplazamiento va siendo menos importante. Finalmente, en Zipaquirá queda involucrada en el bloque fallado que existe a causa del diapirismo de sal (CAR, 2019).
- ▶ Falla de Subchoque: Esta estructura aborda el flanco occidental de la Serranía de Tibio – Tenjo, desde la Falla Chital al norte y se extiende por debajo del relleno cuaternario en la parte central de la Sabana de Bogotá. Esta falla inversa presenta rumbo N10°-45°E, con vergencia al occidente y genera un contacto entre las formaciones Labor-Tierna, Paleners y Dura con la Formación Guaduas. Finalmente, de esta falla componen 2 fallas menores con rumbo N60°E que terminan en la Falla Chital entre las localidades de Tabio y Tenjo (CAR, 2019).
- ▶ Falla de Teusacá: Esta estructura bordea la zona oriental del valle del río Teusacá, desde la zona de Salitre hasta la zona sureste del área de la Sabana de Bogotá. Su trazo presenta diversas direcciones al sur presenta N10°E, en la Calera es E-W y en el norte varía entre N10°E y N10°W. Esta falla es de tipo inversa con vergencia al occidente y genera un contacto entre las formaciones Labor-Tierna, Paleners y Dura con la Formación Guaduas (CAR, 2019).
- ▶ Falla de Bogotá: Esta estructura bordea los cerros orientales y tiene una extensión limitada en el sur por el Páramo Sumapaz, hasta el norte de Bogotá. Esta falla presenta un rumbo de N10°E, es inversa, presenta una vergencia al occidente y su plano de falla se encuentra inclinado hacia el oriente (CAR, 2019).
- ▶ Sistema de Fallas de Soacha: Estructura localizada al oriente de la Falla de Sibaté hasta el Anticlinal de Mochuelo. El sistema está compuesto por múltiples fallas que producen un bloque levantado muy fragmentado con pliegues discontinuos tumbados y ejes oblicuos. Las principales fallas que lo componen son la de Cajitas, Sibaté y Santa Bárbara (CAR, 2019):
 - ▶ Falla de Cajitas: Esta estructura se encuentra bordeando el flanco oriental del Sinclinal de Soacha, presenta un comportamiento inverso con vergencia al occidente que produce un contacto entre las Formaciones Labor-Tierna, Plaeners y Arenisca Dura sobre la Formación Guaduas. Finalmente, hacia el norte queda cubierta por depósitos cuaternarios de la Sabana.
 - ▶ Falla de Sibaté: Estructura ubicada al oriente de Sibaté, presenta un rumbo N10°W (Desde Soacha hacia el sur), sin embargo, presenta una bifurcación en la localidad de Sibaté tomando rumbos de N45°E y N10°E. La falla se caracteriza por ser de tipo inversa con

vergencia al occidente generando un contacto entre las Formación Arenisca Dura y Plaeners sobre la Formación Labor-Tierna

- ▶ Falla de Santa Bárbara: Estructura ubicada en la región de Mondoñedo y Soacha, dentro de la unidad geológica del Grupo Guadalupe, con dirección SE-NW y movimiento transcurrente sinextral. El trazo de la falla se caracteriza por tener un rumbo N45°W y por ser una falla inversa con vergencia al suroccidente. Adicionalmente, la Falla de Santa Bárbara divide Mondoñedo y Soacha en dos secciones, en el bloque sur se presenta un terreno montañoso con estructuras de dirección noreste, plegadas y falladas, mientras que en bloque norte se presentan fallas de cabalgamiento con vergencia al occidente producidas por el ensanchamiento de la estructura de la Sabana.
- ▶ Sistema de Fallas del río Tunjuelito: Estructuras ubicadas entre el río Tunjuelito y el Embalse de El Muña, se encuentra constituida por fallas de cabalgamiento con dirección de N-S que cambia de dirección en su trazado en dirección norte. Adicionalmente, las fallas que componen este sistema se encuentran caracterizadas por presentar su plano inclinado al occidente generando que el Grupo Guadalupe cabalque entre sí y sobre las formaciones Guaduas, Bogotá y Regadera (CAR, 2019).
- ▶ Sistema de Fallas de Facatativá: Estructura ubicada al norte del municipio de Zipacón y al sur de Bogotá. Las fallas presentan dirección N50°W, tienen vergencia nororiental y finalizan en el sector occidental con frentes de cabalgamiento dirección N10°E (CAR, 2019).
- ▶ Sistema de Fallas del Tequendama: Estructura ubicada entre el embalse del Muña y el Salto del Tequendama, se encuentra compuesto por 3 fallas con vergencia al occidente. Estas fallas presentan rumbo N-S en la zona del Alto de San Miguel y N30°W al norte del río Bogotá (CAR, 2019).
- ▶ Sistema de Fallas de Mondoñedo: Estructura derivada de la Falla de Santa Bárbara, que se extiende hacia el noroccidente de la localidad Bojacá. El sistema se encuentra constituido por mínimo 4 fallas inversas con vergencia al occidente, movimiento transcurrente sinextral y con rumbo variable entre N10°W a N40°W (CAR, 2019).
- ▶ Falla de La Delicia: Esta falla corresponde a una estructura de cabalgamiento con vergencia de cabalgamiento y dirección N35°W. La estructura se encuentra delimitada por la población de Zipacón (CAR, 2019).

En la siguiente figura se podrá observar la ubicación geográfica de cada una de estas estructuras.

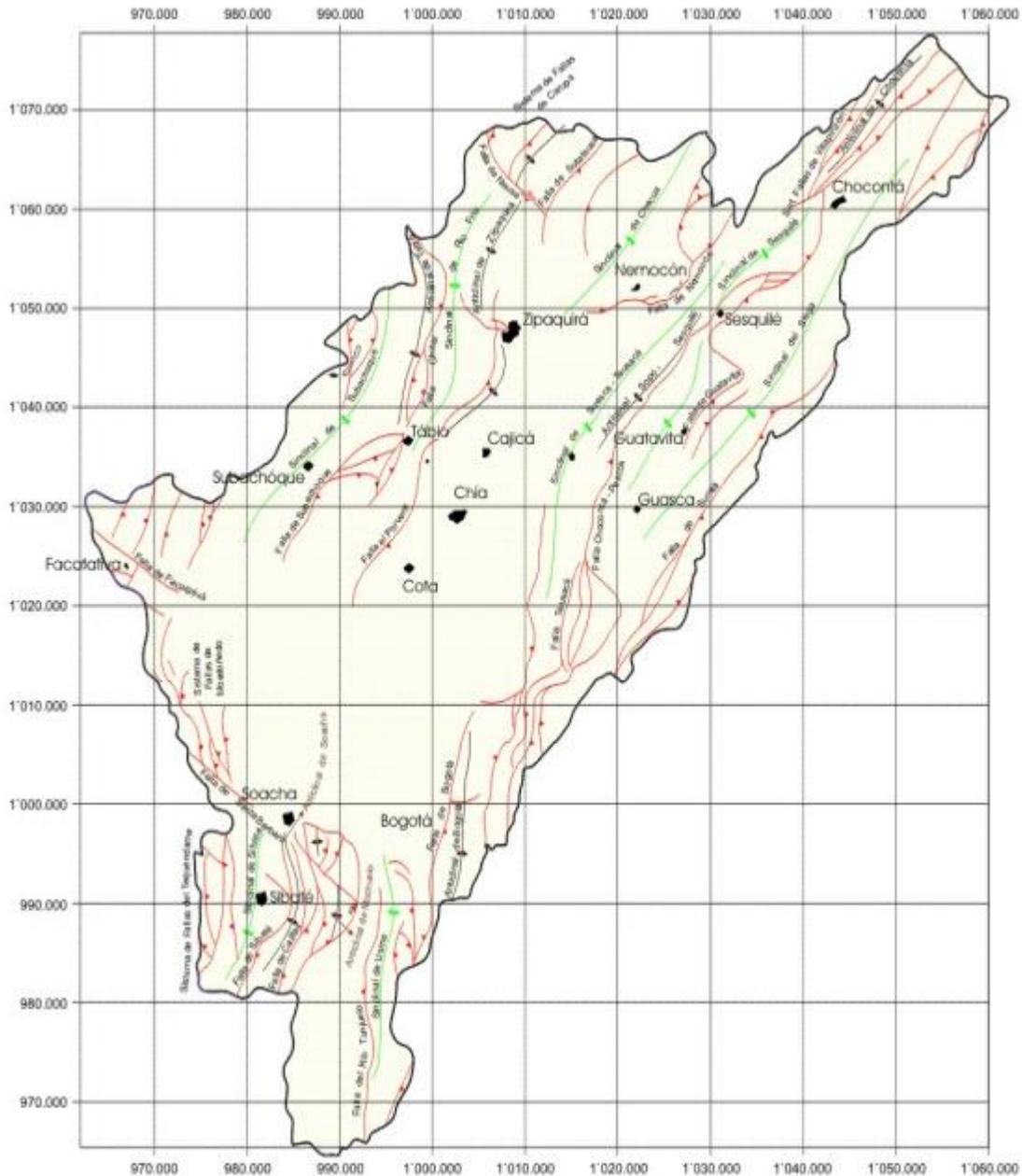


Figura 10 Estructuras geológicas en la Sabana de Bogotá.

FUENTE: GEOLOGÍA DE LA SABANA DE BOGOTÁ. ELABORADO POR INGEOMINAS, 2005.

5.1.2.2 Geología estructural a nivel local

De acuerdo con la búsqueda de información secundaria realizada, el área de estudio de la SER 2 junto con la línea de transmisión a 115 kV, no se encuentra ubicada sobre alguna estructura geológica como pliegues o fallas que presenten algún tipo de afectaciones. Sin embargo, se debe tener en cuenta que

estas estructuras son cubiertas por sedimentos cuaternarios existentes a lo largo de la Sabana de Bogotá.

5.1.3 Amenazas naturales

Las amenazas naturales se encuentran definidas como aquellos procesos geológicos, hidrológicos, climatológicos y atmosféricos que tienen un potencial de daño para la población. De acuerdo con la intensidad con que se presenten estos fenómenos también se pueden presentar catástrofes representadas por la pérdida de vidas, los danos de infraestructuras y pérdidas económicas para la región afectada (Universidad Nacional de San Luis, 2010).

De acuerdo con los términos de referencia conocidos bajo el nombre de “Estudios de Impacto Ambiental para las líneas de transmisión”, en el área de estudio se evaluaron las amenazas naturales relacionados con la remoción en masa y la sismicidad. Adicionalmente se tuvo en cuenta las amenazas por inundaciones de acuerdo con los grandes ríos que cruzan por la ciudad de Bogotá.

Las amenazas naturales evaluadas en el área de estudio fueron realizadas teniendo en cuenta las siguientes fuentes de información:

- ▶ Amenaza sísmica de acuerdo con los factores evaluados por el Servicio Geológico Colombiano.
- ▶ Microzonificación sísmica de Bogotá, 2010.
- ▶ POMCA de la actualización del río Bogotá (2019).
- ▶ Mapa de amenaza por remoción en masa para Colombia y Santa fe de Bogotá.
- ▶ Escenarios de amenaza para Bogotá de acuerdo con publicaciones del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático-Ambiente.

5.1.3.1 Amenaza sísmica

De acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano, las amenazas sísmicas son definidas como la severidad y frecuencia de sismos que pueden ocurrir en un sitio específico. La sismicidad en el territorio colombiano está asociada con la convergencia de las placas Nazca, Sur América y Caribe. Adicionalmente estos movimientos del suelo pueden tener un alto potencial destructivo generando grandes afectaciones tanto a estructuras como a personas a lo largo el territorio nacional (Servicio Geológico Colombiano (SGC) – Grupo de Amenaza Sísmica, 2018).

El Servicio Geológico Colombiano evalúa la amenaza a través de los siguientes parámetros: Intensidad máxima observada, intensidad sísmica esperada y zonas de amenaza NSR-10. A continuación, se analizará cada una de las variables para el área de influencia del presente proyecto.

5.1.3.1.1 Intensidad sísmica observada

El objetivo de esta variable es representar los efectos causados por los sismos en las diferentes regiones del territorio colombiano (Sarabia Gómez, 2015). En el 2015 el Servicio Geológico realizó un mapa de intensidades máximas en Colombia que se estudiará en esta sección.

Para el desarrollo de este trabajo el SGC evaluó la intensidad de 73 eventos generados entre los años 1644 y 2013 y clasificó cada uno de estos episodios en las siguientes categorías.

Tabla 3. Clasificación de intensidad sísmica observada

Grado de intensidad	Convención	Convención
4		Observado ampliamente
5		Fuerte
6		Daño leve
7		Daño moderado
8		Daño severo
9		Destructivo

FUENTE: INTENSIDAD MÁXIMA OBSERVADA DEL 2015. ELABORADO POR EL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

El área de influencia del presente proyecto exhibe un grado de intensidad 7 (De daño moderado) que de acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano presenta los siguientes efectos (Sarabia Gómez, 2015)

- ▶ Social: La mayoría se asusta y corre al exterior.
- ▶ Infraestructura: Los muebles y objetos caen desde sus posiciones, la infraestructura ordinaria bien construida sufre daños moderados (Grietas largas en muros, caída de revestimiento, caída de chimeneas) y los edificios más vulnerables pueden presentar grietas en las paredes y muros.

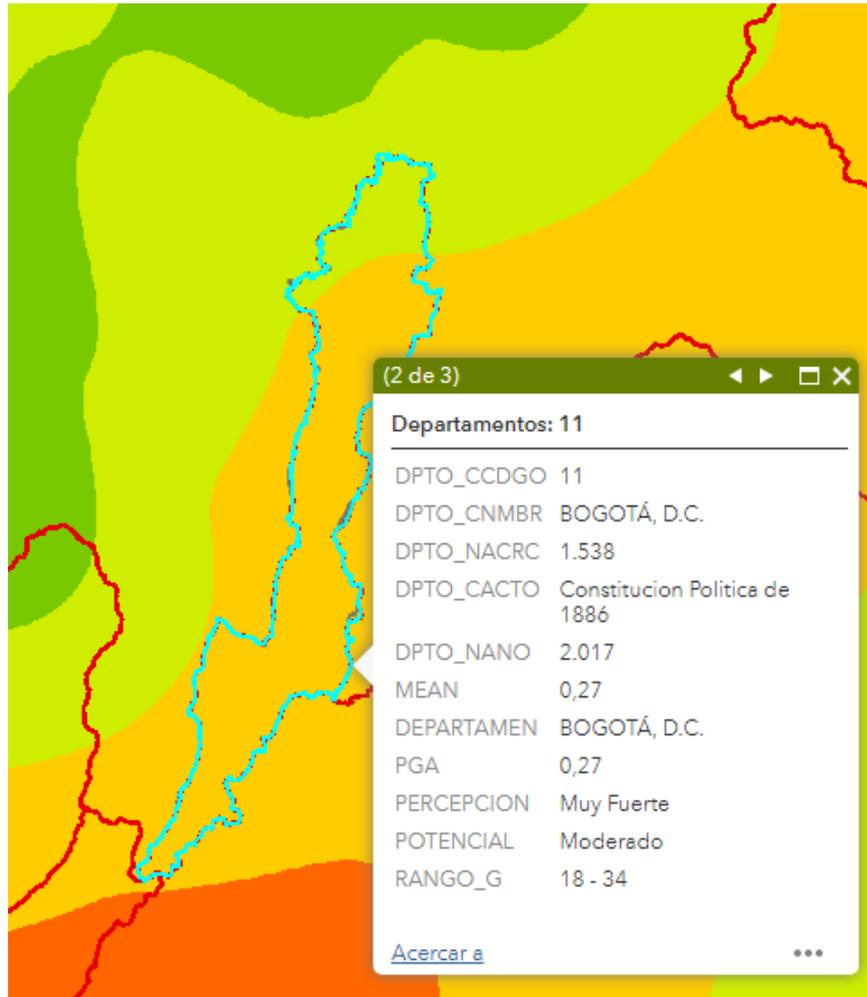


Figura 11 Intensidad máxima observada para la ciudad de Bogotá, D.C.

FUENTE: SGC, 2015

5.1.3.1.2 Intensidad sísmica esperada

El objetivo de esta variable es representar los efectos causados por futuros sismos en las diferentes regiones del territorio de colombiano. En el 2015 el Servicio Geológico Colombiano realizó un mapa de intensidades sísmicas determinado por medio del promedio de la velocidad de onda en los primeros 30 metros del suelo.

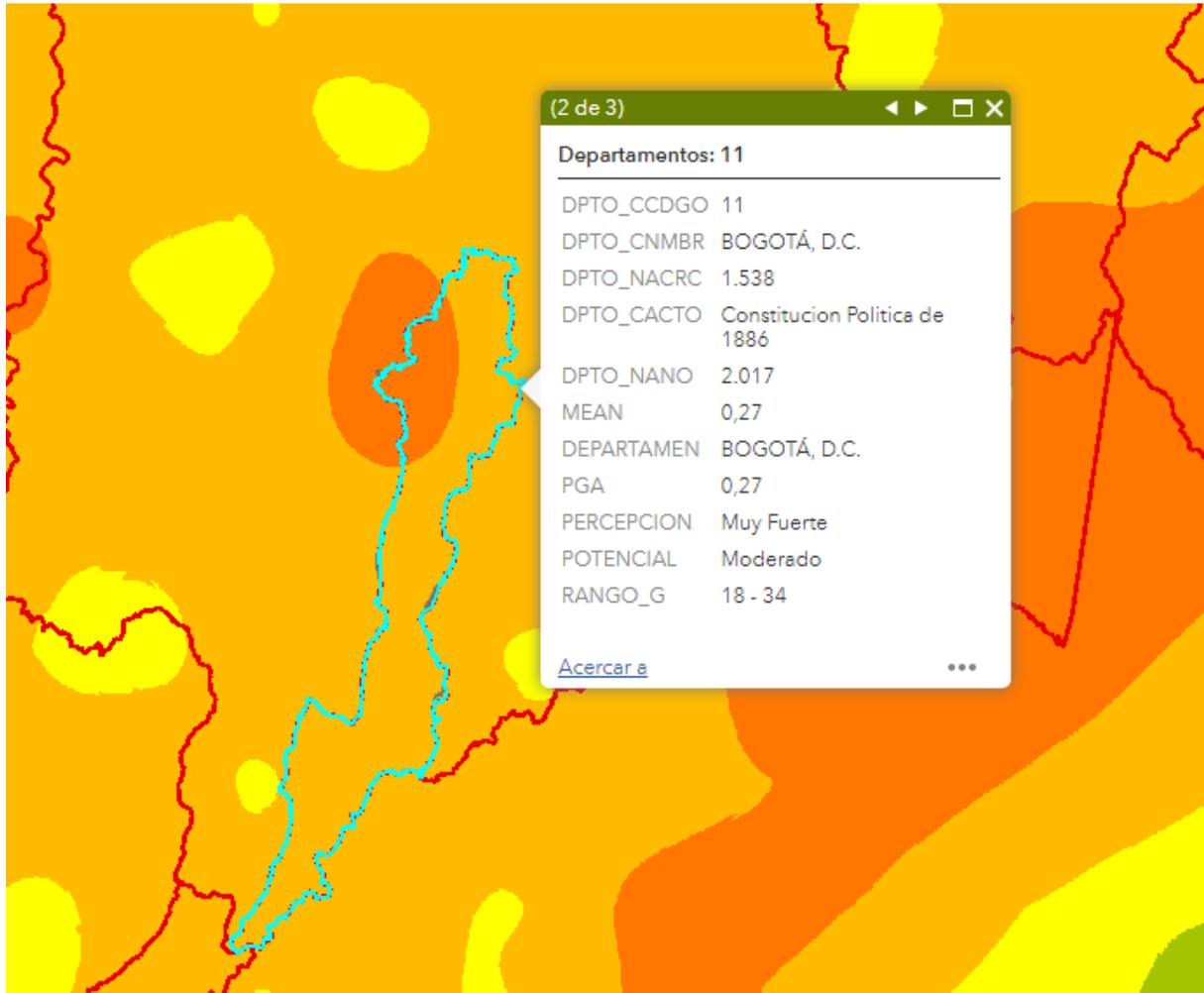


Figura 12 Intensidad máxima observada para la ciudad de Bogotá, D.C.

FUENTE: SGC, 2015

De acuerdo con el mapa de intensidad sísmica esperada, la ciudad de Bogotá se encuentra catalogada como una zona de percepción del movimiento muy fuerte con daño potencial moderado y PGA de entre 18 y 34%.

5.1.3.1.3 Nivel de Amenaza Sísmica (NRS-10)

Por medio del nuevo reglamento de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10) se elaboró un mapa que ejemplifica la zonificación sísmica del país, este método clasifica el territorio colombiano en tres categorías: alta, media y baja.

El área de influencia del presente proyecto se caracteriza por presentar una amenaza sísmica intermedia.

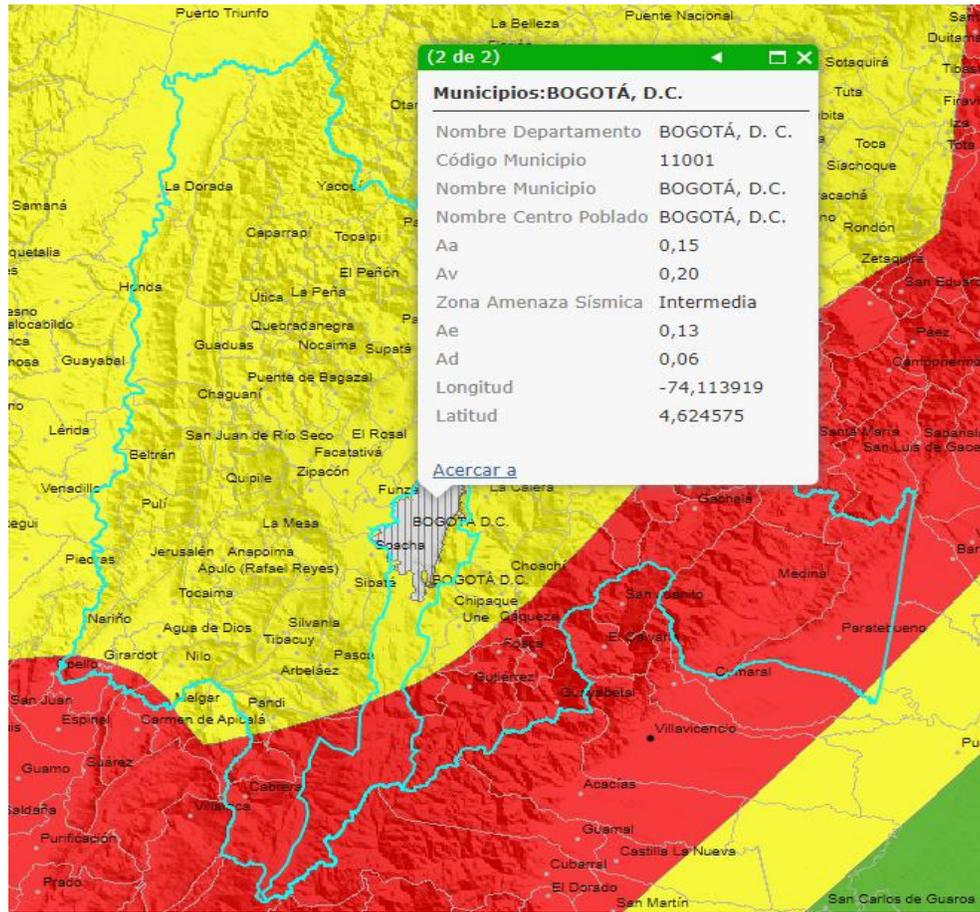


Figura 13 Zonas de amenaza sísmica (NSR-10) para Cundinamarca.

FUENTE: SGC, 2015.

5.1.3.1.4 Catálogo sísmico

Para realizar una evaluación más detallada se identificó el historial sísmico ocurrido en la ciudad de Bogotá. La fuente que proporcionó esta información fue el Servicio Geológico Colombiano por medio de la página web “Sismicidad histórica de Colombia”.

En este catálogo inicialmente se hizo una búsqueda de sismos que presentaron algún tipo de intensidad en el centro poblado de Bogotá; los resultados obtenidos indicaron que desde 1644 se han registrado un total de 53 eventos. A continuación, se presentará un histograma con la representación de cada uno de estos.

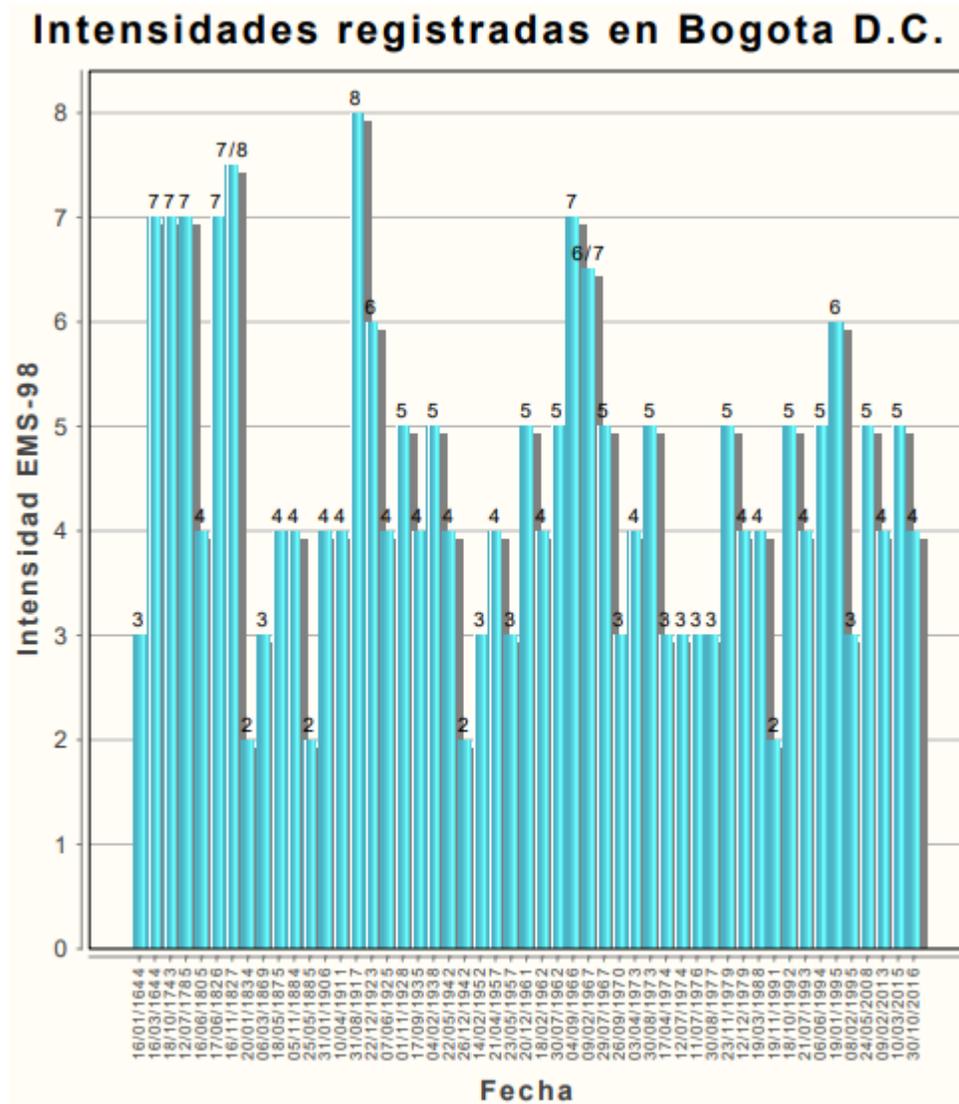


Figura 14. Histograma sísmico de Bogotá, D.C.

FUENTE: HISTOGRAMA SÍSMICO DE BOGOTÁ D.C. ELABORADO POR SGC. EN

https://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irATablaCompleta&opciones=MAPA_ACTUAL_MUNICIPIOS11001DEPTO11

De acuerdo con el histograma, en la ciudad de Bogotá se han percibido múltiples sismos que varían en un rango de intensidades entre 3 y 8, sin embargo, la mayoría de estos presentan intensidades bajas. En el presente estudio se evaluarán únicamente los sismos con epicentro en el departamento de Cundinamarca, a continuación, se presentarán las características de cada uno de estos.

Tabla 4 Caracterización de eventos sísmicos en el departamento de Cundinamarca

Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Magnitud	Tipo de Magnitud	Profundidad (Km)	Centro Poblado	Int. Sitio (EMS-98)	Intensidad Maxima EMS-98	Int. Sitio (MM)	Intensidad Maxima MM	Área epicentral
1644/03/16	12:00	4.46	-74.04	5.5	MW	15	Bogotá	6	7	7	8	Chipaque, Cundinamarca
1644/03/16	12:00	4.46	-74.04	5.5	MW	15	Tunjuelo	7	7	8	8	Chipaque, Cundinamarca
1743/10/18	10:45	4.44	-73.83	6.2	MW	15	Bogotá	7	8	7	8	Fómeque, Cundinamarca
1785/07/12	07:45	2.98	-74.37	7.1	MW	10	Bogotá	7	7	8	8	Suroriente De Cundinamarca, Cundinamarca
1923/12/22	04:56	4.56	-73.51	5.9	MW	15	Bogotá	6	8	7	8	Medina, Cundinamarca
1942/05/22	05:30	4.44	-74.64	5.7	MW	15	Bogotá	4	7	5	7	Girardot, Cundinamarca
1966/09/04	17:15	4.62	-73.98	5.3	MW	15	Usme	7	7	8	8	Choachí, Cundinamarca
1966/09/04	17:15	4.62	-73.98	5.3	MW	15	Bogotá	6	7	7	8	Choachí, Cundinamarca
2008/05/24	14:20	4.44	-73.81	5.9	MW	10	Bogotá	5	8	6	9	Quetame, Cundinamarca

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.SM 2022

De acuerdo con los datos históricos registrados se puede observar que la intensidad según la escala macrosísmica europea oscila entre 4 y 7, representando grados entre ampliamente observables y

daños. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la mayoría de estos registros sísmicos son muy antiguos.

5.1.3.1.5 Microzonificación Sísmica de Bogotá

En el año 2010 la Alcaldía Mayor de Bogotá realizó el documento “Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones” que tenía como objetivo zonificar la ciudad de Bogotá de acuerdo con la respuesta sísmica del terreno. Para el desarrollo de este proyecto se analizaron estudios geotécnicos, geológicos y geosísmicos a nivel superficial y a niveles profundos. A continuación, se podrá observar la metodología usada por los autores (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2010).

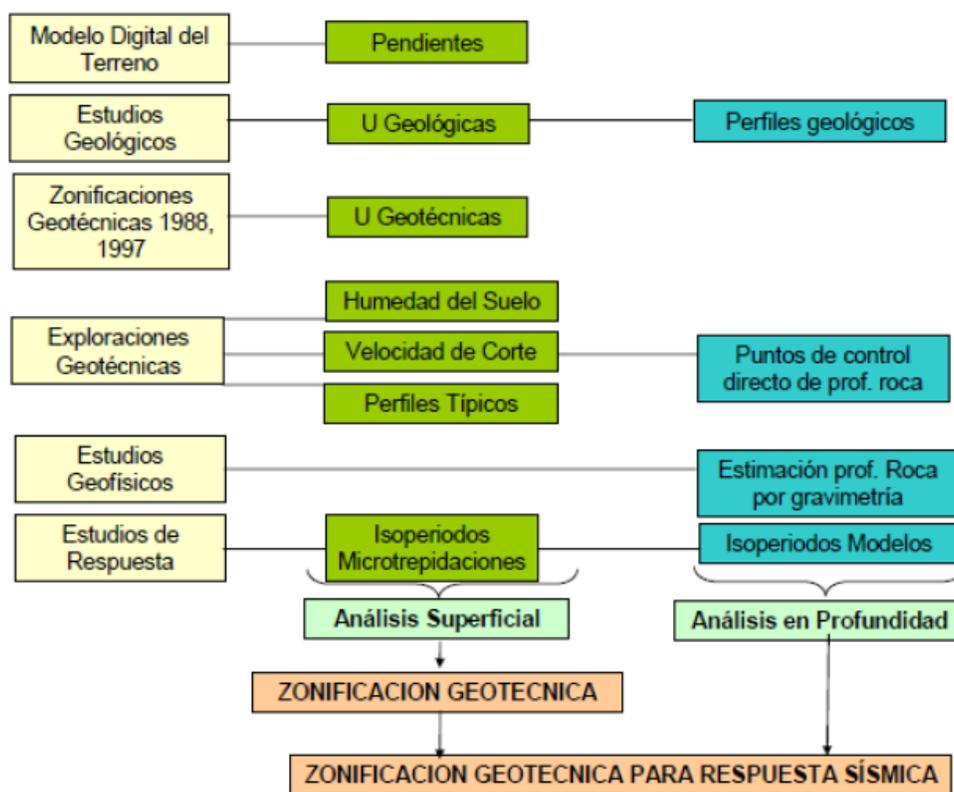


Figura 15. Esquema de metodología usada para la microzonificación sísmica de Bogotá, D.C.

FUENTE: ZONIFICACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE BOGOTÁ PARA EL DISEÑO SISMO RESISTENTE DE EDIFICACIONES, 2010. ELABORADO POR LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, D.C.

La Alcaldía Mayor de Bogotá determinó 5 zonas sísmicas representadas por los cerros, piedemonte, lacustre, aluvial y depósitos de ladera; a su vez estas dieron como resultado 16 zonas de respuesta sísmica homogéneas. Sus características y ubicación se presentarán a continuación:

Zona	Espesor del depósito (m)	Periodo fundamental del suelo (s)	Descripción Geotécnica General	Velocidad onda promedio 50 m Vs (m/s)	Humedad Promedio 50 m Hn (%)	Efectos de sitio relacionados
Cerro	-	< 0.3	Rocas sedimentarias y depósitos de ladera con espesores inferiores a 6 m	> 750	< 10	Topográfico
Piedemonte A	< 50	0.3-0.6	Suelo coluvial y aluvial con intercalaciones de arcillas blandas: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o arenosa arcillosa, capas de arcillas blandas.	200 - 750	Oct-80	Topográfico, amplificación
Piedemonte B	< 50	0.3-0.6	Suelo coluvial y aluvial con espesor superior a 12 m: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o arenosa arcillosa	300 - 750	Oct-30	Topográfico, amplificación
Piedemonte C	< 50	0.3-0.6				
Lacustre-50	< 50	1.0-1.5	Suelo lacustre blando: Arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba	< 175	> 80	Amplificación
Lacustre-100	50-100	1.5-2.5				Amplificación
Lacustre-200	100-200	2.5-3.5				Amplificación
Lacustre-300	200-300	3.5-4.5				Amplificación
Lacustre-500	300-500	4.5-6.5				Amplificación
Lacustre Aluvial-200	100-200	2.0-3.0	Suelo lacustre con intercalaciones de aluvial: Arcillas limosas o limos arcillosos con de lentes de turba y capas de arenas compactas	< 200	> 60	Amplificación
Lacustre Aluvial-300	200-300	3.0-4.0				Amplificación
Aluvial-50	< 50	0.4-0.8	Suelo aluvial duro: Arcillas limosas o arenas arcillosos o limos arenosos, en algunos sectores se encuentran lentes de arenas limpias	175 - 300	25 - 50	Amplificación, licuación
Aluvial-100	50-100	0.8-1.2				Amplificación, licuación
Aluvial-200	100-200	1.2-2.5				Amplificación, licuación
Aluvial-300	200-300	2.5-4.0				Amplificación, licuación
Depósito Ladera	Jun-25	< 0.3	Depósitos de ladera con espesores superiores a 6 m de composición variable.	Variable según el tipo de deposito	Variable según el tipo de deposito	Topográfico

Figura 16 Descripción de zonas de respuesta sísmica

FUENTE: ZONIFICACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE BOGOTÁ, D.C. PARA EL DISEÑO SISMO RESISTENTE DE EDIFICACIONES, 2010. ELABORADO POR LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, D.C.

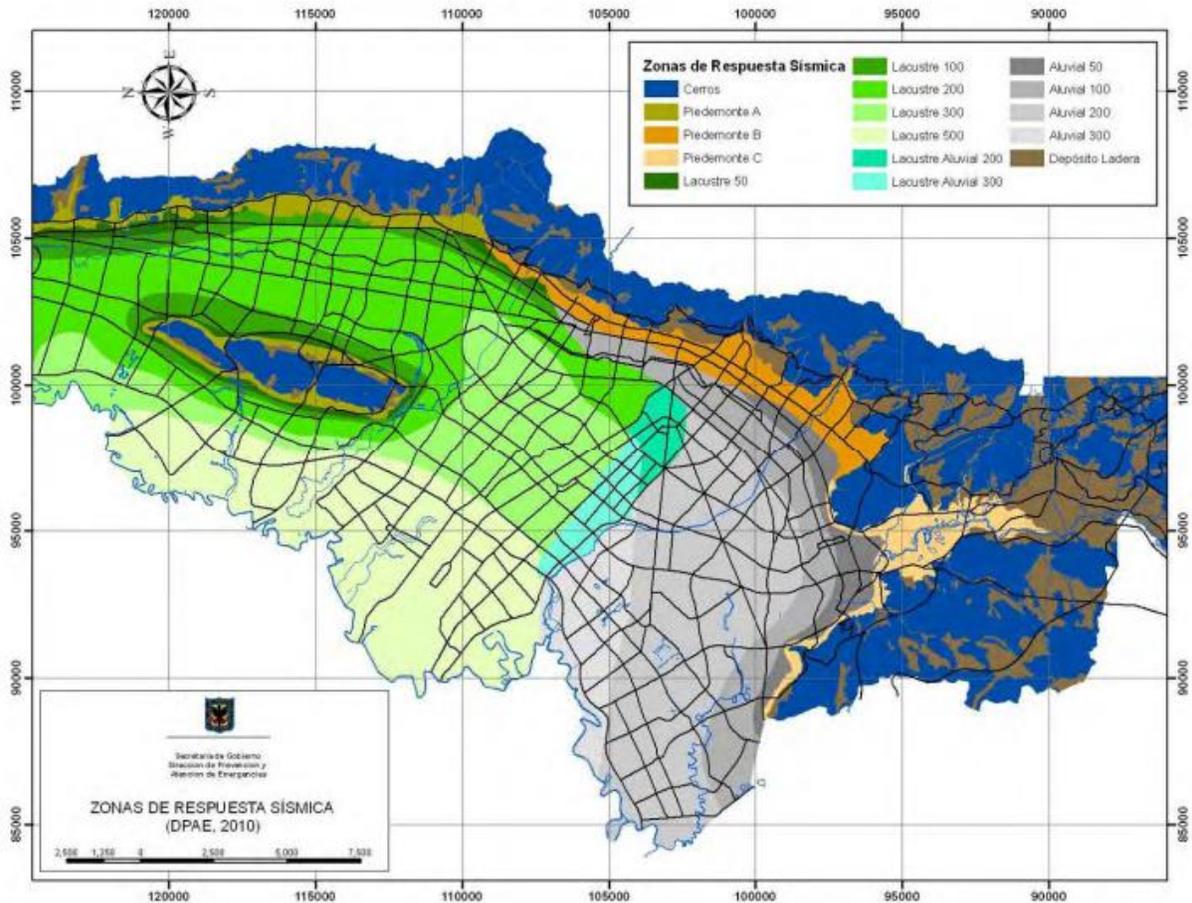


Figura 17 Mapa de microzonificación sísmica en Bogotá, D.C.

FUENTE: ZONIFICACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE BOGOTÁ PARA EL DISEÑO SISMO RESISTENTE DE EDIFICACIONES, 2010. ELABORADO POR LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, D.C.

El área de influencia del presente proyecto se encuentra categorizado como “Aluvial 50” y “Piedemonte B”, la sección “Aluvial 50” se caracteriza por presentar un espesor menor a 50 metros, con periodo del suelo entre 0,4 y 0,8, una velocidad de onda promedio entre 175 y 300 m/s, una humedad promedio entre 25 y 50%. Adicionalmente se caracteriza por presentar un suelo aluvial duro compuesto por arcillas luminosas, arenas arcillosas o limoso arenosos con sectores de lentes de arena. Finalmente, en estos sitios se presentan riesgos o efectos de amplificación y licuación. Por otra parte, la sección “Piedemonte B” se caracteriza por presentar un espesor menor a 50 metros, con periodo del suelo entre 0,3 y 0,6 y una velocidad de onda promedio entre 300 y 750 m/s, Adicionalmente se caracteriza por presentar un suelo coluvial y aluvial con espesor mayor a 12 m Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosa o areno arcillosa. Finalmente, en estos sitios se presentan riesgos o efectos topográficos y de amplificación.

Tabla 5. Microzonificación sísmica del área de influencia.

Zona	Espesor depósito	Descripción geotécnica general	Efectos en el sitio	Área de influencia (Ha)	Área de influencia %
Aluvial-50	<50m	Suelo aluvial duro Arcillas limosas o arenas arcillosos o limos arenosos. Algunos sectores presentan lentes de arena limpias	Amplificación y licuación	13,88	99,21
Piedemonte B	<50m	Suelo coluvial y aluvial con espesor superior a 12 m: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o areno arcillosa	Topográfico, amplificación	0,11	0,79
Total				13,99	100

FUENTE CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.3.2 Amenaza por remoción en masa

De acuerdo con IDIGER los movimientos en masa son procesos que por acción de la gravedad producen que un volumen de roca, tierras, detritos o escombros se desplace ladera abajo. Los procesos más conocidos de la remoción en masa son los deslizamientos, derrumbes, fallas de taludes, entre otros (IDIGER). Existen diversos factores que propician o inducen estos movimientos, la señalización de cada una de estas variables de describirá a continuación.

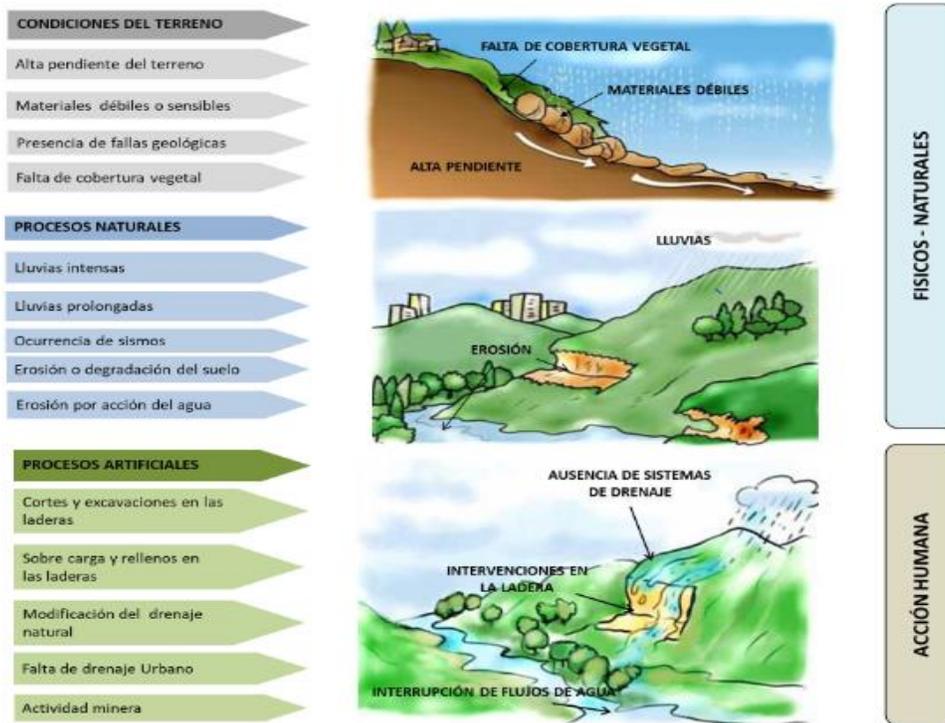


Figura 18 Condiciones que incrementa la posibilidad de amenazas por remoción en masa

FUENTE: CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ESCENARIO DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA EN BOGOTÁ. ELABORADO POR IDIGER

La amenaza por remoción en masa del presente estudio fue evaluada teniendo en cuenta tres fuentes de información. Inicialmente se evaluó el mapa de amenaza por remoción de masa del departamento de Cundinamarca elaborado por el Servicio Geológico Colombiano en el año 2015 a escala 1:100.000. Por medio de esta fuente se puede clasificar la zona estudiada con un nivel de amenaza entre bajo y medio. Es importante señalar que esta fuente es un primer acercamiento para conocer acerca de la amenaza efectuada sobre la zona de interés, pero debido a su escala y fecha de elaboración no se considera lo suficientemente detallada o reciente para dar una conclusión acertada.

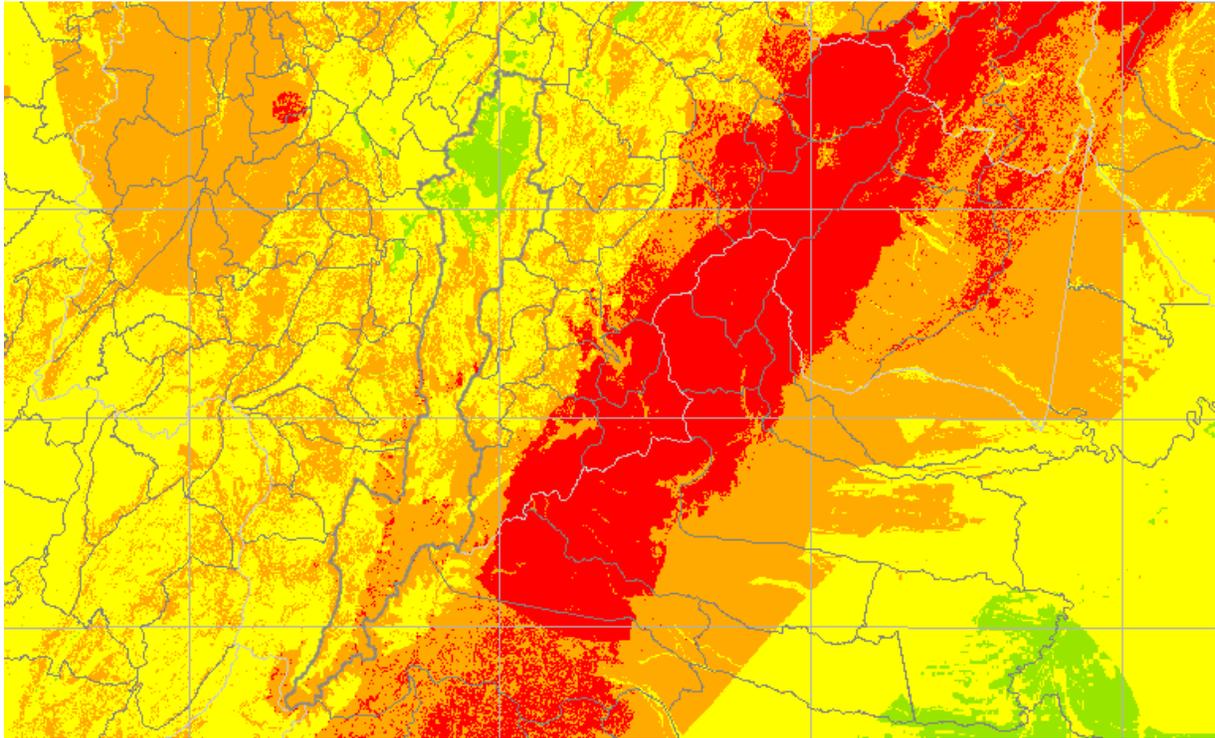


Figura 19. Mapa de amenaza por remoción en masa para Bogotá, D.C.

FUENTE: MAPA DE AMENAZA POR REMOCIÓN DE MASA. ELABORADO POR SGC, 2015

La segunda fuente de información fue el documento de actualización del POMCA del río Bogotá consultado en la página web de la CAR. En este informe se presenta un mapa de amenaza por remoción en masa escala 1:25.000 de la cuenca del río de Bogotá. De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio la zona de interés se encuentra catalogada con una baja vulnerabilidad ante movimientos en masa.

Finalmente, la última fuente de información fue obtenida por el IDIGER mediante el estudio de remoción en masa para zonas urbanas y de expansión realizada en la ciudad de Bogotá. De acuerdo con estas tres distintas fuentes de información se pudo concluir que el área de interés presenta una amenaza de remoción en masa baja

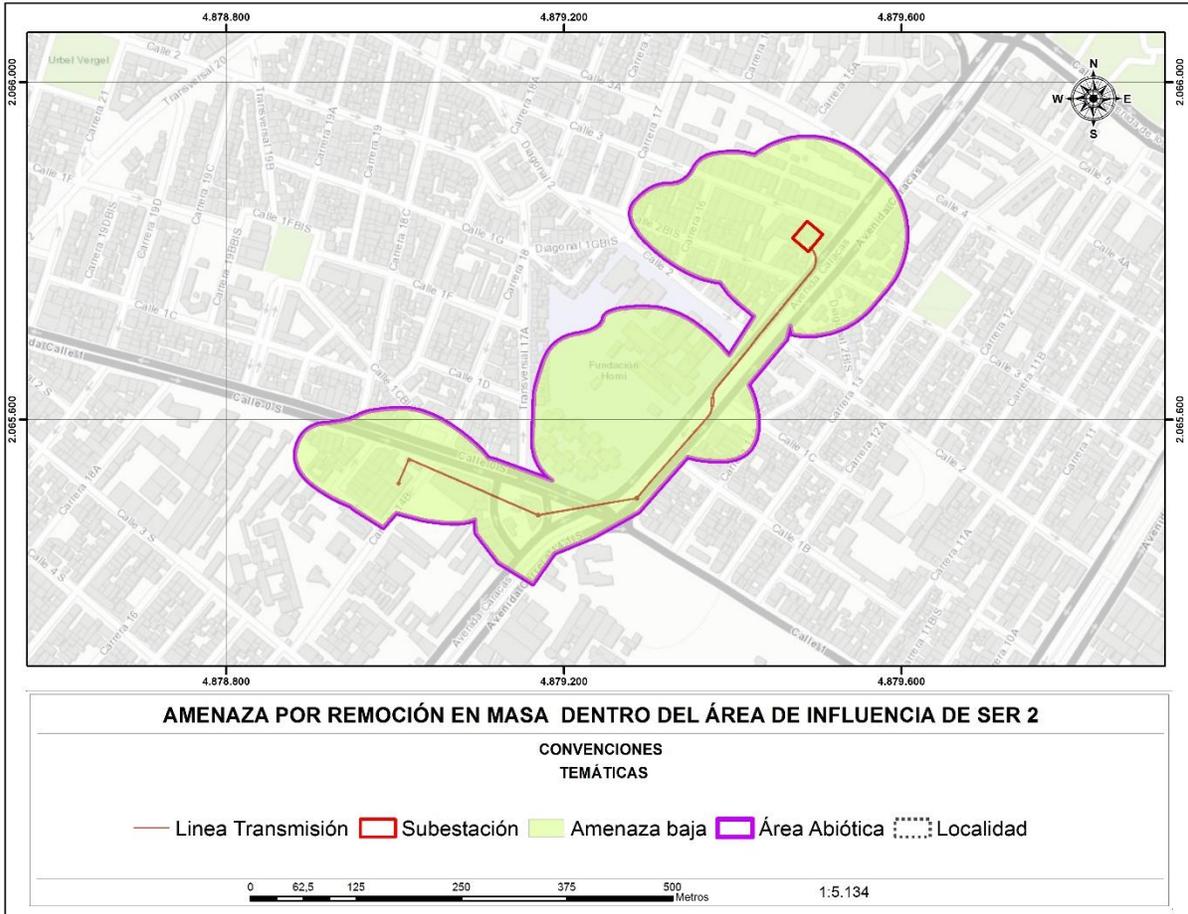


Figura 20. Amenaza por remoción en masa dentro del área de interés

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.3.3 Amenazas por inundaciones

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos que tienen el potencial de destrucción y que se forman debido a los procesos naturales de una corriente. Estas se producen cuando las precipitaciones continuas de una región, generan un aumento progresivo del caudal y nivel del agua que circula por los diferentes cauces. El incremento de las aguas supera las orillas de los canales, ocasionado el desbordamiento y dispersión de estas sobre las zonas aledañas (Llanuras de inundación) (IDEAM).

Este fenómeno se encuentra clasificado como inundaciones lentas y crecientes súbitas. Las inundaciones lentas ocurren en zonas planas cerca de los ríos, con valles aluviales muy extensos y se caracterizan por presentar gran amplitud, pero con bajas tasas de pérdidas de vidas humanas. Por otro lado, las crecientes súbitas se presentan las partes altas de las cuencas generando afectaciones en menores áreas, pero con un poder destructivo mayor. En este caso, el área de estudio se encuentra representado por las inundaciones lentas.

5.1.3.3.1 Zonificación de inundaciones

De acuerdo con estudios realizados por IDIGER, se han establecido en Bogotá tres zonas de amenaza por inundación, estas se encuentran catalogadas como zonas de amenaza alta, media y baja. A continuación, se presentarán las categorías de cada una (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C).

- ▶ Zonas de amenaza alta (Probabilidad de ocurrencia >65%): Estos lugares se encuentran delimitados por la proyección de la línea de inundación generada por el desborde del cauce calculado para un caudal de creciente con un periodo de retorno menor o igual a 10 años. En estas crecientes son consideradas las causas naturales y antrópicas no intencionales, que presenta una profundidad de lámina de agua mayor o igual a 0,50 y contienen un caudal y velocidad que produce efectos potencialmente dañinos graves. Finalmente, estos lugares se encuentran catalogados como no aptos para el desarrollo de zonas urbanas y construcción de infraestructuras salvo con obras y adaptaciones de protección (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C).
- ▶ Zonas de amenaza media (Probabilidad de ocurrencia entre 10% y 65%): Estos lugares se encuentran delimitados por la proyección de la línea de inundación generada por el desborde del cauce calculado para un caudal de creciente con un periodo de retorno entre 10 y 100 años. En estas crecientes son consideradas las causas naturales y antrópicas no intencionales, que contienen un caudal y velocidad que produce efectos potencialmente dañinos moderados.
- ▶ Zonas de amenaza baja (Probabilidad de ocurrencia <10%): Estos lugares se encuentran delimitados por la proyección de la línea de inundación generada por el desborde del cauce calculado para un caudal de creciente con un periodo de retorno mayor o igual a 100 años. En estas crecientes son consideradas las causas naturales y antrópicas no intencionales, que contienen un caudal y velocidad que produce efectos potencialmente dañinos leves (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C).

De acuerdo con la información suministrada por medio del EIAS de la PLMB y el decreto 555 de 29 de diciembre de 2021 se pudo determinar que el área de influencia se encuentra bajo diversas clasificaciones de amenaza por inundación que van desde alta a baja. Sin embargo, es importante mencionar que este tipo de amenaza en la región se presenta por medio de una situación de encharcamiento. Finalmente se debe señalar que la mayor parte del área de interés se encuentra catalogada con amenaza baja abarcando un área del 94,55%.

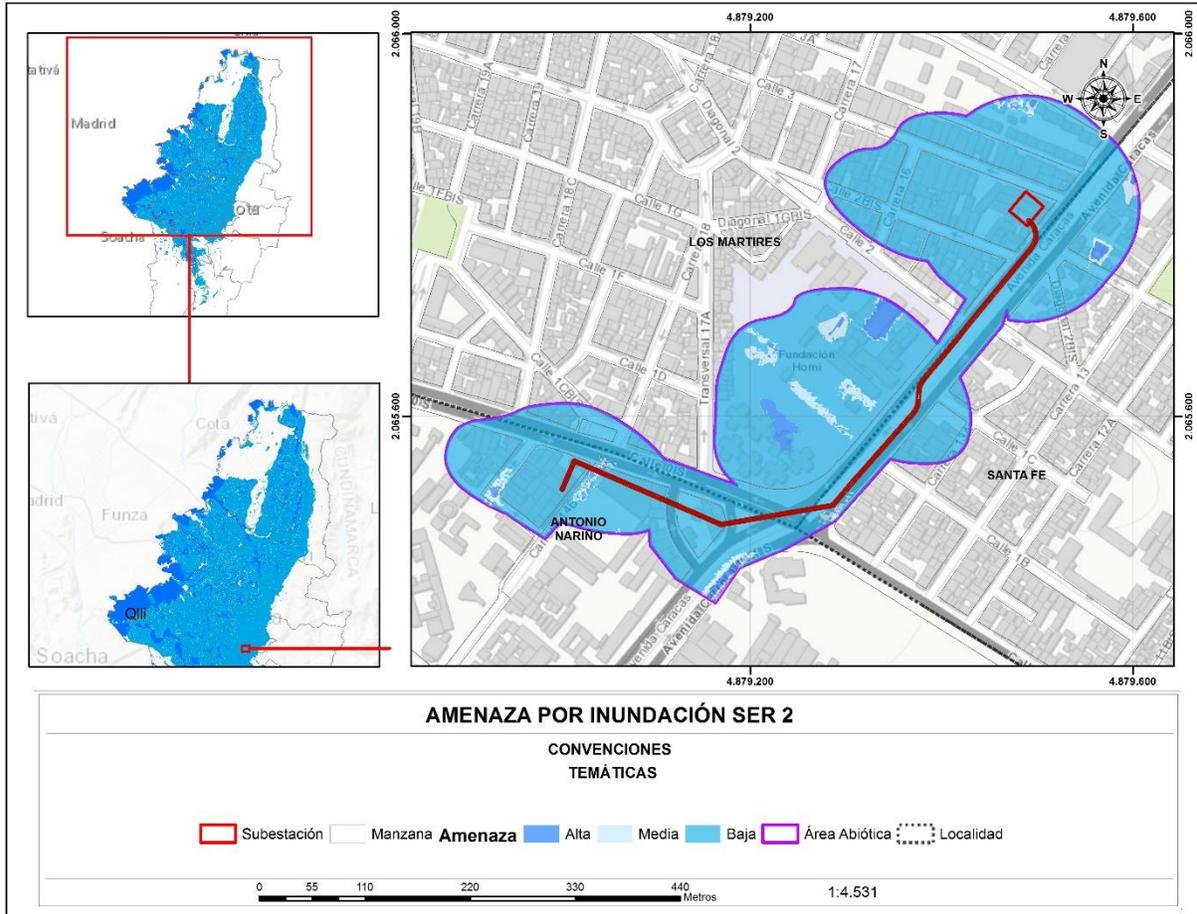


Figura 21. Amenaza por inundaciones dentro del área de interés

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.4 Geomorfología

La geomorfología es una rama que estudia la relación entre las formas de la superficie, los materiales naturales (rocas o suelos) que las conforman, la disposición estructural de estos materiales y los procesos que les dieron origen (Carvajal, 2005). Esta rama de estudio involucra diferentes tipos de conceptos que se describirán a continuación (Carvajal Perico, 2012):

- ▶ Morfología: Apariencia y forma del relieve de manera general.
- ▶ Morfografía: Descripción de las geoformas de manera cualitativa.
- ▶ Morfometría: Descripción de las geoformas de manera cuantitativa.
- ▶ Morfogénesis: Analiza el origen y evolución de las diferentes formas del terreno.
- ▶ Morfoestructura: Este concepto está relacionado con las disposición, composición y dinámica interna de la tierra.

- ▶ Morfodinámica: Analiza los procesos activos o que pueden activarse con el tiempo (Dinámica endógena).
- ▶ Morfocronología: Edad de cada una de las geoformas del terreno.
- ▶ Morfoclimatología: Condiciones climáticas que afectaron o afectan las geoformas presentes.

Adicionalmente es importante entender el concepto de geoforma, que de acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano se encuentra descrito de la siguiente forma: *“Las geoformas por definición son la expresión superficial del terreno, de la interacción dependiente de los materiales que las constituyen y su disposición estructural, de los procesos geomorfológicos que interactúan según el ambiente morfogenético específico donde se desarrollan y el tiempo de duración de la acción de los mencionados procesos”* (Carvajal Perico, 2012, pág. 13).

La caracterización geomorfológica del área de influencia se realizó de acuerdo con la metodología de estudios ambientales elaborada por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). Para el desarrollo del presente proyecto la geomorfología e identificación de rasgos geomorfológicos fueron implementadas 2 metodologías: la primera es la presentada por el Servicio Geológico Colombiano y la segunda es la presentada por el Instituto Agustín Codazzi. Las principales fuentes fueron los siguientes mapas y documentos proporcionados por el SGC y los mapas del EIAS para la PLMB Adicionalmente, estas fuentes fueron complementadas con el estudio geomorfológico presentado durante la actualización del POMCA del río Bogotá (CAR, 2019). Adicionalmente, estas fuentes fueron complementadas con el estudio geomorfológico presentado durante la actualización del POMCA del río Bogotá (CAR, 2019).

La Sabana de Bogotá se encuentra ubicada sobre la morfoestructura del sistema montañoso orogénico Andino que bordea el cratón Guayanés a través de la zona noroccidental (Carvajal, 2005). Esta zona pertenece a la cordillera Oriental y se caracteriza por ser un área de disposición para diferentes tipos de roca. De acuerdo con los ambientes morfogenéticos presentes, la zona cuenta con dos regiones, la primera caracterizada por presentar series de cadenas montañosas (Ubicadas en la zona oriental y occidental) y la segunda representada por unas planicies de tipo lagunar y aluvial.

5.1.4.1 Clasificación de unidades geomorfológicas de acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano

Para la identificación y clasificación morfológica del área de influencia, se tomó como guía la jerarquización geomorfológica implementada por el Servicio Geológico Colombiano en el documento “Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia”

Las categorías del esquema definidas de mayor a menor son: geomorfoestructura, provincia geomorfológica, región geomorfológica, unidad geomorfológica, subunidad geomorfológica y componente geomorfológico (Figura 22).

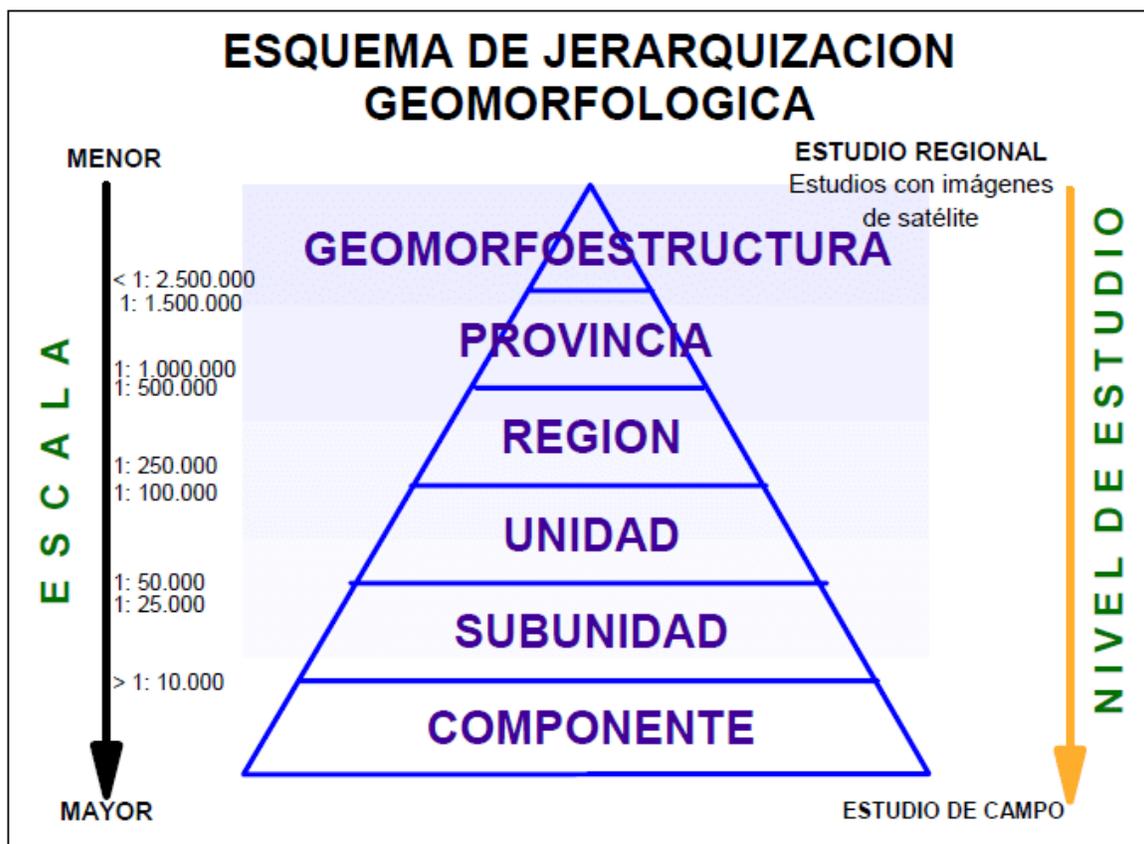


Figura 22. Esquema de jerarquización.

FUENTE: PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA EN COLOMBIA DEL 2012. ELABORADO POR EL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO.

A continuación, se indicará la descripción de cada una de las unidades geomorfológicas utilizadas para el presente estudio.

- ▶ Geomorfoestructura: Esta estructura se encuentra definida por grandes áreas geográficas, continentales o intracontinentales, que presentan estructuras geológicas y topográficas regionales que han tenido deformación o basculamiento. En esta categoría se encuentran los escudos, bloques de origen continental, cuencas de sedimentación, cinturones orogénicos, entre otros. Finalmente, su escala de trabajo es de 1:2.500.000 (Carvajal Perico, 2012).
- ▶ Provincia geomorfológica: Estructura conformada por regiones con geoformas similares caracterizadas por presentar un macrorrelieve, una ubicación geográfica y una génesis geológica homogénea, estas agrupaciones se delimitan por medio de megaestructuras definidas. En esta categoría se encuentran las cordilleras, llanuras, serranías, entre otros. Finalmente, la escala de esta sección se encuentra entre 1:1.000.000 y 1:500.000 (Carvajal Perico, 2012).

- ▶ **Región geomorfológica:** Esta estructura se encuentra conformada por agrupaciones de geoformas por medio de características genéticas y geográficas generadas por ambientes morfogenéticos y geológicos afectados por procesos geomórficos homogéneos. Los ambientes morfogenéticos se agrupan en: ambiente morfoestructural, volcánico, fluvial y lagunar, marino y costero, glacial y periglacial, eólico, kárstico, antropogénico y denudacional. Finalmente, la escala de este componente está definida entre 1:250.000 y 1:500.000 (Carvajal Perico, 2012).
- ▶ **Unidad geomorfológica:** Unidad básica de la cartografía geomorfológica que se encuentra definida por criterios genéticos, morfológicos y geometeoricos. Esta unidad se genera por un proceso geomórfico y es típico de un ambiente morfogenético dado. Finalmente, la escala de trabajo es de 1:50.000 a 1:100.000 (Carvajal Perico, 2012).
- ▶ **Subunidad geomorfológica:** Esta estructura se determina por el tipo de material, la disposición estructural de estos con la topografía del terreno o el contraste en las formaciones superficiales. En esta sección se presentan escalas 1:10.000 y 1:25.000 (Carvajal Perico, 2012).

De acuerdo con toda la descripción dada anteriormente, en Tabla 6 se indica la jerarquización geomorfológica identificada para el área de influencia, siguiendo los parámetros del SGC.

Tabla 6. Jerarquización geomorfológica de acuerdo con el SGC

Geomorfoestructura	Provincia	Región	Unidad	Subunidad	Nombre unidad geomorfológica	Nomenclatura
Cordillera, Orógeno	Cordillera Oriental	Ambiente fluvial	Llanuras de inundación	LLanuras	Terraza alta	Fta

FUENTE: CPA INGENIERÍA, 2022.

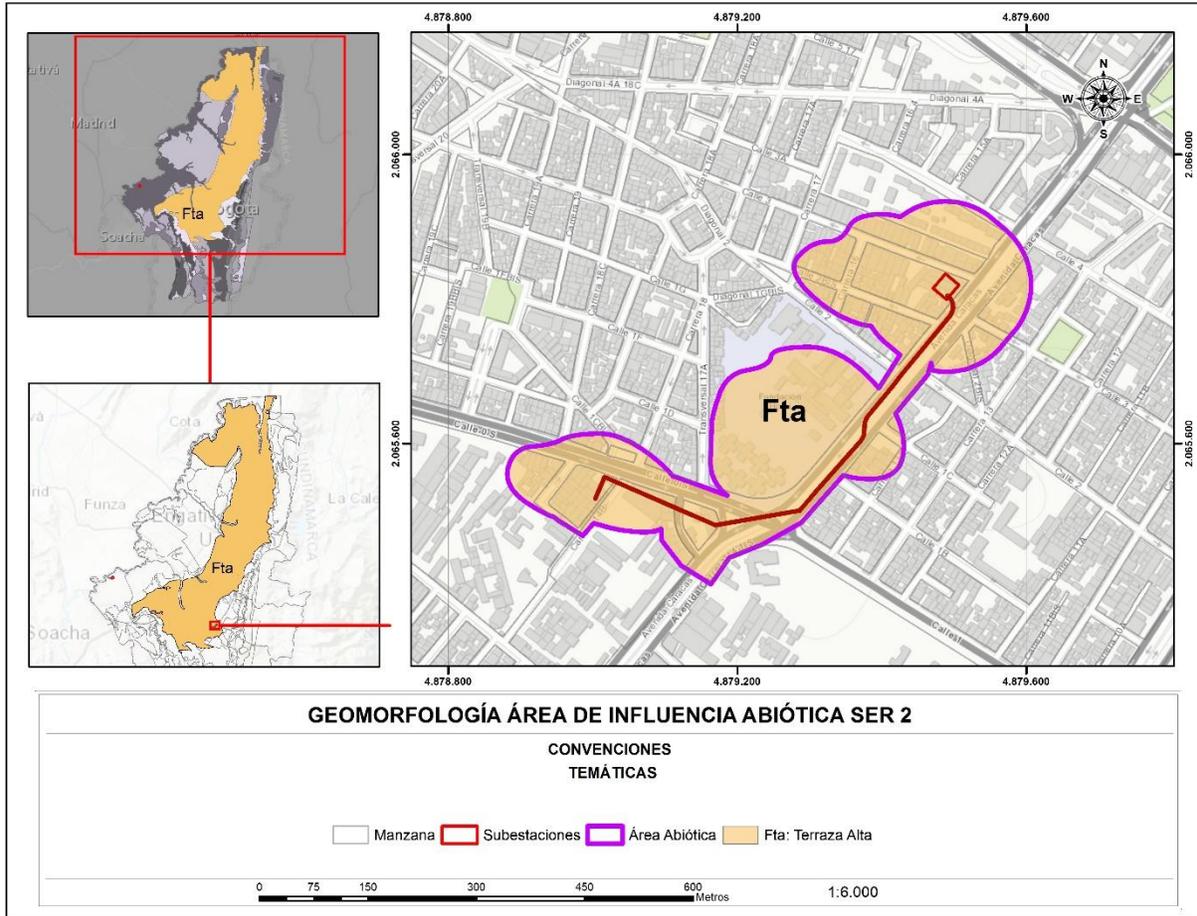


Figura 23. Componente geomorfológico del área de influencia.

FUENTE: CPA INGENIERIA, 2022

5.1.4.2 Clasificación de unidades geomorfológicas del IGAC

Con el objetivo de complementar la información obtenida por el Servicio Geológico Colombiano se realizó también una clasificación geomorfológica de acuerdo con la metodología implementada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). En esta metodología la clasificación de unidades se da a través de las siguientes variables: geoestructura, ambiente morfogenético, paisaje, tipo de relieve, material litológico contenido en la geofoma (IGAC, 2021). En la Tabla 7 se puede observar la jerarquización geomorfológica elaborada por los nombres propuestos por el IGAC.

Tabla 7. Jerarquización geomorfológica de acuerdo con el IGAC

Geestructura	Ambiente Morfogénico	Paisaje	Tipo de relieve	Material parental litología	Material parental facies	Forma del terreno	Nombre unidad geomorfológica	Nomenclatura
Cordillera (Oriental)	Ambiente deposicional	Planicie	Llanura de inundación	Sedimentos clásticos	Lacustre	Pantano	Terraza alta	Fta

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

Las características de la unidad geomorfológica encontrada en el área de influencia se presentarán a continuación:

Terraza alta (Fta): Esta unidad se encuentra conformada por terrazas alomadas de varios kilómetros de extensión en forma de abanico explayado, se encuentra constituido por laderas moderadamente largas de formas cóncavas y convexas con un rango de pendientes diverso entre suaves e inclinadas. El origen de estas estructuras se encuentra asociado con la existencia de abanicos y planicies aluviales antiguos muy disectados y localmente tectonizadas. Su ubicación geográfica se encuentra sobre el Sisga, Chocontá, Villapinzón y el suroeste de Subachoque. Adicionalmente estas regiones hacen parte de antiguas llanuras de inundación y abanicos aluviales que fueron basculados y sometidos a procesos denudativos intensos provocando el origen de una morfología alomada, de formas lobuladas y localmente dómicas asociadas con drenajes radiales principalmente en la región del Sisga. Finalmente, estas estructuras presentan pendientes entre 5 y 10° y se encuentran limitadas por escarpes de disección en forma de “v” (CAR, 2017).

5.1.4.3 Morfogénesis

Este término hace referencia a una rama de la geomorfología encargada de estudiar el origen y la evolución de las formas del relieve. De acuerdo con las características establecidas previamente se determinó que la única unidad geomorfológica presente en el área de estudio corresponde a una zona de origen fluvial asociado con la actividad del río Bogotá. A continuación, se presentara la clasificación morfogénica para el área de influencia.

Tabla 8. Clasificación morfogénica del área de influencia

Zona estructural	Provincia	Paisaje	Tipo de relieve	Ambiente Morfogenético	Nombre	Nomenclatura
Mega cuenca de sedimentación	Cordillera Oriental	Planicie	Llanura de inundación	Fluvial	Terraza alta	Fta

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022



Figura 24. Terrazas altas dentro del área de estudio.

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

5.1.4.4 Morfografía

Para este estudio se deben analizar los atributos cuantitativos del paisaje derivados a través de las variables de elevación del terreno y de red de drenaje de la zona. La base de este procedimiento es un

modelo de elevación digital que permita la categorización y obtención de parámetros geomorfológicos como el relieve relativo, la inclinación, longitud y la forma de las laderas.

5.1.4.4.1 Inclinación de laderas

Para calcular este parámetro se determinó el rango de pendientes dentro del área de influencia, por medio de un modelo de elevación digital (DEM). Se definieron 9 rangos para clasificar las pendientes de forma porcentual, los valores y descripciones se podrán observar en la siguiente tabla.

Tabla 9. Rangos pendientes para el área de estudio.

Porcentaje	Descripción
0-1%	A nivel
1-3%	Ligeramente plana
3-7%	Ligeramente inclinada
7-12%	Moderadamente inclinada
12-25%	Fuertemente inclinada
25-50%	Ligeramente empinada
50-75%	Moderadamente empinada
75-100%	Fuertemente empinada
>100%	Totalmente escarpada

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

De acuerdo con el mapa de pendientes se puede observar que el área de influencia presenta pendientes que oscilan entre el 0 y 7% (De a nivel hasta ligeramente inclinada). Sin embargo, las pendientes que predominan son las denominadas a nivel (0,1%) ya que representan el 80,70% del área estudiada. Estas bajas pendientes se asocian con las unidades geomorfológicas de origen fluvial definidas anteriormente.

Por medio del grado de inclinación se puede determinar el tipo de material que conforma la unidad geomorfológica y cuál es la susceptibilidad la unidad a la formación de movimientos de masa. De acuerdo con el documento “Propuesta metodológica para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos de masa” elaborado por el Servicio Geológico Colombiano durante el año 2012, las pendientes oscilan entre 0 y 7%, por eso la zona se considera blanda y con una susceptibilidad baja a movimientos en masa.

INCLINACION (Grados)	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y COMPORTAMIENTO
< 5	Plana a suavemente inclinada.	Muy blanda y muy baja susceptibilidad a movimientos en masa (MM).
6 – 10	Inclinada.	Blanda y baja MM.
11 – 15	Muy Inclinada.	Moderadamente Blanda y Moderada susceptibilidad a MM.
16 – 20	Abrupta.	Moderadamente Resistente y Moderada susceptibilidad a MM.
21 – 30	Muy abrupta.	Resistente y Alta susceptibilidad a MM.
31 - 45	Escarpada.	Muy Resistente y Alta susceptibilidad a MM.
> 45	Muy Escarpada.	Extremadamente Resistente, baja susceptibilidad a MM.

Figura 25. Rango de inclinación de las laderas.

FUENTE: PROPUESTA METODOLÓGICA SISTEMÁTICA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS GEOMORFOLÓGICOS ANALÍTICOS APLICADOS A LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA. ESCALA 1:100.000. ELABORADO POR SGC, 2012

5.1.4.4.2 Índice de Relieve Relativo

De acuerdo con la SNET, este parámetro es la estimación de la rugosidad natural del terreno que es representada la medida del relieve o de la topografía de un área estudiada (SNET, 2004). Usualmente el relieve relativo es presentado como la diferencia de elevación por unidad de área y es medido a través de la siguiente ecuación:

$$R_r = \frac{h_{max} - h_{min}}{\text{Área de estudio}}$$

Sin embargo, el relieve relativo (IR) también puede calcularse a través de las pendientes del área de estudio. A continuación, se puede observar la clasificación de acuerdo con los valores de pendiente.

Tabla 10. Clasificación de relieve relativo

Relieve Relativo m/Km2	Pendiente %	Pendiente en grados	Calificativo
0 - 75	0 - 7,5	0 - 4.29	Muy bajo
76 - 175	7.6 - 17.5	4.30 - 9.93	Bajo

Relieve Relativo m/Km2	Pendiente %	Pendiente en grados	Calificativo
175.6 - 300	17.6 - 30	9.94 - 16.70	Moderado
301 - 500	30.1 - 50	16.71 - 26.57	Mediano
501 - 800	50.1 - 80	26.58 - 38.66	Alto
>800	>80.1	>38.66	Muy alto

FUENTE: MEMORIA TÉCNICA PARA EL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN EL SALVADOR. ELABORADO POR SNET, 2004

Dentro del área de estudio del presente proyecto, predominan pendientes entre 0-1% que representan un relieve relativo calificado como “muy bajo”.

5.1.4.4.3 Longitud de ladera

Este parámetro representa la homogeneidad del material constituido de las geoformas. El rango de clasificación se podrá observar a continuación.

Tabla 11. Rango de longitud de ladera

Longitud (Metros)	Descripción
< 50 m	Muy corta
50 - 250 m	Corta
250 - 500 m	Moderadamente larga
500 - 1000 m	Larga
1000 - 2500 m	Muy larga
> 2500 m	Extremadamente larga

FUENTE: PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA EN COLOMBIA. ELABORADO POR CARVAJAL, 2012

De acuerdo con las observaciones de campo y la interpretación de imágenes satelitales puede concluirse que las laderas del área de estudio oscilan entre 250 y 500 m, correspondiendo a laderas largas.

5.1.4.4.4 Forma de ladera

Este indicador representa la homogeneidad en la resistencia de los materiales, la presencia o comportamiento ante estructuras geológicas y los tipos de movimientos en masa que pueden desarrollarse en su ladera. Las pendientes cóncavas/convexas se encuentran asociadas con

movimientos de masa rotacionales, mientras las pendientes rectas están relacionadas con movimientos planares (Carvajal Perico, 2012).

El presente proyecto se caracteriza por presentar laderas rectas moderadamente alargadas (250-500m) y pendientes bajas (predominancia de 0 a 1 %). De acuerdo con la información del Servicio Geológico Colombiano y las características de la zona, si el área de influencia presenta movimientos en masa, estos serán causados por un movimiento translacional.

Tabla 12. Rango de forma de ladera

Clase	Características del material	Movimientos en masa asociados
Recta	Muy corta	Movimiento translacional
Cóncava	Corta	Deslizamiento rotacional
Convexa	Moderadamente larga	Predomina meteorización y erosión. Pequeños deslizamientos rotacionales
Irregular o escalonada	Larga	Caída de bloques, erosión diferencial
Compleja	Muy larga	Deslizamientos complejos
> 2500 m	Extremadamente larga	Extremadamente larga

FUENTE: PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA EN COLOMBIA. ELABORADO POR CARVAJAL, 2012

5.1.4.5 Morfodinámica

La morfodinámica es una rama de la geomorfológica relacionada con los procesos dinámicos externos (Principalmente denudativos), que han moldeado y continúan moldeando el relieve de la tierra; este proceso modela el estado actual de las geoformas. Esta caracterización permite identificar, definir y zonificar las regiones con procesos denudativos (Erosión y movimientos de masa) que han ocurrido y se pueden volver a presentar en un área de interés (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

Identificar y definir los procesos de erosión y remoción en masa tiene gran importancia ya que permite delimitar las áreas inestables del terreno; de esta forma se pueden implementar medidas de corrección que prevengan daños en la infraestructura y pérdida de vidas. A continuación se evaluará cada uno de los procesos.

► Procesos de erosión

El suelo es un componente fundamental del ambiente que se encuentra constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro y microorganismos. Este componente es muy importante ya que permite el desempeño de procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, generando funciones y prestación de servicios ecosistemas indispensables para el planeta. Por otra parte, el fenómeno de degradación del

suelo por erosión se encuentra definido como la pérdida de la capa superficial por acciones del agua, del viento o antrópicas; esta situación trae consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales (SIAC, s.f.).

Es importante tener en cuenta que la profundidad de los canales juega un papel muy importante durante el fenómeno de erosión, ya que no solo clasifica estos procesos, sino que también es un indicativo del grado de afectación que se tendrá. A continuación, se presenta una tabla con los tipos de erosión y los potenciales danos para distintos espaciamientos en los canales (CPA Ingeniería, 2020).

Tabla 13 Tipos de erosión y severidad

Tipo de erosión	Espaciamiento entre canales (m)					
	<5	5 a 15	15 a 50	50 a 150	150 a 500	> 500
Erosión laminar	Severa	Moderada	Suave			
Surcos (<50 cm de profundidad)	Severa	Severa	Moderada	Suave		
Barrancos (51-150 cm de profundidad)	Severa	Severa	Severa	Moderada	Suave	
Cárcavas (>150 cm de profundidad)	Severa	Severa	Severa	Severa	Moderada	Suave

FUENTE: EIA CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020.

Después de haber realizado una interpretación a través de la imagen satelital del proyecto y de haber realizado la salida en campo fue posible evidencia la inexistencia de procesos erosivos dentro del área de influencia.

► Fenómeno de remoción en masa

Los movimientos en masa son desplazamientos de suelo, roca y/o tierras laderas abajo debido al efecto de la gravedad. Aunque estos fenómenos pueden ser clasificados por muchas características la agrupación más básica los clasifica en las siguientes 5 secciones: caída, volcamiento, deslizamiento (Rotacional y translacional), propagación lateral y flujos (UNGRD, 2020). A continuación, se dará una breve descripción de cada uno de estas clasificaciones:

- Caída: Suele denominarse al desprendimiento del suelo o roca en una ladera muy inclinada. El material desciende por el aire rebotando o rolando. Este fenómeno ocurre en periodos de tiempo muy cortos sin que se puedan esquivar (SNET).

- ▶ Volcamiento: Este tipo de remoción en masa consiste en el giro hacia delante del suelo o roca respecto a un punto debajo del centro de gravedad del material desplazado. Este fenómeno se presenta por la fuerza de gravedad o presiones ejercidas por el agua (SNET).
- ▶ Deslizamiento: Suele denominarse al movimiento hacia abajo de una masa de suelo o roca, a través de una ladera. Este tipo de remoción se presenta sobre una superficie de rotura o falla y se encuentra dividido en las siguientes subclases: deslizamiento rotacional y deslizamiento transnacional. Los deslizamientos rotacionales se presentan en una ruptura de forma curva o cóncava, mientras que, por otro lado, los deslizamientos transicionales se presentan en superficies de rotura de forma plana (SNET).
- ▶ Flujos: Son movimientos lentos de materiales que usualmente se forman por lluvias de largas duraciones que debilitan los suelos (SNET).
- ▶ Propagación lateral: Este movimiento se presenta principalmente por expansión del material (Deformación interna). Se han podido identificar dos tipos de propagación, en el primero se afecta todo el material sin distinguirse la zona basal de cizalla y el segundo se presenta en suelos cohesivos que sobre yacen a materiales que han sufrido licuefacción o materiales en flujo plástico (Vílchez).

En este tipo de fenómenos intervienen diferentes variables como la cobertura de suelo, la pendiente del terreno, los materiales que componen el suelo, la lluvia, la actividad tectónica, entre otros. Sin embargo, en Colombia los principales factores están asociados con el uso inadecuado de la tierra (actividades antrópicas) y las precipitaciones intensas y constantes (UNGRD, 2020).

De acuerdo con las características del área de estudio, la interpretación de imágenes satelitales y las salidas de campo se pudo establecer que en la zona no se presentan o registran fenómenos de remoción en masa.

5.1.4.6 Morfoestructura

De acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano, el término morfoestructura corresponde al cambio del relieve de acuerdo con factores de composición, disposición y dinámica interna de la tierra. Este modelaje del paisaje se da por medio de los siguientes procesos: condición activa y condición pasiva. La condición activa corresponde a los procesos morfogénicos endógenos asociados tanto a la deformación y al fracturamiento tectónico como al vulcanismo. Por otro lado, la condición pasiva corresponde a las formas resultantes de procesos o deformaciones tectónicas expresadas en la superficie del terreno (CPA Ingeniería, 2020).

A partir del trabajo de campo y la información obtenida de diversas fuentes como el Servicio Geológico Colombiano y la actualización del POMCA del río Bogotá, se pudo establecer que en el área de interés no se presentan morfoestructuras pues sus capas se encuentran constituidas por Depósitos Cuaternarios aluviales con ausencia de actividad tectónica.

5.1.5 Suelos y usos del Suelo

De acuerdo con la FAO, los suelos son estructuras naturales constituidas por materiales como minerales, materia orgánica, aire, suelo, entre otros, y que son representadas a través de horizontes (capas). El suelo es un derivado de las variables de tiempo, clima, topografía, organismos y de materiales parentales (rocas y minerales) (INECC, 2007).

La caracterización del suelo presente en el área de influencia se hizo a través de los siguientes estudios:

- ▶ Levantamiento Semidetallado de Suelos en las zonas de influencia de los Humedales
- ▶ Levantamiento Detallado de Suelos en las áreas Planas de 14 municipios de la Sabana de Bogotá
- ▶ Caracterización edafología del POMCA del río Bogotá
- ▶ Mapa de suelos del departamento de Cundinamarca, elaborado por el IGAC
- ▶ GDB del proyecto “Estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá”, elaborado por INGETEC, 2019.

Esta caracterización se realizó siguiendo los lineamientos establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente de Bogotá, en el documento de términos de referencia para la elaboración de *Estudio de Impacto Ambiental aplicables a proyectos de tendido de las líneas de transmisión del sistema de regional de interconexión eléctrica, compuesto por el conjunto de líneas con sus correspondientes módulos de conexión (subestaciones) que se proyecte operen a tensiones mayores a 50 kV y menores a 220 Kv.*

Para este componente primero se identificaron las características edáficas de los suelos, posteriormente se determinaron los usos potenciales, se realizó una clasificación agrológica y se idéntico el uso actual. Finalmente se analizaron todas estas variables se establecieron conflictos del suelo y se determinó su relación con el área de influencia.

5.1.5.1 Relación entre la geomorfología y los estudios edáficos

De acuerdo con Alfred Zinck la interpretación y elaboración de mapas geomorfológicos se fundamenta a través de la siguiente jerarquización que definida por medio de 6 niveles Figura 26. Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto por el SGC. Esta metodología ha sido implementada y adaptada para Colombia a través de la entidad del IDEAM (CAR, 2019).

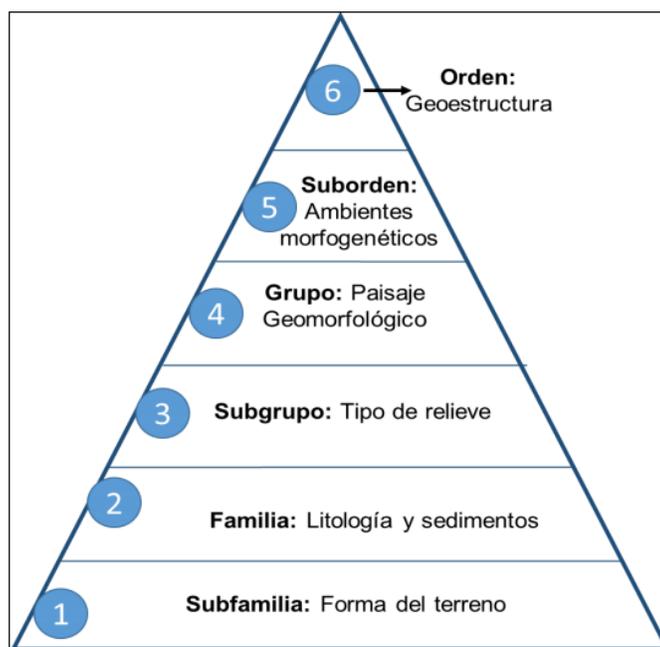


Figura 26. Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto por el SGC.

FUENTE: ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ. ELABORADO POR LA CAR, 2019

- ▶ Orden: Extensa porción continental caracterizada por su macroestructura ejemplificada en cordilleras, sinclinales, escudos, entre otros (Zinck, 2012).
- ▶ Suborden: Medio biofísico originado y controlado por un tipo de geodinámica interna y externa como ambientes deposicionales, erosionales, estructurales, entre otros (Zinck, 2012).
- ▶ Grupo: Gran área caracterizada por sus rasgos fisiográficos representada en la repetición de tipos de relieve homogéneos. Algunos ejemplos son los valles, planicies, montañas, entre otros (Zinck, 2012).
- ▶ Subgrupo: Tipo de relieve producido por una combinación entre la topografía y la estructura geológica. Algunos ejemplos son las cuevas, los horst, entre otros (Zinck, 2012).
- ▶ Familia: Constituido por la naturaleza petrográfica de las rocas duras u origen de las formaciones no consolidadas de cobertura. Algunos ejemplos son las calizas, los depósitos lacustres, fluviales, entre otros (Zinck, 2012).
- ▶ Subfamilia: Tipo básico de la geoforma que se produce por la combinación entre las variables de geometría, historia y dinámica (Zinck, 2012).

De acuerdo con la metodología implementada por IGAC, a continuación, se presenta la jerarquización edafológica en el área de estudio.

Tabla 14 Jerarquización geomorfológica del área de influencia de acuerdo con el SGC

Orden	Suborden	Grupo	Subgrupo	Familia	Subfamilia
Cordillera: Sistema Orogénico Andino	Ambiente deposicional Fluviolacustre	Planicie Fluviolacustre	Planicie	Formación no consolidada (Depósitos Cuaternarios)	Planicie Fluviolacustre

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

De acuerdo con los criterios geomorfológicos mencionados previamente, fue constituido el mapa de suelos dentro del área de influencia. Esta información fue complementada con un reconocimiento edafológico realizado, la interpretación de imágenes satelitales y el modelo de elevación digital del terreno (DEM).

5.1.5.2 Descripción de unidades cartográficas de suelos – geomorfopedológicas

La descripción de las unidades cartográficas de suelo se rige de acuerdo con la agrupación de paisaje. Este símbolo reúne las principales características de clima ambiental geología y geomorfología.

Tabla 15. Paisajes geomorfológicos

Código	Clase
M	Montaña
L	Lomerío
P	Piedemonte
R	Planicie Fluviolacustre
V	Valle

FUENTE: ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ. ELABORADO POR LA CAR, 2019

- ▶ Planicie Fluvio-lacustre (R): Extensa área ubicada geográficamente en el altiplano Cundiboyacense, que presenta una altura promedio 2550msnm y es la base del sistema montañoso. Este paisaje se caracteriza por presentar ambientes depositacionales compuesto por elementos de orígenes torrencial y aluvial. Van Der Hammen relaciona las características litológicas con la Formación Sabana representada por arcillas depositadas en un lago (CAR, 2019).

5.1.5.3 Unidades cartográficas del suelo dentro del área de estudio

Para la determinación de las unidades cartográficas dentro del área de influencia se utilizaron los estudios “Actualización del POMCA del río Bogotá” y “Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca”; esta clasificación se realizó a partir de las características geomorfológicas presentes en la zona.

De acuerdo con información edafológica fue posible establecer la nomenclatura de las unidades cartográficas del suelo, para esta clasificación se utilizó el estudio más actualizado del área de influencia (CAR, 2019).

Según la información obtenida en el POMCA del río Bogotá, el reconocimiento de campo y la interpretación de imágenes satelitales se pudo determinar que en el área de influencia contiene una única unidad de suelos representada por suelos urbanos (ZU) que contiene las geoformas de Terrazas Aluviales.

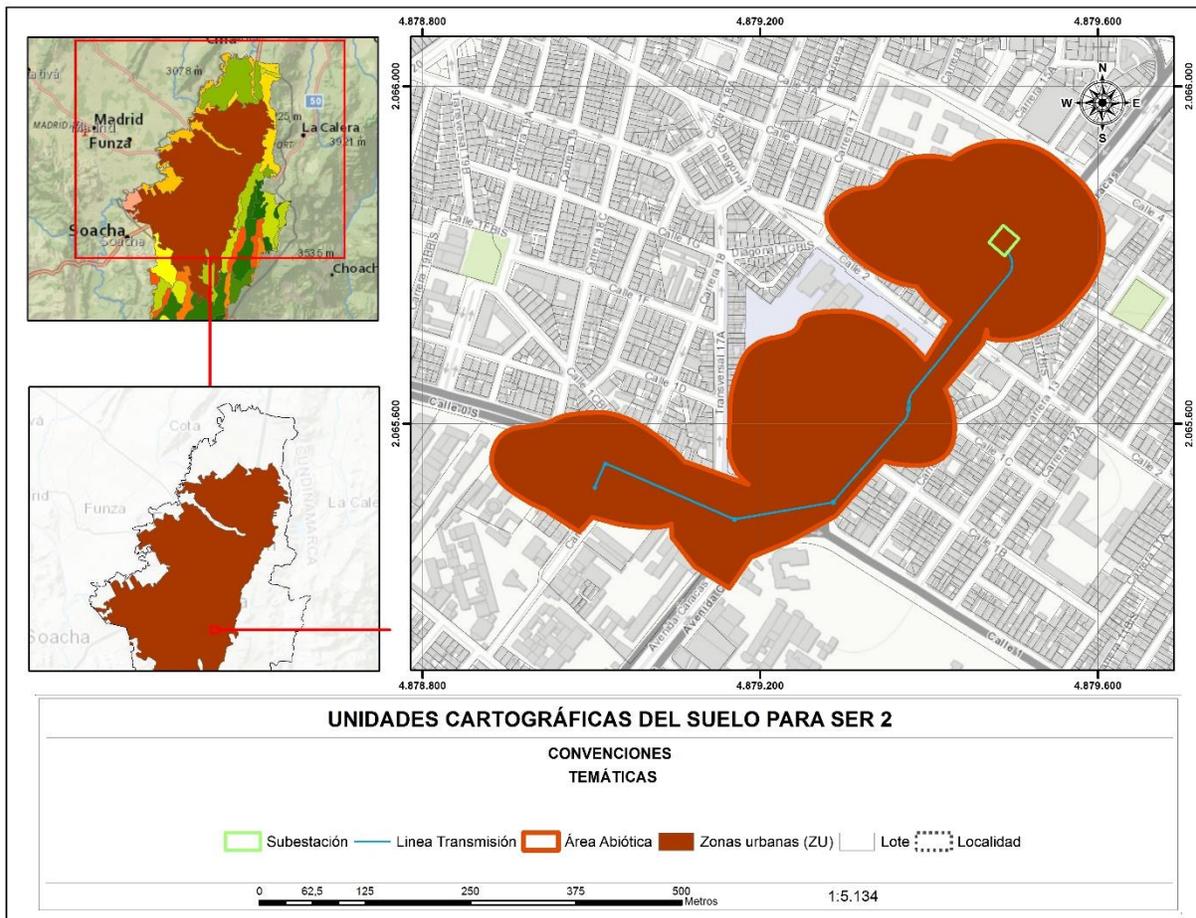


Figura 27 Unidades cartográficas dentro del área de estudio.

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.5.4 Clasificación agrológica

La clasificación agrológica dentro del área de influencia fue realizada siguiendo los lineamientos establecidos en el documento “Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso” elaborado por el IGAC en el 2014. A continuación, se presentarán las descripciones para cada una de las clases.

- ▶ Clase 1: Las tierras clasificadas en esta sección no presentan o presentan muy pocas limitaciones para el uso agropecuario. Estas zonas son aptas para la generación de cultivos o la ganadería intensiva, también se caracterizan por presentar un relieve plano con pendientes inferiores al 3%. Por otra parte, los suelos son profundos, permeables, ricos en nutrientes, presentan gran capacidad de retención de humedad, son bien drenados y no presentan afectaciones por las inundaciones. Los factores climáticos presentan una temperatura superior a 12°, sin heladas y con una precipitación pluvial bien distribuida duran el año. Finalmente, se puede necesitar un riego suplementario en meses secos y se requieren prácticas de manejo para conservar la productividad como el uso de fertilizantes, la aplicación de estiércol, rotación de cultivos, entre otros (IGAC, 2014).
- ▶ Clase 2: Las tierras clasificadas en esta sección presentan limitaciones ligeras que reducen los cultivos de elección y adicionalmente requieren de prácticas para prevenir degradación y mejorar relación de agua-aire. Estas zonas son aptas para uso agrícola (Cultivos transitorios, perennes y semiperennes) y ganadería intensiva. Finalmente, se pueden requerir prácticas para la conservación o el manejo de escorrentía acordes con las características de la zona y del cultivo (IGAC, 2014).
- ▶ Clase 3: Las tierras clasificadas en esta sección presentan limitaciones relacionadas con la erosión, pendiente, suelo y humedad. De acuerdo con estas dificultades se reduce la elección de cultivos, así como las épocas de siembra y se requieren prácticas de labranza y cosecha. Estas zonas son aptas para agricultura con prácticas de conservación entre moderadas e intensivas y para ganadería intensiva. Finalmente, estos suelos pueden presentar problemas con el drenaje a causa de las pendientes y tienen uso restringido por el nivel freático, la permeabilidad y posible contaminación (IGAC, 2021).
- ▶ Clase 4: Las tierras clasificadas en esta sección presentan limitaciones severas que generan la selección de cultivos específicos y la implementación de prácticas de manejo y conservaciones de alto grado de complejidad. Estas zonas tienen un uso apropiado como regiones ganaderas, y de agroforestería. Finalmente, en esta sección se caracterizan las pendientes pronunciadas y áreas erodadas y susceptibles al deterioro (IGAC, 2014).
- ▶ Clase 5: Las tierras clasificadas en esta sección presentan limitaciones severas que pueden ser modificadas, eliminadas o disminuidas a través de procesos de altos costos económicos y alto grado de complejidad. Estas zonas son aptas para agricultura, ganadería estacional escasamente tecnificada, conservación y preservación de recursos naturales, agroforestería, y ecoturismo (IGAC, 2014).
- ▶ Clase 6: Las tierras clasificadas en esta sección presentan limitaciones severas produciendo que su utilidad sea reducida a producción de cultivos semi perennes o perennes, semi densos y densos, además de sistemas agroforestales, forestales y ganadería. Finalmente, la ganadería debe llevarse a cabo evitando el sobrepastoreo y la agricultura debe incluir prácticas de conservación de suelos (IGAC, 2014).

- ▶ Clase 7: Las tierras clasificadas en esta sección presentan limitaciones fuertemente severas. Estas zonas pueden ser aptas para uso forestal y excepcionalmente uso agroforestal. Se presentan limitaciones debido a las características de pendientes, cobertura, topografía, entre otros (IGAC, 2014).
- ▶ Clase 8: Las tierras clasificadas en esta sección presentan una vulnerabilidad extrema o de gran importancia como los ecosistemas estratégicos. Estas zonas se destinan a la conservación de la naturaleza o su recuperación dependiendo de las características del lugar (IGAC, 2014).

Por otro lado, también existen las subclases que son categorías que agrupan tierras que poseen igual número de factores y de grados limitantes. Las limitaciones que se conocen son pendientes (p), erosión (e), humedad en exceso (h), suelo (s) y clima (c). De acuerdo con la clasificación agrología realizada en el área de influencia fue posible identificar que el presente proyecto se encuentra ubicado en la clase 1 y subclase h. Estos tipos de suelos no presentan limitaciones para el uso agropecuario debido a su baja inclinación de pendientes.

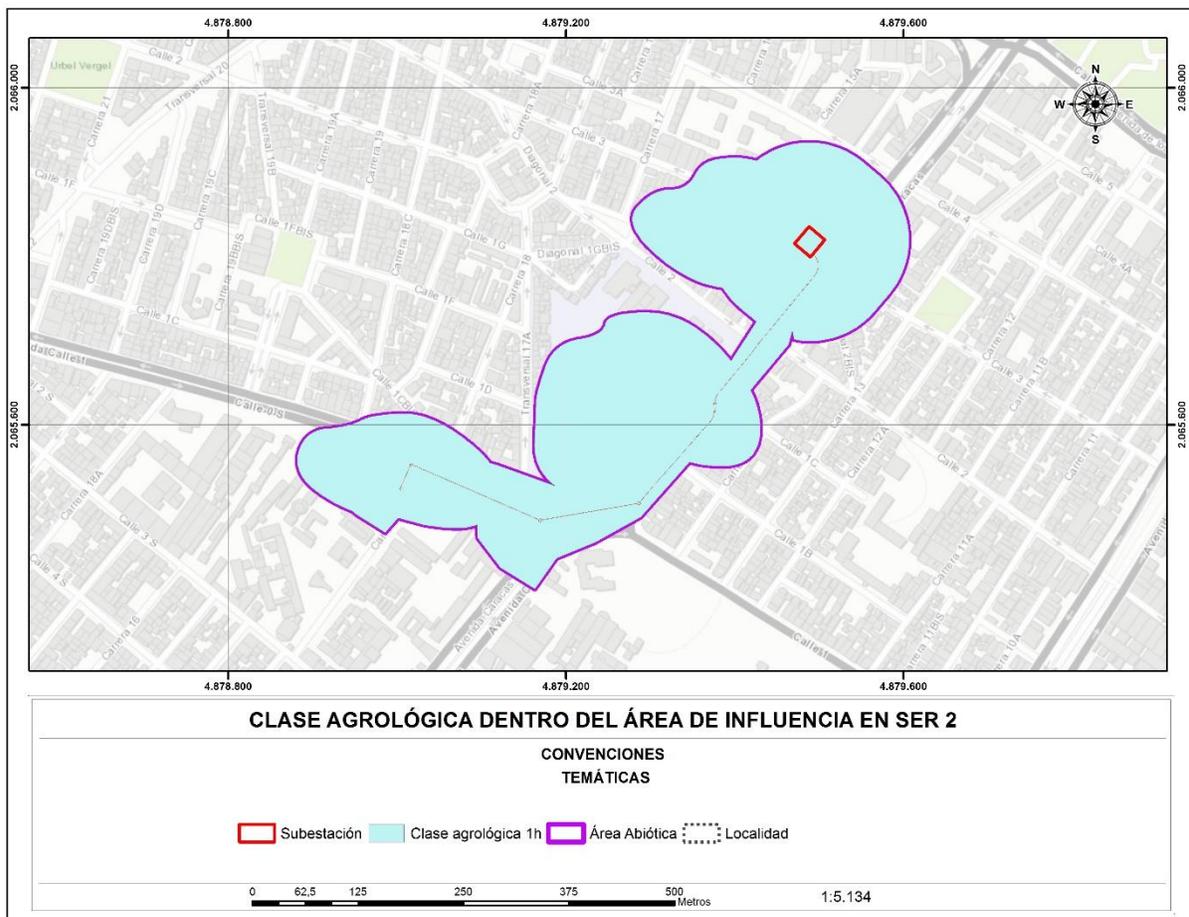


Figura 28 Unidades agrológicas dentro del área de estudio.

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.5.5 Uso actual del suelo

Para determinar el uso actual del suelo se utilizó la clasificación de coberturas realizado por el IDEAM durante el año 2018. Adicionalmente esta información fue rectificada por medio de la salida de campo. Los mapas de coberturas proporcionados por el IDEAM, fueron realizados siguiendo la metodología Corine Land Cover-Colombia. De acuerdo con la clasificación de coberturas, inicialmente se describen las unidades de cobertura dentro de las siguientes categorías: Territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales, áreas húmedas y superficies de agua. A su vez estas unidades se encuentran subdivididas en clases de cobertura (Segunda categoría) y tipos de cobertura específicos (Tercera categoría).

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA	
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES
1.1. Zonas urbanizadas	3.1. Bosques
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuertos	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3. Bosque fragmentado
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativa	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	3.2.1.1. Herbazal denso
2.1. Cultivos transitorios	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.4. Hortalizas	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.5. Tubérculos	3.2.1.1.2.3. Arracachal
2.2. Cultivos permanentes	3.2.1.1.2.4. Halechal
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2.1.2. Caña	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1.3. Plátano y banana	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.4. Tabaco	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.5. Papaya	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.2.1.6. Amapola	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.2.2. Café	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2.2.2.3. Cacao	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.4. Viñedos	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.5. Coca	4. AREAS HÚMEDAS
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	4.1. Áreas húmedas continentales
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.3.2. Palma de aceite	4.1.2. Turberas
2.2.3.3. Cítricos	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.4. Mango	4.2. Áreas húmedas costeras
2.2.4. Cultivos agroforestales	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.5. Cultivos confinados	4.2.2. Saltral
2.3. Pastos	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.3.1. Pastos limpios	5. SUPERFICIES DE AGUA
2.3.2. Pastos arbolados	5.1. Aguas continentales
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.1. Ríos (50 m)
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	5.1.2. Lagunas, legos y ciénegas naturales
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.1.3. Canales
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5.2. Aguas marítimas
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5.2.1. Lagunas costeras
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	5.2.2. Mares y océanos
	5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Figura 29. Leyenda producida por la metodología CLC para clasificación de coberturas.

FUENTE: LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA. METODOLOGÍA CORINE LAND COVER ADAPTADA PARA COLOMBIA ESCALA 1:100.000. ELABORADO POR IDEAM, 2010

De acuerdo con la clasificación más reciente (2018) y la confirmación en el trabajo de campo, se determinó que en la zona se presentan un único tipo de coberturas representado por el tejido urbano continuo. En la siguiente tabla se indicará la caracterización del tipo de cobertura y se presentará el área de esta (Hectáreas y porcentaje).

Tabla 16. Uso actual del suelo con sus respectivas características

Cobertura de la tierra	Grupo	Tipo de uso	Símbolo	Área de influencia (Ha)	Área de influencia (%)
Tejido urbano continuo	Asentamiento	Residencial	RSD	1,98	14,1630901
Tejido urbano continuo	Infraestructura	Comercial	CMC	1,96	14,0200286
Tejido urbano continuo	Infraestructura	Industrial	ZI	0,09	0,64377682
Tejido urbano continuo	Infraestructura	Servicios	SVC	4,36	31,1874106
Tejido urbano continuo	Infraestructura	Transporte	TRAN	4,77	34,1201717
Tejido urbano continuo	Sin uso	Sin actividad	NA	0,82	5,86552217
Total				13,98	100

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

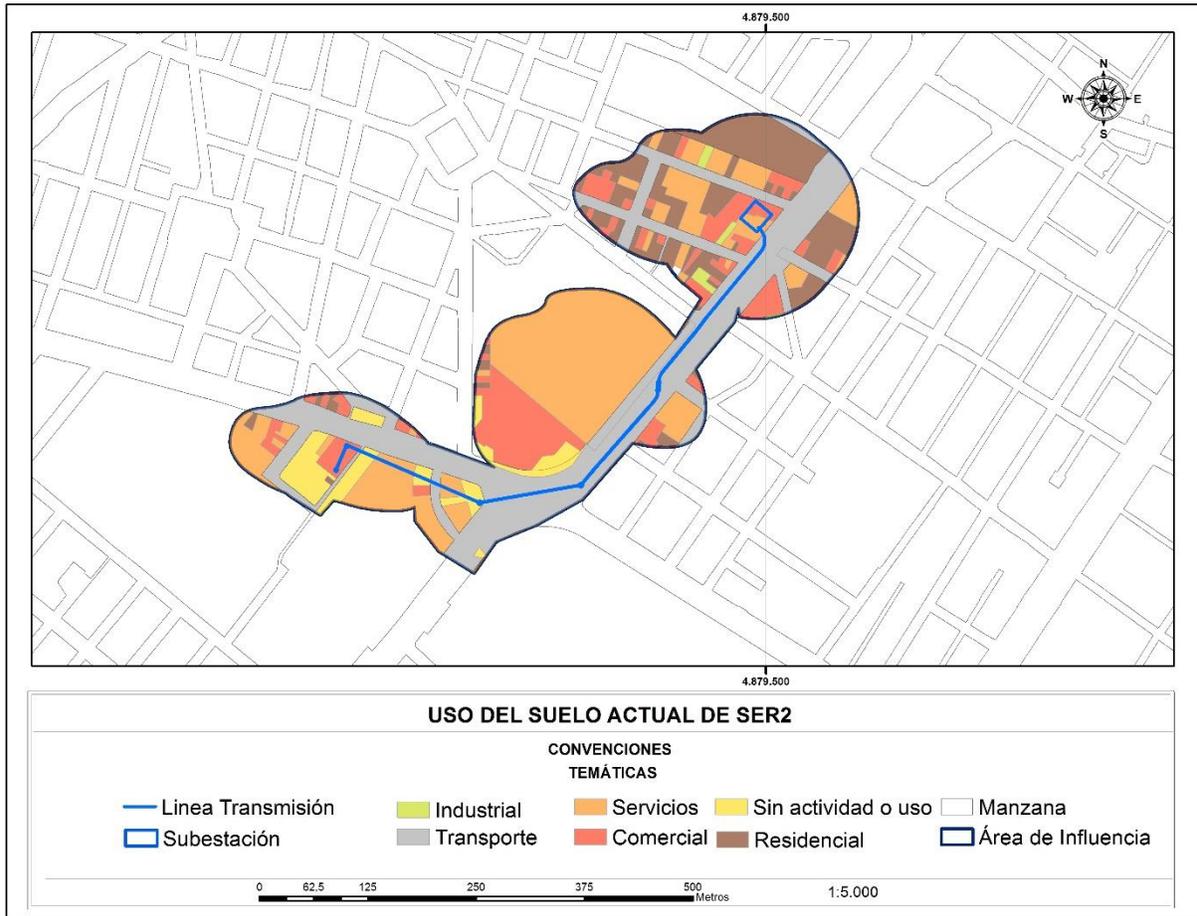


Figura 30. Uso actual del suelo.

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.5.6 Uso potencial del suelo

El uso potencial del suelo tiene como objetivo definir el uso más adecuado del suelo pretendiendo generar un desarrollo sostenible y evitando el deterioro de los recursos naturales. Para evaluar el uso potencial de un lugar se deben tener en cuenta aspectos físicos (Pendientes, precipitación, temperatura, altitud, textura, profundidad del suelo, entre otros) y bióticos.

El uso potencial del suelo fue evaluado mediante la clasificación realizada por el IGAC, en la que se pudieron identificar un único uso potenciales del suelo: Zonas urbanas. A continuación, se presentará la caracterización de estos.

Tabla 17. Uso potencial del suelo

Clase agrológica	Subclase	Uso potencial	Área de influencia (Ha)	Área de influencia %
1	h	Zonas urbanas	13,99	100
Total			13,99	100

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

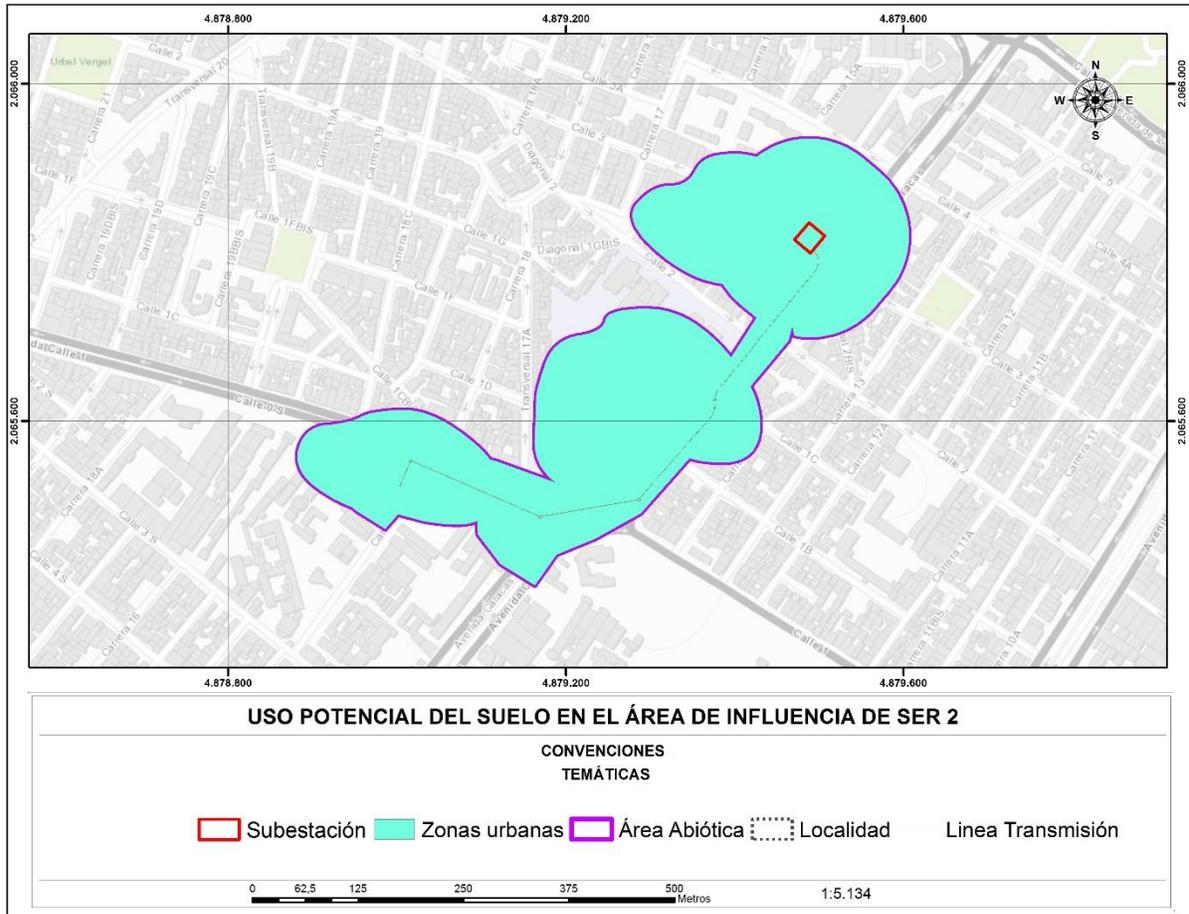


Figura 31. Uso potencial del suelo dentro del área de influencia

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.5.7 Conflictos de uso del suelo

Este tipo de característica tiene como objetivo comparar o identificar si hay una diferencia entre el uso actual del suelo y el uso potencial que se da de acuerdo con sus restricciones ambientales, culturales, sociales, ecológicas y económicas. Este análisis es importante para la toma de decisiones ya que permite realizar la formulación de políticas, reglamentaciones y planificaciones en el territorio (IGAC, 2012).

Las discrepancias entre el uso actual y el uso potencial del suelo pueden generar afectaciones en las funciones ecosistémicas, decrecimiento en la producción del suelo que a su vez genera altos costos de manejo, deterioro progresivo de los recursos naturales (cantidad y calidad de recursos hídricos), pérdida de productividad y biodiversidad, aumento en amenazas de inundaciones, colmatación de embalses, cambios climáticos regionales entre otros (IGAC, 2012).

La metodología para establecer los conflictos del suelo se basó en un análisis comparativo entre el uso de suelo actual y potencial. Los resultados obtenidos toman las siguientes descripciones: uso adecuado, sobreutilización, subutilización, nubes y zona urbana.

Los conflictos de uso del suelo fueron determinados a partir del software ArcGIS. Los resultados y caracterización se podrán observar a continuación:

Tabla 18. Conflictos del uso del suelo para el área de estudio

Uso actual	Capacidad	Conflictos	Área de influencia (Ha)	Área de influencia %
Tejido urbano continuo	Zonas Urbanas	SC	13,99	100
Total			13,99	100

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

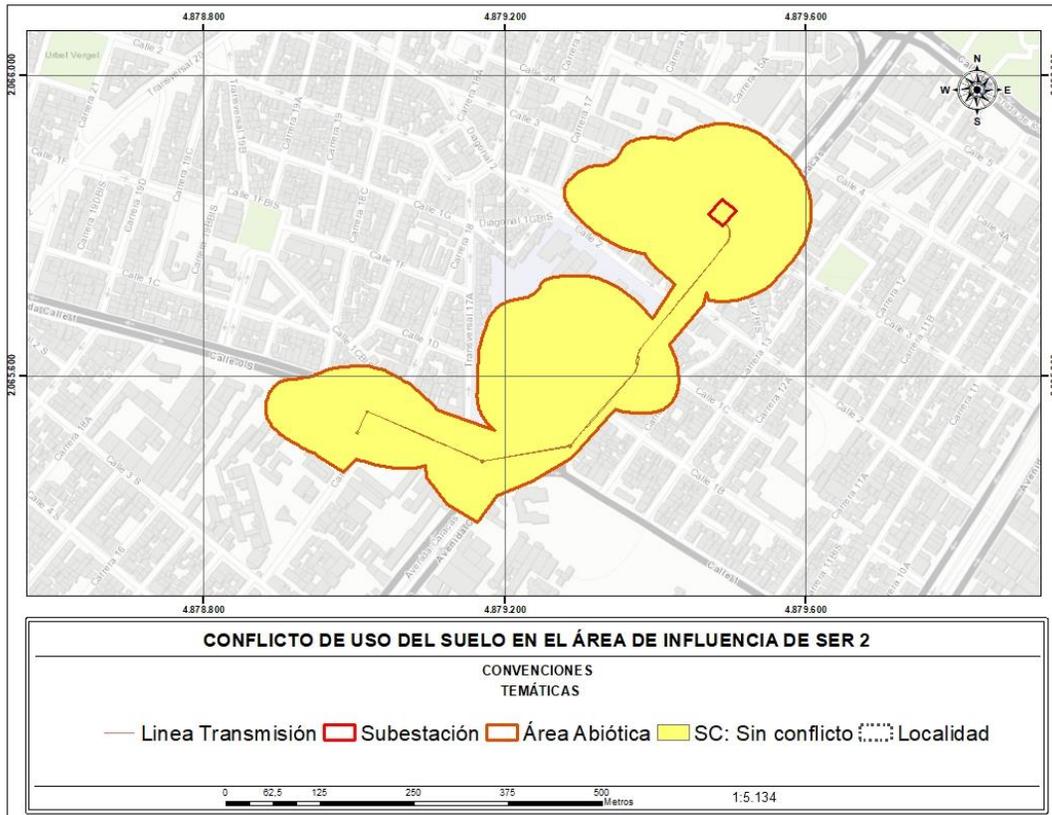


Figura 32. Conflictos de uso del suelo en el área de influencia.

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.6 Hidrología

En este apartado, se describirá el contenido hidrológico correspondiente a la zona de influencia donde se ubica la subestación eléctrica SER 2 y su línea de transmisión a 115 kV, así mismo, las principales características de la cuenca hídrica donde se ubica la subestación, sistemas lénticos, lóuticos, y patrones de drenaje.

Las fuentes que se consultaron para construir la caracterización hidrológica, a partir de información secundaria disponible fueron: “Estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá – 2019”, realizado por el consorcio Metro Bogotá INGETEC y SYSTRA, “Consultoría para la formulación participativa del plan de ordenación y manejo del corredor ecológico de ronda del Río Fucha

La zona de influencia abiótica que abarca la subestación SER 2, se encuentra ubicada entre las localidades de Antonio Nariño, Mártires y Santafé de la ciudad de Bogotá D.C. sobre la subcuenca del Río Fucha, en una estructura hídrica compuesta por un sistema artificial, constituido por canales que conducen las aguas lluvias a cielo abierto: Río Fucha con una extensión de 11.308 m Canal Albina con una extensión de 3.872 m y canal río seco con una extensión de: 3303 m.

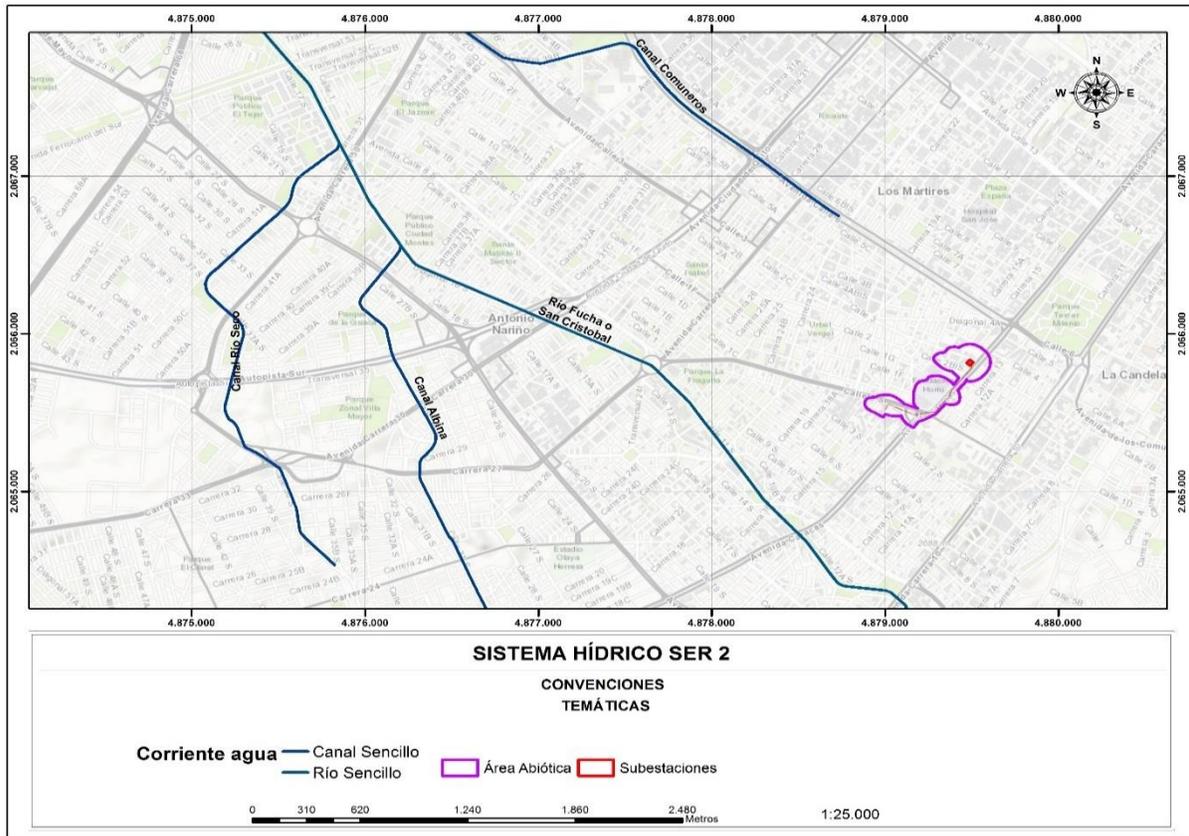


Figura 33. Sistema Hídrico

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

Para la caracterización hidrológica a la cual pertenece la zona de estudio, es importante resaltar que ningún cuerpo de agua se verá afectado o intervenido por las actividades propias de la subestación, ni se presentan cerca de la zona de influencia del componente abiótico definida para la construcción de la subestación eléctrica receptora SER 2 y su línea de transmisión a 115 kV cuerpos de agua superficial. Por tanto, se cumple con las distancias establecidas para rondas hídricas como se muestra en la Figura 33, el río más cercano se ubica aproximadamente a 851 metros de distancia de la subestación

En la etapa constructiva del proyecto, la demanda de agua y vertimientos se realizará a través de terceros autorizados como se describe en el capítulo 7 Demanda, Uso y Aprovechamiento de los Recursos Naturales, verificando que así que no se realice ningún tipo de vertimientos al suelo que pueda llegar directamente al sistema de alcantarillado público de la ciudad.

En la etapa operativa del proyecto se solicitará a la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, el servicio para el manejo de las aguas residuales generadas por las unidades sanitarias. Así mismo, se implementarán obras de arte para la captación de aguas lluvias y hacer la entrega a las unidades de gestión de alcantarillado pluvial, como se describe en el capítulo 3. Descripción del proyecto.

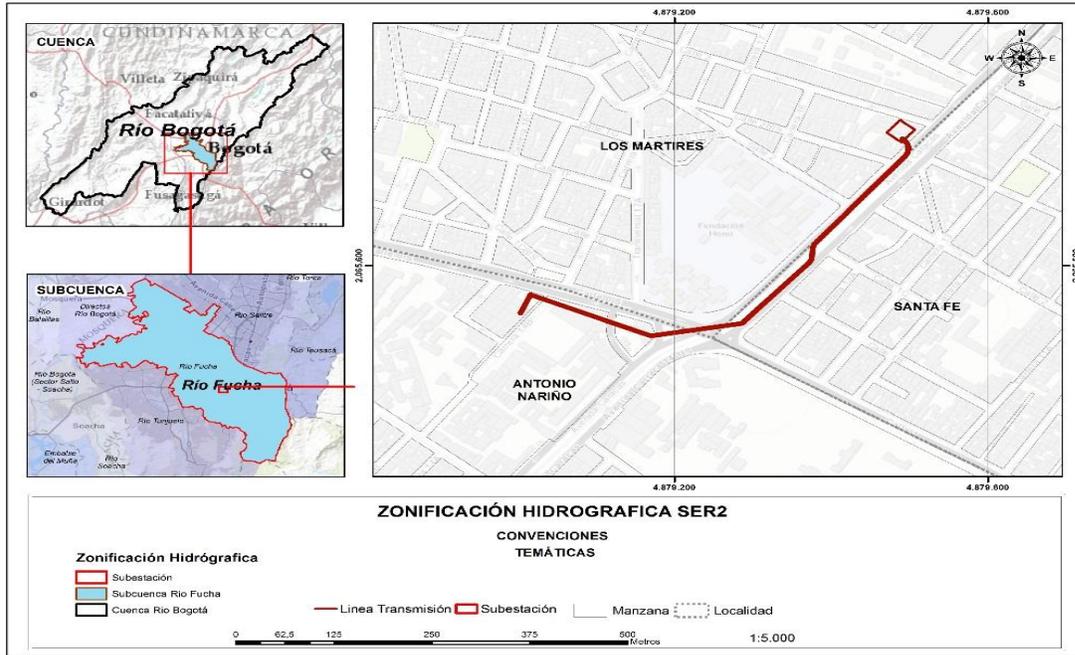


Figura 34 Zonificación Hidrográfica SER 2

FUENTE: CPA INGENIERIA SAS, 2022

5.1.6.1 Identificación de Sistemas Lenticos y Loticos

En este apartado, se realiza una identificación en la zona de influencia directa, de los sistemas lénticos y lóticos que componen la red hidrográfica que se encuentra en la zona de influencia del área de estudio.

5.1.6.1.1 Sistemas Lénticos

En el área de influencia de la subestación eléctrica SER II no fueron identificados sistemas lenticos debido a que el proyecto se encuentra ubicado en una zona totalmente urbanizada, sin presencia de estos cuerpos hídricos.

5.1.6.1.2 Sistemas Lóticos

En el área de influencia del proyecto no se identifican sistemas lóticos, sin embargo, en una escala regional, el proyecto se encuentra ubicado en la cuenca del Río Fucha y los canales más cercanos a la localidad son: Canal del río Fucha, Canal Albina y canal Río Seco I y II, que se encuentran canalizados durante su recorrido por el perímetro urbano de la ciudad de Bogotá.

5.1.6.1.2.1 Cuenca Río Fucha:

El río Bogotá en la zona de la sabana de Bogotá, fluye de norte a sur por el costado occidental del perímetro urbano, durante su recorrido por la sabana, cuenta con 3 grandes tributarios que son el río Tunjuelo, el río Fucha y Salitre. El río Fucha es uno de los más importantes, dada su influencia en 12 de las 20 localidades de la ciudad de Bogotá.

El río Fucha tiene su nacimiento en los cerros orientales, limitando por el oriente con el páramo de Cruz Verde y divisoria de aguas de la cuenca hidrográfica del río Blanco, tributario del río Meta, zona hidrográfica del Orinoco. Por el occidente, con el cauce del río Bogotá, receptor del cauce principal del río Fucha. Por el Norte con la cuenca hidrográfica del río Salitre, tributario del río Bogotá, zona hidrográfica Magdalena – Cauca, Alto Magdalena. Y por el sur con la cuenca hidrográfica del río Tunjuelo, tributario del río Bogotá, zona hidrográfica Magdalena – Cauca, Alto Magdalena. Diagnóstico, Zonificación y Prospectiva POMCA el Río Fucha (2007).

La cuenca del río Fucha dada su conformidad y longitud, se subdivide en tres sectores, la cuenca baja que va desde la avenida Boyacá hasta su desembocadura en el Río Bogotá, la cuenca media que inicia en la entrada del río al perímetro urbano de la ciudad de Bogotá hasta la avenida Boyacá, y la cuenca alta que concierne a la parte montañosa. Así, el Río Fucha es uno de los cuerpos hídricos más importantes de la sabana de Bogotá con una longitud de 17,30 km, fruto de la confluencia de las quebradas La Osa y Upatá. SDA (2015)

El patrón de drenaje y el eje estructurante del Río Fucha, inicia en la zona suroriental de la misma donde recibe el nombre de río San Cristóbal. A partir de la carrera 7 hasta la carrera 96 (en inmediaciones de la zona franca de Fontibón) se encuentra canalizado con una sección trapezoidal revestida en concreto y por último desemboca en el río Bogotá. CSHB, (2008) La hoya Hídrica tiene un área total de drenaje de 17.536 Has, de las cuales 12.991 son hectáreas en área urbana y 4.545 son hectáreas en área rural (correspondiente a los cerros orientales) y una pendiente promedio del 5.3 % POMCA Río Fucha (2006).

Los canales colectores que hacen parte de la localidad Antonio Nariño son:

- ▶ Canal Río Seco

El Canal de Río Seco inicia en la carrera 25 con calle 38 sur, va al occidente por el antiguo cauce del río seco, atraviesa la localidad de Puente Aranda por el extremo occidental entre los barrios Villa Mayor y Cinco de Noviembre. El Canal Río Seco es un canal trapezoidal construido en concreto, con paredes parcialmente recubiertas, que tiene un ancho aproximado de 16 metros. (SYSTRA-INGETEC, 2017).

- ▶ Canal Albina

El Canal de La Albina, comprendido desde la carrera 13 con calle 29 sur, ingresa a la localidad Antonio Nariño por la Avenida carrera 27 sur con calle 31 sur en dirección al occidente en el límite de los barrios

Santander Sur, Eduardo Frey y periferias del barrio San Jorge Central.¹ Donde finalmente desemboca al río Fucha.

Tabla 19. Datos de la Cuenca del río Fucha

CUENCA	AREA	LONGITUD CAUCE	ALTURA MEDIA	COTA MAXIMA	COTA MINIMA	CAIDA TOTAL	PENDIENTE MEDIA CAUCE
	(km ²)	(km)	(m.s.n.m)	(m.s.n.m)	(m.s.n.m)	(m)	%
Río Fucha	147,51	26,35	3073	3650	2240	1410	5,3
Cuenca Área Urbana	100,48	20	2660	2740	2240	200	0,75

FUENTE: ZONIFICACIÓN Y PROSPECTIVA POMCA EL RIO FUCHA, 2007

5.1.6.2 Caudales Medios

El comportamiento de los caudales medios es de tipo bimodal, aunque tiende a ser uniforme, por las descargas de los vertimientos de la ciudad, presentando los valores más altos en el mes de mayo en el primer semestre del año. Con un registro de 8.0 m³/s octubre y noviembre en el segundo, con valores de 8,2 y 8.5 m³/s. Los periodos de aguas bajas se observan en los meses de enero y febrero en el primer semestre y agosto y septiembre en el segundo, con un valor mínimo en el mes de enero, con un registro de 5.8 m³/s. El valor promedio anual es de 7.26 m³/s

En Tabla 20 Caudales Medios Mensuales (m³/s) y Figura 35 Caudales Medios Mensuales Estación Fontibón (m³/s) se presenta la distribución temporal de los caudales medios mensuales de la estación Fontibón (m³/s)

Tabla 20 Caudales Medios Mensuales (m³/s)

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Anual (m ³ /s)
5.7	6.09	6.74	7.1	8.19	7.54	7.42	6.87	6.77	8.16	8.62	7.7	7.26

¹ DIAGNÓSTICO, ZONIFICACIÓN Y PROSPECTIVA POMCA EL RIO FUCHA, 2007

FUENTE: ZONIFICACIÓN Y PROSPECTIVA POMCA EL RIO FUCHA, 2007

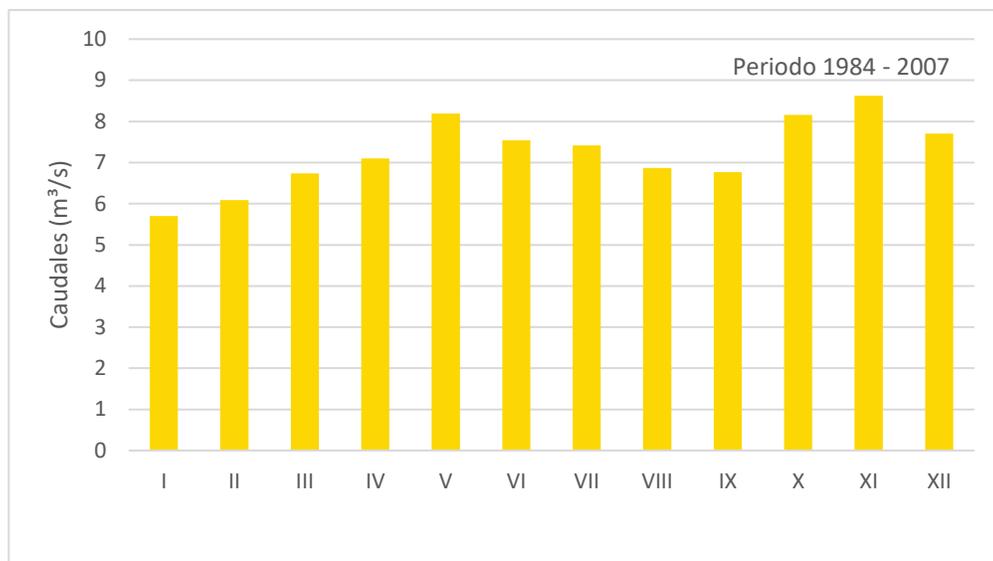


Figura 35 Caudales Medios Mensuales Estación Fontibón (m³/s)

FUENTE: EAB EN DIAGNÓSTICO, ZONIFICACIÓN Y PROSPECTIVA POMCA EL RIO FUCHA,

5.1.7 Calidad del Agua

En el área de influencia del estudio no hay presencia de cuerpos superficiales, por lo que no es posible realizar muestreos de calidad de agua superficial, sin embargo, toda la temática de hidrología fue desarrollada con respecto a la cuenca del río Fucha. La cual presenta su cauce superficial más cercano a aproximadamente 1km de distancia.

Para el análisis de calidad de agua subterránea no fue posible identificar un punto donde realizar el muestreo de calidad debido a que no hay captaciones o piezómetros activos en el área de influencia.

5.1.8 Usos del Agua

El uso de la cuenca en la parte urbana corresponde principalmente a corredores ecológicos de ronda y para usos forestales, presentes en la mancha urbana que atraviesa la cuenca. Los usuarios potenciales de la cuenca corresponden a la población que ubique sus viviendas o actividades productivas en dichas áreas (zonas aledañas a la ronda) bien sea como arrendatarios o como propietarios.

Podrán considerarse como usuarios, actuales y potenciales, la población que utilice o que pueda utilizar o disfrutar los espacios recreativos y las condiciones ambientales actuales y las mejoradas. Otros recursos como el agua, en la zona urbana no tienen usuarios potenciales, diferentes a la población que genera los desechos contaminantes, especialmente líquidos (aguas servidas domésticas e industriales), que son vertidas al río y/o a sus afluentes.

5.1.9 Hidrogeología

El objetivo de este capítulo es ejemplificar el componente hidrogeológico del área de influencia para el proyecto “Subestación eléctrica receptora – SER 2 y su línea de transmisión a 115 kV”. Esta caracterización fue compuesta a través de dos fases: una en campo y otra en la oficina. En la etapa de campo, se realizó la verificación de información secundaria encontrada mediante las variables: unidades hidrogeológicas, establecimiento de zonas de recarga y descarga, direcciones de flujo de agua subterránea e inventarios de puntos de agua subterránea. Por otra parte, en la fase de oficina se consultaron diversos estudios hidrogeológicos elaborados en la sabana de Bogotá.

Los estudios hidrogeológicos consultados para la elaboración del presente informe fueron los siguientes

- ▶ Actualización del POMCA del río Bogotá
- ▶ Modelo hidrogeológico conceptual de la sabana de Bogotá
- ▶ Estudio Nacional del Agua
- ▶ POMCA del río Bogotá
- ▶ Estudio hidrogeológico cuantitativo de la Sabana de Bogotá
- ▶ GDB del proyecto “Estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá”, elaborado por INGETEC.

5.1.9.1 Aspectos hidrogeológicos Regionales

De acuerdo con el IDEAM, Colombia está compuesta por cinco regiones hidrográficas que son: Orinoco, Amazonas, Atlántico, Pacífico y Magdalena-Cauca; a su vez, estas regiones se encuentran subdivididas en 16 provincias hidrogeológicas, presentando un área potencial de acuíferos de aproximadamente 74,5% del territorio nacional (IDEAM, 2015). En todo el territorio colombiano se presentan 61 sistemas acuíferos de carácter local y regional (5 son transnacionales). De manera regional la zona de estudio se encuentra ubicada en el área hidrogeográfica Magdalena, Cauca y en la provincia Cordillera Oriental (PM-4) dominada principalmente por el sistema acuífero de la Sabana de Bogotá (SM4.6) (CAR, 2019). Finalmente, de acuerdo con la actualización del POMCA del río Bogotá, la región hidrográfica Magdalena-Cauca presenta el 52% del total de acuíferos registrados en Colombia con un nivel de estudio entre medio y considerado.

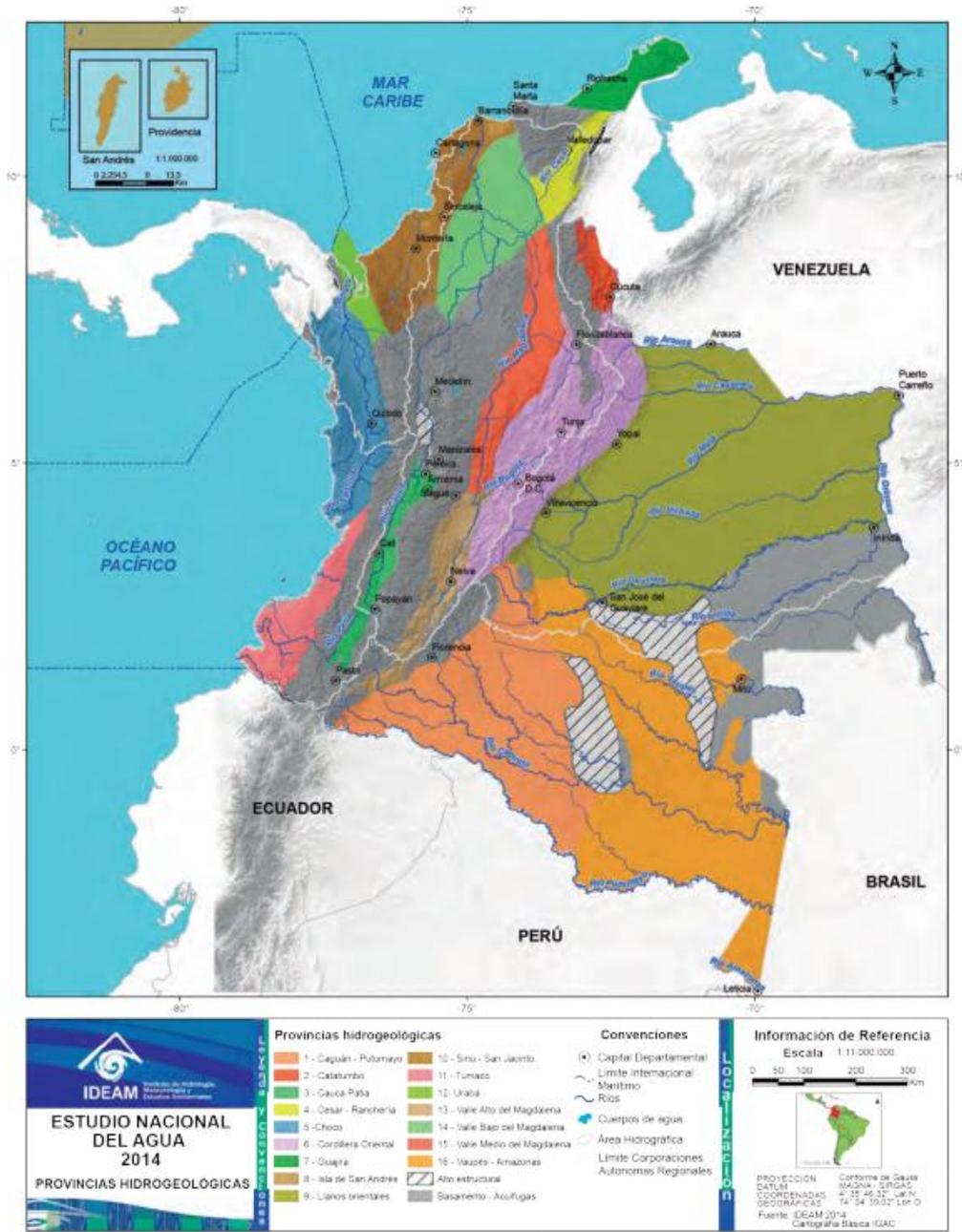


Figura 36. Provincias hidrogeológicas de Colombia.

FUENTE: ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2014. ELABORADO POR EL IDEAM, 2015.

La provincia hidrogeológica Cordillera Oriental presenta 10 sistemas acuíferos denominados de la siguiente forma: San Gil-Barichara, Bucaramanga-Piedecuesta, Tunja, Duitama-Sogamoso, Ubaté-Chiquinquirá, Sabana de Bogotá, Tablazo, Conejo, Colombia-Dolores y Mesa de los Santos. El área de estudio se ubica geográficamente en el sistema acuífero de la Sabana de Bogotá y la unidad

hidrogeológica Acuífero Sabana. A continuación, se presentará una tabla con las características regionales.

Tabla 21. Características hidrogeológicas regionales del área de estudio.

Provincia Hidrogeológica	Sistema Acuífero	Unidades hidrogeológicas	Tipo de acuífero	Parámetros Hidráulicos
PM4 Cordillera Oriental	Sabana de Bogotá	Acuífero Sabana, Grupo Guadalupe y Fm Tilatá	Libre, semiconfinados a confinados	B:>1000m K:4,4 a 750 m/d T:4 a 480m ² /d S:2.4x10 ⁻⁵ a 2.2x10 ⁻³ Ss:0.04 a 1.94 l/s/m

FUENTE: ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA. ELABORADO POR EL IDEAM, 2015

Los acuíferos y acuitardos más representativos a nivel regional (Cuenca del río Bogotá) se describirán a continuación:

- ▶ Acuífero Cuaternario: Cuerpo de agua de extensión local, relacionado con los sedimentos del cuaternario. Se clasifica como un acuífero de poca importancia hidrogeológica por su poco espesor, su mayor posibilidad de ser contaminado y fácil agotamiento por consecuencias de sobreexplotación. Finalmente, el acuífero puede aportar caudales de 1 a 5 l/s (CAR, 2019).
- ▶ Acuífero Tilatá: Obtiene su nombre ya que se encuentra relacionado con la Formación Tilatá. Se clasifica como un acuífero de extensión local y de gran importancia hidrogeológica debido a su gran espesor, la posibilidad de recarga, afloramientos en superficie y fácil agotamiento por sobreexplotación. Finalmente, el acuífero puede aportar caudales entre 10 y 40 l/s (CAR, 2019).
- ▶ Acuitardo Regadera: Cuerpo de agua de extensión regional relacionado con estratos conformados por intercalaciones entre arcillas y arenas. Se clasifica como un acuitardo de moderada por su poco espesor, su mayor posibilidad de ser contaminado y fácil agotamiento por consecuencias de sobreexplotación Finalmente, el acuitardo puede aportar caudales de 5 l/s (CAR, 2019).
- ▶ Acuífero Cacho: Obtiene su nombre ya que se encuentra relacionado con la Formación Cacho. Se clasifica como un acuífero de moderada importancia hidrogeológica por su mediano espesor, su vulnerabilidad ante la contaminación y su fácil agotamiento por sobreexplotación. Finalmente, el acuífero puede aportar caudales entre 3 y 9 l/s (CAR, 2019).
- ▶ Acuitardo Guaduas: Cuerpo de agua de extensión regional, compuesto por una capa superior de arcillas y una capa inferior de areniscas y mantos de carbón. Se clasifica como un acuífero de importancia moderada por su amplio espesor y amplia relación con la cuneca del río Bogotá. Finalmente, el acuífero puede aportar caudales de 1 a 5 l/s (CAR, 2019).
- ▶ Acuífero Labor Tierna: Obtiene su nombre ya que se encuentra relacionado con la Formación Labor Tierna. Se clasifica como un acuífero de extensión regional (El más importante de esta sección) y de gran importancia hidrogeológica debido a su gran espesor, la posibilidad de

recarga y porque presenta afloramientos en superficie en estructuras de anticlinales y sinclinales. Finalmente, el acuífero puede aportar caudales entre 10 y 60 l/s (CAR, 2019).

- ▶ Acuitardo Plaeneners: Cuerpo de agua de extensión regional, relacionado con el fracturamiento de liditas y chert. Se clasifica como un acuitardo de moderada importancia hidrogeológica por su poco espesor y puede producir caudales de 10 l/s (CAR, 2019).
- ▶ Acuífero Arenisca Dura: Cuerpo de agua de extensión regional, relacionado con el fracturamiento de capas de arenisca. Se clasifica como un acuífero de gran importancia hidrogeológica por su gran espesor su posibilidad de recarga y porque aflora en su totalidad. Finalmente, el acuífero puede aportar caudales superiores a los 12l/s (CAR, 2019).

De acuerdo con el POMCA del río Bogotá, la composición de estos cuerpos de agua se genera a través de las siguientes unidades:

- ▶ Unidades acuíferas: Depósitos Aluviales, Depósitos Fluvioglaciares, Depósitos de Terrazas Altas, Depósitos de Terrazas Bajas, Formación Marichuela, Formación Tiltatá, Formación Conglomerados de Guandoque, Formación Areniscas de Cacho, Formación Arenisca Labor y Tierna, Formación La Tabla y Formación Arenisca Dura (CAR, 2019).
- ▶ Unidades que componen los acuitardos: Formación Sabana, Formación Chía, Formación Tunjuelito, Formación Chisacá, Formación Subachoque, Formación Honda, Formación Barzalosa, Formación Arenisca de La Regadera, Formación Guaduas, Formación Hoyón, Grupo Oliní, Formación Plaeners, Formación Usme, Formación Seca y Formación Liditas Inferior (CAR, 2019).
- ▶ Unidades que conforman acuíferas: Depósitos de Coluviones, Depósitos de Pendientes, Formación Bogotá, Formación Chipaque, Formación Conejo, Formación La Frontera, Formación Guaguaqui, Formación Capotes, Formación la Naveta, Formación Simití, Formación Hiló, Formación Paja, Formación Simijaca, Formación Pacho, Formación Trinchera Miembro Anapoima, Formación Trinchera Miembro El Tigre y Formación Socotá (CAR, 2019).

5.1.9.2 Aspectos hidrogeológicos locales

Las unidades hidrogeológicas se encuentran en el acuífero de la Sabana (Acqs). Este acuífero se caracteriza por ser discontinuo de extensión regional, flujo intergranular, baja productividad y capacidad específica entre 0,05 y 1 l/s/m. Adicionalmente, esta unidad se encuentra conformada por depósitos fluviolacustres de la Sabana constituidos por arcillas y limos con intercalaciones de arenas y gravas pertenecientes al Complejo de Conos, Formación Sabana y Depósitos de Llanura de Inundación. El espesor de este acuífero es variable, sin embargo, presenta una tendencia de crecimiento en dirección cerros orientales – Funza, Mosquera y Madrid (320 mts). Las capas de arenas y gravas debido a su permeabilidad son capaces de almacenar agua entre 1l/s y 5l/s.

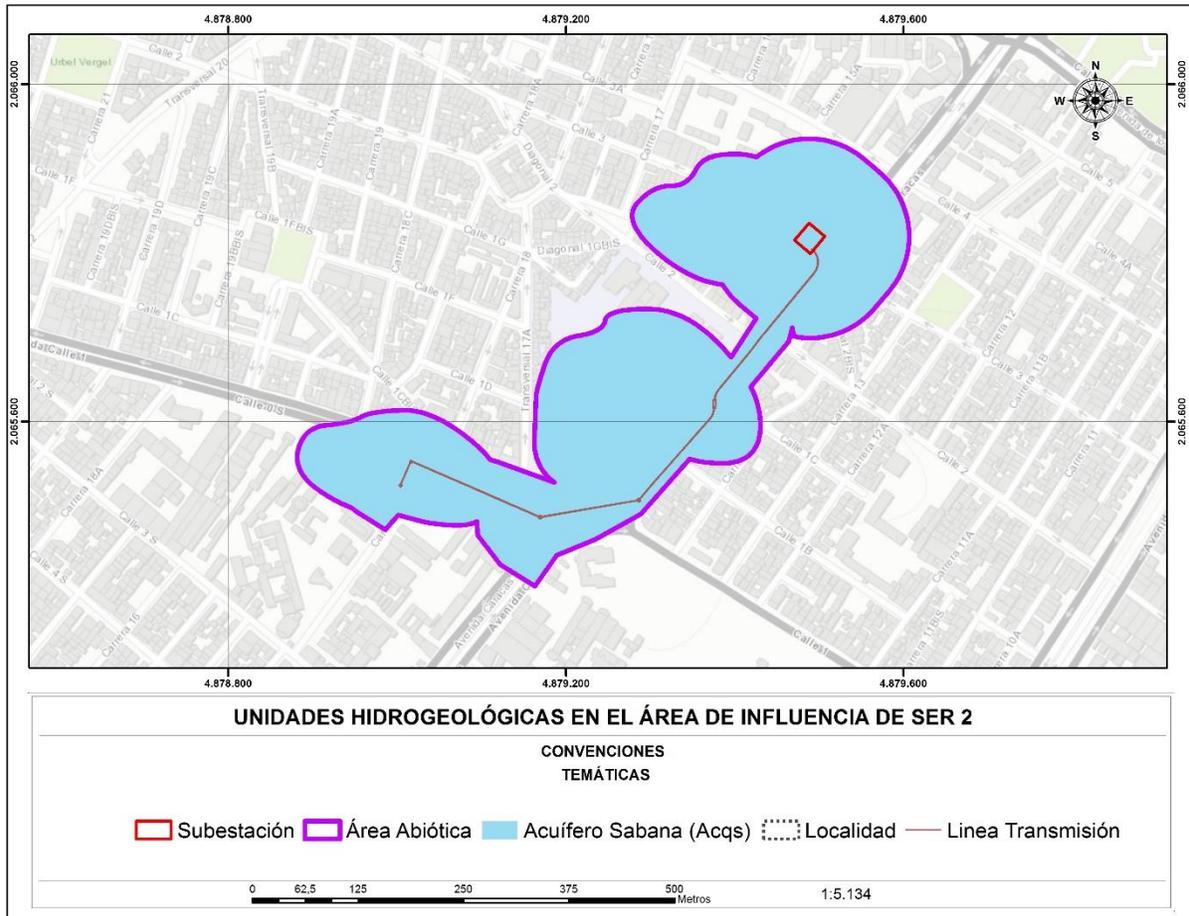


Figura 37. Unidades hidrogeológicas dentro del área de influencia

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.9.3 Vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos

La vulnerabilidad en los acuíferos presentes en el área de influencia se estudió por medio del método GOD propuesto por Foster (1987). Esta metodología se compone a través de tres parámetros: G, O y D, que adquieren valores de acuerdo con la contribución en la defensa de la contaminación (Vargas Quintero, 2010). A continuación, se describirán describirá la caracterización de estos parámetros.

- ▶ G (Groundwater occurrence): Esta variable describe el grado de confinamiento hidráulico con la identificación del tipo de acuífero, el rango oscila entre 0 y 1, siendo 0 el valor para la ausencia de acuíferos, 1 para acuíferos libres.
- ▶ O (Overall aquifer class): Esta variable describe la caracterización de la zona no saturada o capa confinante. Los valores oscilan entre 0,4 y 1, los más bajos corresponden a materiales no consolidados, mientras que los más altos corresponden a rocas compactadas fracturadas o karstificadas.

- D (Depth): Esta variable describe el nivel freático en los acuíferos libres o la profundidad del techo en los acuíferos confinados. Los valores más bajos (0,6) corresponden a acuíferos libres con profundidades mayores a 50 metros, mientras que por otro lado los valores más altos (1) corresponden a acuíferos fracturados sin importar la profundidad.

El índice de vulnerabilidad GOD se obtiene, multiplicando los valores de cada parámetro

$$iV_{GOD} = G \times O \times D$$

De acuerdo con el puntaje obtenido clasificación de vulnerabilidad se da mediante la siguiente tabla:

Tabla 20. Categorías de vulnerabilidad para el método GOD

PUNTAJE	VULNERABILIDAD
0.7 – 1.0	Muy alta
0.5 – 0.7	Alta
0.3 – 0.5	Moderada
0.1 – 0.3	Baja
< 0.1	Muy baja

FUENTE: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD INTRÍNSECA DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN. ELABORADO POR EL MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL EN EL 2010

Tabla 21. Parámetros tenidos en cuenta para implementación de la metodología GOD

Unidad Hidrogeológica	Grado de confinamiento		Ocurrencia sustrato suprayacente		Profundidad		Vulnerabilidad	
	Tipo de acuífero	Valor (G)	Litología	Valor (O)	Profundidad (m)	Valor (D)	Valor GOD	V
Acuífero de la Sabana	Confinado	0,5	Arcillas con intercalaciones de arena	0,3	<5m	0,9	0,135	Baja

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

Estos valores fueron señalados teniendo en cuenta la información encontrada en diversas fuentes como la “Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación”, el “Estudio Hidrogeológico Detallado de Bogotá, con énfasis en la zona norte de la ciudad”, el “Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos en el municipio de Funza”, la “Evaluación De La Vulnerabilidad En El Sistema De Acuíferos De La Cuenca Alta y Media del Río

Bogotá”. Estos resultados fueron complementados con el mapa de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos de la Sabana de Bogotá por medio del método GOD (SGC, 1997).

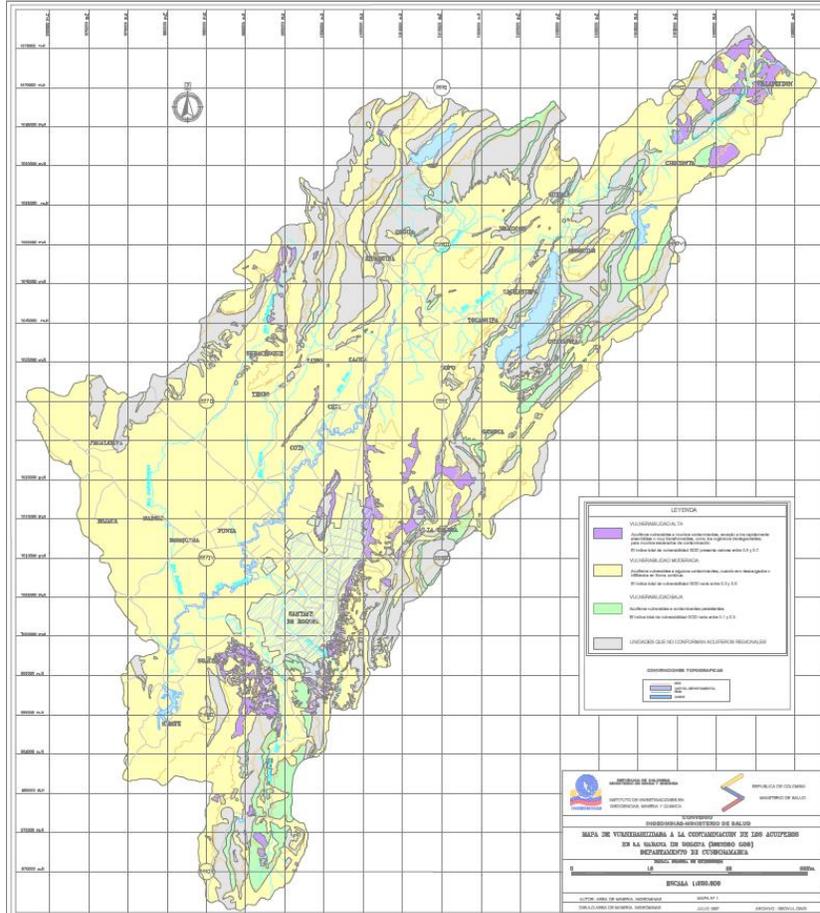


Figura 38. Vulnerabilidad de acuíferos en la sabana de Bogotá (Método GOD)

FUENTE: MAPA DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE LOS ACUÍFEROS DE LA SABANA DE BOGOTÁ MÉTODO GOD DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA. ELABORADO POR EL SGC, 1997

El área de estudio se encuentra catalogada dentro de las secciones baja y moderada, sin embargo, ya que el estudio que la clasifica como moderada es muy antiguo y para una región muy extensa la definición final será la de vulnerabilidad baja.

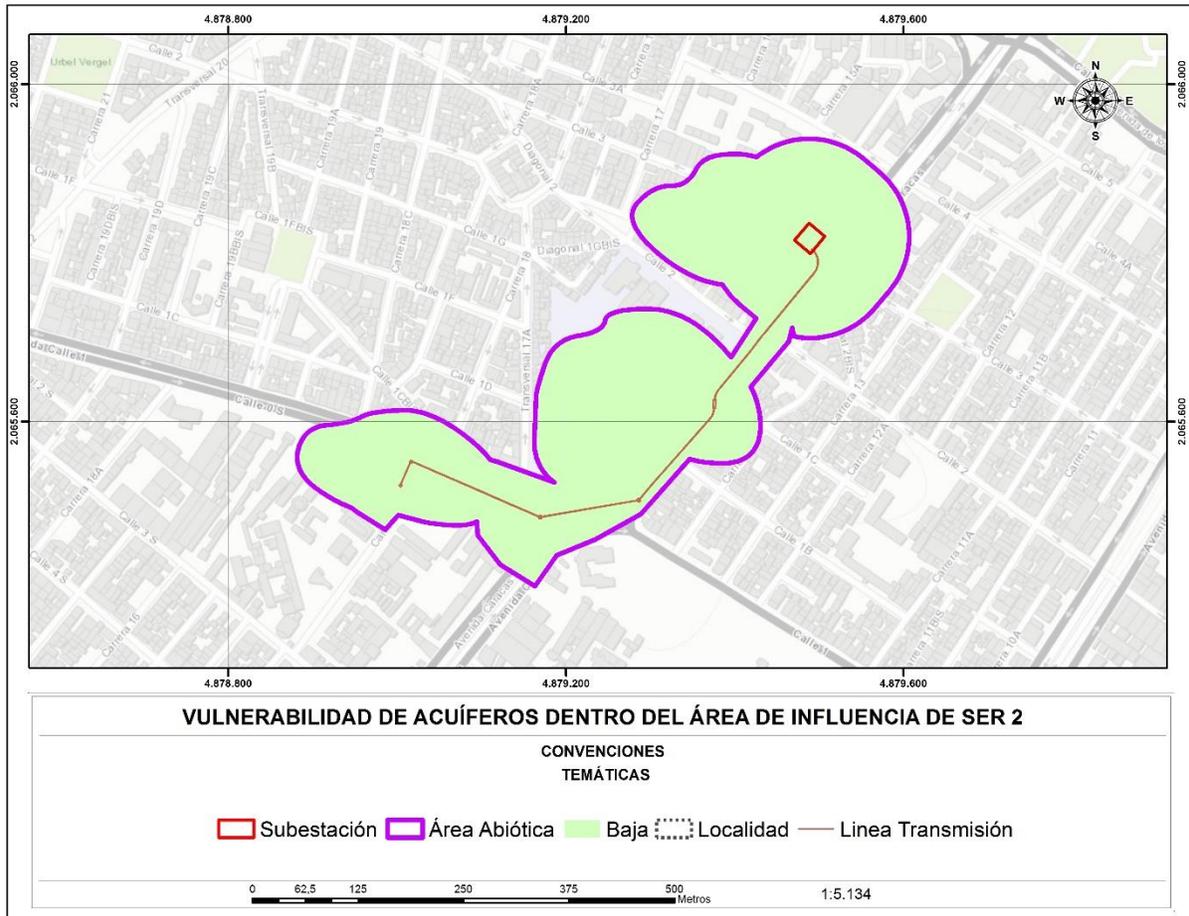


Figura 39. Vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en SER 2
(Método GOD)

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.9.4 Zonas de recarga y descarga

La recarga es el proceso encargado de incorporar agua en un acuífero, esta agua proviene de un medio externo y se encuentra limitada por diversos factores. Existen múltiples fuentes de recargas como la infiltración de aguas lluvia (es la fuente más importante), infiltración de aguas superficiales, transferencia de aguas entre acuíferos, entre otras. Las áreas que presentan este proceso de recarga son denominadas como zonas de recarga y se caracterizan debido a su alta infiltración (Mateus, Faustino, & Jiménez, 2009).

La infiltración de aguas es un proceso que permite la caída del agua por efectos de la gravedad y su posterior acumulación en los poros del suelo. Esta capacidad de infiltración es una medida de cantidad de agua que pasa por el medio en determinado tiempo y varía en función de la humedad, régimen de precipitación, compactación y composición del suelo, escorrentía superficial, patrón de drenaje de la cuenca, ente otros (Mateus, Faustino, & Jiménez, 2009).

Las zonas de recarga pueden ser alimentadas de forma natural a través de aguas superficiales, precipitación, entre otros; pero también puede generarse artificialmente a través de actividades como la irrigación, las fugas en redes de abastecimiento, entre otros (Vélez Otálvaro & Vásquez Ariza, 2004). De acuerdo Lerner (1990), estas zonas pueden ser clasificadas a través de las siguientes categorías: Recarga directa (Agua lluvia), recarga concentrada (Cauces de todo tipo), flujos laterales, retorno de riegos (Exceso de riegos o pérdidas en canales de distribución) y recarga urbana (Lerner, 1990).

Determinar e identificar las zonas de recarga es de gran importancia ya que debido a las características que presentan, son consideradas zonas fáciles de ingreso tanto para aguas y como para contaminantes que pueden afectar al ambiente y las poblaciones de la región.

5.1.9.4.1 Delimitación de las zonas de recarga potencial

Para la definición o delimitación de las zonas de recarga se han propuesto múltiples metodologías que relacionan distintos parámetros que pueden influir en la recarga de un cuerpo de agua. Algunos de los factores implementados son el relieve, el uso de los suelos, los factores climáticos las condiciones estructurales de las rocas, entre otros (Betancur Vargas, y otros, 2020). Las variables definidas y utilizadas en cada uno de los métodos dependen de la escala y objetivos requeridos en el desarrollo del proyecto.

Para el presente estudio se adoptó la metodología desarrollada por Silva, por consiguiente, las variables estudiadas fueron las siguientes: pendiente del terreno, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo. A cada una de estas variables se les asigna un valor de 1 a 5 dependiendo de su potencial para contribuir a la recarga y se multiplican con un valor acorde con la influencia sobre la cuenca. Finalmente, los factores son sumados indicando el potencial de recarga del área estudiada.

$$ZR = (0,27 * Pendiente) + (0,23 * Tipo de suelo) + (0,12 * Tipo de roca) + (0,25 * Cobertura vegetal) + (0,13 * Uso del suelo)$$

El resultado de la ecuación indica el potencial de recarga, a continuación, se presentarán los rangos establecidos para cada categoría.

Tabla 22. Valores del potencial de recarga

Potencial de recarga	Valor resultante
Muy alta	4,1 - 5,0
Alta	3,5 - 4,09
Moderada	2,6 - 3,49
Baja	2,0 - 2,59
Muy baja	0,75 - 1,99

FUENTE: EIA CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

5.1.9.4.1.1 Pendientes

La pendiente es una variable de gran importancia ya que se encuentra relacionada con la escorrentía superficial; los lugares que presentan altas pendientes tienen una velocidad de escorrentía mayor, influyendo en las condiciones del suelo, la capacidad de recarga y la susceptibilidad a la erosión, por otra parte, los lugares presentan pendientes bajas, tienen un movimiento más lento de aguas generando mayores contactos con el suelo y favoreciendo al proceso de filtración (Mateus, Faustino, & Jiménez, 2009).

Tabla 22 Ponderación del parámetro “pendiente”.

Pendiente (%)	Potencial de recarga	Ponderación
0-6	Muy alta	5
6-15	Alta	4
15-45	Moderada	3
45-65	Baja	2
>65	Muy baja	1

FUENTE: EIA CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

Para el área de estudio se determinaron pendientes menores a 7%, por lo que el potencial de recarga en este componente se encuentra catalogado como muy alto por medio de esta variable.

5.1.9.4.1.2 Suelos

La identificación del tipo de suelo es importante ya que representa características que tiene como la porosidad, textura, permeabilidad y compactación. La capacidad de infiltración presenta un comportamiento lineal con el incremento de porosidad, del tamaño de partículas y de fisuras en el suelo. Las zonas de recarga deben presentar una alta capacidad de infiltración que es producida por suelos con textura gruesa, por el contrario, los suelos con textura fina, compactados y pesados dificultan la recarga hídrica (Mateus, Faustino, & Jiménez, 2009).

Tabla 23. Ponderación del parámetro “suelos”.

Clase Textural	Clase Textural Cuenca	Potencial de Recarga	Ponderación
Franco arenoso-arenoso	-	Muy alta	5
Franco	Franca gruesa	Alta	4
Franco-limoso	Limoso fina	Moderada	3
Franco arcillo-arenoso-Franco arcilloso	Franca fina	Baja	2

Clase Textural	Clase Textural Cuenca	Potencial de Recarga	Ponderación
Arcilloso arenoso- arcilloso	Fina y muy fina	Muy baja	1

FUENTE: EIA CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

En el área de estudio la composición del suelo pertenece a la categoría arcilloso arenoso-arcilloso, por ende, esta zona se encuentra catalogada con una ponderación de 1, equivalente a un potencial de recarga bajo.

5.1.9.4.1.3 Tipo de roca

Al igual que el tipo de suelo, las características de las rocas también son de gran importancia para el potencial de recarga de fuentes hídricas (porosidad y permeabilidad). El análisis geológico de la zona permite identificar si la recarga es subsuperficial o profunda de aguas subterráneas. Por un lado, las rocas duras con poros finos no favorecen la recarga, mientras por otro lado, las rocas permeables con macroporos, fallas o fracturas son óptimas para este proceso (Mateus, Faustino, & Jiménez, 2009).

Tabla 24. Ponderación del parámetro "Tipos de roca".

Tipo de Roca	Litología	Ponderación	Potencial de Recarga
Muy permeables, muy suaves	Bloques, clastos, gravas, arenas y limos, dependiendo del sitio dentro de la cuenca, sueltos, de pobre a buena selección.	4,5	Alta a muy alta
Permeables, suaves	Sedimentos limo-arcillosos y de arenas de grano fino a medio, arcillosas.	4	Alta
	Arenas cuarzosas de grano fino a medio, arcillo-limosas, granos de mala selección y sub-redondeados.	4	
	Arenas cuarzosas de grano medio a grueso, arcillo-limosas, con clastos líticos.	4	
	Conglomerados, clasto-soportados y matriz-soportados, con clastos de hasta 40 cm de diámetro, embebidos en una matriz areno-arcillosa.	4	
Moderadamente permeables	Cuarzoarenitas de grano fino, moderadamente duras a friables.	3,5	Moderadamente alta
	Areniscas de grano fino, de matriz arcillosa y baja consolidación,	3,5	

Tipo de Roca	Litología	Ponderación	Potencial de Recarga
	interestratificada con capas delgadas de arenisca ferruginosa.		
Poco Permeables	Limos y arenas de grano fino y muy fino, bien seleccionadas.	2,5	Baja a moderada
	Areniscas cuarzosas de grano fino, compactas y cementadas.	2	Baja
	Arcillas algo filíticas o pizarras que alternan con areniscas cuarcítica y grawacas.	2	
	Arcillolitas limosas.	1,5	Muy baja a baja

FUENTE: EIA CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

De acuerdo con las características litológicas presentes en el área de influencia, el tipo de roca tiene una composición limo arcillosa correspondiendo a un potencial de recarga entre muy bajo y bajo.

5.1.9.4.1.4 Cobertura vegetal

La cobertura del suelo es otra variable muy importante en el potencial de recarga; este factor influye en la infiltración de agua, ya que genera un mayor tiempo de contacto con el terreno, produciendo un decrecimiento en la velocidad de la escorrentía, en la erosión, en el impacto generado por las gotas de lluvia y en la resequedad. Todas estas características permiten la conservación del suelo favoreciendo las condiciones óptimas de recarga (Mateus, Faustino, & Jiménez, 2009).

Tabla 25. Ponderación del parámetro "Tipo de cobertura".

Cobertura %	Tipo de Cobertura	Potencial de recarga	Ponderación
>80	Bosque denso	Alta a muy alta	4,5
	Bosque denso alto		4,5
	Bosque denso bajo		4,5
	Bosque de galería y/o ripario		4,5
70-80	Plantación	Alta	4
	Bosque abierto alto/ bajo inundable		4
	Vegetación secundaria o en transición		4
	Vegetación secundaria alta		4
	Vegetación secundaria baja		4
	Bosque abierto		3,5

Cobertura %	Tipo de Cobertura	Potencial de recarga	Ponderación
	Bosque fragmentado	Moderadamente a alta	3,5
	Bosque fragmentado con vegetación secundaria		3,5
	Herbazal denso arbolado		3,5
	Herbazal denso de tierra firme con arbustos		3,5
	Arbustal		3,5
50-70	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	Moderada	3
	Herbazal		3
	Cultivos permanentes	Baja a moderada	2,5
	Cultivos permanentes herbáceos		2,5
	Plátano y banano/ Papaya		2,5
	Otros cultivos permanentes arbustivos		2,5
	Cacao		2,5
	Cultivos permanentes arbóreos		2,5
	Palma de aceite/Cítricos		2,5
	Pastos limpios		2,5
	Pastos arbolados		2,5
	Pastos enmalezados		2,5
	Áreas agrícolas heterogéneas		2,5
	Mosaico de cultivos/ Mosaico de pastos y cultivos		2,5
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		2,5
	Mosaico de pastos con espacios naturales		2,5
Mosaico de cultivos y espacios naturales	2,5		
30-50	Arroz/Maíz/Yuca/ Otros cultivos transitorios	Baja	2
	Áreas abiertas, sin o con poca vegetación		2
	Zonas arenosas naturales		2
< 30	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Muy baja	1
	Instalaciones recreativas		1
	Tierras desnudas y degradadas		1
	Zonas quemadas		1
	Zonas pantanosas		-
	Ríos (50 m)		-
	Lagunas, lagos y ciénagas naturales		-
	Cuerpos de agua artificiales		-
	Estanques para acuicultura continental		-
Zonas urbanas	-		

FUENTE: EIA CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

La cobertura en la zona de estudio se encuentra representada por la categoría de zonas urbanas, por esto el área se clasificó con un potencial de recarga muy bajo con un valor de ponderación igual a 0.

5.1.9.4.1.5 Uso del suelo

Esta variable presenta el mayor número de modificaciones en el tiempo debido a las actividades antrópicas que se presentan sobre estos. El uso inadecuado de los suelos genera una disminución en el potencial de recarga (Hasta 50%) y un incremento en la amenaza ante riesgos naturales y a procesos de erosión (Mateus, Faustino, & Jiménez, 2009).

Tabla 26 Potencial de recarga basado en el "Tipo de Cobertura".

Uso del suelo	Ponderación	Potencial de Recarga
Protección	4,5	Alta a muy alta
Producción	4	Alta
Protección		
Pastoreo extensivo	3	Moderada
Sistemas combinados de agricultura, ganadería y forestería		
Sistemas combinados de ganadería y forestería		
Sistemas combinados de agricultura y forestería		
Pastoreo extensivo	2	Baja
Cultivos transitorios extensivos		
Pastoreo extensivo	1,5	Muy baja a baja
Cultivos permanentes semi-intensivos		
Protección		
Cultivos permanentes intensivos	1	Muy baja
Infraestructura y transporte		
Recreacional, Deportivo o Turístico		
Cultivos transitorios intensivos		
Pastoreo extensivo	1	Muy baja
Protección		
Industrial		
Residencial		Muy baja

FUENTE: EIA CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

En términos de uso del suelo, el potencial de recarga es considerado como muy bajo ya que las utilidades en la zona se encuentran clasificadas como: residencial, industrial y de infraestructura y de transporte. El valor otorgado por estas variables es 1.

Como se mencionó previamente la metodología (variables y pesos) utilizada fue elaborada por Silva. A continuación, se presentará el cálculo y categorización del área de influencia del presente proyecto

$$ZR = (0,27 * 5) + (0,23 * 1) + (0,12 * 1,5) + (0,25 * 0) + (0,13 * 1)$$

$$ZR = 1,89$$

De acuerdo con los resultados obtenidos por medio del método de Silva, se concluyó que el área de influencia presenta un potencial de recarga muy bajo.

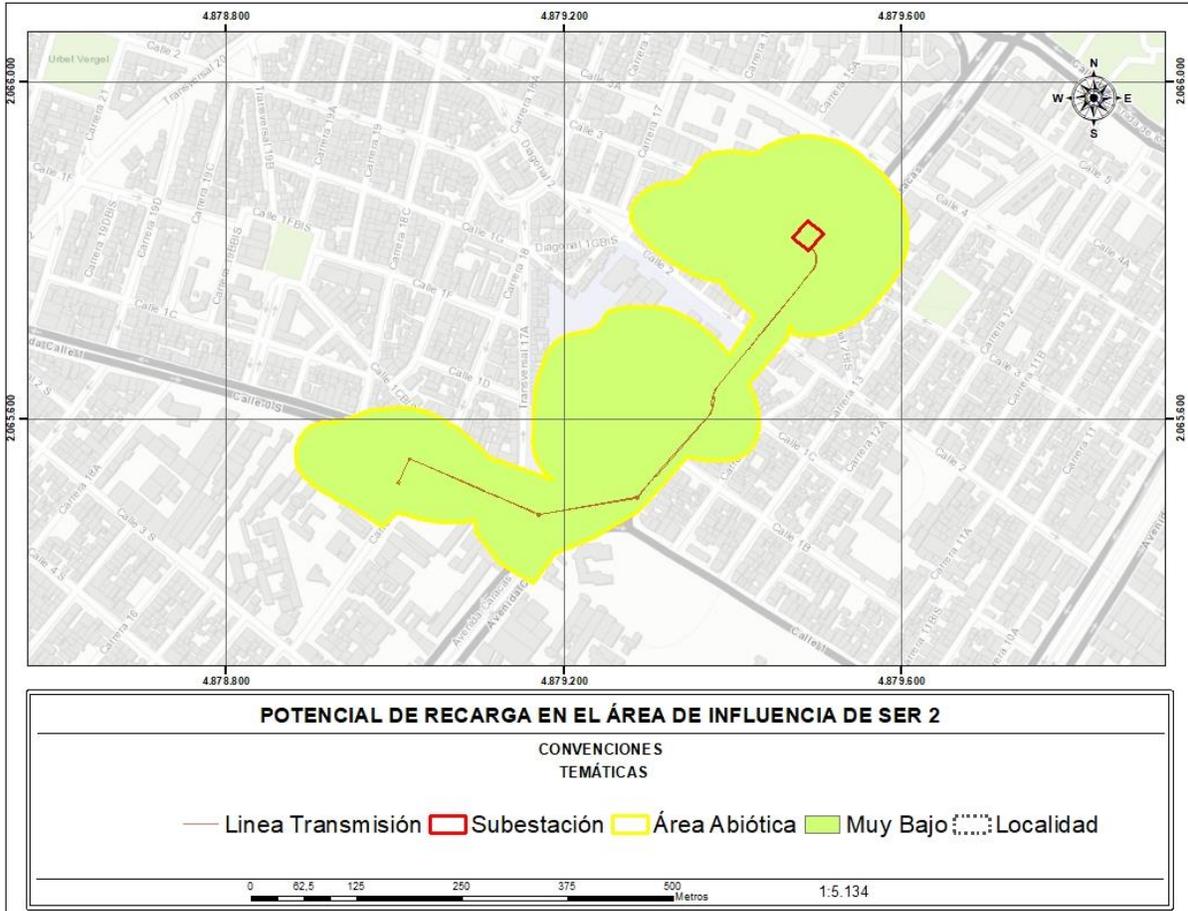


Figura 40. Potencial de recarga dentro del área de influencia

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S. 2020

5.1.9.5 Direcciones de flujo

Las principales subcuencas del río Bogotá se encuentran asociadas con los ríos Fucha, Salitre, Tunjuelo, Torca y Juan Amarillo; todas estas corrientes de agua cumplen con las mismas características ya que nacen sobre los cerros orientales y desembocan de manera superficial sobre la cuenca media en el cauce del río Bogotá. En este caso el área de interés del presente proyecto se encuentra ubicada sobre la subcuenca del río Fucha.

El río Fucha también conocido como río San Cristóbal nace en la reserva forestal El Delirio, ubicada sobre el páramo cruz verde y desemboca sobre el río Bogotá. La subcuenca de esta fuente hídrica tiene un área de 12.991 hectáreas urbanas y 4.545 rurales. (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, s.f.).

El área de influencia del presente proyecto se caracteriza por tener una topografía plana y regular, adicionalmente los predios de construcción de la subestación se encuentran a aproximadamente 800 m de la corriente del río Fucha. Adicionalmente este río fluye en dirección oriente – occidente en el nacimiento, y oriente – noroccidente en la parte de la desembocadura en el cauce del río Bogotá.

De acuerdo con diferentes perfiles topográficos realizados en el área de influencia se puede observar que la altura del terreno disminuye en dirección oeste y noroeste, esto provoca que las aguas superficiales y subterráneas sigan un destino aproximado en sentido sureste-noroeste fluyendo al punto de menor altura (con una dirección de flujo similar a la del río Fucha).

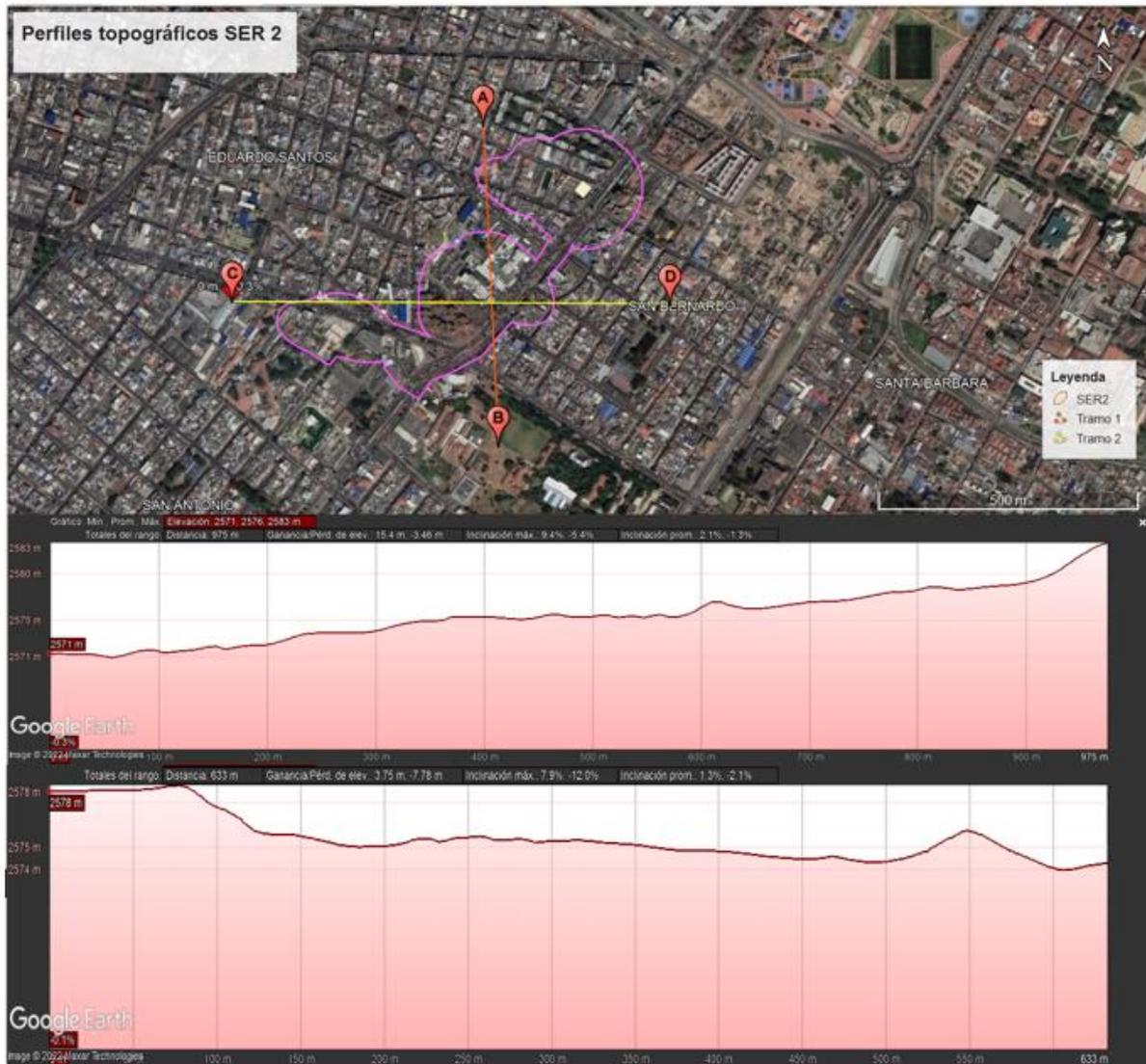


Figura 41. Perfiles topográficos del área de influencia

FUENTE: GOOGLE EARTH

5.1.9.6 Caracterización de aguas subterráneas

Se hizo una recopilación de información mediante distintos estudios hidrogeológicos, para poder establecer un inventario que indicara la captación de agua subterránea por acción natural o antrópica. Estas capacitaciones son representadas por pozos, aljibes, piezómetros y manantiales en cualquiera de sus estados (Explotados, no explotados, abandonados o colapsados).

Los inventarios hidrogeológicos permiten evaluar las características fisicoquímicas del recurso en orden de evaluar su calidad y uso, permitiendo el entendimiento de las características, comportamientos y parámetros hidráulicas de las diferentes unidades geológicas potencialmente (CPA Ingeniería, 2020). En esta sección se usarán como guía los informes “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital de Bogotá”, el EIAS de PLMB y el EIA para la “Construcción de subestación calle primera y línea de transmisión a 115kv” para determinar y analizar estas variables.

5.1.9.6.1 Caracterización hidrogeoquímica

Los acuíferos que proporcionan servicios ecosistémicos a la población deben ser capaces de almacenar agua, mantener un equilibrio hídrico, deben tener las características adecuadas y deben poseer una composición química ideal para el aprovechamiento. La composición química del agua subterránea se encuentra influenciada por dos variables: la actividad antrópica en las zonas de recarga y las interacciones con las unidades geológicas en las que se encuentra (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017).

En el presente estudio se utilizaron los diagramas de Piper para clasificar la química de las muestras de agua tomadas a lo largo de la unidad geológica denominada Depósitos Llanura de Inundación. A continuación, se presentarán los resultados obtenidos.

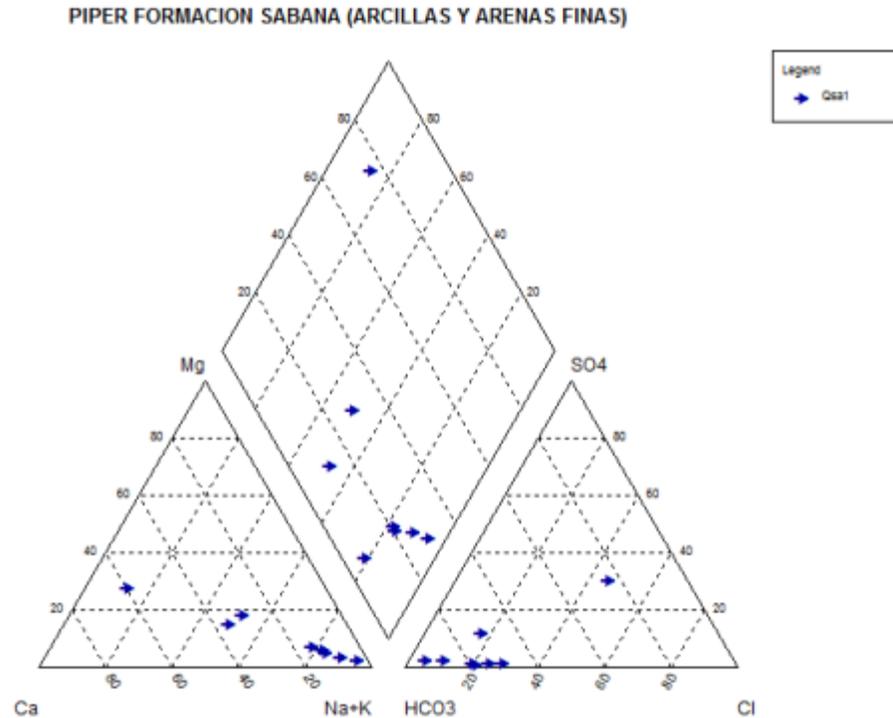


Figura 42. Diagrama de Piper de la Formación Sabana

FUENTE: SISTEMA DE MODELAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DEL DISTRITO CAPITAL BOGOTÁ. ELABORADO POR LA SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE, 2013.

5.1.9.6.1.1 Análisis de laboratorio

Para determinar la calidad del agua subterránea se tomó como base los estudios realizados en el EIA para la “Construcción de subestación calle primera y línea de transmisión a 115 kV”. Para este estudio se analizaron 4 muestras simples de agua tomadas a través de cuatro pozos de monitoreo instalados en perforaciones exploratorias. Es importante señalar que para el desarrollo de esta metodología hubo una purga de pozos (12 litros) buscando eliminar agua sucia, hojas y sedimentos.

► Características fisicoquímicas

En cada una de las perforaciones se realizaron análisis de sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, temperatura y pH, los resultados de cada una de estas variables se podrá observar a continuación.

Tabla 27 Resultados calidad de agua subterránea In-situ estudio Hidrogeológico.

Muestra de agua	Sólidos disueltos totales (mg/L)	Conductividad eléctrica (mS)	Temperatura °C	pH	Nivel de agua subterránea (m)
PE-1	360	0,70	19,7	5,71	2,8
PE-2	490	0,96	18,4	6,01	3
PE-3	850	1,71	18,5	6,34	2,5
PE-4	340	0,70	18,7	5,97	2

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S 2020

De acuerdo con cada una de estas variables, la conductividad hidráulica ($K= 1 \cdot 10^{-2}$ gal/día/ft²), la litología (Arcillas y arcillas limosas) de la zona, la permeabilidad y la porosidad se pudo establecer que agua del área de interés no es potable.

5.1.10 Geotecnia

Esta rama de la geología consiste en la aplicación de principios geológicos para obtener un conocimiento de los materiales naturales (Rocas, minerales, suelos) que constituyen la corteza terrestre; toda esta investigación tiene como objetivo el diseño, construcción y explotación de proyectos de ingeniería civil como la construcción de grandes edificaciones, vías de comunicación, acueductos, entre otros (Servicio Geológico Mexicano, 2014).

Desde 1980 el componente ambiental ha representado una importante rama para la geotecnia, sus principales usos se encuentran relacionados con: 1 el diseño y construcción de instalaciones para contener o eliminar residuos y 2 la evaluación y remediación de lugares contaminados por el desarrollo de prácticas industriales que pueden generar riesgo tanto en el entorno como para los habitantes de la región (Leal Lemus & Pelaez Serrano, 2014).

El objetivo del presente capítulo es realizar una zonificación geotécnica a partir de la recopilación de información secundaria encontrada para el área de estudio. Para cumplir este fin se realizó una descripción geotécnica y un análisis de la estabilidad.

5.1.10.1 Zonificación geotécnica

Para realizar esta zonificación se tomaron como base las siguientes fuentes de información: el libro de "Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales" (Metodología de Ambalagan), la "Guía para la zonificación ambiental del área de interés petrolero" y las recomendaciones de los "Términos de referencia para el estudio de impacto ambiental aplicables a proyectos de tendido de las líneas de transmisión del sistema regional de interconexión eléctrica, compuesto por el conjunto de las líneas con sus correspondientes módulos de conexión (subestaciones) que se proyecte operen a tensiones mayores a 50 kV y menores a 220 kV" implementados por la secretaría de Medio Ambiente de Bogotá D.C. Teniendo en cuenta cada una de estas recomendaciones y la metodología usada en el documento

“Construcción subestación calle primera y línea de transmisión a 115kv” se establecieron las siguientes variables para la evolución geotécnica del área de estudio (CPA Ingeniería, 2020):

- ▶ Pendientes
- ▶ Litología
- ▶ Tectónica
- ▶ Sismología
- ▶ Cobertura Vegetal
- ▶ Climatología (Precipitación)
- ▶ Geomorfología
- ▶ Hidrogeología
- ▶ Hidrología
- ▶ Uso del suelo
- ▶ Edafología

Las variables mencionadas previamente permiten la descripción de aspectos de gran importancia para la estabilidad geotécnica. A continuación, se describirán algunos de los aspectos caracterizados con anterioridad.

- ▶ Las pendientes conforman un factor indispensable para la estabilidad del terreno, ya que la inclinación de la ladera constituye un factor inversamente proporcional con la estabilidad de la zona. En las secciones anteriores se identificó que las pendientes predominantes del presente proyecto varían en un rango entre 0 y 1 %, lo que indicaría que el área de estudio presenta una estabilidad geotécnica alta
- ▶ La única unidad cartografiada dentro del área de estudio correspondió a la unidad geológica denominada Formación Sabana. Esta unidad se encuentra asociada con depósitos aluviales, con características litológicas representadas principalmente por arcillas, limos y arenas en menor proporción. Sin embargo, las arcillas de la zona no presentan valores significativos de expansión, por lo tanto, la zona se encuentra catalogada con una alta estabilidad geotécnica
- ▶ En la zona se presentan múltiples sectores con una baja densidad de individuos arbóreos. Esta variable proporciona un factor positivo para la estabilidad geotécnica a comparación de las zonas con grandes obras, tejidos urbanos, entre otros.
- ▶ En el área de influencia no se identificó actividad tectónica activa, por este factor se puede inferir una estabilidad geotécnica alta.

- ▶ El área de estudio se encuentra ubicada geográficamente en un nivel de amenaza sísmológica intermedia. La ocurrencia de sismos puede generar afectaciones en la geomorfología del terreno disminuyendo la estabilidad geotécnica de la zona.
- ▶ En la zona se ausentan los procesos morfodinámicos relacionados con fenómenos de remoción en masa y erosión. Este evento se considera una condición favorable para la estabilidad geotécnica ya que la relación entre estas variables es inversamente proporcional.

La metodología para determinar la estabilidad geotécnica del área de interés consiste en asignar valores a cada una de las categorías previamente definidas. Los valores asignados presentan un rango entre 0 y 1, donde 0 indica un terreno estable y 1 un terreno que presenta condiciones de inestabilidad severas. En la siguiente tabla se podrán observar el rango de valores y la clasificación de estabilidad.

Tabla 28-Rangos de valores utilizados en los parámetros de zonificación geotécnica

Estabilidad	Valor
Zona de estabilidad muy alta	0,00 a 0,20
Zona de estabilidad alta	0,21 a 0,40
Zona de estabilidad media	0,41 a 0,60
Zona de estabilidad baja	0,61 a 0,80
Zona de estabilidad muy baja	0,81 a 1,00

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S 2020

Después de haber asignado pesos, cada variable debe multiplicarse por un factor de ponderación (Entre 0 y 1) (Observar Tabla 29). Es importante tener en cuenta que el factor de ponderación es asignado de acuerdo con el criterio del profesional, en este caso fue 1 ya que todas las variables son consideradas igual de determinantes para evaluar la estabilidad geotécnica. Finalmente se debe realizar una sumatoria en la que se obtiene el valor de estabilidad, ya que el factor de ponderación para cada variable tomó un valor de 1, el máximo valor generado puede 9 para áreas con estabilidades geotécnicas muy bajas.

Tabla 29-Factores evaluados para la zonificación geotécnica del área de estudio con su respectivo factor de ponderación

Variable	Descripción	Factor de ponderación
Pendientes	Ángulo de inclinación	1
Unidades Litológicas	Tipo de material y su grado de consolidación	1
Cobertura de la tierra	Tipo de cobertura según CLC	1
Geomorfología	Tipo de geoformas y su origen	1
Hidrogeología	Unidades de roca de acuerdo con su capacidad para almacenar agua	1

Variable	Descripción	Factor de ponderación
Hidrología	Capacidad de cuencas hidrográficas para erosionar	1
Edafología	Unidad cartográfica de suelos	1
Uso del suelo	Principales usos presentes en el área de influencia	1
Sismología	Grado de amenaza acorde con la aceleración sísmica	1
Total		9

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S 2020

A continuación, se presentará una breve descripción de las variables usadas dentro del modelo de zonificación geotécnica

► Pendientes

Las pendientes son una variable muy representativa en la estabilidad del terreno ya que cuando las pendientes son muy altas los terrenos pueden presentar altas probabilidades de deslizamientos. Usualmente en los estudios geotécnicos esta variable es asociada con múltiples movimientos en masa y por esto es muy importantes su estudio (GEOMA, 2016). A continuación, se presentan los rangos de variación de las pendientes y su respectivo peso.

Tabla 30-Calificación asignada para componente de pendientes

Factor	Descripción	Categorías	Peso	Factor de ponderación	Resultado
Pendiente	Rango de variación en la inclinación de las formas del terreno. La inestabilidad geotécnica aumentara con la inclinación del terreno	A nivel 0-1%	0,01	1	0,01
		Ligeramente plana 1-3%	0,12		0,12
		Ligeramente inclinada 3-7%	0,23		0,23

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Litología

La unidad geológica en el área de estudio corresponde a la Formación Sabana compuesta litológicamente por arcillas limos y arenas en menor proporción. Este material litológico presenta una buena estabilidad geotécnica que es reforzado ya que las arcillas de la región no presentan grado de expansividad. A continuación, se podrá observar la calificación otorgada por sus características.

Tabla 31-Calificación asignada para componente litológico

Factor	Descripción	Categorías	Peso	Factor de ponderación	Resultado
Unidades litológicas	Tipo de material	Formación Sabana	0,3	1	0,3

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Cobertura de la tierra

De acuerdo con el tipo de cobertura presente en el área de influencia se pueden generar diferentes comportamientos en los suelos, por otro lado, las coberturas presentan vegetación la profundidad y densidad del tejido radicular va a afectar la cohesión interparticular del suelo, mientras que por otro lado, el cambio de coberturas puede generar degradación del suelos, seguido por procesos de meteorización, erosión y remoción de masa (CPA Ingeniería, 2020).

Tabla 32-Calificación asignada para componente de coberturas

Factor	Descripción	Categorías	Peso	Factor de ponderación	Resultado
Cobertura Vegetal	Describe el tipo de cobertura vegetal de acuerdo con la metodología CLC. La estabilidad geotécnica es proporcional con el mayor grado de cobertura boscosa	Tejido urbano continuo	0,3	1	0,3

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Geomorfología

En el área de estudio se presentan geoformas orientadas en planos inundables por lo tanto la clasificación asignada para esta variable es.

Tabla 33-Calificación asignada para componente geomorfológico

Factor	Descripción	Categorías	Peso	Factor de ponderación	Resultado
Geomorfología	Unidades asociadas a los agentes modeladores principales	Terraza Alta	0,3	1	0,3

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Hidrogeología

En esta variable examina las características de las unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia. Dependiendo de la composición litológica, de la conductividad hidráulica y de la porosidad estos son clasificados en acuíferos, acuitardos y acuicludos (CPA Ingeniería, 2020). A continuación, se podrá observar la clasificación asignada para la única unidad hidrogeológica de la zona.

Tabla 34-Calificación asignada para componente hidrogeológico

Factor	Descripción	Categorías	Peso	Factor de ponderación	Resultado
Hidrogeología	Unidades hidrogeológicas (Acuíferos, acuitardos, acuicludos)	Acuitardo Sabana	0,6	1	0,6

FUENTE: CPA Ingeniería S.A.S, 2022

► Edafología

Los tipos de suelo o características de estos, también son una variable representativa; el correcto uso de este, junto con la composición, dureza, humedad, compactación son propiedades que afectan directamente la estabilidad geotécnica.

Tabla 35-Calificación asignada para componente edafológico

Factor	Descripción	Categorías	Peso	Factor de ponderación	Resultado
Edafología	Clasificación de principales tipos de suelo con sus propiedades fisicoquímicas	Zonas urbanas	0,5	1	0,5

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Uso del suelo

El uso actual del suelo se refiere a aquellas actividades que se realizan dentro de determinado espacio; esta categoría es representa coberturas naturales o artificiales. Este componente afecta la estabilidad ya que las tierras usadas para la conservación son más estables que las tierras usadas en plantaciones. A continuación, se presenta la caracterización de esta variable en el área de interés.

Tabla 36-Calificación asignada para componente de uso del suelo

Factor	Descripción	Categorías	Peso	Factor de ponderación	Resultado
Uso del suelo	Actividad realizada en el suelo del área de interés	Asentamiento	0,3	1	0,3

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Sismología

La actividad sísmica presente en un área de interés influye en los procesos morfodinámicos entre los que se destacan la erosión y la remoción en masa. La relación entre estos dos factores es directamente proporcional, lo que indica que entre mayor actividad sísmica exista en la zona, mayor serán las amenazas contra la erosión y la remoción en masa.

Tabla 37-Calificación asignada para componente de sismología

Factor	Descripción	Categorías	Peso	Factor de ponderación	Resultado
Sismicidad	Grado de amenaza sísmica	Amenaza sísmica intermedia	0,5	1	0,5

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Hidrología

La relación de esta variable con la estabilidad geotécnica es inversa, lo que quiere decir que entre mayor capacidad de erosión presente la cuenca se tendrá una menor estabilidad geotécnica. Para el presente proyecto se han estudiado diferentes fuentes de información que indican que la capacidad de erosión del río Fucha es intermedio. A continuación, se presentará la caracterización para esta variable.

Tabla 38-Calificación asignada para componente hidrológico

Factor	Descripción	Categorías	Peso	Factor de ponderación	Resultado
Hidrología	Capacidad de las cuencas para erosionar y originar procesos morfodinámicos	Río Fucha	0,5	1	0,5

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

Finalmente, en la Tabla 39 se presentará la zonificación geotécnica del área de estudio.

Tabla 39-Calificación asignada para la zonificación geotécnica del área de influencia

Factor	Descripción	Categorías	Peso	Factor de ponderación	Resultado
Pendiente	Rango de variación en la inclinación de las formas del terreno. La inestabilidad geotécnica aumentara con la inclinación del terreno	A nivel 0-1%	0,01	1	0,01
		Ligerament e plana 1-3%	0,12		0,12
		Ligerament e inclinada 3-7%	0,23		0,23
Unidades litológicas	Tipo de material	Formación Sabana	0,3	1	0,3
Cobertura Vegetal	Describe el tipo de cobertura vegetal de acuerdo con la metodología CLC. La estabilidad geotécnica es proporcional con el mayor grado de cobertura boscosa	Tejido urbano continuo	0,3	1	0,3
Geomorfología	Unidades asociadas a los agentes modeladores principales	Terraza Alta	0,3	1	0,3
Hidrogeología	Unidades hidrogeológicas (Acuíferos, acuitardos, acuicludos)	Acuitardo Sabana	0,6	1	0,6
Edafología	Clasificación de principales tipos de suelo con sus propiedades fisicoquímicas	Zonas urbanas	0,5	1	0,5
Sismicidad	Grado de amenaza sísmica	Amenaza sísmica intermedia	0,5	1	0,5
Hidrología	Capacidad de las cuencas para erosionar y originar procesos morfodinamicos	Río Fucha	0,5	1	0,5
Uso del suelo	Actividad realizada en el suelo del área de interés	Asentamiento	0,3	1	0,3

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

Por otra parte, de acuerdo con el estudio de microzonificación geotécnica realizado en la ciudad de Bogotá, se pudo establecer que el suelo del área de influencia está ubicado sobre la sección Piedemonte B y Aluvial. La zona Aluvial caracteriza por presentar un suelo compuesto por arenas sueltas y arcillas limosas blandas, con moderada capacidad portante y compresible, pero son susceptibles a la licuación, por otro lado, el área que está sobre la sección Piedemonte se caracteriza por estar compuesta por gravas arcillo arenosas compactas que tienen alta capacidad portante pero pueden presentar problemas de inestabilidad en excavaciones abiertas (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2010)

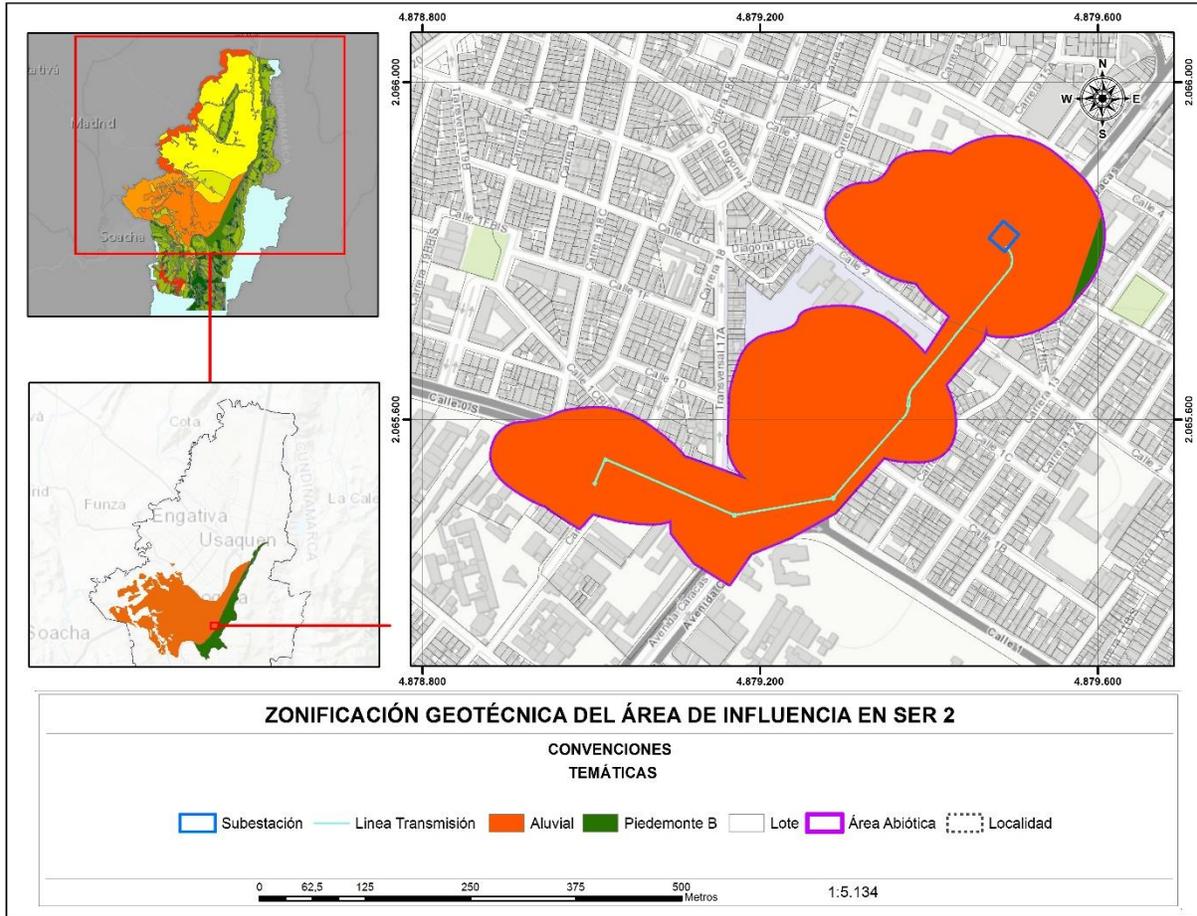


Figura 43 Mapa de microzonificación geotécnica en el área de interés

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.10.2 Descripción geotécnica

La investigación geotécnica tiene como objetivo determinar las características del subsuelo que guían sus comportamientos, entre estas variables se destaca el perfil del subsuelo, los ensayos de laboratorio y el nivel freático. Para este proyecto, se estudiaron las muestras tomadas y analizadas en el EIAS de la primera línea de metro de Bogotá (PLMB), la conferencia “Geotecnia de la Primera Línea del Metro de Bogotá” y el EIA del proyecto “Construcción de subestación calle primera y línea de transmisión a 115 kV”. Estos resultados permitieron identificar los rasgos físicos, la mecánica del suelo y los parámetros de resistencia y diseño.

► Trabajo de campo

De acuerdo con el estudio EIA del proyecto “Construcción de subestación calle primera y línea de transmisión a 115 kV” la geotecnia del área de estudio fue evaluada a través de 3 barrenos manuales

que se instalaron con profundidades menores a 6,15 m. A continuación, se podrá observar una tabla con la ubicación geográfica de cada uno de estos puntos.

Tabla 40-Puntos de muestreo (Ubicación y profundidades)

Factor	Descripción	Este	Norte	Nivel Freático
B-1	6,15	998460	999529	4,05
B-2	6,05	998451	999619	2,07
B-3	6,15	99847	999612	-

FUENTE: CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

Durante los trabajos de exploración geotécnica se realizó un ensayo de penetración estándar (SPT) siguiendo la normativa INV E-111-13. A continuación se presentarán los puntos y perfil de resistividad.

Tabla 41-Puntos de perfil de resistividad

Sondeo	Muestra	Profundidad Inicial (m)	Profundidad Final (m)	N Campo
B-1	1	0.2	0.425	6
B-1	2	0.65	0.875	7
B-1	3	2.2	2.375	6
B-1	6	5.75	5.95	21
B-2	1	0.05	0.275	12
B-2	2	0.5	0.725	5
B-2	5	5.15	5.375	12
B-2	6	5.6	5.825	13
B-3	1	0.3	0.525	14
B-3	2	0.75	0.975	11
B-3	3	2.2	2.425	19
B-3	4	3.65	3.875	14
B-3	5	5.1	5.325	11
B-3	6	5.55	5.775	15

FUENTE: CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

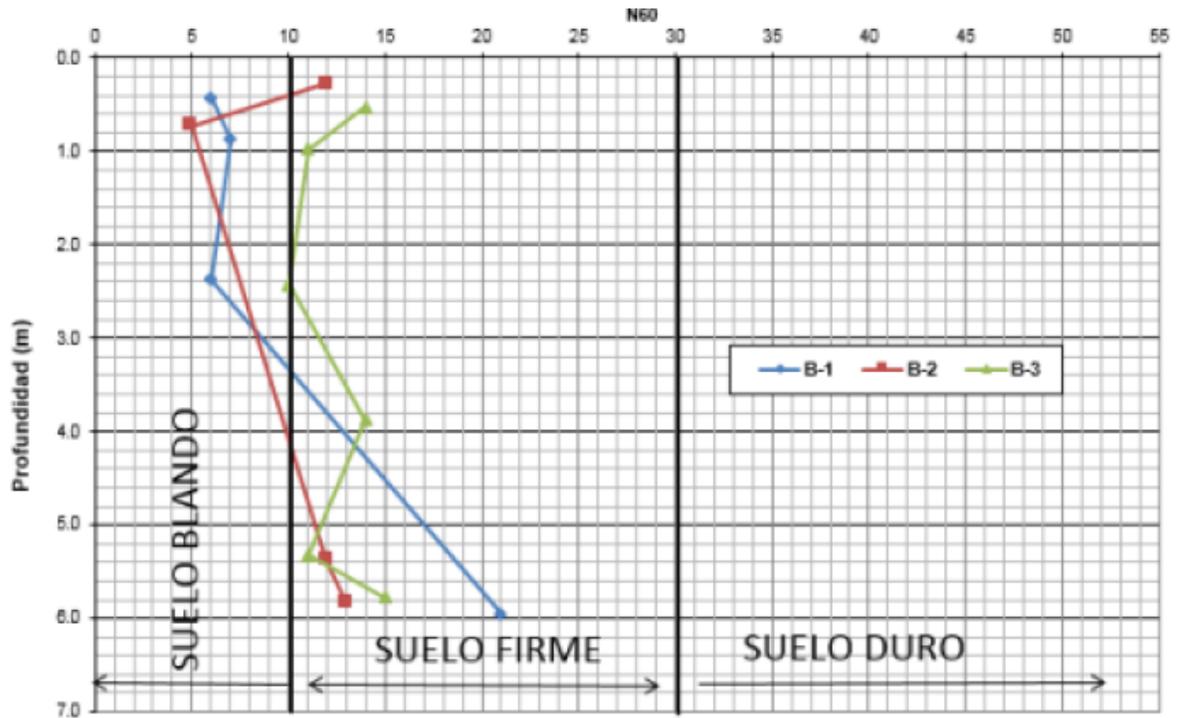


Figura 44 Gráfica NSPT vs profundidad

FUENTE: CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

► Ensayos de laboratorio

Por medio de este tipo de pruebas se pueden determinar las características físicas y mecánicas del área de estudio. En la siguiente tabla se presentará un resumen de los resultados obtenidos para este tipo de suelos.

Tabla 42-Resumen pruebas de laboratorio

Sondeo	Muestra	Profundidad Inicial (m)	Profundidad Final (m)	Wn %	LL %	LP %	IP %	Granulometría			UCS	Compresión inconfiada	
								#4	#40	#200		qu (Kpa)	Su (kPa)
B-1	2	0,62	1,10	20	45	16	29	16	16	16	CL		
B-1	3	2,20	2,55	30	40	19	21	19	19	19	CL	59	29,5
B-1	4	3,55	4,15	24								62	31
B-1	6	5,75	6,15	22	37	20	17	20	20	20	CL		
B-2	2	0,50	0,95	35	42	21	21	21	21	21	CL		
B-2	4	3,55	4,15	22								109	54,5
B-2	6	5,50	6,05	24	38	19	19	19	19	19	CL		
B-3	2	0,75	1,20	19	31	18	13	18	18	18	SH		
B-3	4	3,65	4,10	32	55	22	33	22	22	22	CH		
B-3	6	5,5	6	34	43	21	21	21	21	21	CL		

FUENTE: CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

Tabla 43-Resumen ensayo de consolidación

Sondeo	Muestra	Profundidad inicial (m)	Profundidad final (m)	Consolidación					
				Cv(m2/año)	kg/cm ²	Cc	Cr	ei	ef
B-1	5	5,15	5,75	4,88	1,84	0,25	0,05	0,83	0,70

FUENTE: CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

► Perfil estratigráfico promedio

El perfil estratigráfico promedio en el área de estudio consiste en arcillas con humedad media y alta plasticidad. Las características específicas de los estratos encontrados se describirán a continuación.

Profundidad (m)	Composición	Nc mpo	KN/ m3	Su (Kpa)	Es (Kpa)	μ	Cc	Cr
6,15	Arcilla y arcilla limosa con humedad de media alta y porcentaje de finos entre 60% y 100%. No se presenta contenido de materia orgánica	6-21	20	50	20000	0,45	0,25	0,05

FUENTE: CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

► Nivel freático

En las secciones anteriores (Tabla 40) se dio a conocer el nivel freático encontrado por medio de los barrenos realizados en la zona. De acuerdo con los resultados obtenidos se pudo identificar que solo dos de estos presentaban nivel freático: B-1 y B-2, con una distancia de 4,05 y 2,07 metros respectivamente. Teniendo en cuenta los escenarios críticos se estableció el menor valor, por eso el nivel freático de la zona fue de 2.07 metros

► Caracterización geotécnica

Después de analizar los ensayos de campo, laboratorio y de haber efectuado el proceso exploratorio, se lograron identificar y definir las propiedades geomecánicas del área de interés. Inicialmente el análisis de capacidad de carga de fundaciones se realizó usando parámetros no drenados para su definición, adicionalmente, para suelos cohesivos se determinó la resistencia al corte no drenado a través de ensayos de compresión inconfiada y su correlación con la resistencia en el método SPT e índice de plasticidad. A continuación, se presentarán los valores de resistencia al corte no drenado y las correlaciones y ensayos de compresión inconfiada realizados.

Tabla 44-Resistencia al corte no drenado por ensayos de compresión inconfiada

Sondeo	Muestra	Inicial	Final	qu (kPa)	Su (kPa)
B-1	3	2,20	2,55	59	29,50
B-1	4	3,55	4,15	62	31
B-2	4	3,55	4,15	109	54,50

FUENTE: CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

Tabla 45-Resistencia al corte de diseño

Perfil	Correlaciones	Laboratorio	Su (kPa)
Arcilla color habano oscuro de alta plasticidad	53,12	38,3	46,0

FUENTE: CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN CALLE PRIMERA Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115KV. ELABORADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2020

5.1.11 Atmósfera

5.1.11.1 Clima

Para determinar las condiciones climatológicas de la zona de estudio, se realiza teniendo en cuenta lo solicitado por los términos de referencia generales, aplicables a proyectos de tendido de líneas de trasmisión del sistema regional de interconexión eléctrica, compuesto por el conjunto de líneas con sus correspondientes módulos de conexión (subestaciones) que operen tensiones mayores a 50 kV y menores de 220 kV. La información que aquí se construye para estimar el comportamiento climatológico, se realiza con base a datos suministrados por las estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, datos que permiten estudiar el comportamiento de temperatura, precipitación, humedad relativa, nubosidad, brillo solar, evaporación, velocidad y dirección del viento, estabilidad atmosférica, altura de mezcla y Zonificación Climática.

5.1.11.1.1 Recolección de Información

Para determinar las condiciones climatológicas se tomaron registros de 3 estaciones: climatológicas ordinarias (CO) y climatológica Principal (CP), las cuales miden variables como temperatura, precipitación, humedad, entre otras. Estas estaciones, fueron escogidas por su proximidad geográfica con la subestación, y representatividad en cercanías al área de estudio

Tabla 46 Localización Estaciones Meteorológicas

ID	TIPO	NOMBRE	CORRIENTE-REGISTRO (AÑOS)	CODIGO	ORIGEN ÚNICO	
					X	Y
1	CO	VENADO ORO VIVERO	(1995-2022)	21205580	4882290	2066200
2	CO	UNISALLE CENTRO	(2001-2019)	21206970	4881320	2065830

FUENTE: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

– IDEAM, 2020

CO: Climática Ordinaria

CP: Climatológica Principal

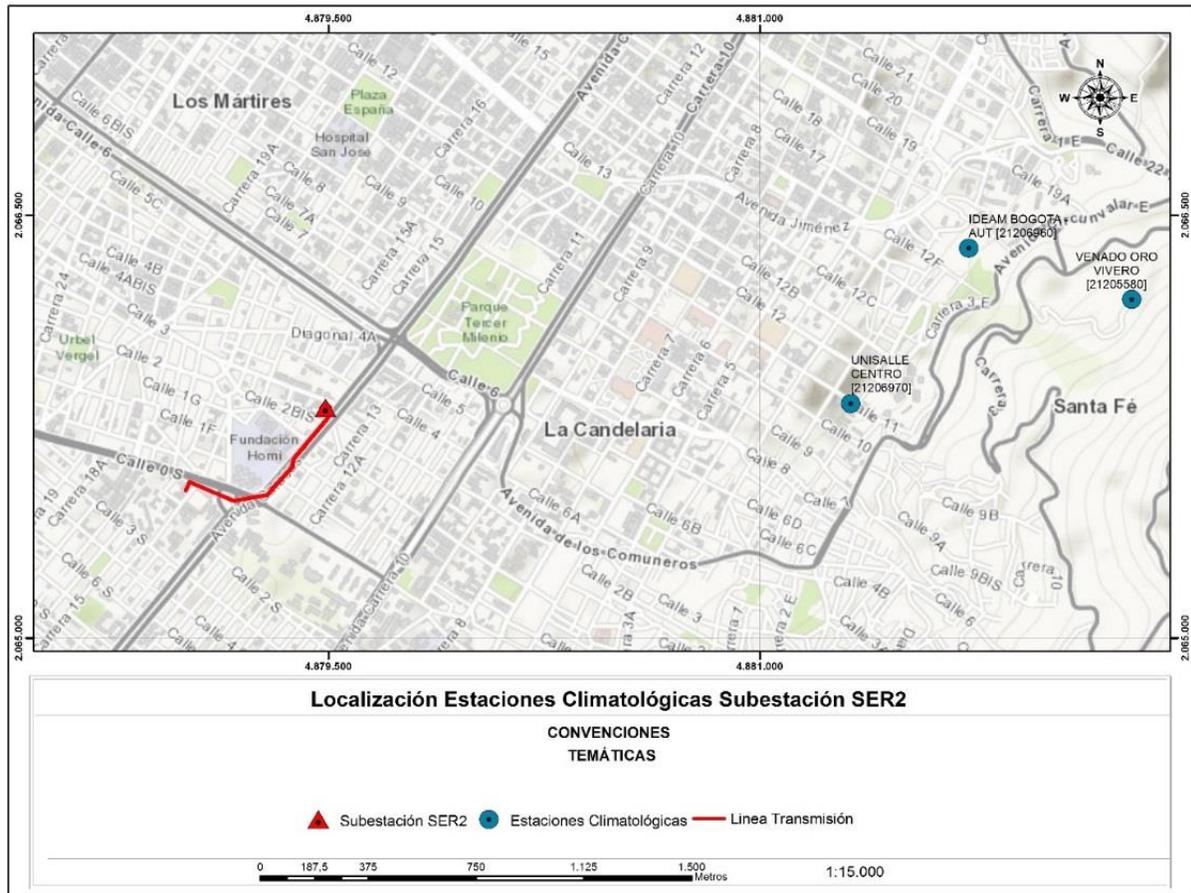


Figura 45 Localización Estaciones Meteorológicas

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S; 2022

5.1.11.1.2 Temperatura

En lo que corresponde a la temperatura y su comportamiento en la zona de estudio, se procesó información de las estaciones climatológicas anteriormente referenciadas. La temperatura media anual oscila entre 15°C y 23°C para el área urbana, mientras que las temperaturas máximas y mínimas alcanzan los 11°C y 23°C según como se muestra en las Figura 46 Temperatura Mensual Estación Venado Oro Vivero y Figura 47 Temperatura Mensual Estación Unisalle Centro.

Como se puede observar en la Figura 46 Temperatura Mensual Estación Venado Oro Vivero y Figura 47 Temperatura Mensual Estación Unisalle Centro el valor máximo registrado en las 2 estaciones corresponde al mes de junio con una temperatura de 18,5°C, en la estación Venado Oro y en el mes de febrero con 17,5°C, en la estación de Unisalle Centro, mientras que las temperaturas mínimas se registran en los meses de agosto y octubre, con temperaturas que van entre 11 – 14 °C.

Se puede observar que en la estación Venado oro Vivero, se presentan valores de temperatura más bajos con respecto a la estación Unisalle Centro, esto se debe las condiciones del sitio donde están ubicadas, la estación Vendado Oro Vivero, está localizada en cercanías a la zona piedemontana de los cerros orientales, donde hay más presencia de vegetación en el entorno inmediato, mientras que la estación de Unisalle Centro, se encuentra ubicada en una zona más urbanizada donde las temperaturas suelen ser más altas

En general, la temperatura media de la zona de estudio presenta un comportamiento cíclico y tiende a regularse, debido a la cercanía del sitio con la densa vegetación de los cerros orientales

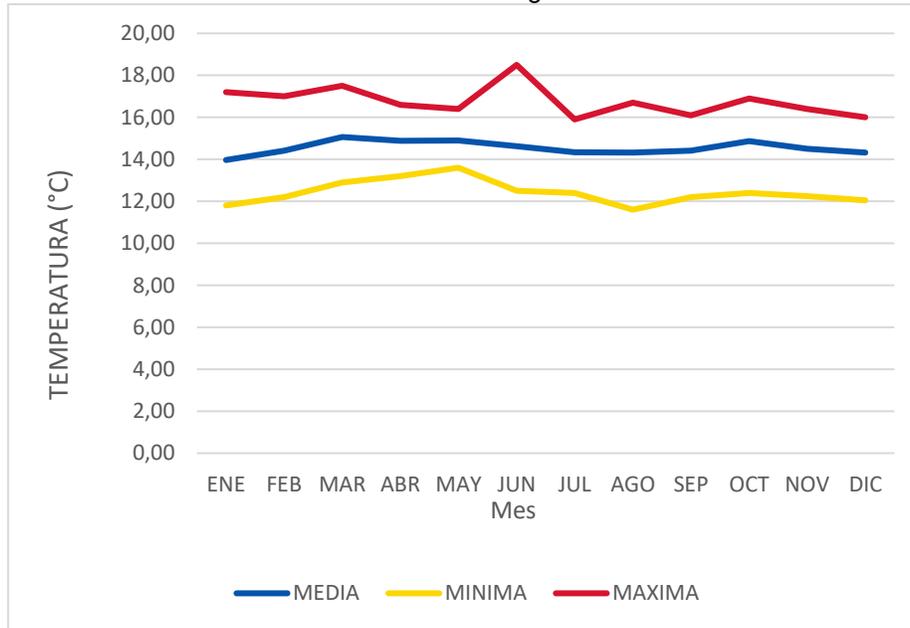


Figura 46 Temperatura Mensual Estación Venado Oro Vivero

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S; 2022

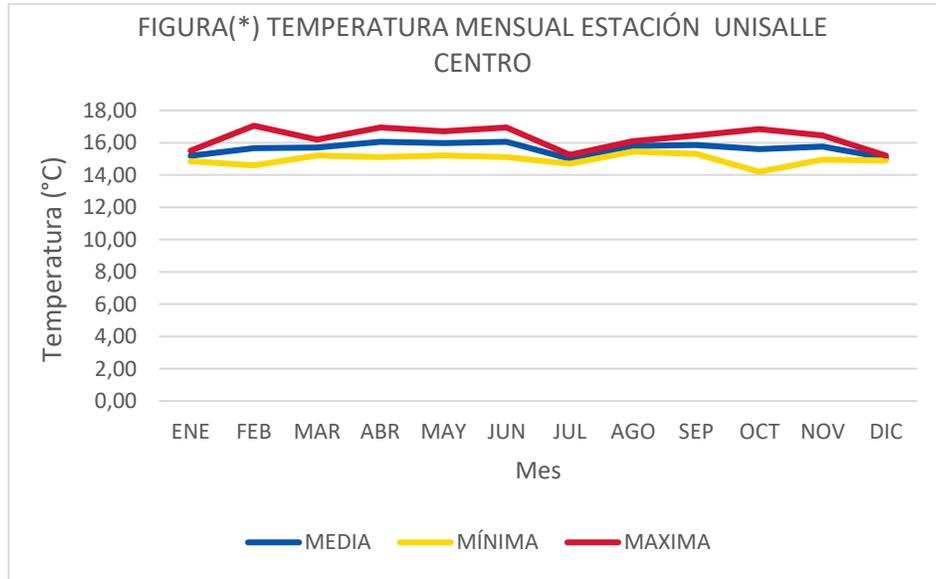


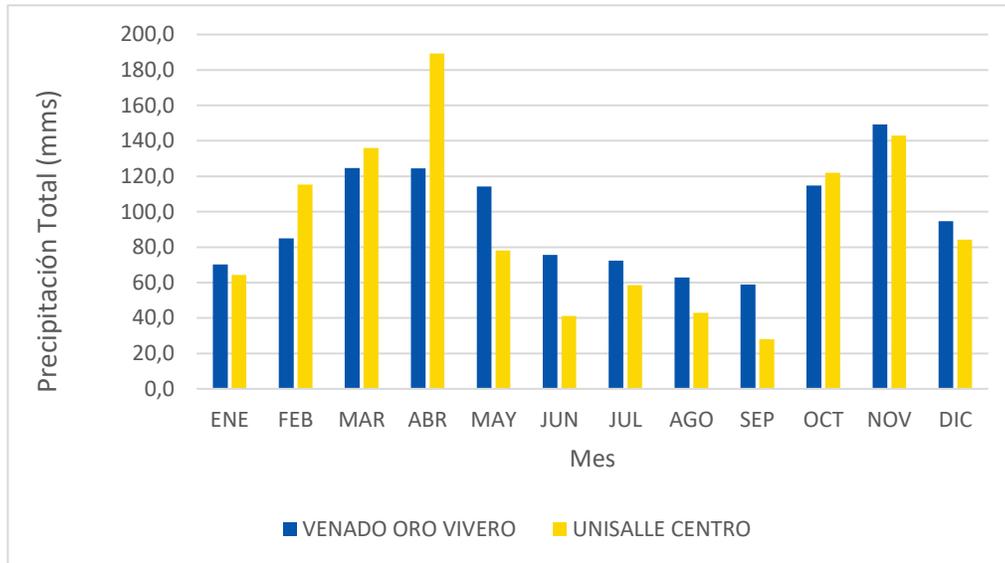
Figura 47 Temperatura Mensual Estación Unisalle Centro

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S; 2022

5.1.11.1.3 Precipitación Total

El comportamiento de la precipitación en Colombia se desarrolla en un régimen bimodal, de dos temporadas secas y dos temporadas de lluvias al año, siendo la ciudad de Bogotá, donde es bien marcado este comportamiento. Los meses donde se presenta mayor cantidad de precipitaciones son: abril, octubre y noviembre Figura 48 y, por otra parte, los meses de enero, julio, agosto y septiembre representan la época seca.

En la Figura 48 se muestra que los registros del mes de abril en la estación de Unisalle Centro, tuvo una medición de 189mm, así mismo, los menores registros, fueron de 27.9 mm en el mes de septiembre. Para la estación Venado Oro Vivero, el valor más alto de precipitación fue de 149 mm en el mes de noviembre y el valor menor fue de 58,9 mm, durante el mes de septiembre. Adicionalmente, en la Figura 48 se puede observar claramente el comportamiento del régimen bimodal de precipitación que se



presenta en Colombia de dos épocas secas y dos épocas de lluvia, en las subidas y caídas de la gráfica.

Figura 48 Promedios Mensuales de Precipitación

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S; 2022

5.1.11.1.4 Precipitación Número de Días

Como se puede observar en la Figura 49 Precipitación Número de Días, el número de días de la precipitación, tiene un comportamiento constante durante los meses del año, en las 3 estaciones, presentando un valor de 30 mm para la estación de Venado oro Vivero y un valor entre 4 y 6 mm para las estaciones de Unisalle Centro. Vale la pena resaltar que a pesar de que las precipitaciones por número de días presentan una tendencia muy similar entre sí, se evidencia el comportamiento bimodal en la gráfica con precipitaciones altas en el abril, mayo y noviembre, lo que es coherente con los periodos de la zona de estudio.

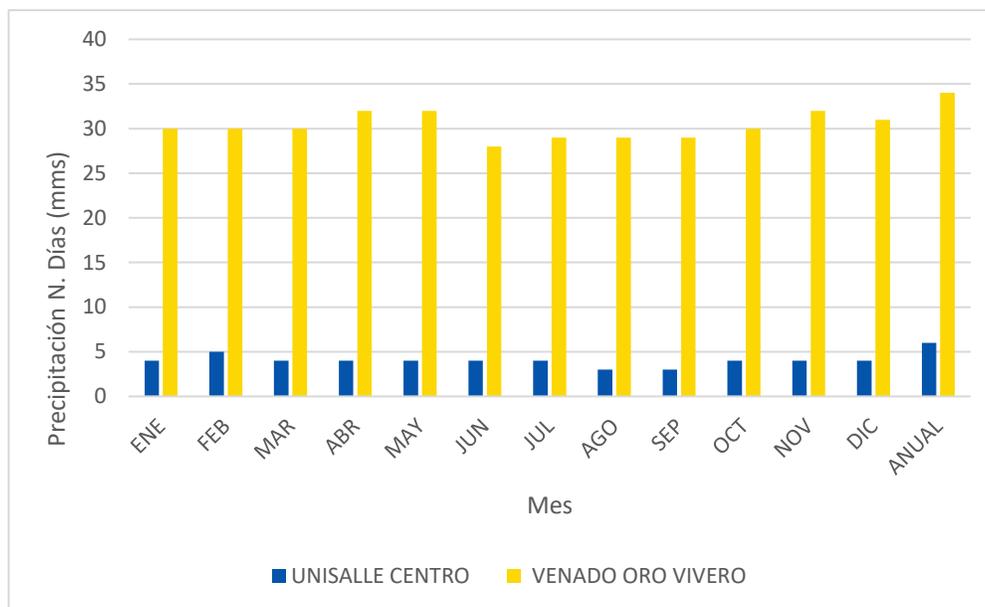


Figura 49 Precipitación Número de Días

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S; 2022

5.1.11.1.5 Precipitación Máxima en 24 Horas

Para la precipitación máxima en 24 horas, se puede observar en la Tabla 47 Precipitación máxima en 24 horas que, en las estaciones escogidas, los meses que presentaron mayor registro fueron marzo, abril, octubre y noviembre respectivamente, comportamiento que es acorde con el régimen bimodal.

Como se observa en la Tabla 47 Precipitación máxima en 24 horas los meses de temporada de lluvias, presentan valores máximos de precipitación máxima en 24 horas, que corresponden a los periodos de marzo a mayo y octubre a noviembre.

Tabla 47 Precipitación máxima en 24 horas

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
VENADO DE ORO	61,8	59,0	72,0	64,8	62,0	44,5	30,0	34,4	54,2	97,0	61,7	61,1
AÑO DE OCURRENCIA	1993	2004	2003	1987	1996	2011	2008	2008	1988	2003	2004	1998
UNISALLE CENTRO	99,3	200,0	185,4	229,5	159,5	55,7	67,6	60,1	31,0	202,9	244,3	125,7

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AÑO DE OCURRENCIA	2012	2013	2011	2011	2011	2011	2011	2012	2012	2011	2011	2011

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S; 2022

5.1.11.1.6 Nubosidad

La nubosidad es la fracción de cielo cubierto con nubes en un lugar particular, se mide en octas u octavos de cielo cubierto. Esta medición se realiza dividiendo la bóveda celeste en 8 partes y así poder estimar el rango de visibilidad, como se puede observar en la Figura 50

Para la ciudad de Bogotá, se realizó el análisis de nubosidad con base a la estación de Inem Kennedy, de las que se puede interpretar que diciembre y enero son los meses en que se presentan cielos más despejados durante el año con 4/8 de cielo cubierto (Parcialmente nublados), por su parte, los meses de abril y noviembre tienen el mayor registro de este parámetro, con un valor de 6/8 de cielo cubierto (Mayormente nublado).

La ciudad de Bogotá presenta una ocurrencia del 85% de cielos mayormente nublados y un 15% de cielos parcialmente nublados durante el año, coincidiendo con los periodos secos y de lluvia

Num.	Símbolo	Descripción
0		Despejado sin nubes
1		1/8 del cielo cubierto- ligeramente nublado
2		2/8 del cielo cubierto-ligeramente nublado
3		3/8 del cielo cubierto-ligeramente nublado
4		4/8 del cielo cubierto-parcialmente nublado
5		5/8 del cielo cubierto-mayormente nublado
6		6/8 del cielo cubierto-mayormente nublado
7		7/8 del cielo cubierto-mayormente nublado
8		Cielo completamente cubierto
9		No se puede observar el cielo

Figura 50 Representación de la Nubosidad

FUENTE: WWW.TITULOSNÁUTICOS.NET/METEOROLOGÍA

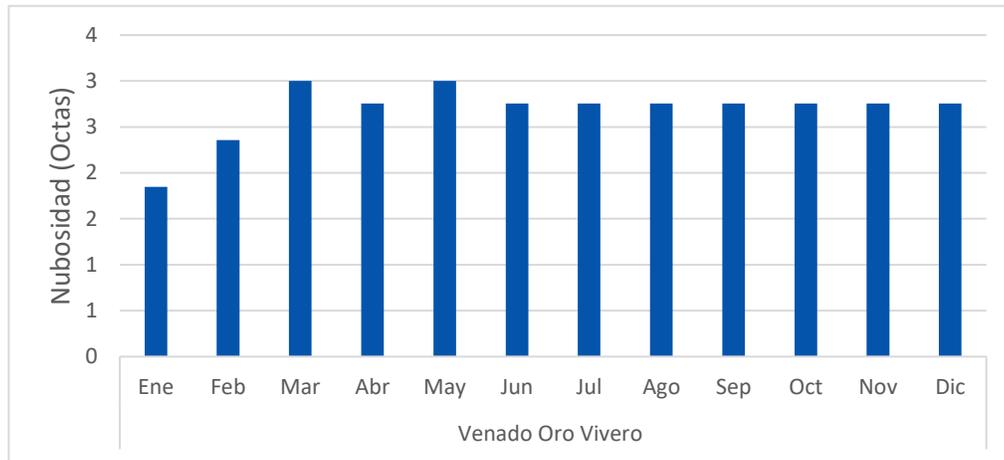


Figura 51 Distribución Mensual de Nubosidad

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S; 2022

5.1.11.1.7 Brillo Solar

El valor total de horas de brillo solar al día, es un valor fundamental para la caracterización climática de un territorio. Para determinar este valor en la zona de estudio, se tomó como referencia la estación Inem Kennedy.

Como se observa en la Figura 52 los mayores valores se presentan en los meses de marzo y mayo entre 6,28 y 5,09 horas de sol, mientras que, en los meses de enero, julio y agosto, se presentan los valores más bajos del año con 1,81, 2,94 y 2,41 horas de sol respectivamente, esto debido a la época seca y época de lluvias presentes en Colombia. En los meses restantes presentes en la Figura 52 de brillo solar, se va presentando una variación debido a que son los meses de transición entre periodos de lluvia y secos, generando día parcialmente nubados.

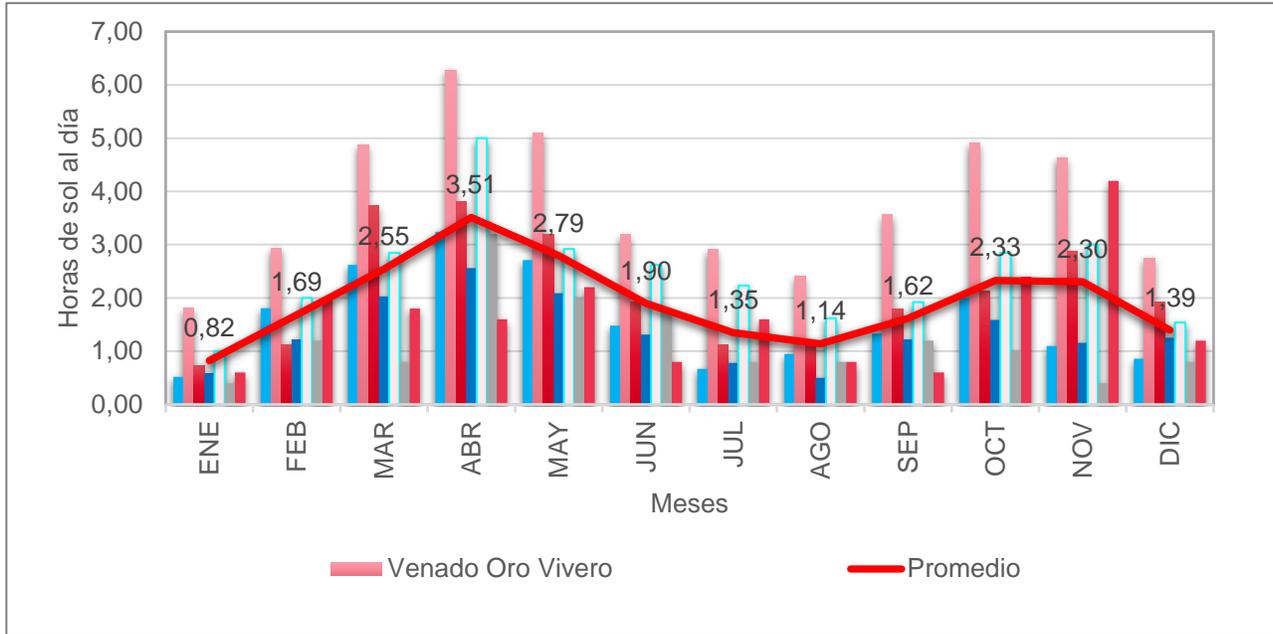


Figura 52 Comportamiento Mensual de Brillo Solar (Horas de Sol al Día)

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S; 2022

5.1.11.1.8 Velocidad y Dirección del Viento

En cuanto a la velocidad y dirección del viento, en este proyecto se tuvo en cuenta la rosa de vientos proporcionada por la RMCAB Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá correspondiente a la estación de San Cristóbal, la cual es representativa y geográficamente la más cercana a la zona de estudio. En esta rosa se puede observar, el comportamiento del viento mensual multianual comprendido entre el periodo 1-01-2018 y 08-11-2022 respectivamente.

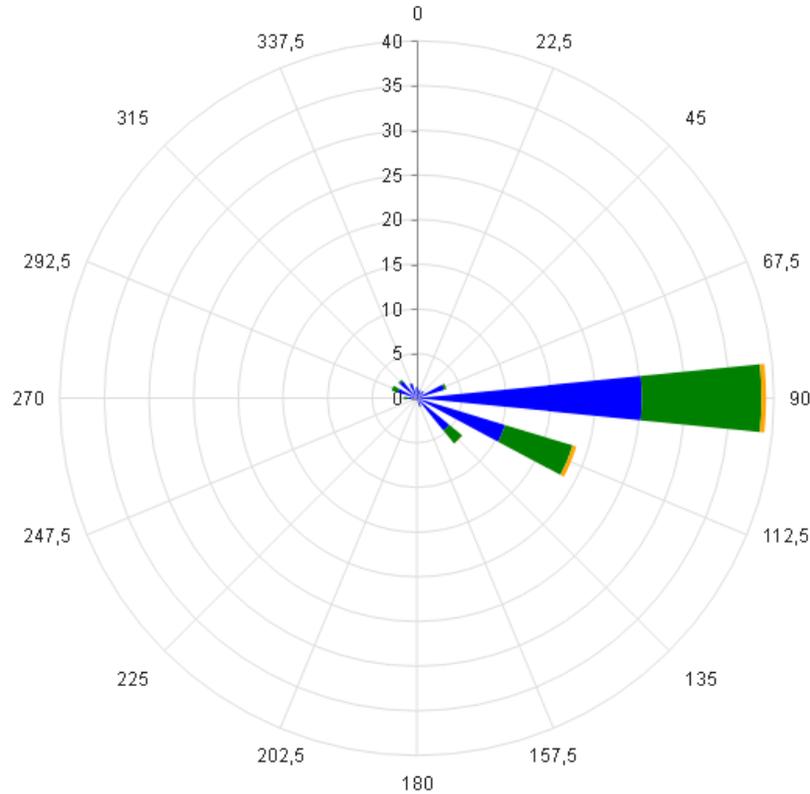


Figura 53 Rosa de Vientos Estación Kennedy 01-11-2018 – 08-11-2022

FUENTE: LA RMCAB RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ (2022)

Como se puede observar en la ilustración 1, entre los años 2018 y 2022, la dirección del viento que predomina es al sur occidente (E) con velocidades de hasta 38 m/s y sur oriente (SE) con velocidades de hasta 18 m/s y a medida que va llegando la temporada de lluvias, el comportamiento de los vientos en la ciudad de Bogotá cambia, hasta llegar a una velocidad de 40 m/s y una dirección (S), esto debido al comportamiento de la precipitación y nubosidad en la zona, generando que los meses de mayo, junio y julio sean los de mayor calma, debido al comportamiento de las precipitaciones que se presenta

5.1.11.1.9 Zonificación Climática

Para este proyecto, la zonificación climática fue basada en el estudio de ecosistemas continentales costeros y marinos de Colombia del IDEAM, donde se utilizaron diferentes metodologías tales como

Koeppen, Thornthwaite, Caldas Lang, Martone y Holdridge, entre otras. Este modelo considera elementos como temperatura y precipitación como los más relevantes para la clasificación climática. Tabla 48 Rangos de Denominación Termal y Tabla 49 Rangos de denominación de Precipitación.

Tabla 48 Rangos de Denominación Termal

DENOMINACIÓN TERMAL	RANGOS ALTITUDINALES(MSNM)	RANGOS TEMPERATURA
Cálido	De 0 a 800	T > 24 °C
Templado	De 801 a 1800	Entre 18°C y 24 °C
Frío	De 1801 a 2800	Entre 12 °C y 18 °C
Muy Frio	De 2801 a 3700	Entre 6°C y 12 °C
Extremadamente Frío y / o nival	De 3701 a 4500 en adelante para nivel	Entre 1,5 y 6°C y menores a 1,5 para nival

FUENTE: (IGAC, IDEAM, IAVH, ENVEMAR, I. SINCHI, IIAO, 2007)

Tabla 49 Rangos de denominación de Precipitación

DENOMINACIÓN PRECIPITACIÓN	RASGOS PRECIPITACIÓN ANUAL (MM/AÑO)
Árido	De 0 a 500
Muy Seco	De 501 a 1000
Seco	De 1001 a 2000
Húmedo	De 2001 a 3000
Muy Húmedo	De 3001 a 7000
Pluvial	Mayor a 7000

FUENTE: (IGAC, IDEAM, IAVH, ENVEMAR, I. SINCHI, IIAO, 2007)

Una vez descritos los elementos climáticos principales para la zonificación climática, se hace una intersección entre tablas, y así se da una descripción de la diversidad climática. Tabla 50 Zonificación Climática

Tabla 50 Zonificación Climática

Zonificación Climática	
CÁLIDO (0-800 MSNM), > 24 °C	
Árido	De 0 a 500 mm/ año
Muy Seco	De 501 a 1000 mm/ año
Seco	De 1001 a 2000 mm/ año
Húmedo	De 2001 a 3000 mm/ año
Muy Humedo	De 3001 a 7000 mm/ año

Zonificación Climática	
Pluvial	Mayor a 7000 mm/ año
TEMPLADOS (800-1800 MSNM), ENTRE 18°C Y 24°C	
Muy Seco	De 501 a 1000 mm/ año
Seco	De 1001 a 2000 mm/ año
Húmedo	De 2001 a 3000 mm/ año
Muy Húmedo	De 3001 a 7000 mm/ año
Pluvial	Mayor a 7000 mm/ año
FRIOS (1800-2800 MSNM), ENTRE 12°C Y 18°C	
Muy Seco	De 501 a 1000 mm/ año
Seco	De 1001 a 2000 mm/ año
Húmedo	De 2001 a 3000 mm/ año
Muy Húmedo	De 3001 a 7000 mm/ año
MUY FRIOS (2800-3700 MSNM), ENTRE 6°C Y 12°C	
Muy Seco	De 501 a 1000 mm/ año
Seco	De 1001 a 2000 mm/ año
Húmedo	De 2001 a 3000 mm/ año
Muy Húmedo	De 3001 a 7000 mm/ año
EXTREMADAMENTE FRÍOS (3700-4500) MSNM ENTRE 1,5 Y 6°C	
Muy Seco	De 501 a 1000 mm/ año
Seco	De 1001 a 2000 mm/ año
Húmedo	De 2001 a 3000 mm/ año
Muy Húmedo	De 3001 a 7000 mm/ año
NIVAL (> 4500 MSNM) < 1,5 °C	
Muy Seco	De 501 a 1000 mm/año
Seco	De 1001 a 2000 mm/año

FUENTE: (IGAC, IDEAM, IAVH, INVEMAR, I.SINCHI, IIAO, 2007)

Con base a las variables escogidas, se observa que la zona climática en la zona de estudio se ubica en Frio-Muy Seco Tabla 51 Zonificación Climática en Área de Estudio, sin embargo, mediante un ejercicio de interpolación de datos, se logró determinar que la zonificación climática para la zona de estudio corresponde a Frio Seco según como se observa en la Figura 54 Zonificación climatológica resultado de interpolación.

Tabla 51 Zonificación Climática en Área de Estudio

NOMBRE ESTACIÓN	ELEVACIÓN (MSNM)	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (MM)	ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA
VENADO ORO VIVERO	2725	13	1027	Frio-Seco
UNISALLE CENTRO	2700	16	742	Frio-Muy Seco

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S; 2022

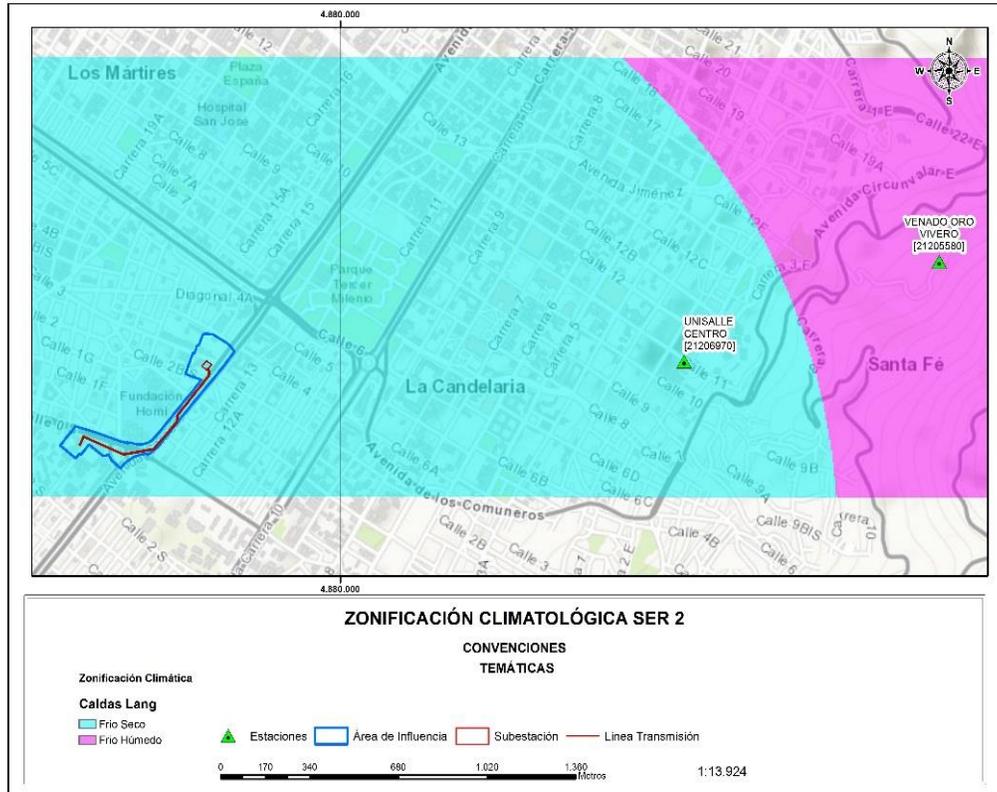


Figura 54 Zonificación climatológica resultado de interpolación

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S; 2022

5.1.11.2 Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas

A continuación, se describen los diferentes tipos de fuentes contaminantes establecidas según el Decreto 948 de 1995 expedido por el Ministerio de Medio Ambiente hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS.

- ▶ Fuentes de emisiones fijas: Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.
- ▶ Fuentes de emisiones fijas puntuales: Es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas.
- ▶ Fuentes de emisiones fijas dispersas o difusas: Es aquella en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción.

Durante la campaña de recolección de información del componente atmosférico efectuada por el compañía de proyectos ambientales CPA ingeniería; se realizó ejercicio identificación y georreferenciación de las fuentes de emisiones atmosféricas del área de influencia del proyecto,

utilizando información secundaria de la Secretaría Distrital de Medio Ambiente se identificaron y localizaron las principales fuentes de emisión: Fijas (dispersas, de área y/o puntuales) y las fuentes móviles definidas anteriormente y se definen sus respectivos aforos, siguiendo los lineamientos de los términos de referencia de TDR 17.

5.1.11.2.1 Fuentes fijas de emisión

Para el desarrollo de la identificación de fuentes fijas de emisión se realizó revisión de la información disponible en el estudio de Impacto Ambiental y Social (EIAS) de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) y la información de consulta pública de la secretaria distrital de ambiente (SDA), se logró identificar que en el área de influencia del proyecto de no hay presencia de fuentes fijas de emisión por lo que en el presente estudio no se relaciona ninguna fuente fija de emisión de emisión.

Sin embargo y considerando lo anterior es importante mencionar que de acuerdo al inventario del estudio de Impacto Ambiental y Social (EIAS) de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) en un radio menos a 100 m del área de influencia del proyecto se localizan 6 fuentes fijas de emisión de las cuales se presentan en la Tabla 52. Estas son de interés debido al comportamiento de los contaminantes atmosféricos y posibilidad de generar acumulación en los impactos que posiblemente se puedan generar en el marco del desarrollo del proyecto de construcción, operación y desmantelamiento de la subestación eléctrica receptora SER 2.

Tabla 52 Fuentes fijas en radio menor a 100 m pero fuera de área de influencia del proyecto

Razón_Soc	Coordena da	Coordena _1	Tipo_de_ fu	Tipo_de_ co	Consu mo_de	Horas _trab	Frecu	Diáme	Altur
FUNDACION HOMI - HOSPITAL LA MISERICORDIA	998755,983	999715,246	CALDERA	Gas natural	9799	24	30	0,3	15
FUNDACION HOMI - HOSPITAL LA MISERICORDIA	998755,983	999715,246	CALDERA	Diésel	240	24	1	0,31	15
HOGAR GERIATRICO SAN PEDRO CLAVER	998647,206	999452,23	CALDERA	Gas natural	3353	8	30	0,15	20
HOSPITAL SANTA CLARA E.S.E.	998401,686	999428,621	CALDERA	Gas natural	5490	10	15	0,4	17
HOSPITAL SANTA CLARA E.S.E.	998401,686	999428,621	CALDERA	Gas natural	572	24	30	0,28	16
QUIBI S.A. EN REESTRUCTURACION	998333,276	999638,113	CALDERA	Gas natural	9504	12	24	0,35	15

FUENTE: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL (EIAS) DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ (PLMB)

5.1.11.2.2 Receptores Sensibles

La definición de receptores sensibles acoge a todas las personas que tienden a ser más afectadas por los efectos de la contaminación atmosférica, dentro de estos se pueden incluir a las personas con condiciones adversas relacionadas con el sistema respiratorio y circulatorio, personas de la tercera edad sensibles al aire contaminado, niños menores a 5 años y personas enfermas que reciben atención médica. Por lo tanto, los sitios que alojen o permitan la aglomeración de este tipo de personas son de especial atención cuando se realizan estudios de calidad de aire, pues son estos sitios en donde se deben evaluar las concentraciones de contaminantes criterio cuando se realicen monitoreos y modelos de dispersión de emisiones de los proyectos, por esta razón se construyó un inventario de los receptores sensibles ubicados dentro del área de estudio y se presenta a continuación.

Tabla 53 Receptores sensible en el área de estudio

Razón_Soc	Tipo_de_receptor
FUNDACION HOMI - HOSPITAL LA MISERICORDIA	Prestado de servicios de salud
HOGAR GERIATRICO SAN PEDRO CLAVER	Prestado de servicios de salud
HOSPITAL SANTA CLARA E.S.E.	Prestado de servicios de salud
Capital Salud EPS	Prestado de servicios de salud
CONJUNTO RESIDENCIAL DIANA CAROLINA	Unidad residencial
UNIDAD DE VIVIENDA HANS DREWS ARANGO	Unidad residencial

FUENTE: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL (EIAS) DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ (PLMB)

5.1.11.3 Electromagnetismo

Para el análisis del componente de campos electromagnéticos se tuvo en cuenta los documentos públicos elaborados por La Universidad Nacional de Colombia, a través del laboratorio de innovación en alta tensión y energía renovables realizó simulación de campos eléctricos en la Subestación Calle Primera y la subestación eléctrica San José, propiedad de Codensa S.A. E.S.P., Los documento se referencia se adjuntan debido a su especificidad en el Anexo AnexoD_Asp_Abioticos\Electromagn se presentan los informes completo y oficiales de los resultados obtenidos. A continuación, se presenta un resumen del trabajo realizado y las conclusiones.

5.1.11.3.1 Campos Eléctricos

Para realizar la simulación se tomaron los módulos de AT instalados en equipos capsulados, los módulos de MT instalados en celdas y las conexiones se realizaron mediante conductores blindados del tipo XLPE; en estos dos casos, las emisiones de campo eléctrico al ambiente son insignificantes debido al recubrimiento de material conductor puesto a tierra, por lo cual, las simulaciones se enfocaron

en los afloramientos de AT y MT en los transformadores de potencia. Estas simulaciones se hicieron para una tensión de 123 kV que corresponde a la tensión máxima del sistema.

En la Figura 55 se observa los resultados de los ensayos realizados en la simulación de campos eléctricos y en la Figura 56 la intensidad de campo eléctrico a 1 m de altura sobre el suelo. Esto con respecto a los resultados de la subestación Calle Primera.

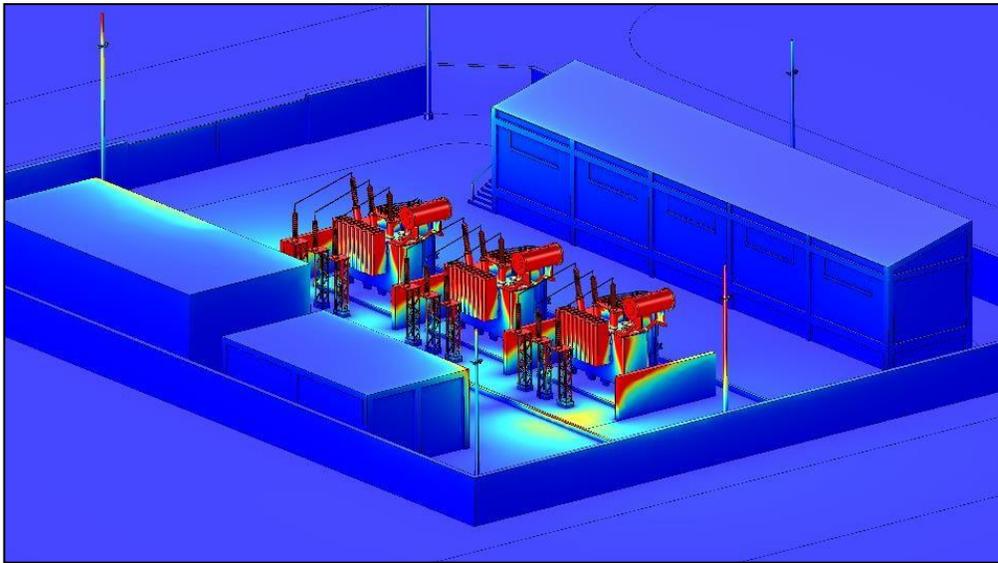


Figura 55. Campo eléctrico emitido por la subestación calle primera (límite de color: 1 kV/m)

FUENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL. 2020

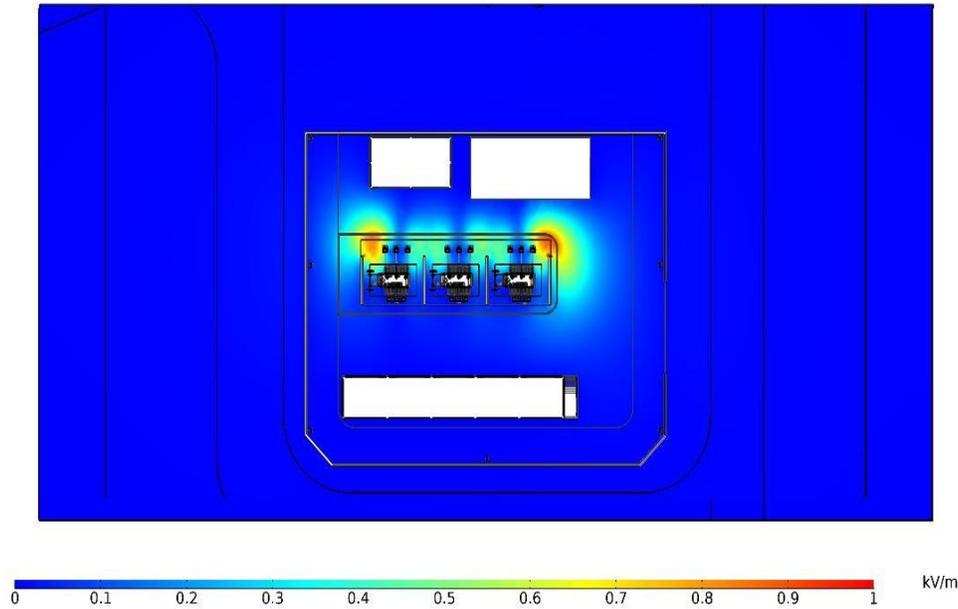


Figura 56. Campo eléctrico emitido por la subestación calle primera a un metro de altura (límite de color: 1- kV/m).

FUENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL. 2020

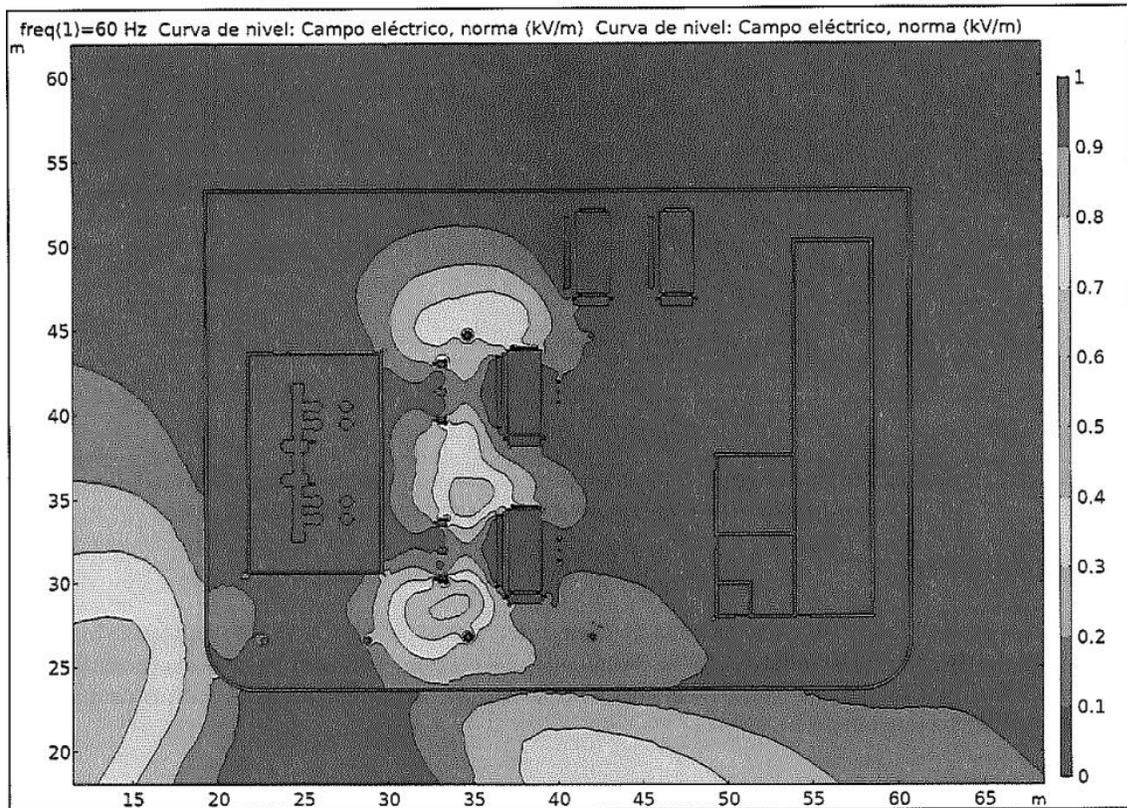


Figura 57. Campo eléctrico emitido por la subestación San José a un metro de altura (límite de color: 1- kV/m)

FUENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL. 2019

Las simulaciones indican que, a un metro de altura, ninguna zona al interior de la subestación sobrepasa el límite de exposición ocupacional establecida en el RETIE (8,3 kV/m). Adicionalmente, se puede observar que al exterior de la subestación no se presentan intensidades de campo eléctrico superiores al límite de exposición al público (4,16 kV/m).

5.1.11.3.2 Campos Magnéticos

Las simulaciones de densidad de flujo magnético se realizaron a lo largo de la subestación, incluyendo un tramo tanto en la conexión de AT, como en MT. La subestación calle primera cuenta con tres (3) conexiones en el lado de alta tensión La línea de la subestación Metro entra por el costado superior de la subestación, mientras que las líneas de Veraguas y Concordia entran por el lateral derecho, por su parte la sub estación San José cuenta con dos (2) conexiones de alta tensión.

En las Figura 58 y Figura 59 se muestran las emisiones de campo magnético producida por la Subestación Calle Primera y sus conexiones a 1 m sobre el nivel del suelo. En la figura 59 se presenta la densidad de flujo magnético de la subestación eléctrica San José.

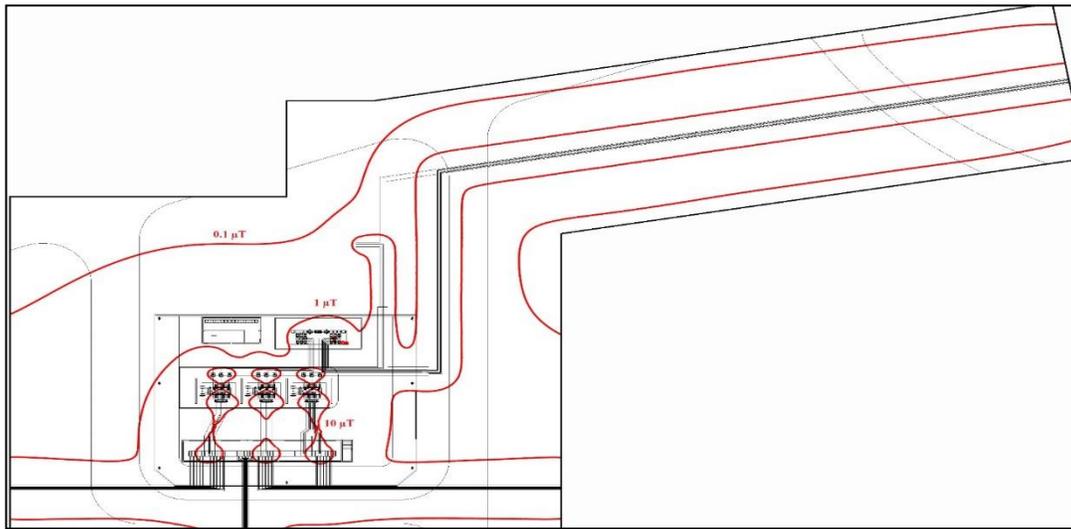


Figura 58. Isolinias de densidad de flujo magnético producido por la subestación calle primera y los circuitos que la conforman a una altura de 1 m sobre el suelo.

FUENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL. 2020

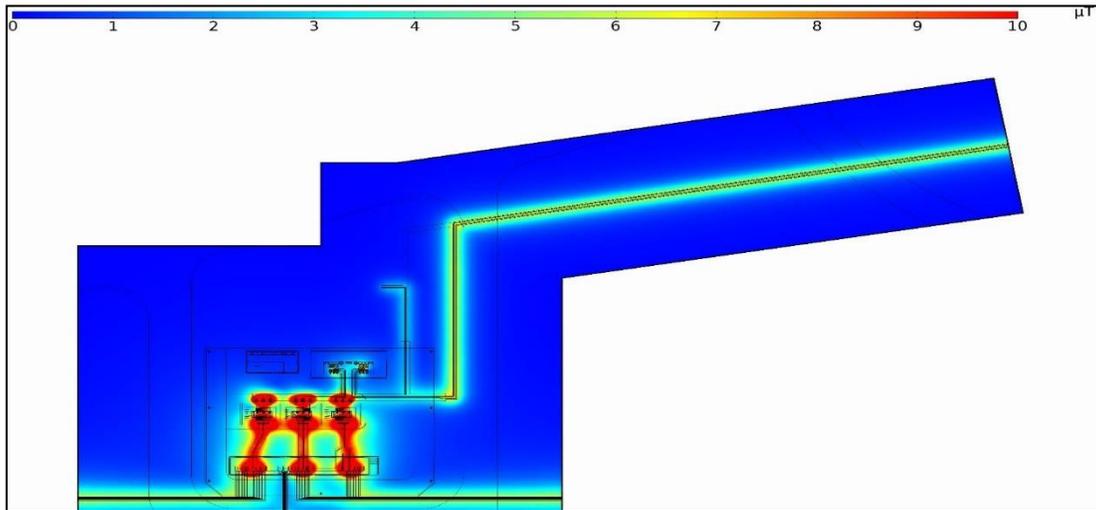


Figura 59. Densidad de flujo magnético producido por la subestación Calle primera y los circuitos que la conforman a una altura de 1 m sobre el suelo, para un límite de color de 10 μT .

FUENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL. 2020

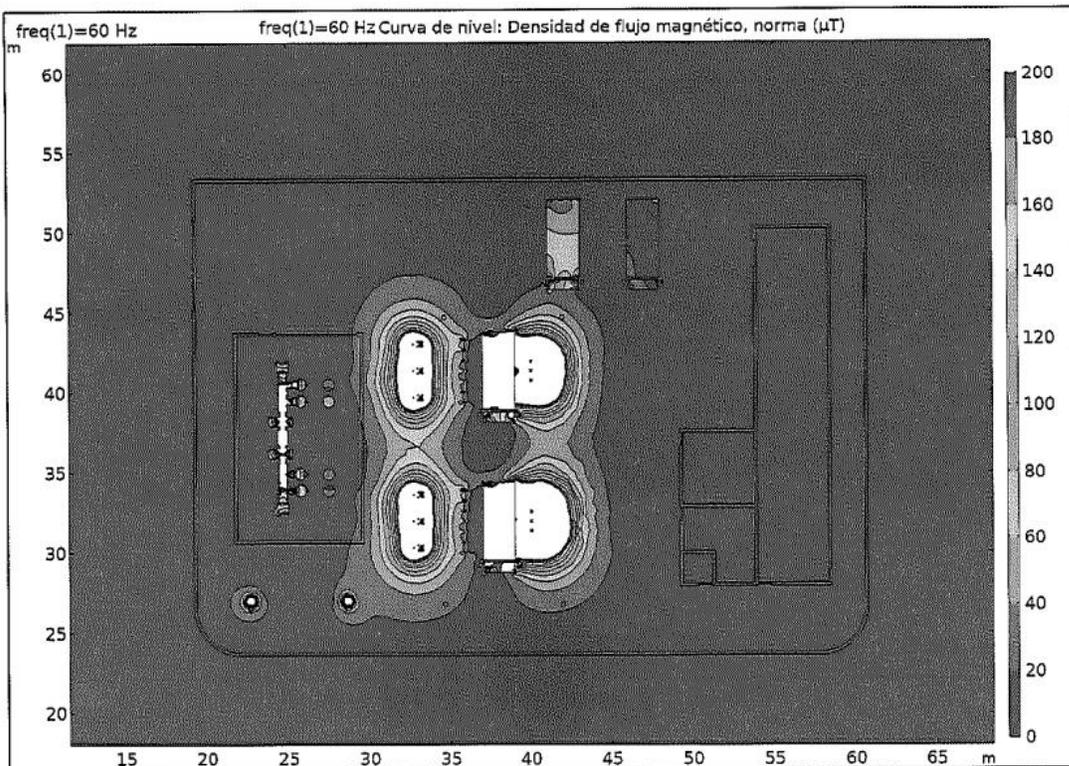


Figura 60. Densidad de flujo magnético producido por la subestación San José y los circuitos que la conforman a una altura de 1 m sobre el suelo, para un límite de color de 10 µT.

FUENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL. 2019

Los resultados de simulación, para los parámetros indicados, muestran que los circuitos de entrada/salida de la subestación Calle Primera y San José, están por debajo de los valores máximos de densidad de flujo magnético para exposición al público indicado en el numeral 14.3 del RETIE (200 µT). Del mismo modo, este valor solo se superó en la zona de afloramientos de cables de AT y MT de los transformadores de potencia y la llegada a las celdas.

5.1.11.3.3 Conclusión

Con el modelamiento y la simulación realizada para determinar el efecto electromagnético en las subestaciones calle primera y San José, propiedad de Codensa S.A. ESP, se encontró que la densidad del flujo electromagnético en las subestaciones se encuentra dentro de los límites permisibles establecidos por el reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE, los niveles de campo magnético se encuentran bajo los 200µT que es nivel máximo permisible, vale la pena resaltar que fuera de el cerramiento donde es posible que allá presencia del público en general los niveles identificados corresponden a 10 µT.

También se evidencia que el campo eléctrico se encuentra dentro de los límites de las subestaciones a partir de lo cual es posible concluir que los niveles de campo eléctrico al exterior de la subestación son inferiores a 4.16 kV/m respetando el límite permisible del establecido en reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE.

Considerando lo expuesto hasta el momento y lo consignado en el capítulo de descripción del proyecto podemos inferir o concluir que, la configuración de la subestación eléctrica receptora y su línea de transmisión SER 2 es menor a las sub estaciones Calle Primera y San José, por lo cual considerando que se ha determinado irrelevante el efecto de los campos electromagnéticos de las mencionadas subestaciones los efectos del campo electromagnéticos que posiblemente será generado por la subestación eléctrica receptora y su línea de transmisión SER 2, se pueden catalogar también como irrelevantes, vale la pena resaltar que adicionalmente a lo aquí expuesto el diseño subterranizado de la subestación y la línea de transmisión favorecen la contención y evita la propagación de los campos electromagnéticos a lugares de acceso al público general.

5.1.11.4 Calidad del aire

5.1.11.4.1 Objetivo general

Analizar los resultados de los diferentes monitoreos desarrollados de calidad del aire, en el área de influencia del proyecto de construcción, operación y desmantelamiento de la subestación eléctrica receptora 2, para la solicitud de licencia ambiental de la primera línea del metro.

5.1.11.4.2 Objetivos específicos

Analizar los resultados de las mediciones realizadas de los parámetros de material particulado PM-10 y PM-2.5, Óxidos de Nitrogeno-NOx, óxidos de azufre SOX, Monóxido de carbono-CO, Ozono-O3, compuestos orgánicos volátiles-VOCs e hidrocarburos totales-HCTs, en la sub estación eléctrica receptora 2.

5.1.11.4.3 Recurso aire

En el presente documento realizado por el Laboratorio de Análisis Ambiental LAA, de CPA Ingeniería SAS, se muestran los datos de los monitoreos para la licencia ambiental para la ejecución de la subestación dos (SER 2).

Las estaciones de aire realizaron las mediciones climatológicas para la verificación de las condiciones y los cálculos requeridos. Los resultados de los análisis son comparados con la Resolución 2254 de 2017. Las coordenadas de estas estaciones esta relacionadas en la Tabla 54. Coordenadas de estaciones de aire.

Tabla 54. Coordenadas de estaciones de aire

MUESTREO	COORDENADAS
----------	-------------

	ESTE	NORTE
Estación 01 Aire	4878891,813	2065558,976
Estación 02 Aire	4879661,037	2064974,540
Estación 03 Aire	4881603,457	2066138,144

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

5.1.11.4.4 Características de los compuestos a analizar

5.1.11.4.4.1 Material particulado igual o menor a 10 micras (PM10)

El material particulado PM10 son partículas respirables de diámetro menor o igual a 10 micrómetros, este tipo de partículas causan efectos adversos a la salud, específicamente al sistema respiratorio, por viajar más profundamente en los pulmones y al estar compuesta de elementos que son más tóxicos, como metales pesados y compuestos orgánicos. En el corto plazo la contaminación por PM10 puede causar el deterioro de la función respiratoria; en el largo plazo se asocia con el desarrollo de enfermedades crónicas, con el cáncer o con la muerte prematura.

Las principales fuentes antropogénicas de material particulado están localizadas en zonas urbanas e industriales, donde el tráfico de vehículos (que utilizan combustibles fósiles) representa la fuente más importante de partículas primarias de las zonas urbanas. El material particulado emitido por los motores, es principalmente, materia carbonosa de color negro. Este tipo de material particulado se caracteriza por presentar una granulometría muy fina, generalmente en el rango inferior a 10 μm .

5.1.11.4.4.2 Material particulado igual o menor a 2.5 micras (PM2.5)

Las partículas suspendidas menores a 2.5 micrómetros o PM2.5 es un contaminante del aire constituido por material sólido o líquido con diámetro menor de 2.5 milésimas de milímetro. Las PM2.5 son tan pequeñas que resultan invisibles a simple vista, sin embargo, son capaces de dispersar la luz y disminuyen la visibilidad a distancia, permanecen en la atmósfera por largo tiempo y recorren grandes distancias antes de ser removidas. A las PM2.5 se les conoce también como partículas finas en suspensión.

Algunas PM2.5 se emiten directamente a la atmósfera, como son las provenientes de la combustión de vehículos diesel y de gasolina. Las PM2.5 se forman también a partir de reacciones químicas de gases emitidos a la atmósfera formando aerosoles de nitratos y sulfatos y de compuestos orgánicos. En menor proporción contribuyen las fuentes geológicas (suelo) y biológicas (polen).

5.1.11.4.4.3 Dióxido de nitrógeno (NO₂)

El dióxido de nitrógeno (NO₂) es un gas de color pardo rojizo fuertemente tóxico cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los

procesos de combustión en los vehículos (Artículo primero, Resolución 2254 de 2017 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

Los óxidos de nitrógeno son un grupo de gases conformado por el nitrógeno y oxígeno que incluyen compuestos como óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N₂O₃) y dióxido de nitrógeno (NO₂); el término NOX se refiere a la mezcla de estas sustancias. El dióxido de nitrógeno (NO₂) es emitido en pequeñas cantidades junto con el NO, pero fundamentalmente se origina por oxidación del NO en la atmósfera. En una escala global, la emisión natural de óxido de nitrógeno es casi 15 veces mayor que la realizada por el hombre; las fuentes más comunes de óxidos de nitrógeno en la naturaleza son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos, y la actividad volcánica. Cabe anotar que las fuentes principales de emisión antropogénica son los escapes de los vehículos y, en general, la quema de combustibles fósiles.

5.1.11.4.4 Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre (SO₂) es un gas incoloro, no inflamable y de olor sofocante, que condensa a -10 °C y solidifica a -72 °C; reacciona en la superficie de cualquier material particulado que se encuentre en la atmósfera, es soluble en agua lo cual da lugar a ácidos, que le confieren sus características potencialmente agresoras y puede oxidarse en el aire sin necesidad de que existan gotas de agua. Este compuesto es uno de los principales responsables de la llamada lluvia ácida.

Este gas se genera tanto en fuentes naturales como en la combustión de compuestos ricos en azufre (combustibles de gasolina y diésel, petróleo y carbón). Igualmente, es el resultado de la fundición de minerales que contienen azufre y de otros procesos industriales. La fuente más común del dióxido de azufre incluye el quemado de combustibles fósiles, la manufactura del ácido sulfúrico o la conversión de la pulpa de madera en papel. El quemado del carbón es la fuente más próxima en la producción de dióxido de azufre llegando a contabilizar hasta el 50% del global de emisiones. La fuente natural de emisiones de dióxido de azufre la forman los volcanes.

5.1.11.4.5 Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono (CO) es un gas inoloro e incoloro que se produce por la combustión incompleta de compuestos de carbono en condiciones de mala ventilación, las gasolinas, carbón vegetal, humos procedentes de madera o monóxido de carbono, que consecuentemente puede ser emanado al aire por los vehículos automotores y la industria, aunque en menor escala; algunos procesos naturales son capaces de emitirlo, tales como los incendios forestales o los procesos naturales que se llevan a cabo en los océanos. Es necesario hacer mención especial de la acumulación intramuros por procesos domésticos y el hábito de fumar.

El efecto dañino potencial principal de este contaminante lo constituye su afinidad para combinarse con la hemoglobina, que da lugar a una elevada formación de carboxihemoglobina, lo cual conlleva a la disminución de la cantidad de oxihemoglobina y, por ende, a la entrega de oxígeno a los tejidos.

5.1.11.4.4.6 *Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC)*

De acuerdo con la definición establecida en el anexo 1 de la resolución 909 de Junio de 2008 del MAVDT (por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones) los compuestos orgánicos volátiles (VOC, por su sigla en inglés) están representados por cualquier compuesto de carbono que participa en reacciones fotoquímicas atmosféricas y que tenga a 293,15 K una presión de vapor de 0,01 KPa o más, o que tenga una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso. Se excluyen los compuestos orgánicos que tienen una reacción fotoquímica imperceptible como: metano, etano, cloroformo de metilo y aquellos que se encuentran enlistados en la sección “exempt voc” de la norma 40 CFR 51.100(s) (1) de la EPA de Estados Unidos.

Según Choung y Lee 2001, las principales fuentes de VOC están relacionadas directa o indirectamente con:

- ▶ El petróleo y sus derivados, es decir, vapores procedentes de automóviles debido a una combustión incompleta como aromáticos, olefinas (alquenos) y parafinas (alcanos).
- ▶ Emanaciones de industrias de pinturas, tintas, lacas y esmaltes (alcanos y cicloalcanos)
- ▶ Vapores de gasolineras que son emitidos desde tanques de almacenamiento, escape de disolventes empleados en pinturas y operaciones de desengrasado y limpieza (hexano, ciclohexano y aromáticos derivados del tolueno y xileno).
- ▶ Vapores procedentes de adhesivos (metil-étil cetona, derivados tipo nafta, tricloroetano)
- ▶ Aplicación de aerosoles
- ▶ Emisiones de industrias de plásticos (compuestos clorados) (Choung y Lee 2001).

5.1.11.4.4.7 *Ozono (O₃)*

El ozono es la forma molecular del oxígeno compuesta por tres átomos (O₃), se forma cuando el oxígeno es sometido a descargas eléctricas; es un gas azulado, muy activo desde el punto de vista químico y un poderoso agente oxidante. En la atmósfera se forma en presencia de radiación ultravioleta de origen solar y otras sustancias químicas que actúan en forma catalítica, o sea que intervienen en la reacción, pero no son modificadas por esta. El ozono es un efectivo gas de efecto invernadero y cuando se sitúa en la capa más baja de la atmósfera y supera ciertos niveles, deja de ser el gas protector de la vida en el planeta para convertirse en un peligroso contaminante. También se encuentra en cantidades menores

en la tropósfera, en particular en zonas urbanas y de importante actividad industrial, así como en regiones donde se realizan quemas importantes de biomasa.

Debido a su altísimo poder oxidante es nocivo para la salud pues afecta el aparato respiratorio; también afecta a las plantas. Por su alto poder oxidante acelera el envejecimiento de los materiales. La necesidad de vigilar las concentraciones de estos compuestos en la atmósfera se deriva fundamentalmente de tres factores principales: (1) su propia toxicidad, (2) el papel clave que los demás reactivos juegan en la formación de oxidantes fotoquímicos, y (3) su importancia como precursores de partículas finas en áreas urbanas.

5.1.11.4.4.8 HCT- hidrocarburos totales

En este monitoreo se evaluaron los siguientes hidrocarburos son los C10 a C14, estos fueron ejecutados en dos flujos de bajo volumen y alto volumen. Se expresan en HCT en metano (mg/muestra). En la

Tabla 55

Tabla 55. Características de los compuestos estudiados se resumen las características de fuentes.

Tabla 55. Características de los compuestos estudiados

CONTAMINANTE	DESCRIPCIÓN	ORÍGENES	EFECTOS
Material particulado como PM10	Partículas respirables de diámetro menor o igual a 10 micrómetros.	Uso de combustibles fósiles. Combustión del carbón. Fundición de metales (cobre o cinc). Producción de cemento, cerámica o ladrillos y su transporte. Explotación a cielo abierto	-Afecciones pulmonares. -Aumento de la turbidez atmosférica y reducción de la visibilidad
Material particulado como PM2.5	Partículas respirables de diámetro menor o igual a 2.5 micrómetros.	Uso de combustibles fósiles. Combustión del carbón. Fundición de metales (cobre o cinc). Producción de cemento, cerámica o ladrillos y su transporte. Explotación a cielo abierto	-Afecciones pulmonares. -Aumento de la turbidez atmosférica y reducción de la visibilidad
Dióxido de nitrógeno	Gas de color pardo rojizo	Hornos industriales Vehículos automotores	-Lesiones pulmonares - Formación lluvia ácida

CONTAMINANTE	DESCRIPCIÓN	ORÍGENES	EFECTOS
(NO ₂)	fuertemente tóxico	Centrales termoeléctricas	-Deterioro de edificios y monumentos -Daño a los bosques -Formación de contaminación fotoquímica
Dióxido de azufre (SO ₂)	Gas incoloro, no inflamable y de olor sofocante. Es soluble en agua y en los solventes orgánicos	Combustión del azufre contenido en los combustibles fósiles (petróleos combustibles, diésel, gasolina, petróleo, carbón, etc.) Fundición de minerales que contienen azufre Otros procesos industriales	-Deterioro de los suelos y cursos de agua -Lluvia ácida -Irritación ocular por formación de ácido sulfuroso sobre las mucosas húmedas -Queratitis (irritación de la córnea) -Inflamación de las vías respiratorias -Edema pulmonar -Problemas de asma y bronquitis crónica -Colapso circulatorio
Monóxido de carbono (CO)	Gas sin olor ni color.	Vehículos a gasolina Fogatas y quema de leña, cartón, entre otros	-Dolores de cabeza, menor claridad mental -Muerte -Lesiones cardíacas
Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC)	Sustancias de base carbono, precursoras del ozono, presentes en la atmósfera, con una presión de vapor superior a 0,14 mm Hg a 25°C	Evaporación de disolventes orgánicos, emanaciones de industrias de pintura y plásticos Fuentes naturales, combustión incompleta	-Alta toxicidad -Algunos tienen efectos cancerígenos - Producen olores ofensivos
Ozono (O ₃)	Forma molecular del oxígeno con 3 átomos. Gas oxidante.	Reacción del oxígeno con rayos UV solares y otras sustancias químicas como los óxidos de nitrógeno.	-Irritación de las mucosas y tejidos pulmonares. -Oxidación de materiales.

FUENTE: AGROSOLUCIONES AMBIENTALES S.A.S., 2021

5.1.11.4.5 Etapa de campo

Se realiza un reconocimiento de la zona de estudio con el propósito de coordinar la logística y el desarrollo del proyecto, así como la definición de los puntos más representativos para la distribución de los equipos de muestreo. Una vez realizada dicha tarea, se procede a la verificación y ubicación de los

equipos a emplear en el monitoreo, teniendo en cuenta: localización de asentamientos humanos, representatividad del punto de acuerdo con el sector definido, facilidad de acceso; suministro de fluido eléctrico, y ausencia de barreras en un radio de 20 m y en un ángulo de 270°.

5.1.11.4.6 Macro localización y descripción de las estaciones de monitoreo

La macro localización fue realizada a partir de información secundaria, imágenes satelitales y mapas de la ciudad a partir de las cuales se ubicaron áreas claves a lo largo del eje del trazado de la línea proyectada del metro para localizar las 3 estaciones proyectadas de calidad de aire dentro del buffer de 1Km del área de emisión que en este caso son las áreas de intervención para la subestación eléctrica receptora 2.

Los sitios definidos para determinar la calidad del aire, se ubicaron además teniendo en cuenta las zonas identificadas como las más sensibles durante el trabajo previo de campo (áreas habitadas o con fuentes de emisión fijas, de área o lineales). Los puntos de monitoreo de calidad del aire se nombran en la [Tabla 56](#) y a continuación.

Tabla 56. Estaciones de muestreo de calidad de aire

ESTACIÓN	NOMBRE O UBICACIÓN	COORDENADAS ORIGEN NACIONAL	
		ESTE	NORTE
P-01	Vientos abajo Tipo urbana	4878891,813	2065558,976
P-02	Hospital Instituto de Cancerología	4879661,037	2064974,540
P-03	Corredor de movilidad	4881603,457	2066138,144

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

Estación (P-01) localizada en cancha del Hospital santa Clara en la localidad de Antonio Nariño, se ubicaron lo equipos en el parqueadero de ambulancias y vehículos de transporte del personal. (Figura 61).



Figura 61 Estación de monitoreo P-01

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

Estación (P-02) – localizada en terraza del Hospital Instituto de Cancerología en la localidad de San Cristóbal. Monitoreo de tipo domiciliario con cercanía a la estación de Transmilenio de la avenida



caracas decima. Hay un proceso de demolición de casas alrededor de 300 metros. (Figura 62).

Figura 62 Estación de monitoreo P-02

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

Estación (P-03) localizada en el corredor importante del sistema de movilidad urbana Transmilenio, hacia el costado suroccidental de la estación de monitoreo a 170 metros aproximadamente se localiza la vía calle sexta, la cual evidencia transito frecuente de vehículos livianos, pesados (en horarios restringidos) y motocicletas, así como paso de Transmilenio; a 250 metros aproximadamente hacia el sur de la estación se presentan terrenos baldíos, y otros en proceso de demolición, hacia el oriente de la estación se localiza el parque Metropolitano Tercer Milenio. (Figura 63).



Figura 63 Estación de monitoreo P-03

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

5.1.11.4.7 Etapa de análisis de resultados

- ▶ Material particulado como PM10 y como PM 2.5

Para determinar la concentración diaria de partículas se utiliza la siguiente expresión:

$$[PM2.5 \text{ ó } PM10] = \frac{(W_f - W_i) * 10^6}{V_{std}}$$

Donde,

[PM2.5 o PM10]: concentración en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

W_i : peso en gramos del papel filtro limpio

W_{final} : peso final en gramos del filtro expuesto.

V_{std} : volumen total de aire muestreado en m^3 en condiciones de referencia de 25°C y 760 mm Hg

10 6: conversión de g a μg .

- ▶ Dióxido de nitrógeno (NO_2)

El equipo muestra y registra la lectura directa de la concentración de NO_2 , por lo que no se requieren de cálculos adicionales aparte de los de la conversión de partes por billón (ppb) a microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) teniendo en cuenta la siguiente relación:

$$[\text{NO}_2] \text{ en } \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = [\text{NO}_2] \text{ en ppb} * \frac{(\text{PM de } \text{NO}_2)}{V_{\text{molar}}}$$

$$V_{\text{molar}} = R * \frac{T_{\text{referencia}}}{P_{\text{referencia}}}$$

Dónde:

[NO₂ (µg/m³)] = concentración de NO₂ en microgramos por metro cúbico

[NO₂ (ppb)] = concentración de NO₂ en partes por billón

V_{molar}=volumen molar del gas

PM= masa molecular del gas de NO₂, (46 g/gmol)

R= constante universal de los gases ideales (0.082 atm*L/gmol*K)

T= temperatura de referencia en K (298.15 K)

P= Presión de referencia en atmosferas (1 atm)

► Dióxido de azufre (SO₂)

Para calcular la concentración de dióxido de azufre en las muestras recolectadas, se procede de la siguiente forma:

$$C = \frac{(A - A_0)(B_x)(10^3)}{V_{\text{std}}} \times \frac{V_b}{V_a}$$

Donde,

C = µg SO₂/m³

A = Absorbancia corregida de la solución que contiene la muestra y A₀ = Absorbancia corregida del blanco

B_x = Factor de calibración, que corresponde al recíproco de la pendiente de la curva de calibración.

V_{std} = volumen estándar de aire muestreado (L estándar)

V_a = Volumen de la solución absorbente analizada, 10 ml; y

V_b = Volumen total de solución absorbente en el tubo absorbedor, 50 ml.

► Monóxido de Carbono (CO)

El equipo muestra y registra la lectura directa de la concentración de CO, por lo que no se requieren de cálculos adicionales aparte de los de la conversión de partes por millón (ppm) a miligramos por metro cúbico (µg/m³) teniendo en cuenta la siguiente relación:

$$[\text{CO } (\mu\text{g}/\text{m}^3)] = \frac{[\text{CO } (\text{ppm})] * \text{PM}}{V_{\text{molar}}}$$

$$[V_{\text{molar}}] = \frac{R * T}{P}$$

Dónde:

[CO (µg/m³)] = concentración de CO en microgramos por metro cúbico

[CO (ppm)] = concentración de CO en partes por millón

V_{molar}=volumen molar del gas

PM= masa molecular del gas de CO, (28 g/gmol)

R= constante universal de los gases ideales (0.082 atm*L/gmol*K)

T= temperatura de referencia en K (298.15 K)

P= Presión de referencia en atmosferas (1 atm)

► Ozono (O₃)

El equipo muestrea y registra la lectura directa de la concentración de O₃, por lo que no se requieren de cálculos adicionales aparte de los de la conversión de partes por billón (ppb) a microgramos por metro cúbico estándar (µg/m³STD) teniendo en cuenta la siguiente relación:

$$[O_3] \text{ en } \frac{\mu g}{m^3} = [O_3] \text{ en ppb} * \frac{(PM \text{ de } O_3)}{V_{\text{molar}}}$$

$$V_{\text{molar}} = R * \frac{T_{\text{referencia}}}{P_{\text{referencia}}}$$

Dónde: [O₃]: Concentración de ozono

PM de O₃: Peso molecular de O₃ igual a 47,997 g/mol

V_{molar}: Volumen que ocupa un gas ideal a condiciones de presión y temperatura de referencia.

R: constante de los gases ideales igual a 0,082 atm*L/mol*K

T_{referencia}: Temperatura de referencia igual a 298,15 K (25°C)

P_{referencia}: Presión de referencia igual a 1 atm

5.1.11.4.7.1 Índice de Calidad de Aire

El ICA es un índice para reportar la calidad del aire diaria. Este índice nos dice cuan limpio o contaminado está el aire en una zona determinada y los efectos a la salud asociados a la concentración medida. El ICA se centra en los efectos a la salud que se pueden experimentar a pocas horas o a días

después de respirar el aire contaminado. La US EPA calcula el ICA para los 5 mayores contaminantes: Ozono troposférico, material particulado, monóxido de carbono, dióxido de azufre, y dióxido de nitrógeno.

El ICA corresponde a un valor adimensional, que oscila entre 0 y 500. En la siguiente tabla, se presentan los rangos cualitativos de ICA, el color asociado, y la clasificación de la calidad de aire para dicho rango.

Los puntos de corte representan el valor mínimo y máximo de concentración en un rango ICA para cierto contaminante. Estos puntos de corte están establecidos a partir de concentraciones medidas en una métrica determinada, por esta razón, se tomaron los puntos de corte medidos en una métrica de 24 horas, debido a que las mediciones realizadas de calidad de aire fueron en 24 horas; también se tuvo en cuenta lo establecido en la Tabla 33 del Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire del MAVDT y en la [Tabla 57](#), se muestra la información de la Resolución 2254 de 2017.

Tabla 57. Clasificación y puntos de corte del ICA

VALOR DEL ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	PUNTOS DE CORTE DEL ICA					
			PM ₁₀ 24 horas	PM _{2.5} 24 horas	SO ₂ * 1 hora	NO ₂ * 1 hora	CO 8 horas	O ₃ 8 horas
			µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
0-50	Verde	Buena	0 – 54	0 – 12	0 - 93	0-100	0-5094	0 -106
51-100	Amarillo	Aceptable	55 – 154	12,1 – 35,4	94-197	101-189	5095-10819	107-138
101-150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	155 – 254	35,5 – 55,4	198-486	190 -677	10820-14254	139 – 167
151-200	Rojo	Dañina a la salud	255 – 354	55,5 – 150,4	487-797	678-1221	14255-17688	168 – 207
201-300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355 – 424	150,5 – 250,4	798-1583	1222-2349	17689-34862	208-393
301-500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	250,5 – 500,4	1584-2629	2350-3853	34863-57703	394

*SOLO SE REPORTAN PUNTOS DE CORTE PARA NO2 Y SO2 PARA TIEMPO DE EXPOSICIÓN DE 1 HORA.

FUENTE: RESOLUCIÓN 2254 DE 2017

Para calcular los ICA, se emplea la siguiente ecuación:

$$ICA_p = \frac{I_{Alto} - I_{bajo}}{PC_{Alto} - PC_{bajo}} \times (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

Dónde:

ICA_p : Índice para el contaminante p

C_p : Concentración medida para el contaminante p

PC_{alto} : Punto de corte mayor o igual a C_p

PC_{bajo} : Punto de corte menor o igual a C_p

I_{alto} : Valor del ICA correspondiente al PC_{alto}

I_{bajo} : Valor del ICA correspondiente al PC_{bajo}

5.1.11.4.7.2 Normas de calidad del aire

Los resultados obtenidos fueron comparados con las normas vigentes de calidad del aire, las cuales se encuentran referenciadas en la tabla N° 1 de la resolución 2254 de 2017 y en el artículo segundo de la Resolución 610 del 2010 expedida por el MAVDT hoy MADS (Tabla 58).

Tabla 58. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio según la resolución 2254 de 2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESOLUCIÓN 2254 de 2017*
MATERIAL PARTICULADO (PM10)		
Promedio diario (24 horas)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	75 ²
Promedio aritmético anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
MATERIAL PARTICULADO (PM2.5)		
Promedio diario (24 horas)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	37 ⁵
Promedio aritmético anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	25
DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO ₂)		
Promedio aritmético horario	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	200
Promedio aritmético anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	60
DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂)		
Promedio diario (24 horas)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Promedio aritmético horario	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100

² A partir de Julio de 2018 el promedio de PM10 pasó de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como límite permisible 24 horas y de PM2.5 de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

PARÁMETRO	UNIDAD	RESOLUCIÓN 2254 de 2017*
MONÓXIDO DE CARBONO (CO)		
1 hora	µg/m ³	35.000
8 horas	µg/m ³	5.000
OZONO (O₃)		
8 horas	µg/m ³	100

FUENTE: TABLA 1. RESOLUCIÓN 2254 DE 2017 DEL MAVDT HOY MADS
CONDICIONES DE REFERENCIA

Corrección de datos a condiciones de referencia: con el fin de comparar los datos obtenidos en campo con los límites permisibles descritos en la Resolución 2254 de 2017 del MAVDT, los cuales se presentan en condiciones de referencia para temperatura y presión, es decir, 25 °C y 760 mm Hg, respectivamente, se procede a utilizar la ecuación mencionada en la NTC 3704, de la siguiente manera:

$$DR = \frac{DL * 760 * (273 + TL^{\circ}C)}{PbL * 298K}$$

Dónde:

- DL = Datos obtenidos en campo a condiciones locales.
- DR = Datos obtenidos en campo a condiciones de referencia.
- PbL = Presión barométrica local.
- TL = Temperatura promedio ambiente local

5.1.11.4.7.3 Resultados de las mediciones y comparación con las normas ambientales

Se describen las condiciones indicando las máximas de los días en que se realizaron los monitoreos.

Tabla 59. Máximos reportados en condiciones ambientales

Máximo reportado de la Temperatura (°C)	Máximo reportado de Humedad (%)	Máximo de Precipitaciones (mm)	Máximo presión barométrica (mmHg)	Máxima velocidad viento
20,9	78,40	11,2	567,1	1,8

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.11.4.7.4 Material particulado pm10

Los resultados de las muestras de material particulado menor o igual a 10 micras (PM10) se indican en la Tabla 60.

Tabla 60. Concentraciones de PM 10

Día	E1 (µg/m3)	E2 (µg/m3)	E3 (µg/m3)
1	13,88	19,34	24,24
2	10,87	13,17	11,3
3	18,44	22,81	21
4	24,9	29,85	32,33
5	33,72	33,47	30,31
6	21,81	24,42	26,14
7	26,94	5,07	33,16
8	5,13	19,49	18,65
9	13,47	14,46	15,49
10	14,63	13,21	10,68
11	14,96	10,14	13,01
12	20,47	19,99	22,85
13	18,34	14,26	14,47
14	25,23	10,5	27,26
15	36,16	45,25	40,36
16		46,3	38,08
17	30,91	38,55	32,18
18	29,76	29,57	24,85
Conteo	18	18	18
Promedio	21,15	22,77	24,24
Mín	5,13	5,07	10,68
Máx.	36,16	46,30	40,36
Días de Incumplimiento	0	0	0
% Cumplimiento	100%	100%	100%

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

La comparación con la normatividad teniendo en cuenta de cada estación el valor máximo y el promedio, está relacionado en la Tabla 61 y en la [Figura 64](#).

Tabla 61. Concentración promedio de PM10 en los puntos de monitoreo

PUNTO DE MONITOREO	PROMEDIO ARITMÉTICO μG PM10/M ³ STD	MÁXIMA DIARIA μG PM10/M ³ STD	MÁXIMA ANUAL RES.2254/ 2017 (μG/M ³ STD)	MÁXIMA DIARIA RES.2254/ 2017 (μG/M ³ STD)
Estación P-01	21,15	36,16	50	75
Estación P-02	22,77	46,3		
Estación P-03	24,24	40,36		

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

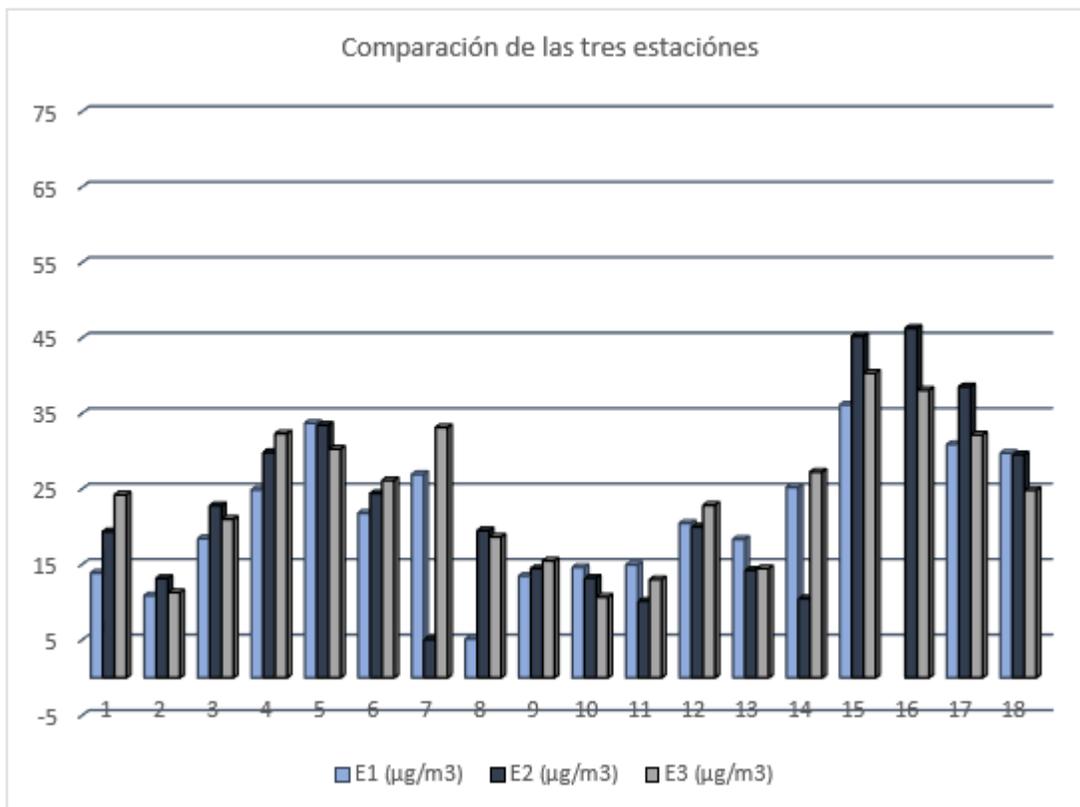


Figura 64 comparación de concentraciones de PM10 en cada uno de los puntos monitoreados y comparación con normatividad

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo del índice de Calidad de Aire ICA para PM10. El color de cada celda corresponde a la clasificación del índice conforme a la Tabla 62. De acuerdo con los resultados todas las muestras indican una calidad de aire buena, sin afectaciones a la salud humana.

Tabla 62. Concentración y valor del ICA de pm10 en los puntos de monitoreo

ESTACIÓN	CONCENTRACIÓN PROMEDIO µG/M3	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE-ICA	CALIDAD
1	21,15	19,6	BUENA

ESTACIÓN	CONCENTRACIÓN PROMEDIO $\mu\text{G}/\text{M}^3$	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE-ICA	CALIDAD
2	22,77	21,1	BUENA
3	24,24	22,4	BUENA

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Análisis PM10

Los resultados permiten inferir que a pesar de que entre días se observa dispersión de los datos estos no sobrepasan el nivel máximo diario de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{STD}$. De igual manera se observa que los máximos de cada estación tampoco sobrepasan este valor (E1; $36,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, E2; $46,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y E3; $40,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El promedio aritmético relacionado también en la Tabla 61. Concentración promedio de PM10 en los puntos de monitoreo de las tres estaciones se encuentran muy cercanos de hecho se afirmarían que tienen precisión.

El índice de calidad relacionado en la Tabla 62, que fue calculado para cada estación evidencia una calidad **BUENA** para PM 10 (24 horas) ya que los valores se encuentran por debajo de ese rango.

5.1.11.4.7.5 Material particulado pm 2.5

Los resultados de las muestras de material particulado menor o igual a 2,5 micras (PM2,5) se indican para las estaciones 01, 02 y 03 en la Tabla 63.

Tabla 63. Concentraciones de pm 2,5 obtenidas por cada estación

Día	E1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	E2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	E3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Día 1	7,46	7,27	9,35
Día 2	7,23	4,61	5,76
Día 3	1,78	7,7	10,53
Día 4	14,14	9,76	16,76
Día 5	19,51	8,39	14,62
Día 6	11,18	9,74	12,35
Día 7	12,79		17,54
Día 8		7,58	10,91
Día 9	4,91	7,47	8,55

Día	E1 (µg/m3)	E2 (µg/m3)	E3 (µg/m3)
Día 10	6,38	7,34	5,92
Día 11	5,96	4,65	3,66
Día 12	10,99	7,58	8,29
Día 13	6,82	4,26	8,54
Día 14	9,47	8,91	10,94
Día 15			21,9
Día 16			16,11
Día 17	12,57	12,39	11,99
Día 18	10,28		14,32
Conteo	18	18	18
Promedio	9,43	7,69	11,56
Mín.	1,78	4,26	3,66
Máx.	19,51	12,39	21,90
Días de cumplimiento	0	0	0
% Cumplimiento	100%	100%	100%

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

La comparación con la normatividad teniendo en cuenta de cada estación el valor máximo y el promedio, está relacionado en la Tabla 64 y en la Figura 65.

Tabla 64. Concentración promedio de PM 2,5 en los puntos de monitoreo

PUNTO DE MONITOREO	PROMEDIO ARITMÉTICO µG PM2.5/M ³ STD	MÁXIMA DIARIA µG PM2.5/M ³ STD	MÁXIMA ANUAL RES.2254/ 2017 (µG/M ³ STD)	MÁXIMA DIARIA RES.2254/ 2017 (µG/M ³ STD)
Estación P-01	9,43	19,51	25	37
Estación P-02	7,69	12,39		
Estación P-03	11,56	21,90		

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

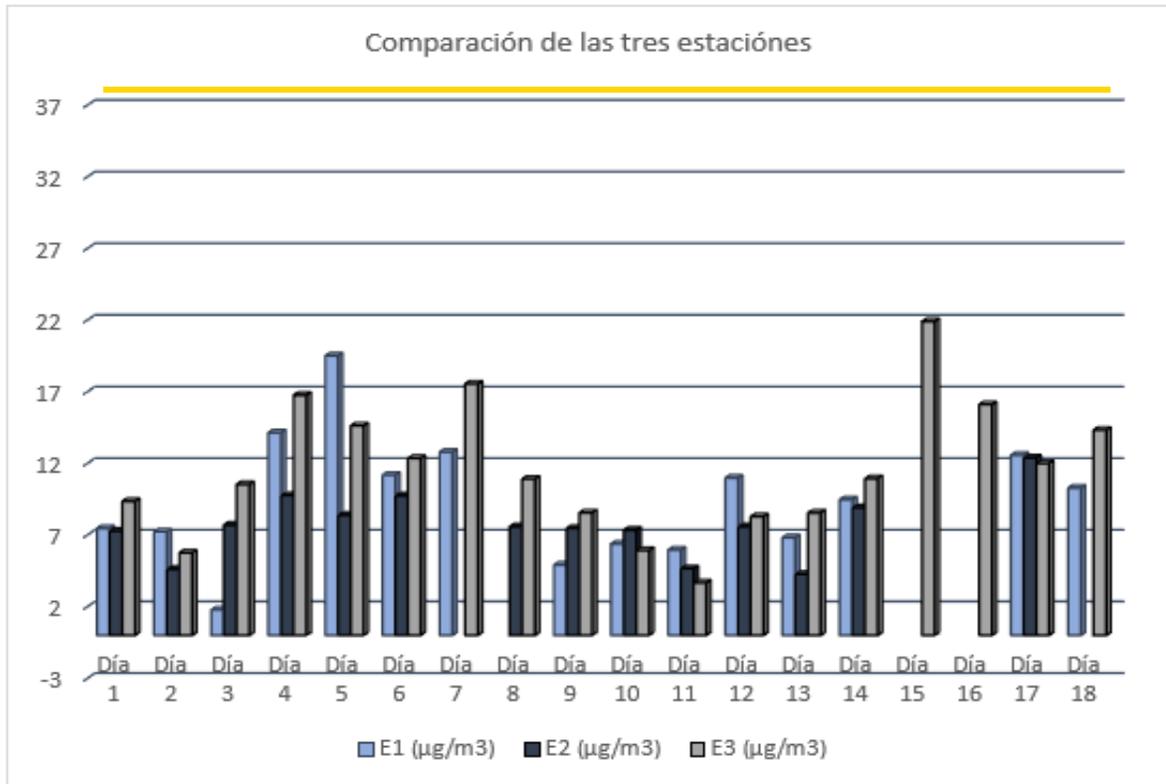


Figura 65. Comparación de concentraciones de PM 2,5 en cada uno de los puntos monitoreados y comparación con normatividad

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo del Índice de Calidad de Aire ICA para PM2,5. El color de cada celda corresponde a la clasificación del índice conforme a la Tabla 65.

Tabla 65. Concentración y valor del ICA de PM 2,5 en los puntos de monitoreo

ESTACIÓN	CONCENTRACIÓN MÁXIMA µG/M3	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE - ICA	CALIDAD
1	9,43	39,2	BUENA
2	7,69	32,1	BUENA
3	11,56	48,3	BUENA

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

► Análisis PM_{2,5}

Se evidencian variaciones por día de cada estación, estos datos se encuentran de forma dispersa y sin alguna tendencia, sin embargo, al comparar todas las estaciones gráficamente se presenta la Figura 65. Comparación de concentraciones de PM 2,5 en cada uno de los puntos monitoreados y comparación con normatividad, se detalla que a pesar de que entre días se observa dispersión de los datos estos no sobrepasan el nivel máximo diario de 37 µg/m³STD.

De igual manera se observa que los máximos de cada estación tampoco sobrepasan este valor. El promedio aritmético relacionado también en la Tabla 64 de las tres estaciones se encuentran muy cercanos de hecho se afirmaría que tienen precisión: E1; 9,43 µg/m³, E2; 7,69 µg/m³ y E3; 11,56µg/m³

El índice de calidad relacionado en la Tabla 65. Concentración y valor del ICA de PM 2,5 en los puntos de monitoreo, que fue calculado para cada estación evidencia una calidad BUENA para PM 2.5 (24 horas) ya que los valores se encuentran dentro del rango.

5.1.11.4.7.6 Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Los resultados registrados de dióxido de nitrógeno (NO₂) para las estaciones de monitoreo 01, 02 y 03 respectivamente, se presenta en la Tabla 66:

Tabla 66. Concentraciones de NO₂ obtenidas por cada estación

Día	E1 (µg/m ³)	E2 (µg/m ³)	E3 (µg/m ³)
Día 1	14,4	15,6	18
Día 2	10,8	12,7	14,4
Día 3	19,9	22,5	23
Día 4	26,1	28,2	28,8
Día 5	31,7	34,3	34,5
Día 6	29	26,7	25,7
Día 7	15,3	21,4	27,8
Día 8	20,4	24,4	28,2
Día 9	12	15,1	17,5
Día 10	9,7	10,2	11,2
Día 11	7,7	9,6	11,3
Día 12	8,4	16,7	22,4
Día 13	13,5	14,5	17,1
Día 14	11,6	18,4	24,1
Día 15	24,4	30,8	37

Día	E1 (µg/m3)	E2 (µg/m3)	E3 (µg/m3)
Día 16	28,7	35,7	40,7
Día 17	16,8	22	26,4
Día 18	15,1	22,4	29,2
Conteo	18	18	18
Promedio	17,53	21,18	24,29
Mín.	7,70	9,60	11,20
Máx.	31,70	35,70	40,70
Días de Incumplimiento	0	0	0
% Cumplimiento	100%	100%	100%

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

La comparación con la normatividad teniendo en cuenta de cada estación el valor máximo y el promedio, está relacionado en la Tabla 67 y en la FIGURA 66.

Tabla 67. Concentración promedio de NO₂ en el área del proyecto

PUNTO DE MONITOREO	PROMEDIO ARITMÉTICO µG NO ₂ /M ³ STD	MÁXIMA DIARIA µG NO ₂ /M ³ STD	MÁXIMA DIARIA RES.2254/ 2017 (µG/M ³ STD)
Estación P-01	17,53	31,7	200
Estación P-02	21,18	35,7	
Estación P-03	24,29	40,7	

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

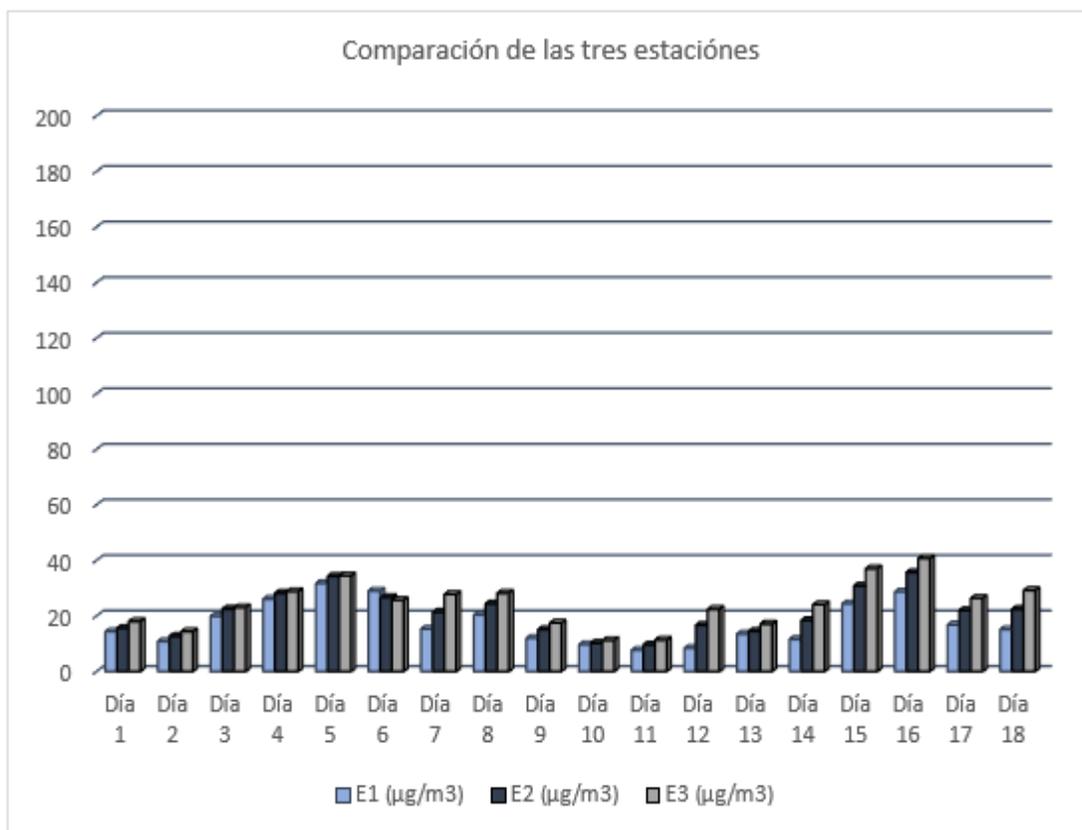


FIGURA 66. Comparación de concentraciones de NO2 en cada uno de los puntos monitoreados y comparación con normatividad

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo del Índice de Calidad de Aire ICA. El color de cada celda corresponde a la clasificación del índice conforme a la [Tabla 68](#). De acuerdo con los resultados todas las muestras indican una calidad de aire buena, sin afectaciones a la salud humana.

Tabla 68. Concentración y valor del ICA de NO2 en los puntos de monitoreo

ESTACIÓN	PROMEDIO ARITMÉTICO µG NO ₂ /M ³ STD	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE -ICA	CALIDAD
1	17,53	8,76	BUENA
2	21,18	10,59	BUENA
3	24,29	12,14	BUENA

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Análisis NO2

Los datos se encuentran de forma dispersa y sin alguna tendencia, sin embargo, al comparar todas las estaciones en un solo gráfico que se refleja en la [Tabla 68](#), se detalla que a pesar de que entre días se observa dispersión de los datos estos no sobrepasan el nivel máximo diario de 200 µg/m³STD por la Resolución 2254 de 2017 del MADS.

De igual manera se observa que los máximos de cada estación tampoco sobrepasan este valor. El promedio aritmético relacionado también en la [Tabla 67](#), de las tres estaciones se encuentran muy cercanos de hecho se afirmarían que tienen precisión

El índice de calidad relacionado en la [Tabla 68](#) que fue calculado para cada estación evidencia una calidad BUENA para el punto P01, P02 y P03 en NO2 µg/m³ (24 horas).

5.1.11.4.7.7 Dióxido de azufre (SO₂)

Los resultados registrados de dióxido de azufre (SO₂) para las estaciones de monitoreo 01, 02 y 03 respectivamente y se muestran a continuación en la [Tabla 69](#).

Tabla 69. Concentraciones de so2 obtenidas por cada estación

Día	E1 (µg/m ³)	E2 (µg/m ³)	E3 (µg/m ³)
Día 1	13,25	13,23	13,09
Día 2	13,19	12,93	13,13
Día 3	12,8	13,29	13,14
Día 4	13,18	12,82	13,1
Día 5	12,71	12,93	13,38
Día 6	12,95	12,8	12,98
Día 7	13,24	13,02	12,57
Día 8	13,26	12,95	12,84
Día 9	12,93	13,16	12,74
Día 10	12,71	12,42	12,79
Día 11	12,9	12,41	12,84
Día 12	12,6	12,53	12,6
Día 13	12,72	12,65	12,56
Día 14	12,73	12,5	12,64
Día 15	12,65	12,59	12,63
Día 16	12,6	12,65	12,62
Día 17	12,63	12,67	12,57

Día	E1 (µg/m3)	E2 (µg/m3)	E3 (µg/m3)
Día 18	12,6	12,7	12,93
Conteo	18	18	18
Promedio	12,87	12,79	12,84
Mín.	12,60	12,41	12,56
Máx.	13,26	13,29	13,38
Días de Incumplimiento	0	0	0
% Cumplimiento	100%	100%	100%

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

La comparación con la normatividad teniendo en cuenta de cada estación el valor máximo y el promedio, está relacionado en la [Tabla 70](#) y en la [Figura 67](#).

Tabla 70. Concentración promedio de so₂ en el área del proyecto

PUNTO DE MONITOREO	PROMEDIO ARITMÉTICO µG SO ₂ /M ³ STD	MÁXIMA DIARIA µG SO ₂ /M ³ STD	MÁXIMA DIARIA RES.2254/ 2017 (µG/M ³ STD)
Estación P-01	12,87	13,26	50
Estación P-02	12,79	13,29	
Estación P-03	12,84	13,38	

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

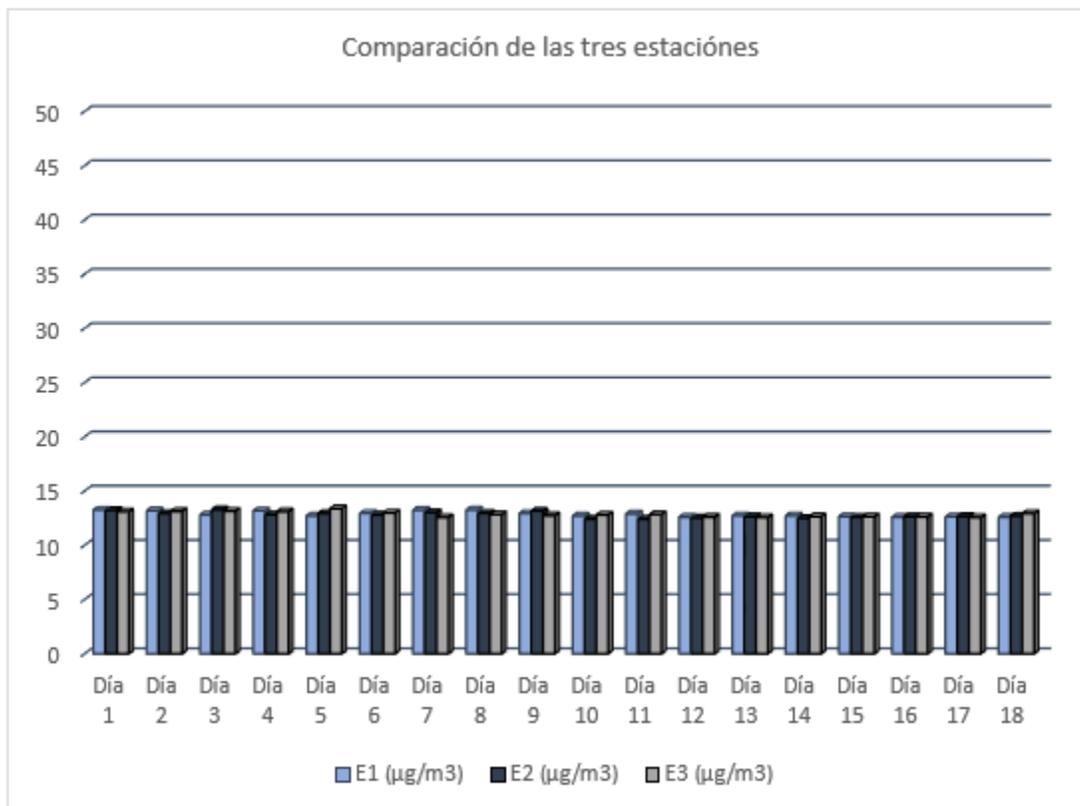


Figura 67. Comparación De Concentraciones De So2 En Cada Uno De Los Puntos Monitoreados Y Comparación Con Normatividad

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

El **índice de calidad del aire (ICA)** en este caso no se calculó ya que los datos de monitoreo tomados fueron en un tiempo de 24 horas y el tiempo estipulado para el cálculo del ICA es de 1 hora teniendo en cuenta el Capítulo IV de la resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

► **Análisis SO2**

Se observan variaciones por día de cada estación, estos datos se encuentran de forma dispersa y sin alguna tendencia, sin embargo, al comparar todas las estaciones en un solo gráfico que se refleja en la [Tabla 70](#), se detalla que a pesar de que entre días se observa dispersión de los datos estos no sobrepasan el nivel máximo diario de 50 µg/m3. De igual manera se observa que los máximos de cada estación tampoco sobrepasan este valor máximo diario.

De igual manera se observa que los máximos de cada estación tampoco sobrepasan este valor. El promedio aritmético relacionado también en la [Tabla 70](#), de las tres estaciones se encuentran muy

cercanos de hecho se afirmarían que tienen precisión. Promedio E1; 12,87 µg/m³, E2; 12,79 µg/m³ y E3 12,84 µg/m³. El índice de calidad como fue mencionado anteriormente no pudo ser calculado.

5.1.11.4.7.8 Monóxido de carbono (CO)

Se presenta la comparación de los resultados de las concentraciones del contaminante monóxido de carbono determinado por media móvil 8 horas contra el límite normativo de un tiempo de exposición de 8 horas, donde se observa que en las tres estaciones de monitoreo se tiene un pleno cumplimiento normativo respecto al límite de 5.000 µg/m³ para un tiempo de exposición de 8 horas establecido en la Resolución 2254 de 2017. En la [Tabla 71](#) se encuentran relacionados los datos.

Tabla 71. Concentraciones de CO obtenidas por cada estación

Día	E1 (µg/m ³)	E2 (µg/m ³)	E3 (µg/m ³)
Día 1	384	477	645
Día 2	267	388	555
Día 3	389	549	759
Día 4	527	729	935
Día 5	539	734	990
Día 6	536	772	1092
Día 7	410	773	1198
Día 8	557	825	1271
Día 9	330	485	718
Día 10	311	378	524
Día 11	229	308	414
Día 12	274	455	683
Día 13	360	443	645
Día 14	366	522	730
Día 15	662	884	1164
Día 16	627	935	1378
Día 17	479	809	1161
Día 18	467	758	1088
Conteo	18	18	18
Promedio	428,56	623,56	886,11
Mín.	229,00	308,00	414,00
Máx.	662,00	935,00	1378,00

Día	E1 (µg/m3)	E2 (µg/m3)	E3 (µg/m3)
Días de Incumplimiento	0	0	0
% Cumplimiento	100%	100%	100%

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

La comparación con la normatividad teniendo en cuenta de cada estación el valor máximo y el promedio, está relacionado en la [Tabla 72](#) y en la [Figura 68](#).

Se resume el resultado promedio de las mediciones octohorarias respecto a la concentración de CO detectada en cada uno de los puntos monitoreados y se compara con el nivel máximo permisible 1 hora.

Tabla 72. Concentración promedio de CO en el área del proyecto

PUNTO DE MONITOREO	PROMEDIO ARITMÉTICO µG CO/M³STD	MÁXIMA µG CO/M³STD	MÁXIMA 8 HORAS RES.2254 /2017 (µG/M³STD)
Estación P-01	428	1425,71	5000
Estación P-02	623	555,16	
Estación P-03	886,11	571,31	

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

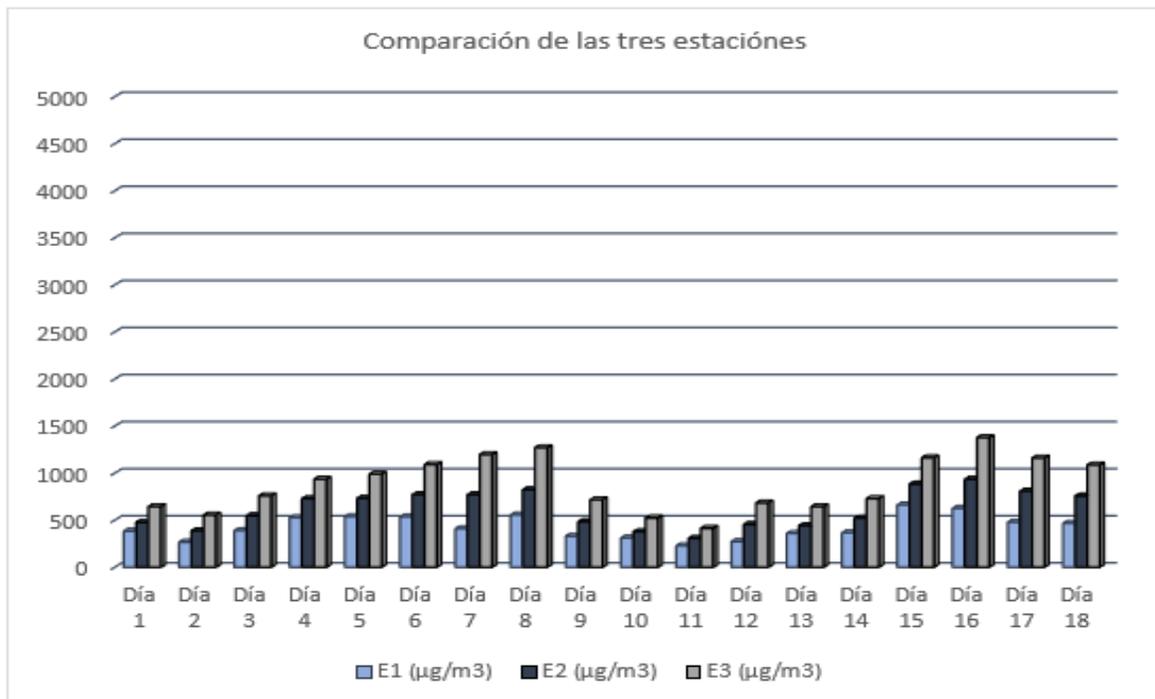


Figura 68. Comparación de concentraciones de CO en cada uno de los puntos monitoreados y comparación con normatividad

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo del Índice de Calidad de Aire ICA. El color de cada celda corresponde a la clasificación del índice conforme a la Tabla 73. De acuerdo con los resultados todas las muestras indican una calidad de aire buena, sin afectaciones a la salud humana.

Tabla 73. Concentración y valor del ICA en los puntos de monitoreo

ESTACIÓN	PROMEDIO ARITMÉTICO $\mu\text{G}/\text{M}^3$	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE - ICA	CALIDAD
1	428	4,2	BUENA
2	623	6,11	BUENA
3	886,11	8,69	BUENA

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Análisis CO

Al comparar todas las estaciones en un solo gráfico como se refleja en la Figura 68, se detalla que a pesar de que entre días se observa dispersión de los datos estos no sobrepasan el nivel máximo diario de $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{STD}$ por la Resolución 2254 de 2017 del MADS.

De igual manera se observa que los máximos de cada estación tampoco sobrepasan este valor. El promedio aritmético relacionado también en la Tabla 72 de las tres estaciones se encuentran muy cercanos de hecho se afirmarí que tienen precisión. Promedio E1; $428,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, E2; $623,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y E3 $886,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El índice de calidad relacionado en la Tabla 73, que fue calculado para cada estación evidencia una calidad **BUENA** en CO $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 8 horas.

5.1.11.4.7.9 Ozono

En las siguientes tablas se presentan los resultados de las concentraciones del contaminante ozono y la comparación frente al límite normativo de un tiempo de exposición de 8 horas ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Como se verá, en la totalidad de días de muestreo se tuvo un pleno cumplimiento normativo para un tiempo de exposición de 8 horas, establecido en la Resolución 2254 de 2017.

Aunque el ozono se forma e incorpora en el aire en parte por la reacción fotoquímica entre los óxidos de nitrógenos y los rayos UV del sol, se registraron concentraciones bajas aún con presencia de los óxidos de nitrógeno. En la Tabla 74 se presenta el compendio de los promedios diarios horarios

obtenidos a partir de los datos almacenados por los equipos automáticos de ozono utilizados en el monitoreo.

Tabla 74. Concentraciones de ozono (O₃) registradas en las tres estaciones de monitoreo

Día	E1 (µg/m ³)	E2 (µg/m ³)	E3 (µg/m ³)
Día 1	31,7	29,7	29,7
Día 2	41,1	38,3	38,2
Día 3	45,5	38	36,5
Día 4	40,3	31,1	28,9
Día 5	31,6	22	19,7
Día 6	25	19,4	17,8
Día 7	20,3	16,4	15,6
Día 8	16,5	12,9	12,3
Día 9	30,2	27,8	27,4
Día 10	36,9	43,1	43,2
Día 11	38,4	29,7	34,8
Día 12	38,5	31,4	29,6
Día 13	34,6	29,8	29
Día 14	29,9	25,4	24,5
Día 15	18	13	18,2
Día 16	19	14,7	13,8
Día 17	27,8	21,2	19,6
Día 18	28,7	21,9	20,1
Conteo	18	18	18
Promedio	30,78	25,88	25,49
Mín.	16,50	12,90	12,30
Máx.	45,50	43,10	43,20
Días de Incumplimiento	0	0	0
% Cumplimiento	100%	100%	100%

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

La comparación con la normatividad teniendo en cuenta de cada estación el valor máximo y el promedio, está relacionado en la Tabla 75 y en la Figura 69 Se resume el resultado promedio de las mediciones octohorarias (media móvil 8 horas) respecto a la concentración de O₃ detectada en cada uno de los puntos monitoreados y se compara con el nivel máximo permisible 8 horas.

Tabla 75. Concentración promedio de o3 en el área del proyecto

PUNTO DE MONITOREO	PROMEDIO ARITMÉTICO $\mu\text{G O}_3/\text{M}^3\text{STD}$	MÁXIMA $\mu\text{G O}_3/\text{M}^3\text{STD}$	MÁXIMA 8 HORAS RES.2254 /2017 ($\mu\text{G}/\text{M}^3\text{STD}$)
Estación P-01	30,78	45,4	100
Estación P-02	25,88	43,1	
Estación P-03	25,49	43,2	

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

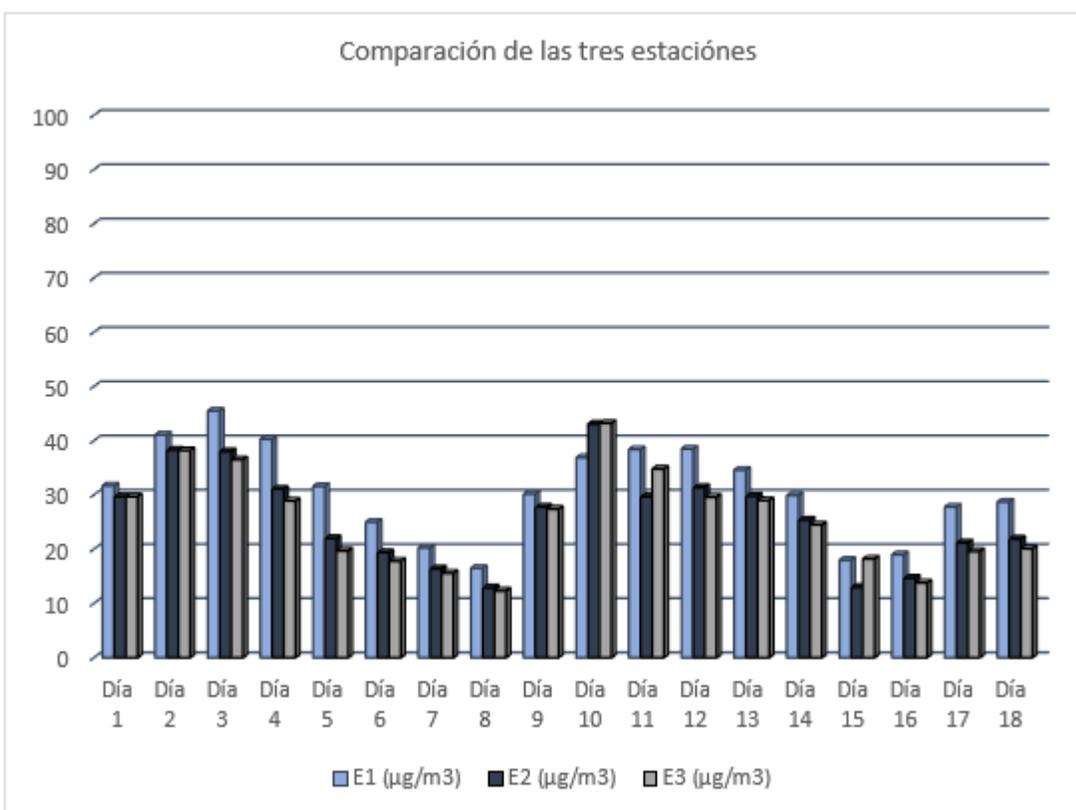


Figura 69. Comparación de concentraciones de O3 en cada uno de los puntos monitoreados y comparación con normatividad

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo del Índice de Calidad de Aire ICA. El color de cada celda corresponde a la clasificación del índice conforme a la

Tabla 76. De acuerdo con los resultados todas las muestras indican una calidad de aire buena, sin afectaciones a la salud humana.

Tabla 76. Concentración y valor del ICA en los puntos de monitoreo

ESTACIÓN	PROMEDIO ARTIMÉTICO μG/M3	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE -ICA	CALIDAD
1	428	201,88	BUENA
2	623	293,86	BUENA
3	886,11	417,97	BUENA

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Análisis O3

Se observa las variaciones por día de cada estación, estos datos se encuentran de forma dispersa y sin alguna tendencia, sin embargo, al comparar todas las estaciones en un solo gráfico que se refleja en la *Figura 69*, se detalla que a pesar de que entre días se observa dispersión de los datos estos no sobrepasan el nivel máximo diario de 100 μg/m³STD por la Resolución 2254 de 2017 del MADS.

De igual manera se observa que los máximos de cada estación tampoco sobrepasan este valor. El promedio aritmético relacionado también en la *Tabla 75* de las tres estaciones se encuentran muy cercanos de hecho se afirmarí que tienen precisión. Promedio E1; 30,8 μg/m³, E2; 25,9 μg/m³ y E3; 25,5 μg/m³

El índice de calidad relacionado en *Tabla 76*, que fue calculado para cada estación evidencia una calidad **BUENA**

5.1.11.4.7.10 Hidrocarburos totales (HTC'S)

En las tres (3) estaciones todos los valores registrados se encuentran por debajo del límite de cuantificación, sin embargo, existen variaciones en las concentraciones que son producidas por factores meteorológicos, al tránsito de vehículos sobre las vías principales que quedan cerca de los puntos de monitoreo de las estaciones y al transporte de este tipo de gases producidos por efecto del viento.

Los hidrocarburos obtenidos fueron Heptano, octano, nonano, decano, undecano, dodecano y algunos por debajo del límite de detección, para las estaciones P-01, P-02 y P-03, se realizaron las medidas en flujo bajo es decir 16,67ml/min y para los flujos de alto volumen 66,6 ml/min se encontraron n-C10, n-C11, n-C12, n-C13, y n-C14.

No se realiza calculo ICA según lo descrito la Resolución 2254 de 2017 artículo 20 *Tabla 6*.

5.1.11.4.7.11 *Compuestos orgánicos volátiles (COV'S)*

Para las estaciones se determinó de compuestos volátiles; Benceno, Tolueno, Etilbenceno, p, m – Xileno y o – Xileno, de las que se obtuvo promedios de 15-27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para mediciones de bajo flujo y alto flujo 29-48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

No se realiza calculo ICA según lo descrito la Resolución 2254 de 2017.

La Resolución 2254 del 2017 del MADS, no establece límites permisibles diarios ni anuales por esto no se puede realizar una comparación con la norma; El Benceno y el Tolueno están regulados por el artículo 4 de ésta resolución y tienen establecidos niveles máximos permisibles para la exposición anual, sin embargo para el Benceno, no se cuenta con el mínimo de datos que son 121 de concentración para determinar éste promedio anual, lo cual corresponde a una mediciones cada tres días en cada estación por año y para el Tolueno no se cuenta con los 60 minutos semanales que establece el método EPA TO-17 adoptado por el IDEAM, se realizó monitoreo únicamente por 30 minutos.

5.1.11.4.8 *Conclusiones*

Las concentraciones de material particulado como PM10 obtenidas en las estaciones de monitoreo, están por debajo de los estándares permisibles por la norma nacional de calidad de aire en un tiempo de exposición de 24 horas establecida en 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Entre los resultados promedio y por día se logra ver dispersión entre los datos por lo cual no se puede identificar una tendencia entre estos. En todo el monitoreo el Índice de Calidad de Aire ICA por PM10 indica que se encuentra una buena calidad de aire, relacionado con la ausencia de efectos a la salud como síntomas respiratorios o agravación de enfermedades pulmonares.

En relación al parámetro PM 2.5, en todos los días de monitoreo las concentraciones obtenidas, están por debajo de los estándares permisibles por la norma nacional de calidad de aire en un tiempo de exposición de 24 horas establecida en 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De igual manera, el ICA basado en los resultados de este parámetro muestran una calidad de aire buena, indicando un área y atmosfera que no influye en la agravación de enfermedades pulmonares.

Las concentraciones de gases como óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y ozono se registraron en niveles bajos con relación a los límites permisibles en las tres estaciones de monitoreo, adicional el ICA indica que no efectos en la salud, para todos se calculó y presenta como resultado una Buena calidad.

Las concentraciones de monóxido de carbono registraron datos dispersos, aunque aumentan y disminuyen de manera proporcional durante los días en las 3 estaciones, cabe aclarar que ninguno de los datos sobrepasa el límite máximo diario de 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Todos los puntos evidencian una buena calidad del aire según lo estipulado para el ICA, lo cual relaciona la ausencia de síntomas como dolores

de cabeza, lesiones cardíacas o muerte a causa de estas concentraciones de este parámetro en esta zona.

En cuanto a los monitoreos de Hidrocarburos Totales y Compuestos Orgánicos Volátiles las concentraciones obtenidas son tan pequeñas que se salen del límite de cuantificación, por lo que se puede inferir que esta zona está libre de contaminantes de alta toxicidad que puedan tener efectos cancerígenos o que produzcan olores ofensivos causados por estos parámetros.

No hay emisiones importantes de Benceno, Tolueno, Etilbenceno, p, m – Xileno y o – Xileno.

5.1.11.5 Ruido Ambiental

5.1.11.5.1 Objetivo general

Analizar los resultados de monitoreo de ruido ambiental, para la licencia ambiental de la primera Línea del metro de acuerdo a la Resolución 0627 de 2006.

5.1.11.5.2 Objetivos específicos

- ▶ Presentar los resultados del monitoreo de ruido ambiental en la sub estación 2.
- ▶ Comparar los resultados con los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental establecidos en el artículo 17 de la Resolución 0627 de 2006.

5.1.11.5.3 Ruido ambiental

El ruido ambiental se refiere a sonidos que no son muy agradables o pueden ser dañinos, por lo que modifica las condiciones. El impacto ambiental del ruido ambiental se fundamenta en el nivel de presión sonora, conocido como NPS o L_p , que identifica la intensidad del sonido por una determinada presión. La unidad es decibelio, los extremos indican el umbral de audición (0 db) y el de dolor (120 db). También se puede hablar de nivel de presión sonora continuo equivalente (NPSeq), para saber si la presión sonora es constante.

En el presente documento realizado por el Laboratorio de Análisis Ambiental LAA, de CPA Ingeniería SAS, se pretende mostrar los datos del monitoreo de ruido ambiental, para la licencia ambiental para la ejecución de la subestación dos (SER 2).

Para esta sub estación se realizó monitoreo en tres puntos.

Los resultados de los análisis son comparados con los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental establecidos en el artículo 17 de la Resolución 0627 de 2006.

Las coordenadas de esta estación están relacionadas en la [Tabla 77](#)

Tabla 77. Coordenadas de punto de ruido

MUESTREO	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
P-01 Ruido ambiental	4879335,179	2065415,861
P-02 Ruido ambiental	4879407,071	2065696,332
P-03 Ruido ambiental	4879809,926	2066059,185

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

5.1.11.5.4 Descripción de los métodos de muestreo

Para el monitoreo es preciso tener en cuenta las condiciones meteorológicas, orográficas y físicas del lugar en donde se van a realizar las mediciones ya que estos pueden influir en los reportes. También es importante conocer el tipo de ruido que emite las fuentes de emisión evaluadas para realizar el procedimiento adecuado para la medición.

En esa zona y de expansión urbana, el ruido ambiental se midió instalando el micrófono a una altura de cuatro (4) metros medidos a partir del suelo y a una distancia equidistante de las fachadas, barreras o muros existentes a ambos lados del punto de medición, si estos no existen en uno de los costados, el punto se sitúa a una distancia de cuatro (4) metros medidos horizontalmente desde el costado que las posea, si no existen en ninguno de los costados, se toma el punto equidistante entre los límites del espacio público correspondiente. En ningún momento se efectuaron mediciones bajo puentes o estructuras similares. En la [Tabla 78. Fechas día hábil y no hábil](#) Se identifican los puntos de medición.

Tabla 78. Fechas día hábil y no hábil

Puntos de medición	Día No hábil		Día hábil	
	Día	Noche	Día	Noche
P-01	Fecha: 25/07/2021 Hora inicio: 10:15 am Hora Fin: 11:15 am	Fecha: 25/07/2021 Hora inicio: 12:35 am Hora Fin: 1:35 am	Fecha: 16/07/2021 Hora inicio: 10:15 am Hora Fin: 11:15 am	Fecha: 16/07/2021 Hora inicio: 11:30 pm Hora Fin: 12:35 am
P-02	Fecha: 25/07/2021 Hora inicio: 11:30 am Hora Fin: 12:30 pm	Fecha: 25/07/2021 Hora inicio: 1:42 am Hora Fin: 2:42 am	Fecha: 16/07/2021 Hora inicio: 11:30 am Hora Fin: 12:30 pm	Fecha: 16/07/2021 Hora inicio: 12:35 am Hora Fin: 1:35 am

Puntos de medición	Día No hábil		Día hábil	
	Día	Noche	Día	Noche
P-03	Fecha: 25/07/2021 Hora inicio: 12:45 pm Hora Fin: 1:45 pm	Fecha: 25/07/2021 Hora inicio: 2:50 am Hora Fin: 3:50 am	Fecha: 16/07/2021 Hora inicio: 12:45 am Hora Fin: 1:45 pm	Fecha: 16/07/2021 Hora inicio: 1:42 am Hora Fin: 2:42 am

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

Para la medición de la hora se tomaron intervalos de tiempo distribuidos uniformemente, obteniendo los 15 minutos mínimos de captura de información que establece el Artículo 5 de la Resolución 0627 de 2006. Estas (5) mediciones parciales se distribuyeron en tiempos iguales (3 minutos).

El intervalo unitario de tiempo de medición es de una (1) hora, la cual puede ser medida en forma continua o en intervalos de tiempo inferiores hasta completar como mínimo quince (15) minutos de captura de información. Si el ruido es estable (es decir, fluctúa en un intervalo de 3dB), se toman como mínimo 3 mediciones de 5 minutos cada una, para evitar incurrir en mediciones que pudieran resultar de baja representatividad. (ECHEVERRI, 2011). En la [Tabla 79](#).

Tabla 79. Distribución de las medidas.

Medición	Fuente	Características de la medición	Tiempo		Duración (min)
			Inicial	Final	
1	Funcionando	LAeq,T respuesta rápida	0:00	0:05	5
2	Apagada	LAeq, T, Residual Respuesta rápida	0:10	0:15	5
3	Funcionando	LAeq, T Respuesta rápida	0:20	0:25	5
4	Apagada	LAeq, T, Residual Respuesta rápida	0:35	0:40	5
5	Funcionando	LAeq, T Respuesta rápida.	0:45	0:50	5
6	Apagada	LAeq, T, Residual Respuestas rápida	0:55	1:00	5

FUENTE: RESOLUCIÓN 0627

De acuerdo con el capítulo III del anexo 3 de la Resolución 627 de 2006, con respecto a los horarios de medición recomiendan lo siguiente: “no hacer mediciones de más de una hora continua en cada punto”, por lo tanto, para este estudio se realizaron mediciones cumpliendo los intervalos de medición descritos en el numeral 2.6 del presente documento. El número mínimo de días a la semana en los cuales se

efectuaron las mediciones es de dos (2), uno de ellos tiene que ser un domingo, y el número mínimo de semanas por mes a medir es una (1).

5.1.11.5.5 Receptores del ruido en la zona y fuentes de generación de ruido.

Según la resolución 627 del 7 de abril de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, los niveles de presión sonora medidos se deben corregir por impulsividad, tonalidad, condiciones meteorológicas, horarios, tipos de fuentes y receptores. En la [Tabla 80](#) se relacionan los receptores sensibles y en la [Tabla 81](#) las fuentes de generación de ruido cercanos a estos puntos de monitoreo.

Tabla 80. Receptores sensibles

Punto de muestreo	Tipo de receptor	Dirección
P-01	Hospital Santa Clara	Carrera 14B # 1 – 45 Sur
P-01	Centro medica Santa Juliana	Transversal 17ª # 1 - 21
P-01	Centro dermatológico Federico Lleras	Av. Caracas # 1- 85 Sur
P-02	Hospital de la Misericordia	Av. caracas # 2 -17

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

Tabla 81. Fuentes generadoras de ruido

Punto de muestreo	Descripción	Dirección
P-02	Calle 3 # 17 – 24	Fábrica de plásticos
P-02	Av. Caracas entre calle 2 y calle 3	Demolición de viviendas
P-03	Calle 4 #13-13	Taller metalmecánico.
P-03	Carrera 16 # 4-15	

Punto de muestreo	Descripción	Dirección
		Construcción de vivienda.

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

5.1.11.5.6 Equipos utilizados en la medición

Los equipos que se usaron para el monitoreo se relacionan:

- ▶ GPS etrex 20 garmin
- ▶ Anemómetro (Hr, Vel viento, T °C, Presión mmHg) AM4205A con número de serie EQC-MCS0295.
- ▶ Cable USB
- ▶ Trípode S
- ▶ Sonómetro, micrófono, preamplificador. Tipo I BSWA 308 con número de serie 580263
- ▶ Calibrador acústico CASELLA CEL-110/2 con número de serie 190081.
- ▶ Maletín de transporte del equipo
- ▶ Pantalla anti-viento: UA 0237 y UA 0459, es espiral con un diámetro de 90 mm, está hecho de espuma de poliuretano de poros especialmente preparada que atenúa ruido de viento de 10 a 12 dB, a velocidades de viento muy bajas.

Las evaluaciones se deben hacer con sonómetros clase 1 o clase 2 según la norma IEC 61672- 1:2002 o cualquiera que la sustituya.

Para la calibración del sonómetro en campo es necesario disponer de un calibrador acústico o pistófono el cual debe tener el certificado de calibración vigente. Es importante que el sonómetro disponga de un extensor de micrófono para realizar la verificación del equipo a las condiciones del lugar en que se van a realizar las mediciones, por lo que es necesario realizar dicho procedimiento cada vez que se va a iniciar una toma de mediciones en el sitio de medida. Antes de realizar la verificación del equipo es necesario confirmar que el pistófono se encuentre cargado con la batería suficiente, de no ser así se deben llevar pilas de repuesto; si el calibrador posee varias frecuencias, debe seleccionarse la frecuencia solicitada por el fabricante, la verificación del equipo debe estar sobre el rango de $\pm 0,2$ dB con respecto a las especificaciones del equipo. Una vez realizada la verificación del equipo, esta debe ser consignada en el formato correspondiente. Identifique criterios para ubicación de puntos:

- ▶ Principales fuentes de emisión de ruido.
- ▶ Líneas eléctricas. - Vías de acceso.

- ▶ Infraestructura interna de interés.
- ▶ Infraestructura externa de influencia (escuelas, viviendas, asentamientos poblacionales, hospitales, etc.).
- ▶ Barreras naturales existentes (edificios, casas, árboles, etc.).
- ▶ Aspectos de seguridad física y ocupacional pertinentes.

5.1.11.5.7 Macro localización y descripción de las estaciones de monitoreo

La macro localización fue realizada a partir de información secundaria, imágenes satelitales y mapas de la ciudad a partir de las cuales se ubicaron áreas claves a lo largo del eje del trazado de la línea proyectada del metro para localizar el punto de ruido ambiental en la sub estación 2. Los puntos de monitoreo de ruido se nombran en la [Tabla 82](#).

Tabla 82. Puntos de monitoreo ruido

ESTACIÓN	NOMBRE O UBICACIÓN	COORDENADAS ORIGEN NACIONAL	
		ESTE	NORTE
P-01 RUIDO AMBIENTAL	Centro Dermatológico Federico Lleras	4879335,179	2065415,861
P-02 RUIDO AMBIENTAL	Hospital Materno Infantil	4879407,071	2065696,332
P-03 RUIDO AMBIENTAL	Medicina Legal	4879809,926	2066059,185

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

Punto 01 Ruido Ambiental: El punto de monitoreo se ejecutó en la intersección cerca al centro dermatológico Federico Lleras. El punto de toma de muestra se encuentra evidencia en la del punto y en la Figura 70. PUNTO-1



Figura 70. PUNTO-1

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

Punto 02 Ruido Ambiental: El punto de toma de muestra se ubicó Hospital Materno Infantil HOMI, Troncal Caracas con Calle 2, en la intersección, se encuentra evidencia del punto y en la Figura 71. PUNTO-2



Figura 71. PUNTO-2

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

Punto 03 Ruido Ambiental: El punto para la toma de muestra se ubicó en la Troncal Caracas con Calle 6, Parque Tercer Milenio, cerca de Medicina Legal, encuentra evidencia del punto y en la Figura 72. PUNTO-3



Figura 72. PUNTO-3

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

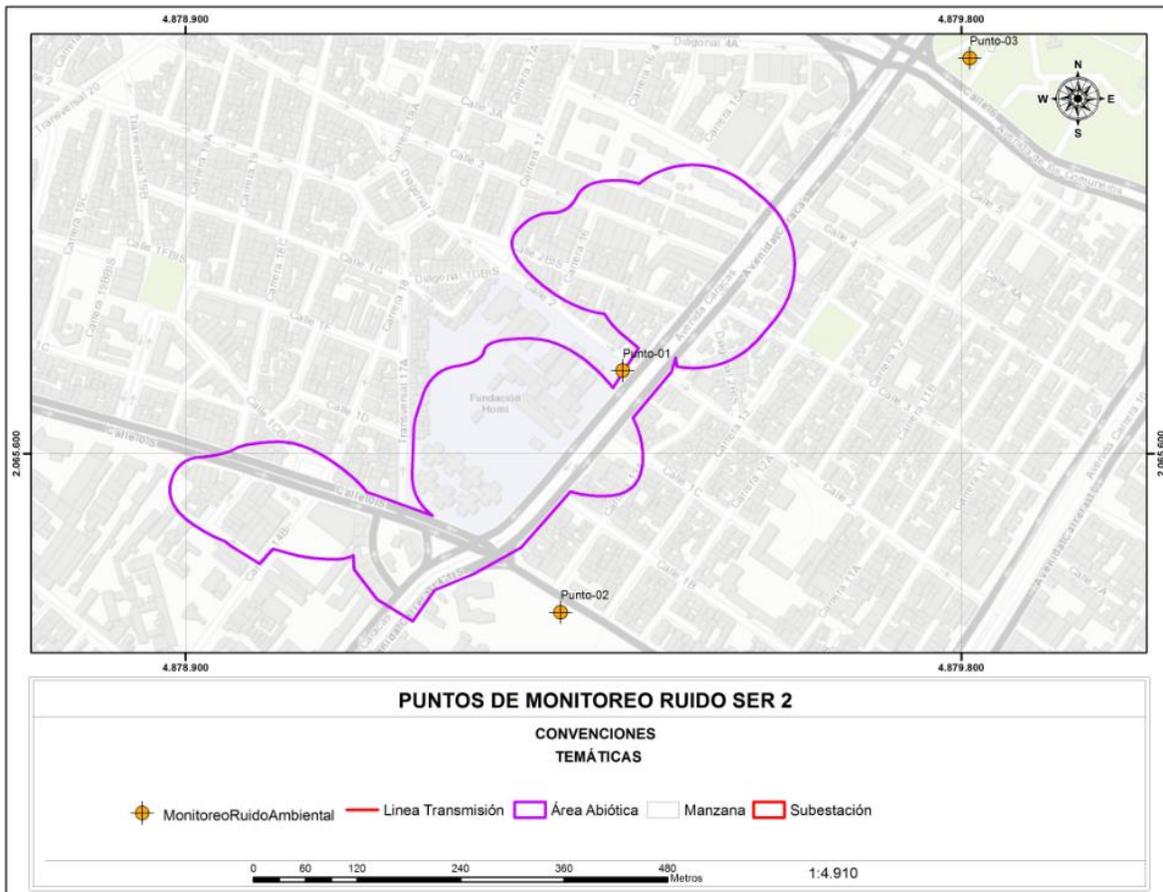


Figura 73. Localización de los puntos de monitoreo ruido

FUENTE: CPA INGENIERIA, 2022

5.1.11.5.8 Resultados de las mediciones y comparación con las normas ambientales

5.1.11.5.8.1 Condiciones

Las condiciones ambientales se describen en la Tabla 83 y en la Tabla 84:

Tabla 83. Condiciones ambientales

PUNTOS DE MONITOREO	Día No hábil		Día hábil	
	Día (velocidad del viento promedio)	Noche (velocidad del viento promedio)	Día (velocidad del viento promedio)	Noche (velocidad del viento promedio)
P-01	0.1 m/s	0.7 m/s	0.56 m/s	0.44 m/s
P-02	0.66 m/s	0.22 m/s	0.72 m/s	0.72 m/s
P-03	1.7 m/s	0.36 m/s	2.18 m/s	0.54 m/s

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

Tabla 84. Condiciones predominantes

PUNTOS DE MONITOREO	Fecha	Máx. Reportado Temperatura Ambiente °C	Máx. Reportado Humedad Relativa %	Dirección del Viento m/s	Máx. Reportado del Viento m/s Precipitación mm	Máx. Reportado Presión Barométrica (mmHg)
P-01	16/07/2021 10:15 am	14,8	69,4	S	0	560
	16/07/2021 11:30 pm	14,1	67,3	S	0	560
	25/07/2021 10:15 am	13,1	58,8	E	0	560
	25/07/2021 12:35 am	12,2	70,50	W	0	560
	16/07/2021 12:35 am	13,1	48,4	S	0	560

PUNTOS DE MONITOREO	Fecha	Máx. Reportado Temperatura Ambiente °C	Máx. Reportado Humedad Relativa %	Dirección del Viento m/s	Máx. Reportado del Viento m/s Precipitación mm	Máx. Reportado Presión Barométrica (mmHg)
P-02	16/07/2021 11:30 am	20,3	73,5	E	0	560
	25/07/2021 1:42 am	15,1	57,4	E	0	560
	25/07/2021 11:30 am	13,2	55,1	N	0	560
P-03	16/07/2021 12:45 am	12,1	58,2	E	0	560
	16/07/2021 1:42 am	14,7	74,9	E	0	560
	25/07/2021 12:45 pm	23,1	46,3	S	0	560
	25/07/2021 2:50 am	15,2	51,2	S	0	560

FUENTE: 1 METRO LÍNEA 1, 2021

5.1.11.5.8.2 Resultados

De acuerdo con el Artículo 6 del Capítulo I de la Resolución 627 de 2006, “los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderados A, Laeq, Leq, Leq residual y nivel percentil L90, se corrigieron por tonalidad (KT), impulsividad (KI), condiciones meteorológicas, horarios (KR), tipos de fuentes y receptores, para obtener niveles corregidos de presión sonora continuo equivalente ponderado A”. La corrección del nivel KT tomó en consideración los componentes tonales del ruido en el lugar de la medición y durante el tiempo que estuvieron presentes estos tonos, como se muestra a continuación:

- ▶ Por percepción nula de componentes tonales: 0 dB(A).
- ▶ Por percepción neta de componentes tonales: 3 dB(A).
- ▶ Por percepción fuerte de componentes tonales: 6 dB(A).

Para la corrección del nivel KI, se tomaron los componentes impulsivos en el lugar de medición y durante el tiempo que estén presentes los respectivos impulsos de la siguiente forma:

- ▶ Por percepción nula de componentes impulsivos: 0 dB(A).

- ▶ Por percepción neta de componentes impulsivos: 3 dB(A).
- ▶ Por percepción fuerte de componentes impulsivos: 6 dB(A).

Se realizaron ajustes para la corrección de tonalidad y por impulsividad tomados para ruido ambiental y para niveles de presión sonora equivalente continuo. En la [Tabla 85](#), se presenta las fórmulas con las que se hicieron los ajustes. Para el presente informe no aplica la corrección Ks, que es un ajuste positivo o negativo para ciertas fuentes y situaciones, por bajas frecuencias (dB(A)), de acuerdo con el numeral 1 del Anexo II de la Resolución 627 de 2006

Tabla 85. Formula de ajustes realizados

Valor Calculado	Fórmula	Observaciones
Ajustes	$LR A (X), T = LA (X), T + (KI, KT, KR, KS).$	<p>KI = Ajuste por impulsos (dB(A)) KT= Ajuste por tono y contenido de información (dB(A)) KR= Ajuste por la hora del día (dB(A)) KS= Ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones, por ejemplo, bajas frecuencias (dB(A)) (X)= Corresponde a cualquiera de los parámetros de medida de que trata el artículo 4 de la resolución 627 de 2006. El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, LAeq, T, solo se corrige por un solo factor K, el de mayor valor en dB(A).</p>
	$L = LT - LS$	<p>LT=Nivel de presión sonora de la banda f que contiene el tono puro LS=Media de los niveles de las dos bandas situadas inmediatamente por encima y por debajo de f</p> <p>Por percepción nula de componentes tonales: 0 dB(A). Por percepción neta de componentes tonales: 3 dB(A). Por percepción fuerte de componentes tonales: 6 dB(A).</p>
	$LI = LAI - LA, T$	<p>LAI= Nivel de presión sonora ponderado A, determinado con la característica temporal Impulso LA,Ti= Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, durante Ti, LA.</p> <p>Por percepción nula de componentes impulsivos: 0 dB(A). Por percepción neta de componentes impulsivos: 3 dB(A). Por percepción fuerte de componentes impulsivos: 6 dB(A).</p>

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

Los siguientes datos [Tabla 86](#) corresponden a los resultados de ruido en el lugar residencial, de acuerdo con la Resolución 627 del 7 de abril de 2006 expedida por el MAVDT. “Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.”

Tabla 86. Resultados diurno y comparación con la normatividad

PUNTO	Tipo	Mediciones de Ruido Ambiental – Día Hábil y No Hábil –												
		Dirección					LAeq dB	Valor Máximo Permiti do dB	¿Cumple ?	Estadística			Hora Inicial	Hora Final
		N	E	S	O	V				SD	CV	IC		
P-01	Hábil	59,1	60,2	58,2	59,7	55,2	58,8	65	SI	2,0	3,4%	2,5	10:15:00	11:15:00
	No hábil	61,1	61,2	58,2	59,7	55,2	59,6	65	SI	2,5	4,2%	3,2	10:15:00	11:15:00
P-02	Hábil	60,4	57,9	57,3	61,8	57,9	59,4	65	SI	1.9	3.3.%	2,5	11:30:34	12:30:32
	No hábil	62,4	59,9	57,3	61,8	57,9	60,3	65	SI	2.3	3,80%	2,9	11:30:34	12:30:32

FUENTE: MCS CONSULTORÍA Y MONITOREO AMBIENTAL S.A.S, 2021.

El punto P-01 ubicado en la avenida Hortua con avenida Caracas en la esquina donde se encuentra el centro dermatológico Federico Lleras es una zona cuya mayor fuente de generación de ruido es el tráfico vehicular (Transmilenio, ambulancias, automóviles, motos, vehículos pesados de 2 hasta 4 ejes los cuales transitan sobre las vías de la vía av. Caracas y la calle 1 sur (Hortua). Para el P-02 que se encuentra ubicado en la av. Caracas con calle 2, es un punto donde la fuente del ruido es principalmente por el tráfico, y de acuerdo a la [Tabla 86](#) los valores como resultado de medición de horario diurno, tanto para hábil y no hábil se encuentran por debajo del valor máximo permitido, de acuerdo a la clasificación del tipo del lugar, según la Resolución.

Se observan también los valores calculados de LAeq para diurno hábil y no hábil. Esto se calculó

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N T_i \cdot 10^{\frac{L_{pAi}}{10}} \right)$$

mediante la expresión ; que relaciona los niveles de equivalencia medio en la posición norte, sur, oeste, vertical y este. Teniendo en cuenta que T es el periodo de tiempo total de intervalo.

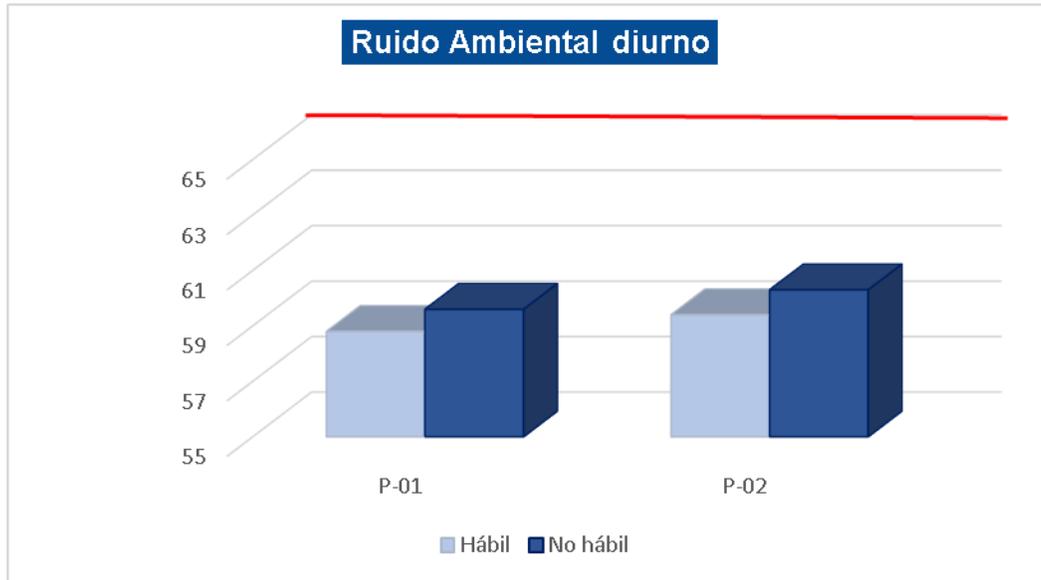


Figura 74 Resultados de ruido ambiental diurno

FUENTE: CPA INGENIERIA, 2022

Con respecto a la **Figura 74 Resultados de ruido ambiental diurno** Se observa que los resultados del ruido ambiental no hábil se da un aumento y esto es relacionado por el tráfico de la zona, puesto que el ruido de los vehículos está asociada al tamaño, el motor y escape; en día no hábil hay más vehículos por hora y eso incide en la medición del ruido y el tráfico es bajo por lo que al aumentar la velocidad hay aumento de ruido, de hecho se describe que para velocidades de 80 km/h o más el ruido es predominante (Díaz, 2012). En comparación con un día hábil se encuentra que más tráfico debido a semáforos, carros de las personas que van a sus actividades laborales o escolares, pues hace que se sature y para esto los vehículos deben maniobrar más ocasionando que la velocidad disminuya lo que indica disminución del ruido.

Los siguientes datos Tabla 87 corresponden a los resultados de ruido en el lugar parques o sector B “parques en zonas urbanas”, de acuerdo con la Resolución 627 del 7 de abril de 2006 expedida por el MAVDT.

Tabla 87. Resultados diurno sector B parques zona urbana

PUNTO DE MONITOREO	Tipos	Mediciones de Ruido Ambiental – Día Hábil y No Hábil –												
		Dirección					LAeq dB	Valor Máximo Permitido dB	¿Cumple?	Estadística			Hora Inicial	Hora Final
		N	E	S	O	V				SD	CV	IC		
P-03	Hábil	55,7	53,7	53,6	52,4	54,6	54,1	65	Si	1,2	2,30%	1,6	00:45:28	01:45:27
	No hábil	55,7	55,7	55,6	52,4	54,6	55,0	65	Si	1,4	2,60%	1,8	12:45:28	13:45:27

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

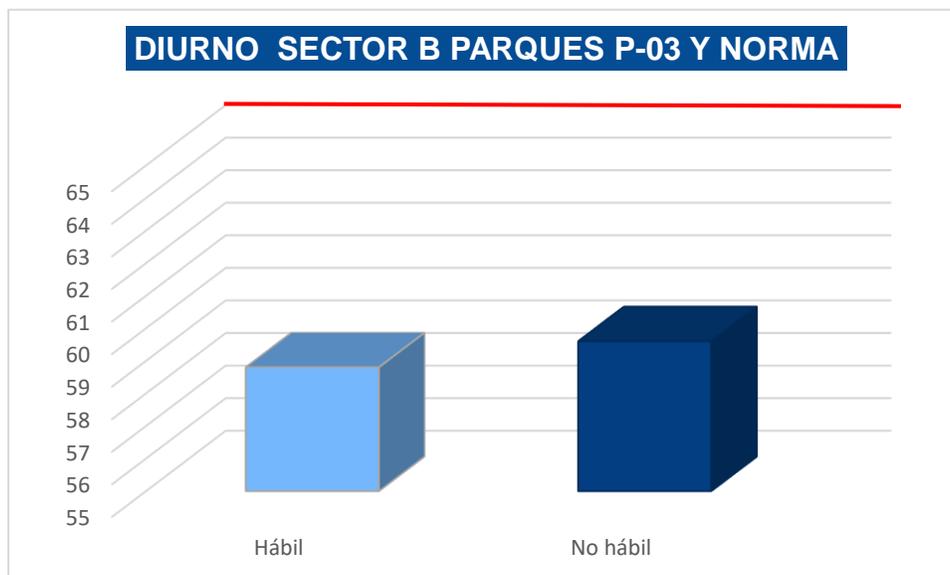


Figura 75. Resultados de ruido ambiental diurno p-03

FUENTE: CPA INGENIERIA, 2022

Como se observa en la [Tabla 87](#) y [Figura 75](#). Resultados de ruido ambiental diurno p-03, en horario diurno se registraron niveles de presión sonora, este punto P-03 corresponde cerca al parque Tercer Milenio con relación al límite máximo permisible (65 dB) establecido en la Resolución N° 627 del 7 de abril de 2006, este punto de monitoreo presenta total cumplimiento con referencia al límite. La avenida Caracas y la calle 6 próximas al punto P-03 cerca al Parque tercer Milenio se alcanzaron a percibir los sonidos de la bocina de los vehículos que transitan por la zona. Es importante señalar que, durante el monitoreo no se percibieron fuentes permanentes de ruido, por lo cual, los resultados se atribuyen a los sonidos del entorno.

A continuación, se presentan los datos Sector A- Tranquilidad Diurno. En la [Tabla 88](#) se muestra la comparación de los resultados de la campaña con los descritos en el artículo 17 de la Resolución 0627 de 2006.

Tabla 88. Resultados sector a diurno con los valores maximos permisibles res. 627-2006

Punto de Monitoreo	Valores de los resultados del Monitoreo en (dB)	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental (dB) Sector A. Tranquilidad y Silencio DIURNO
P-01	58,8	55
P-02	57,9	
P-03	54,1	

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

Conforme con la [Tabla 88](#), el aumento de los niveles de presión sonora en los puntos de monitoreo, se debe a las fuentes de emisión de ruido tales como: Vehiculares principalmente en la avenida Primera de mayo y Av. caracas, comercio informal y formal, paso de ambulancias y control de flujo vehicular con silbato.

En la Tabla 89 se reflejan los resultados en modalidad nocturno se muestran los niveles de presión sonora para los puntos ubicados en el sector B “Tranquilidad y Ruido Moderado”, subsector “Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.”, y sector B “Parques” en el cual el límite máximo permisible, establecido para el horario nocturno es de 50 dB.

Tabla 89. Ruido ambiental nocturno y normatividad

PUNTOS DE MONITOREO	Tipos	Mediciones de Ruido Ambiental SECTOR B ZONAS RESIDENCIALES– Nocturno y normativa												
		Dirección					LAeq dB	Valor Máximo Permitido dB	¿Cumple?	Estadística			Hora Inicial	Hora Final
		N	E	S	O	V				SD	CV	IC		
P-01	Hábil	42,1	48,9	45,8	44,0	44,5	45,9	50	SI	2,6	5,80%	3,4	23:30:17	00:30:30
	No hábil	42,1	48,9	46,8	44,0	45,8	46,1	50	SI	2,6	5,67%	3,4	23:30:17	00:30:30
P-02	Hábil	42,1	48,9	46,8	47	44,5	46,4	50	SI	2,6	5,60%	3,4	00:35:17	01:35:30
	No hábil	42,1	48,9	46,8	47	46,5	46,8	50	SI	2,5	5,36%	3,2	00:35:17	01:35:30
Mediciones de Ruido Ambiental SECTOR B PARQUES – Nocturno y Normativa														
P-03	Hábil	48,1	49	48,8	47	46,5	48	50	SI	1,1	2,30%	1,4	01:42:17	02:42:30
	No hábil	48,1	49	48,8	47	48,7	48,4	50	SI	0,8	1,70%	1	01:42:17	02:42:30

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

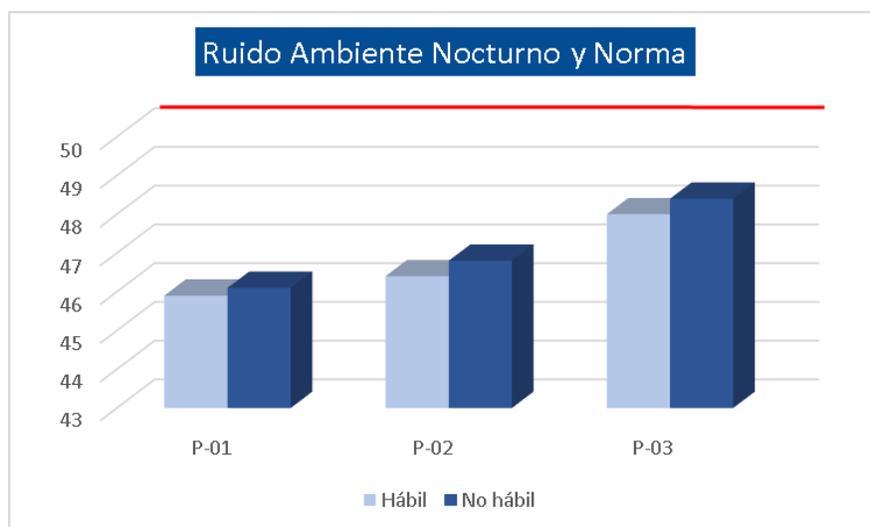


Figura 76. Ruido ambiental nocturno

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

En la Tabla 89 y la Figura 76 muestra, que con respecto a los puntos P-01 y P-02 de ruido ambiental nocturno, no sobrepaso el valor máximo permitido de acuerdo a e la Resolución 0627 de 2006 con respecto al sector B “Tranquilidad y Ruido Moderado” en subsector “Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.”.

El punto P-03 de ruido ambiental con respecto al sector B “Parques en zonas urbanas” del Ruido Ambiental sector B “tranquilidad y ruido moderado” para “Zona de parques Urbanos”, con base a la norma la Resolución 0627 de 2006 no sobrepasan los valores permisibles.

A continuación, se presentan los datos Sector A- Tranquilidad Nocturno. En la [Tabla 90](#) se muestra la comparación de los resultados de la campaña con los descritos en el artículo 17 de la Resolución 0627 de 2006.

Tabla 90. Resultados sector a nocturno con los valores maximos permisibles res. 627-2006

Punto de Monitoreo	Valores de los resultados del Monitoreo en (dB)	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental (dB) Sector A. Tranquilidad y Silencio NOCTURNO
P-01	59,6	45
P-02	57,9	
P-03	55,0	

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

De acuerdo con la anterior en la [Tabla 90](#), se identificó que el aumento de los Niveles de presión sonora se debe a que en el sector donde se realizó la toma de la muestra se encontró las fuentes de emisión de ruido tales como el paso de vehículos principalmente en la Avenida Primera de Mayo y Avenida Caracas y el paso de ambulancias.

- ▶ Correcciones por tonalidad de impulsividad

Tabla 91. Corrección por tonalidad de impulsividad

PUNTOS DE MONITOREOS	Tipos	HORARIO DIURNO														
		Punto de Monitoreo					Punto de Monitoreo					Punto de Monitoreo				
		N	E	S	O	V	N	E	S	O	V	N	E	S	O	V
P-01	Hábil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	3,0	0,0	0,0	0,0	6,0	3,0	0,0	0,0
	No hábil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	3,0	0,0	0,0	0,0	6,0	3,0	0,0	0,0
P-02	Hábil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	3,0	3,0	0,0	0,0	6,0	3,0	3,0	0,0
	No hábil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	3,0	3,0	0,0	0,0	6,0	3,0	3,0	0,0
P-03	Hábil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0
	No hábil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0
PUNTOS DE MONITOREOS	Tipos	HORARIO NOCTURNO														
		Punto de Monitoreo					Punto de Monitoreo					Punto de Monitoreo				
		N	E	S	O	V	N	E	S	O	V	N	E	S	O	V
P-01	Hábil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	3,0	0,0	0,0	0,0	6,0	3,0	0,0	0,0
	No Hábil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	3,0	0,0	0,0	0,0	6,0	3,0	0,0	0,0
P-02	Hábil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	3,0	3,0	0,0	0,0	6,0	3,0	3,0	0,0
	No Hábil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	3,0	3,0	0,0	0,0	6,0	3,0	3,0	0,0
P-03	Hábil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0
	No Hábil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

Se determina la incertidumbre teniendo en cuenta el error del equipo sonómetro, teniendo en cuenta que este se calibra antes del monitoreo, los errores de la estación meteorológica. Siento este una incertidumbre Tipo A ya que es dada por un laboratorio de calibración.

Los valores de error en los datos son incertidumbres tipo B. Los cálculos se muestran en la Tabla 92:

Tabla 92. Incertidumbre

Instrumentación	1,00
Condiciones de funcionamiento	1,12
Condiciones meteorológicas y del terreno	2,24
Sonido residual	0,0
Incertidumbre típica combinada dB	1,12
Incertidumbre expandida Db	2,24

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

5.1.11.5.9 CONCLUSIONES

- ▶ Se realizaron mediciones en 3 puntos de ruido ambiental, P-01 (avenida Hortua con Caracas "Centro Dermatológico Federico Lleras) y P-02 (Avenida Caracas con Calle 2 Hospital la Misericordia) se clasificaron de acuerdo a los resultados en el sector de restricción B subsector "Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes." y P-03 (Parque tercer Milenio) se localizaron en subsector "Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre" en los cuales el límite máximo establecido para el horario diurno es de 65 dB y para el nocturno es de 50 dB, presentando unos valores que no sobrepasan el nivel máximo permitido de acuerdo a la Resolución N° 627 del 7 de abril de 2006.
- ▶ Para las mediciones de los tres puntos en la clasificación zona de tranquilidad y silencio tanto Diurno valor máximo es de 55 dB, como Nocturno valor máximo es de 45 dB, según se establece en la tabla 2 del artículo 17 de la Resolución 0627 de 2006. No Cumple, debido a que en las actividades de la zona se producen sonidos dañinos de vehículos, ambulancias y control vehicular.
- ▶ Se realizaron los cálculos de incertidumbre y se describe una incertidumbre expandida de 2,24 dB.
- ▶ Se deduce que para el sector denominado como tranquilidad y silencio en el punto-01 no cumple ya que sobrepasa el valor máximo permitido,
- ▶ Una vez se ejecuta el monitoreo de ruido ambiental en los P-01, P-02 y P-03, se evidencia que los niveles de presión sonora registrados en los monitoreos provienen de fuentes de emisión de ruido esporádicas, tales como: el paso y los pitos de los vehículos, el control policiaco con silbatos, el paso de ambulancias, la presencia de vendedores informales, el comercio que se encuentra alrededor de los puntos monitoreados. Es importante destacar que, durante el monitoreo no se percibieron fuentes permanentes de ruido, por ende, se infiere que los resultados son acordes a las características normales del entorno y a las labores cotidianas desarrolladas en la zona de estudio.