



METRO LÍNEA 1

PRIMERA LINEA DEL METRO DE BOGOTÁ



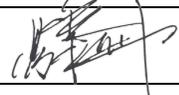
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA RECEPTORA SER 1 Y SU LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115 KV CAPITULO 5.5-1 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO ABIÓTICO

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 LINEA 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 LINEA 1 SAS
未经 METRO LINEA 1 SAS 的书面授权，不得将本档的内容部分或全部透露给第三

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

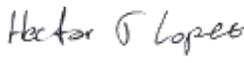
	APROBACIÓN CPA INGENIERÍA S.A.S.		
	FIRMA	NOMBRE	CARGO
ELABORÓ		Hector Julian Lopez	Coordinador de proyectos
REVISÓ		Sonia Ardila	Directora de proyectos
APROBÓ		Sonia Ardila	Directora de proyectos

Tabla de contenido

5	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....	1
5.1	MEDIO ABIÓTICO	1
5.1.1	Geología.....	1
5.1.1.1	Geología regional	1
5.1.1.2	Geología local.....	2
5.1.1.3	Estratigrafía/Caracterización Litológica	3
5.1.1.3.1	Estratigrafía a nivel regional	3
5.1.1.3.2	Estratigrafía a nivel local.....	9
5.1.1.4	Definición de unidades geológicas superficiales	14
5.1.2	Geología Estructural/Tectónica.....	17
5.1.2.1	Geología estructural a nivel regional	17
5.1.2.2	Geología estructural a nivel local	20
5.1.3	Amenazas naturales.....	21
5.1.3.1	Amenaza sísmica	21
5.1.3.1.1	Intensidad sísmica observada	21
5.1.3.1.2	Intensidad sísmica esperada	23
5.1.3.1.3	Zonas de amenaza (NSR-10).....	24
5.1.3.1.4	Catálogo sísmico	25
5.1.3.1.5	Microzonificación Sísmica de Bogotá	27
5.1.3.2	Amenaza por remoción en masa.....	31
5.1.3.3	Amenaza por inundaciones	34
5.1.3.3.1	Zonificación de amenazas por inundaciones	35
5.1.4	Geomorfología.....	36
5.1.4.1	Clasificación de unidades geomorfológicas de acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano	37
5.1.4.2	Clasificación de unidades geomorfológicas del IGAC.....	40
5.1.4.3	Morfogénesis	42
5.1.4.4	Morfografía	43
5.1.4.4.1	Inclinación de laderas	43
5.1.4.4.2	Índice de Relieve Relativo	46
5.1.4.4.3	Longitud de la ladera	47
5.1.4.4.4	Forma de la ladera.....	48
5.1.4.5	Morfodinámica	48
5.1.4.6	Morfoestructura.....	50
5.1.5	Suelos y Usos del Suelo	51
5.1.5.1	Relación entre la geomorfología y los estudios edáficos	51

5.1.5.2	Descripción de unidades cartográficas de suelos-geomorfopedológicas	53
5.1.5.3	Unidades cartográficas del suelo dentro del área de estudio	54
5.1.5.4	Clasificación agrológica	55
5.1.5.5	Uso actual del suelo	57
5.1.5.6	Uso potencial del suelo.....	61
5.1.5.7	Conflictos de uso de suelo	63
5.1.6	Hidrología	64
5.1.6.1	Identificación de Sistemas Lenticos y Loticos	67
5.1.6.1.1	Sistemas Lénticos.....	67
5.1.6.1.2	Sistemas Lóticos.....	67
5.1.6.1.2.1	Canal Cundinamarca.....	67
5.1.7	Calidad del Agua	70
5.1.8	Usos del Agua	74
5.1.9	Hidrogeología	74
5.1.9.1	Aspectos hidrogeológicos Regionales.....	75
5.1.9.2	Aspectos hidrogeológicos locales	78
5.1.9.3	Inventarios de puntos de agua subterránea	79
5.1.9.4	Vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos	90
5.1.9.5	Zonas de recarga y descarga	93
5.1.9.5.1.1	Pendientes.....	95
5.1.9.5.1.2	Suelos.....	96
5.1.9.5.1.3	Tipo de roca.....	96
5.1.9.5.1.4	Cobertura vegetal	97
5.1.9.5.1.5	Uso del suelo.....	100
5.1.9.6	Direcciones de flujo	101
5.1.9.7	Caracterización de aguas subterráneas.....	103
5.1.9.7.1	Caracterización hidrogeoquímica	103
5.1.9.7.2	pH	104
5.1.9.7.3	Conductividad eléctrica.....	105
5.1.10	Geotecnia	106
5.1.10.1	Zonificación geotécnica.....	107
5.1.10.2	Descripción geotécnica	116
5.1.11	Atmósfera	119
5.1.11.1	Clima	119
5.1.11.2	Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas	132
5.1.11.3	Calidad del Aire	133
5.1.11.3.1	Objetivo General	133
5.1.11.3.2	Objetivos específicos	133
5.1.11.3.3	Localización	134
5.1.11.3.1	Características de los contaminantes monitoreados	135

5.1.11.3.1.1	Material particulado igual o menor a 10 micras (PM ₁₀)	135
5.1.11.3.1.2	Material particulado igual o menor a 2.5 micras (PM _{2.5})	136
5.1.11.3.1.3	Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	136
5.1.11.3.1.4	Dióxido de azufre (SO ₂).....	136
5.1.11.3.1.5	Monóxido de carbono (CO)	137
5.1.11.3.1.6	Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC)	137
5.1.11.3.1.7	Ozono (O ₃).....	138
5.1.11.3.1.8	HCT- Hidrocarburos Totales.....	138
5.1.11.3.2	Descripción de los Métodos de Muestreo.....	139
5.1.11.3.2.1	Determinación de material particulado igual o menor a 10 micras (PM ₁₀) e igual o menor a 2,5 micras (PM _{2.5})	139
5.1.11.3.2.2	Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	141
5.1.11.3.2.3	Dióxido de azufre (SO ₂).....	143
5.1.11.3.2.4	Monóxido de carbono (CO)	144
5.1.11.3.2.5	Compuestos orgánicos Volátiles (VOC)	145
5.1.11.3.2.6	Ozono (O ₃).....	146
5.1.11.3.3	Etapas de Campo	147
5.1.11.3.4	Macro localización y descripción de las estaciones de monitoreo	147
5.1.11.3.5	Análisis.....	150
5.1.11.3.5.1	Material particulado como PM ₁₀ y como PM _{2.5}	150
5.1.11.3.5.2	Dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	150
5.1.11.3.5.3	Dióxido de azufre (SO ₂).....	151
5.1.11.3.5.4	Monóxido de Carbono (CO)	151
5.1.11.3.5.5	Ozono	152
5.1.11.3.6	Índice de Calidad de Aire.....	152
5.1.11.3.7	Normas de calidad del aire	154
5.1.11.3.8	Resultados	155
5.1.11.3.8.1	Material Particulado PM ₁₀	155
5.1.11.3.8.2	Material Particulado PM _{2.5}	159
5.1.11.3.8.3	Dióxido de Nitrógeno (NO ₂).....	164
5.1.11.3.8.4	Dióxido De Azufre (SO ₂).....	168
5.1.11.3.8.5	Monóxido De Carbono (CO).....	170
5.1.11.3.8.6	Hidrocarburos Totales (HCT's)	175
5.1.11.3.8.7	Compuestos Orgánicos Volátiles (COV'S)	175
5.1.11.3.8.8	Ozono (O ₃).....	176
5.1.11.3.8.9	Conclusiones	180
5.1.11.4	Ruido.....	181
5.1.11.4.1	Objetivo general.....	181
5.1.11.4.2	Objetivos específicos	181
5.1.11.4.3	Marco Conceptual	182

5.1.11.4.3.1	Localización	183
5.1.11.4.3.2	Características de los Puntos.....	184
5.1.11.4.3.3	Descripción de los Métodos de Muestreo	186
5.1.11.4.3.4	Receptores del ruido en la zona y fuentes de generación de ruido.....	187
5.1.11.4.3.5	Equipos utilizados en la medición	188
5.1.11.4.3.6	Resultados.....	189
5.1.11.4.3.7	Correcciones por tonalidad de impulsividad.....	195
5.1.11.4.3.8	Incertidumbre.....	196
5.1.11.4.3.9	Conclusiones	197
5.1.11.5	Campos Eléctricos	197
5.1.11.5.1	Campos Magnéticos	199

Índice de tablas

Tabla 1.	Unidades geológicas locales.....	3
Tabla 2.	Unidades geológicas superficiales en el área de influencia del proyecto.....	16
Tabla 3.	Clasificación de intensidad sísmica observada.....	22
Tabla 4.	Caracterización de eventos sísmicos en el departamento de Cundinamarca	27
Tabla 5.	Microzonificación sísmica del área de influencia	31
Tabla 6.	Jerarquización geomorfológica de acuerdo con el SGC.....	39
Tabla 7.	Jerarquización geomorfológica de acuerdo con el IGAC.....	41
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	47
Tabla 11.	Rango de longitud de ladera	47
Tabla 12.	Rango de forma de ladera.....	48
Tabla 13.	Tipos de erosión y severidad	49
Tabla 14.	Jerarquización geomorfológica del área de influencia de acuerdo con el SGC	53
Tabla 15.	Paisajes geomorfológicos	53

Tabla 16. Uso actual del suelo con sus respectivas características	60
Tabla 17. Uso potencial del suelo	62
Tabla 18. Conflictos del uso del suelo para el área de estudio	63
Tabla 19. Niveles y Volumen de Almacenamiento Máximos del Canal Cundinamarca	67
Tabla 20. Resultados de los análisis de parámetros y comparación normativa	70
Tabla 21. Calificación del Índice de Calidad del Agua - ICA.....	73
Tabla 22. Resultados - Índice de Calidad del Agua	74
Tabla 23. Características hidrogeológicas regionales del área de estudio.....	77
Tabla 24. Especificaciones de los Equipos	80
Tabla 25. Metodología de análisis.....	81
Tabla 26. Punto de monitoreo	82
Tabla 27. Parámetros (In Situ)	82
Tabla 28. Análisis FísicoQuímicos Sub1	83
Tabla 29. Sólidos Suspendidos y Sólidos Totales	85
Tabla 30. Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno	86
Tabla 31. Características Química Aniones	86
Tabla 32. Caracterización Química De Cationes	87
Tabla 33. Variables Microbiológicas Determinado En La Sub 1	88
Tabla 34. IRCA	89
Tabla 35. Categorías de vulnerabilidad para el método GOD	90
Tabla 36. Parámetros para la implementación de la metodología GOD	91
Tabla 37. Valores del potencial de recarga.....	95
Tabla 38. Ponderación del parámetro "pendiente"	95
Tabla 39. Ponderación del parámetro "Suelos"	96
Tabla 40. Ponderación del parámetro "Tipo de roca"	96
Tabla 41. Ponderación del parámetro "Tipo de cobertura"	98
Tabla 42. Ponderación del parámetro "Uso del suelo"	100
Tabla 43. Rangos de valores utilizados en los parámetros de zonificación geotécnica	109

Tabla 44. Factores evaluados para la zonificación geotécnica del área de estudio con su respectivo factor de ponderación.....	109
Tabla 45. Calificación asignada para componente de pendientes	110
Tabla 46. Calificación asignada para componente litológico	111
Tabla 47. Calificación asignada para componente de coberturas	111
Tabla 48. Calificación asignada para componente geomorfológico	111
Tabla 49. Calificación asignada para componente hidrogeológico.....	112
Tabla 50. Calificación asignada para componente hidrológico.....	112
Tabla 51. Calificación asignada para componente de uso del suelo.....	113
Tabla 52. Calificación asignada para componente de sismología.....	113
Tabla 53. Calificación asignada para componente edafológico.....	113
Tabla 54. Calificación asignada para la zonificación geotécnica del área de influencia	114
Tabla 55. Resumen de laboratorios	117
Tabla 56. Perfil estratigráfico promedio de la subestación	118
Tabla 57. Resistencia no drenada para el perfil estratigráfico promedio.....	119
Tabla 58. Localización Estaciones Meteorológicas	120
Tabla 59. Valores Máximos de Precipitación 24 Horas (mm).....	124
Tabla 60. Rangos de Denominación Termal.....	130
Tabla 61. Rangos de Denominación de Precipitación	130
Tabla 62. Diversidad Climática.....	131
Tabla 63. Zonificación Climática en el Área de Estudio.....	131
Tabla 64. Coordenadas de estaciones de aire	134
Tabla 65. Características de los compuestos estudiados.....	138
Tabla 66. Especificaciones del equipo utilizado para las mediciones de NO ₂	142
Tabla 67. Especificaciones de los equipos utilizados para las mediciones de CO	144
Tabla 68. Clasificación y puntos de corte del ICA.....	153
Tabla 69. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio según la resolución 2254 de 2017	154
Tabla 70. Concentraciones de PM ₁₀	155
Tabla 71. Concentración máxima y promedio de PM ₁₀ en los monitoreos por estaciones	158

Tabla 72. Concentración promedio $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y valor del ICA de PM_{10} por cada estación	159
Tabla 73. Concentraciones de $\text{PM}_{2,5}$ obtenidas por cada estación	160
Tabla 74. Concentración promedio y máximo de $\text{PM}_{2,5}$ en los puntos de monitoreo	162
Tabla 75. Concentración promedio de $\text{PM}_{2,5}$ y valor del ICA en los puntos de monitoreo	163
Tabla 76. Concentraciones de NO_2 obtenidas por cada día de monitoreo en las estaciones.....	164
Tabla 77. Concentración promedio, máxima y máxima diaria de la norma de NO_2 por estación	166
Tabla 78- Concentración promedio de NO_2 y valor del ICA en las estaciones medidas	167
Tabla 79. Concentraciones de SO_2 obtenida para la estación M1	168
Tabla 80. Concentración promedio de SO_2 para la estación M1	169
Tabla 81. Concentraciones de CO obtenidas por cada estación monitoreada	171
Tabla 82. Concentración promedio y máxima del CO para cada estación y normativa	173
Tabla 83. Valor del ICA y concentraciones con base en el promedio de los días monitoreados para cada estación	174
Tabla 84. Concentraciones de ozono (O_3) registradas en los días monitoreados para las estaciones	176
Tabla 85. Concentración de O_3 promedio y máxima de las estaciones en comparación con la norma	178
Tabla 86. Concentración promedio del O_3 de las estaciones y su valor del ICA	179
Tabla 87. Puntos de Monitoreo Ruido	183
Tabla 88. Fechas Día Hábil y No Hábil.	186
Tabla 89. Distribución de las Medidas.	187
Tabla 90. Condiciones Ambientales	189
Tabla 91. Condiciones Predominantes	189
Tabla 92. Formula de Ajustes Realizados	191
Tabla 93. Resultados Diurno Y Comparación Con La Normatividad	192
Tabla 94. Ruido Ambiental Nocturno y Comparación con la Normatividad	194
Tabla 95. Corrección por Tonalidad e Impulsividad	196
Tabla 96. Incertidumbre	197

Índice de Figuras

Figura 1. Columna estratigráfica general de Bogotá.....	9
Figura 2. Componente geológico del área de influencia.....	10
Figura 3 . Columna estratigráfica de la Formación Chía.....	12
Figura 4 Perfil geológico dentro del área de estudio.....	13
Figura 5 Perfil geológico del área de influencia	13
Figura 6. Clasificación de unidades geológicas superficiales para suelos	15
Figura 7. Clasificación de unidades geológicas superficiales para rocas	16
Figura 8 Unidades geológicas superficiales en el área de influencia del proyecto	17
Figura 9. Estructuras geológicas en la Sabana de Bogotá.....	20
Figura 10. Intensidad máxima observada para la ciudad de Bogotá D.C.....	23
Figura 11. Intensidad sísmica para la ciudad de Bogotá D.C.	24
Figura 12. Zonas de amenaza sísmica (NSR-10) para Cundinamarca	25
Figura 13. Histograma sísmico de Bogotá	26
Figura 14. Esquema de metodología usada para la microzonificación sísmica de Bogotá.....	28
Figura 15. Descripción de zonas de respuesta sísmica.....	29
Figura 16. Mapa de microzonificación sísmica en la ciudad de Bogotá	30
Figura 17. Condiciones que incrementa la posibilidad de amenazas por remoción en masa	32
Figura 18 Mapa de amenaza por remoción en masa para Bogotá.....	33
Figura 19. Amenaza por remoción en masa dentro del área de interés	34
Figura 20. Amenaza por inundaciones dentro del área de interés	36
Figura 21. Esquema de Jerarquización.....	38
Figura 22. Componente geomorfológico del área de influencia de acuerdo con el SGC	40
Figura 23. Componente geomorfológico del área de influencia de acuerdo con el SGC	41
Figura 24. Mapa de pendientes en el área de influencia	45
Figura 25. Rango de inclinación de las laderas	46
Figura 26 Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto por el SGC.....	52
Figura 27. Unidades cartográficas dentro del área de estudio	55

Figura 28. Unidades agrológicas dentro del área de estudio	57
Figura 29 Leyenda producida por la metodología CLC para clasificación de coberturas	59
Figura 30. Uso actual del suelo	61
Figura 31 Uso potencial del suelo dentro del área de influencia	62
Figura 32 Conflictos de uso del suelo en el área de influencia.....	64
Figura 33. Microcuenca del área de Influencia	65
Figura 34. Sistema Hídrico SER 1	66
Figura 35. Áreas de Drenaje Aferentes al Canal Cundinamarca	68
Figura 36 Sección Transversal del Canal Cundinamarca.....	68
Figura 37 Provincias hidrogeológicas de Colombia	76
Figura 38 Unidades hidrogeológicas dentro del área de influencia	79
Figura 39. Variables tomadas en el mismo lugar SUB1	83
Figura 40. Variables Físico Químicas Sub1	84
Figura 41. Sólidos disueltos y sólidos suspendidos totales	85
Figura 42. Demanda Bioquímica Y Química De Oxígeno.....	86
Figura 43. Características Químicas Aniones	87
Figura 44. Caracterización Química De Cationes.....	88
Figura 45. Variables Microbiológicas Determinado En La Sub1	89
Figura 46 Vulnerabilidad de acuíferos en la sabana de Bogotá (Método GOD)	92
Figura 47. Vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en SER 1 (Método GOD)	93
Figura 48. Potencial de recarga dentro del área de influencia	101
Figura 49. Perfiles topográfico del área de influencia	102
Figura 50. Diagrama de Piper de la Formación Chia.....	104
Figura 51. Distribución de pH en Bogotá D.C	105
Figura 52. Distribución de conductividad eléctrica en Bogotá (µs/cm)	106
Figura 53. Mapa de microzonificación geotécnica en el área de interés	115
Figura 54. Resistencia de los estratos del subsuelo de acuerdo con el número de golpes	116
Figura 55. Localización Estaciones Climatológicas	120
Figura 56. Temperatura Mensual Estación Col. H Durán Dussan.....	121

Figura 57. Temperatura Mensual Estación Universidad Nacional.....	122
Figura 58. Temperatura Mensual Estación INEM Kennedy.....	122
Figura 59. Promedios Mensuales de Precipitación.....	123
Figura 60. Precipitación Número de Días.....	124
Figura 61. Promedios Mensuales de Humedad Relativa en Porcentaje.....	125
Figura 62. Representación de la Nubosidad.....	126
Figura 63. Distribución Mensual de Nubosidad.....	127
Figura 64. Comportamiento Mensual de Brillo Solar (Horas de Sol al Día).....	128
Figura 65. Rosa de Vientos Estación Kennedy 01-01-2018 - 08-11-2022.....	129
Figura 66. Zonificación Climática.....	132
Figura 67. Localización de estaciones de calidad de aire.....	135
Figura 68. Comportamiento para la estación AR1.....	156
Figura 69. Comportamiento para la estación AR2.....	157
Figura 70. Comportamiento para la estación M1.....	157
Figura 71. Comparación de concentraciones de PM ₁₀ de monitoreos y comparación con normatividad.....	158
Figura 72. Comportamiento de PM _{2.5} estación AR1.....	161
Figura 73. Comportamiento de PM _{2.5} estación AR2.....	161
Figura 74. Comportamiento de PM _{2.5} estación M1.....	162
Figura 75. Concentraciones de PM _{2.5} en cada uno de los puntos monitoreados y comparación con normatividad.....	163
Figura 76. Comportamiento del monitoreo de NO ₂ estación AR1.....	165
Figura 77. Comportamiento del monitoreo de NO ₂ estación AR2.....	165
Figura 78. Comportamiento del monitoreo de NO ₂ estación M1.....	166
Figura 79. Comparación de concentraciones de NO ₂ en cada estación y comparación con normatividad.....	167
Figura 80. Comportamiento por cada día de muestreo de SO ₂ para la estación M1.....	169
Figura 81. Comparación de concentraciones de SO ₂ en la estación M1 y comparación con normatividad.....	170
Figura 82. Comportamiento de CO estación AR1.....	172

Figura 83. Comportamiento de CO estación AR2.....	172
Figura 84. Comportamiento de CO estación M1.....	173
Figura 85. Comparación de concentraciones del CO en cada estación y comparación con normatividad	174
Figura 86. Comportamiento de la concentración de O ₃ estación AR1	177
Figura 87. Comportamiento de la concentración de O ₃ estación AR2.....	177
Figura 88. Comportamiento de la concentración de O ₃ estación M1	178
Figura 89. Comparación de concentraciones del O ₃ obtenidas en las estaciones en comparación con la norma	179
Figura 90. Localización Ruido	184
Figura 91. Resultados de Ruido Ambiental FUENTE: CPA INGENIERÍA SAS., 2022	193
Figura 92. Ruido Ambiental Nocturno	194
Figura 93. Campo eléctrico emitido por la subestación calle primera (límite de color: 1 kV/m)	198
Figura 94. Campo eléctrico emitido por la subestación calle primera a un metro de altura (límite de color: 1 kV/m).	199
Figura 95. 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.....	200
Figura 96. 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.....	200

Índice de Fotografías

Fotografía 1. Características geológicas del área de estudio	11
Fotografía 2 Plano inundable dentro del área de estudio	43
Fotografía 3. Suelo de relleno antrópico en Clima frío, seco. Muestra tomada en Patio Taller	54
Fotografía 4. Canal Cundinamarca, en el sector que entrega aguas al Rio Bogotá, mediante la estación de bombeo.....	69
Fotografía 5. Punto de descarga de aguas del Canal Tintal II al Canal Cundinamarca.....	69
Fotografía 6. Punto De Agua Sub1 Subterránea	82
Fotografía 7. Equipo muestreador de alto volumen para la determinación de PM ₁₀	140
Fotografía 8. Muestreador de PM _{2.5} . Semi automático	141

Fotografía 9. Equipo utilizado para las mediciones de NO ₂	142
Fotografía 10. Equipo utilizado para las mediciones de gases NO ₂ y SO ₂	143
Fotografía 11. equipo utilizado para las mediciones de CO	145
Fotografía 12. Equipo de muestreo utilizado para las mediciones de VOC	146
Fotografía 13. equipo utilizado para las mediciones de O ₃	147
Fotografía 14. Estación de monitoreo punto AR1	148
Fotografía 15. Estación AR2 Barrio Cañaveralejo	148
Fotografía 16. Estación de monitoreo punto M1 patio taller	149
Fotografía 17. Estación de monitoreo punto M1 zona verde del patio taller	149
Fotografía 18. P-01.....	185
Fotografía 19. P-02.....	185
Fotografía 20. P-03.....	185
Fotografía 21. P-04.....	186

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 MEDIO ABIÓTICO

Seguido a la definición de las áreas de influencia para cada uno de los medios, se realizó una caracterización de acuerdo con las condiciones establecidas en los Términos de Referencia para Estudios de Impacto Ambiental– EIA Proyectos de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica TdR-17, 2018 y con la Metodología para la elaboración de estudios ambientales del año 2018 elaborado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

5.1.1 Geología

El área del proyecto denominado “SER 1” 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 1 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 depósitos del Holoceno representados por una llanura aluvial. Las características de esta clasificación se podrán observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Unidades geológicas locales

Eón	Era	Periodo	Época	Nombre	Nomenclatura	Área (Ha)	Área %
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósitos de llanura de inundación	Qlli	27,24	100%

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 2013).

- Formación Arenisca Dura (Ksgd)

Se encuentra ubicada 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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-Zipacquirá, 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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 claros 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 2013).

Rocas del Paleógeno:

• Formación Guaduas (KTg)

Esta unidad aflora en los sinclinales de Río Frío, Neusa, Zipaquirá, Checua-Lenguazaque, Sesquile 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 2013).

La Formación Guaduas se encuentra dividida en 3 secciones que se describirán a continuación (Veloza Franco, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 2013).

De acuerdo con sus características litológicas, la unidad está compuesta por lodolitas grises claras con esporádicas intercalaciones de areniscas de cuarzo y feldespatos, 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 varios 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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 recolectadas por medio de una columna estratigráfica, 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 aterrizado 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 (Q2ch)

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 localmente 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, Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá, 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 se presenta en la Figura 1 (INGETEC, 2019).

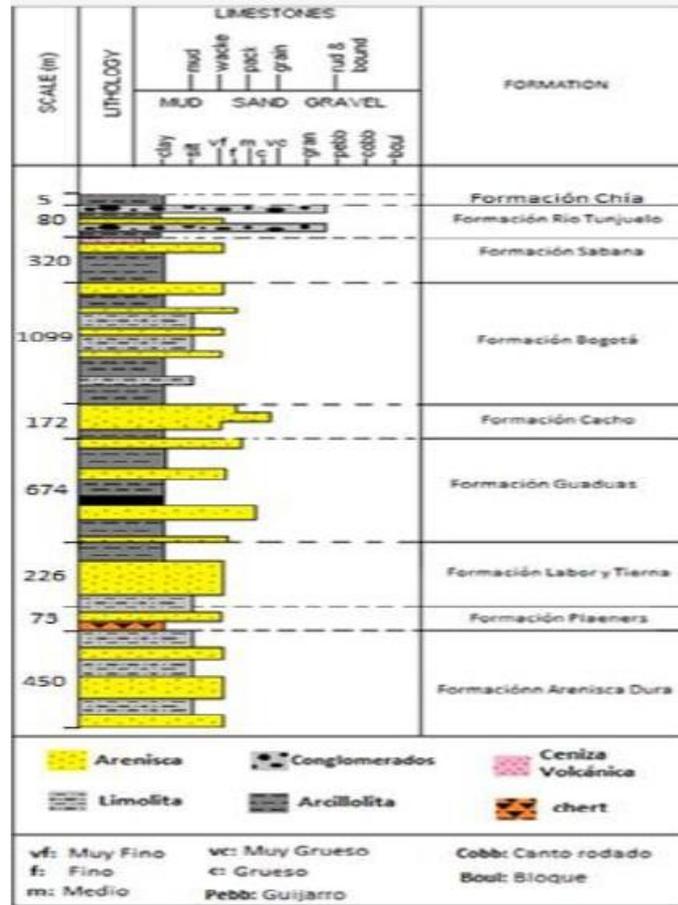


Figura 1. Columna estratigráfica general de Bogotá

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 una llanura aluvial (INGETEC, 2019) representada por la Formación Chía (Servicio Geológico Colombiano, 2017). De acuerdo con el mapa geológico de Cundinamarca (Escala 1:25000) realizado por el SGC esta formación se encuentra asociada con depósitos de origen aluvial, de llanuras de inundación y cauces actuales de drenajes principales (Padilla, 2004) (Figura 2).

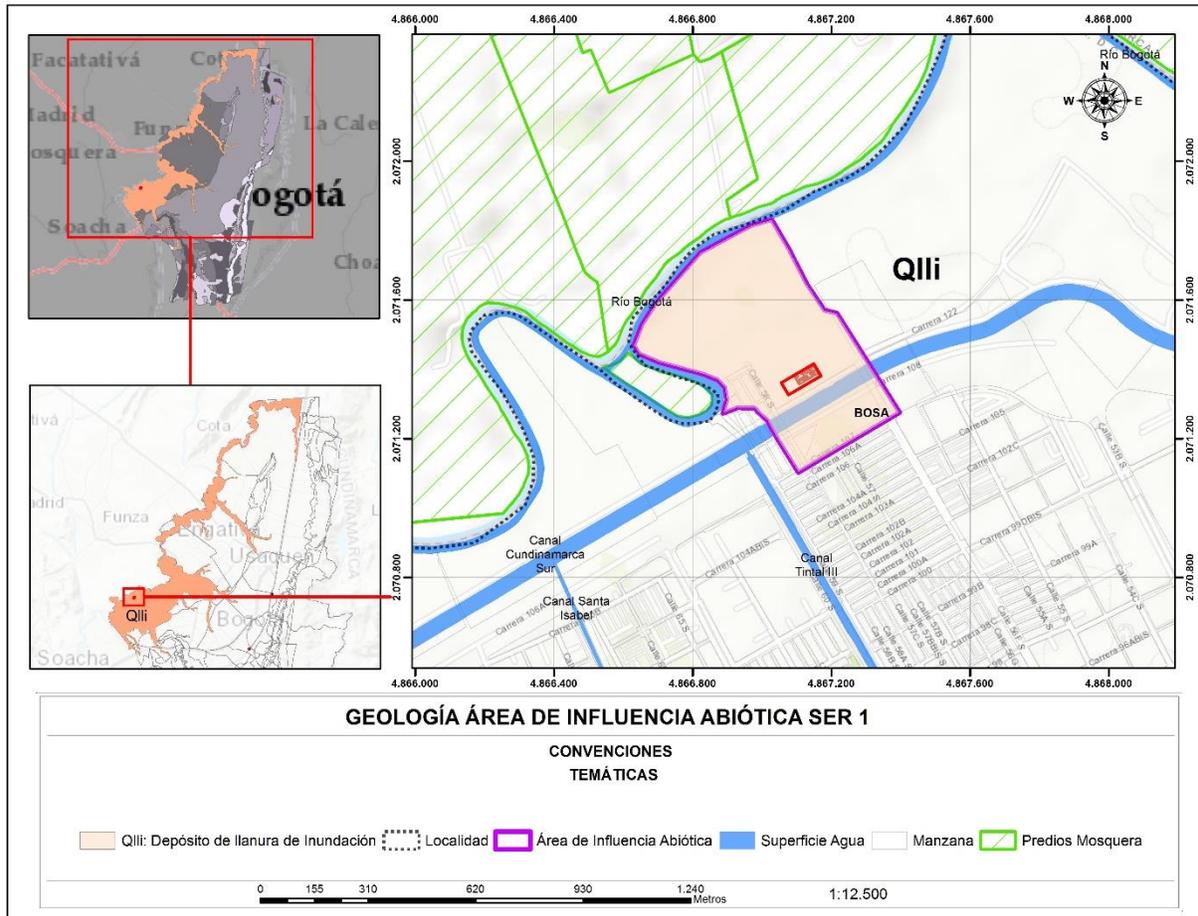


Figura 2. Componente geológico del área de influencia

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

En la sección anterior se realizó una descripción de la estratigrafía de la Formación Chía, 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.

- Ubicación geográfica: Esta unidad geológica presenta afloramientos en las riberas de afluentes entre los que se destacan el río Teusacá, el río Bogotá, el río Frío, el río Siecha, el río Aves y el valle de la quebrad Floresta (Corredor & Terraza Melo, 2015).
- Definición de nombre: La formación fue definida por Helmens, quién opto por ese nombre en honor a la población de Chía. Esta formación fue denominada para describir arcillas moteadas de color gris y naranja observadas en la llanura de inundación del río Bogotá (Helmens, 1991).
- Características litológicas: La unidad presenta un espesor de máximo 5 metros y está compuesta por arcillas de inundación. Adicionalmente la formación presenta localmente limos y en zonas pantanosas presenta arcillas orgánicas lacustres. Finalmente, la disposición de los estratos consiste en una base (capa principal) compuesta por arcillas moteadas de color gris y

naranja que incluyen arcillas con materia orgánica y una capa superior delgada de limos y arcillas color marrón (Corredor & Terraza Melo, 2015).

- Edad y posición estratigráfica: La Formación Chía se encuentra suprayaciendo la Formación Sabana y la Formación Río Tunjuelito y por medio de dataciones de carbono-14 se reporta una edad del Holoceno (Helmens, 1991).



Fotografía 1. 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 Figura 3

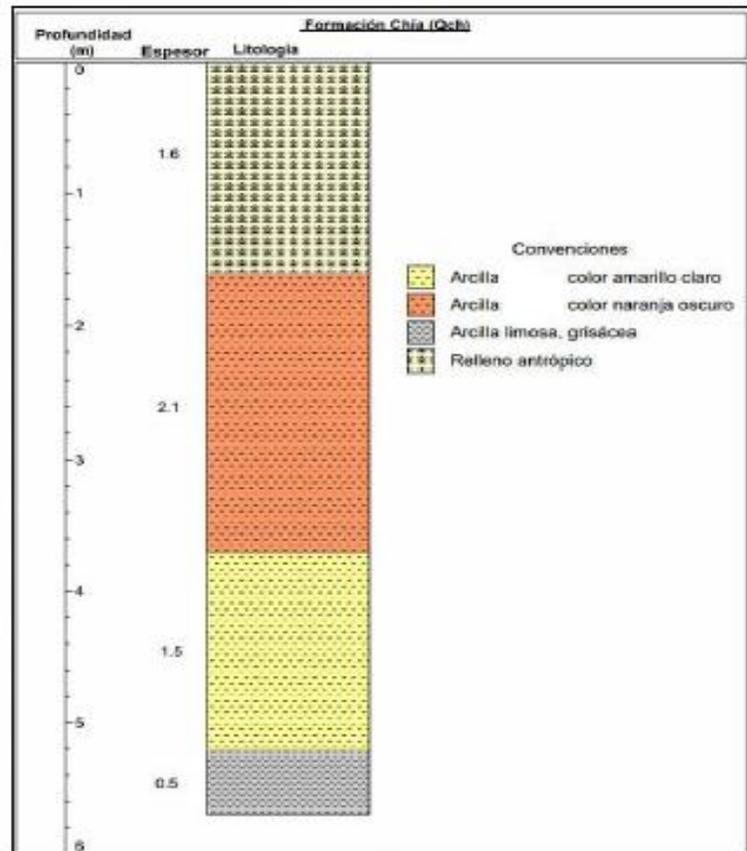


Figura 3 . Columna estratigráfica de la Formación Chía

FUENTE: WSP, 2021

La columna estratigráfica presenta un grosor menor a 6 metros y se encuentra constituida principalmente por arcillas de diferentes tonalidades. De acuerdo con el esquema, en la capa inferior se puede observar un estrato de 0,5 metros de espesor compuesto por arcillas limosas de tonalidades grises, este segmento, se encuentra suprayacido por una capa de 1,5 metros de espesor compuesto por arcillas de tonalidades amarillentas. Posteriormente, se encuentra una capa de 2,1 metros compuesto de arcillas de tonalidades oscuras que se limita con una capa superior conformada por rellenos antrópicos con un espesor de 1,6 metros.

Finalmente, se realizó un perfil geológico en sentido Noroeste – Sureste (tratando de abarcar la mayor distancia presente en el área de influencia) para poder identificar la geología y estructuras presentes (Figura 4 y Figura 5).

De acuerdo con la información obtenida se pudo determinar el área de influencia solo está formada por una única unidad geológica representada por los depósitos de llanura de inundación (Qlli). 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.

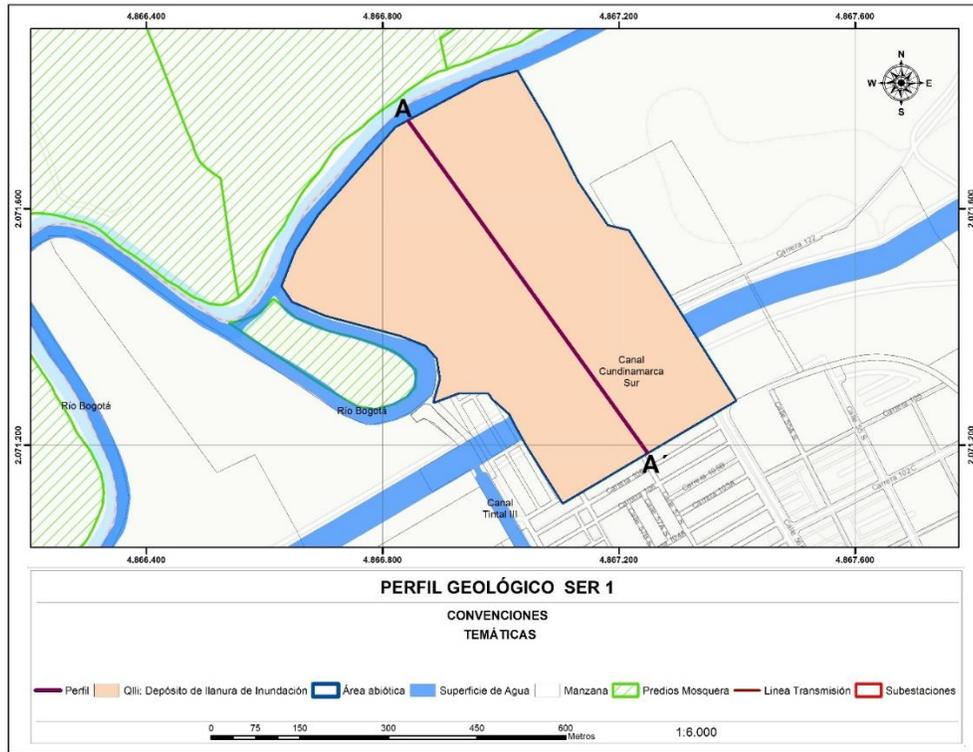


Figura 4 Perfil geológico dentro del área de estudio

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

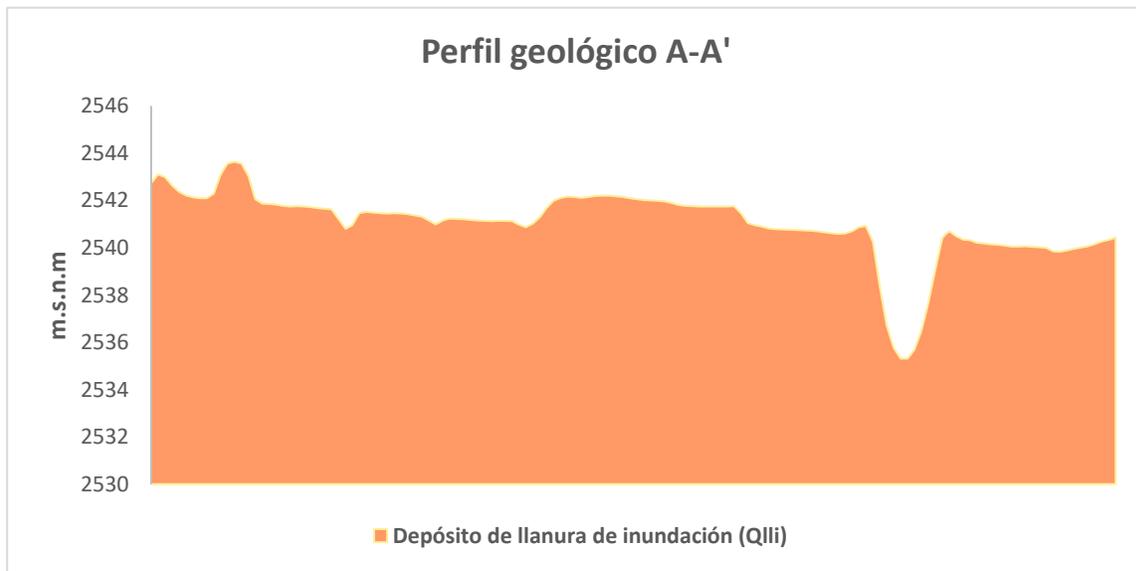


Figura 5 Perfil geológico del área de influencia

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” (Hermelin, 1987), 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 presenta en la Figura 6 y Figura 7 (Padilla Acosta, Jiménez Vanegas, Romero Ballén, Montero Olarte, & Calderon, 2004).

Tipo de Material	Unidades	Origen	Tipo de U.G.S	Símbolo/Composición	Simbología Resumida	COLOR
SUELOS (S)	Transportados (St)	Fluvial (Stf)	Aluviones de lechos fluviales	Stf1/ar,lm	Stf1	342
			Llanura de inundación	Stf1/la,ar	Stf2	66
			Llanura aluvial	Stf2/ar,ar	Stf3	46
			Aluviones aluvial	Stf3/ar,gr,ar	Stf4	44
			Depósitos laterales	Stf3/bl,gr,ar	Stf5	53
			Depósitos fluvio laterales	Stf3/bl,gr,a	Stf6	63
		Lagunar (Stl)	Depósitos lacustres	Stl/a,lm	Stl1	286
			Depósitos palustres	Stl/a,lm,ar	Stl2	290
			Depósitos fluvio lacustres	Stl/a,gr	Stl1	300
		Glaciar (Stg)	Morrenas	Stg/m/bl,gr,ar	Stg1	40
			Tilitas	Stg1/bl,gr,ar	Stg2	47
		Fluvio-Glaciar (Stfg)	Abericos fluvio-glaciares	Stfg/bl,gr,ar	Stfg1	61
			Tenazas fluvio-glaciares	Stfg/bl,gr,a	Stfg2	58
		Volcánico (Stv)	Depósitos de ceniza	Stv/bl,ar,a	Stv1	129
			Lapilli	Stv/bl,ar,lm	Stv2	131
			Tefras	Stv1	Stv3	132
			Lahares	Stv/bl,gr,ar	Stv4	133
			Flujos de piroclastos	Stv/bl,gr,lm	Stv5	134
			Flujos de lodos volcánicos	Stv/bl,lm,a	Stv6	132
		Eólico (Ste)	Lignebritas	Stv1gn	Stv7	128
			Coladas de lava	Stv/cl,ar,a	Stv8	129
			Depósitos de arena	Ste/ar,lm	Ste1	110
			Depósitos de dunas	Ste/d,ar,lm	Ste2	100
			Bajares	Ste/b,ar,lm	Ste3	102
			Depósitos de deltas	Ste/cl,ar,lm	Ste1	96
		Costero (Stc)	Barras	Stc/b,ar,a,bl	Stc2	109
			Playas	Stc/p,ar,lm	Stc3	118
			Arroyos	Stc/ar,ar	Stc4	126
			Tenazas	Stc/ar,a,gr	Stc5	40
			Pieriscos	Stc/p,lm	Stc6	95
	Translocado (Str)		Coluvial (Strc)	Coluviones	Strc/ar,a,bl	Strc1
		Taludcorno de talas		Strc/bl,cl,gr	Strc2	1
		Derribos de pendiente		Strc/bl,fr,gr	Strc3	29
		Flujos (de lodo, arena o escombros)		Strc/bl,lm,ar,gr,lm	Strc4	31
	Residuales (Sr)	De Rocas Sedimentarias (Srs)	S.r. de roca parental de textura clásica cementada y granulometría gruesa areníticas y conglomeráticas	Srs/ar,cng	Srs1	91
			S.r. de roca parental de granulometría fina, arrolitas, limolitas y areníticas	Srs/a,lm,ar	Srs2	104
		De Rocas Igneas Intrusivas (Srsi)	S.r. de roca parental de textura cristalina masiva y granulometría gruesa	Srsi/ar,lm,a	Srsi1	204
			S.r. de roca parental de composición básica y granulometría fina	Srsi/a,lm,ar	Srsi2	196
		De Rocas Igneas Volcánicas (Sriv)	S.r. de roca parental de origen volcánico y granulometría fina a gruesa	Sriv/ar,lm,a,bl	Sriv1	268
			S.r. de roca parental de textura cristalina y bien foliada	Sriv/a,lm,ar	Sriv1	125
	De Rocas Metamórficas (Srm)	S.r. de rocas parentales de textura cristalina masivas y granulometría gruesa (cuarcita, marmol, néa)	Srm/ar,a,lm	Srm2	120	
		Depósitos Antropicos (Sa)	Depósitos Antropogenicos	Reliegos sanitarios o de basuras	Composición heterogenea	Strab
	Reliegos de excavaciones o de escombros o botaderos			Composición heterogenea	Strac	382

Figura 6. Clasificación de unidades geológicas superficiales para suelos

FUENTE: COMPILACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN GEOMECÁNICA. 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 7. 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 solo se presenta una única unidad geológica superficial denominada como Aluviones de lechos fluviales (Stf1). En la Tabla 2 y Figura 8, se presenta la descomposición y características de esta unidad.

Tabla 2. Unidades geológicas superficiales en el área de influencia del proyecto

Tipo de material	Unidad	Origen	Tipo de UGS	Símbolo/Composición	Simbología resumida
Suelos (S)	Transportados (St)	Fluvial (Stf)	Aluviones de lechos fluviales	St/al/ar,lm	Stf1

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

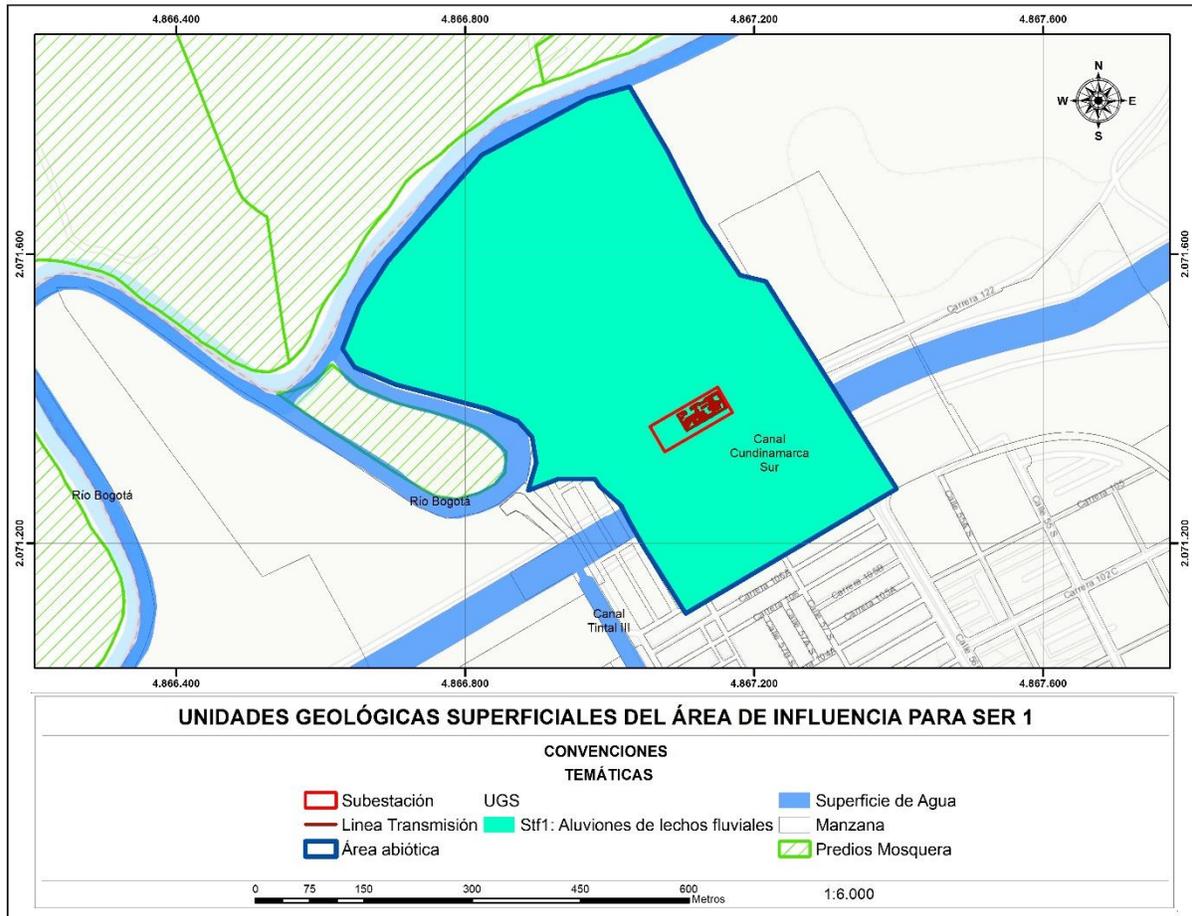


Figura 8 Unidades geológicas superficiales en el área de influencia del proyecto

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 en 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 compone 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 la 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 hacía 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 Montoñedo 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 cabalgue 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 Figura 9 se podrá observar la ubicación geográfica de cada una de estas estructuras.

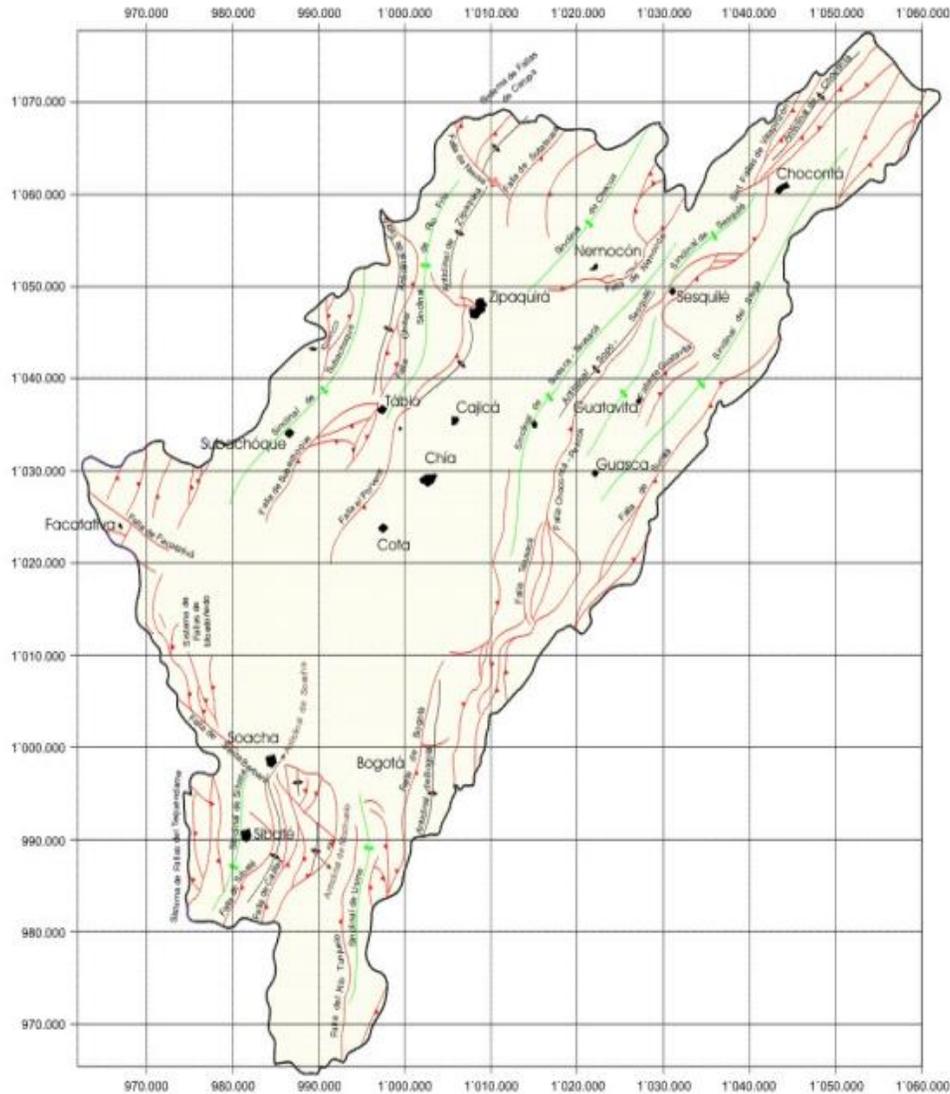


Figura 9. Estructuras geológicas en la Sabana de Bogotá

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 1 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 daños 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 categorías mostradas en la Tabla 3.

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 6 (De daño leve) que de acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano presenta los siguientes efectos (Sarabia Gómez, 2015) (Figura 10):

- Social: Gente asustada y corriendo por la calle. Algunas personas tienden a perder el equilibrio
- Infraestructura: En muchas viviendas se presentan daños leves (Grietas en las paredes y caída del revestimiento)

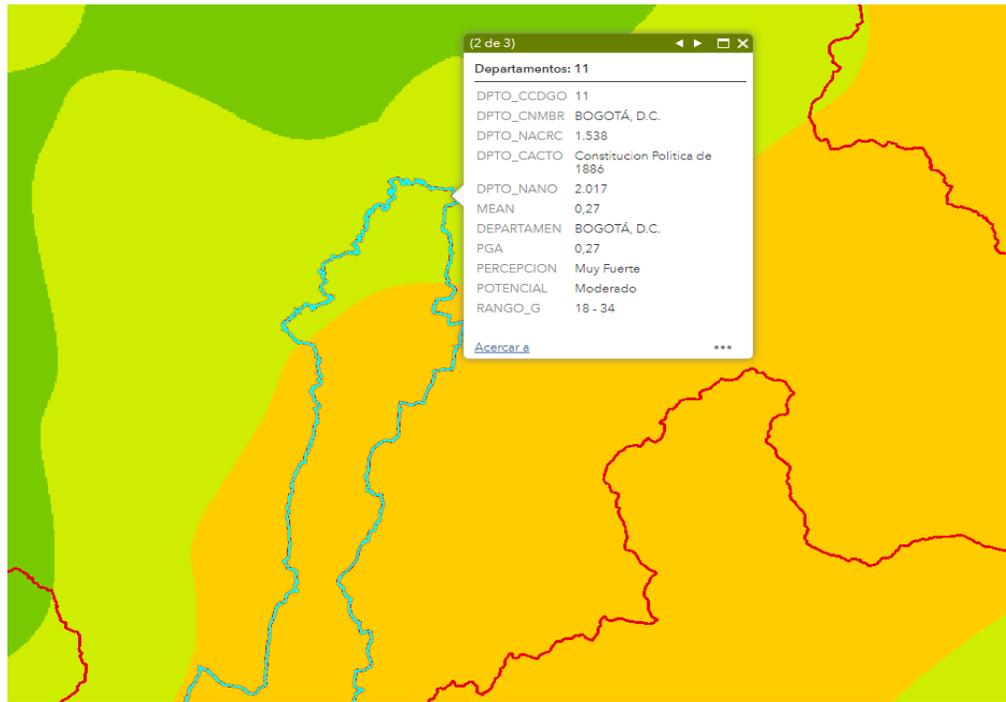


Figura 10. Intensidad máxima observada para la ciudad de Bogotá D.C.

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.

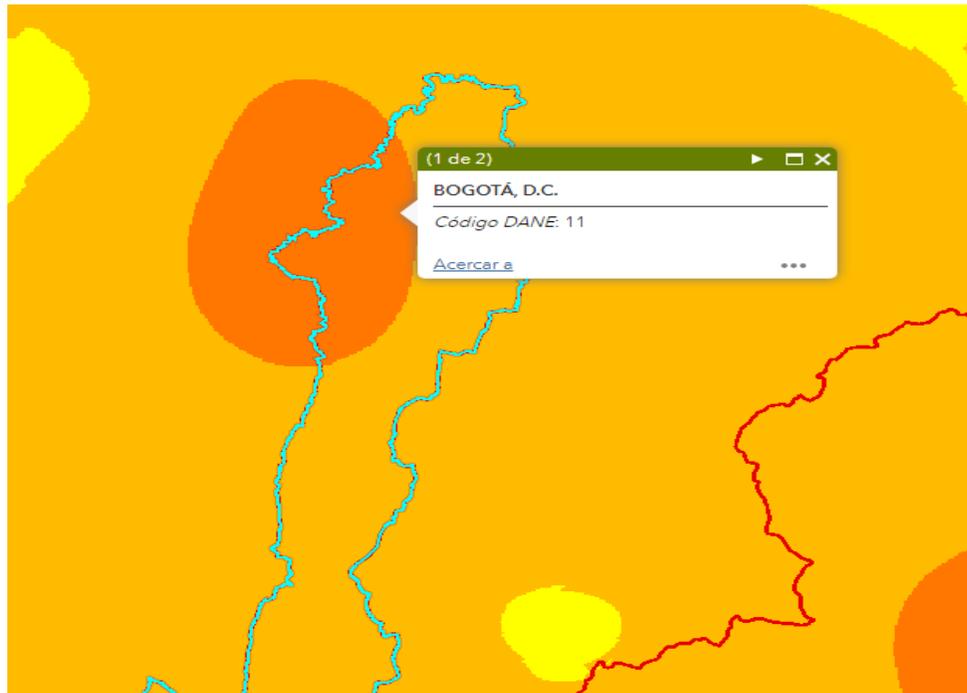


Figura 11. Intensidad sísmica para la ciudad de Bogotá D.C.

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%. Sin embargo, la región noroccidental (Donde se encuentra ubicada el área de influencia del proyecto) de Bogotá se encuentra catalogada como una zona de percepción severa del movimiento, debido a esto el daño potencial sería entre moderado y fuerte y los valores de PA oscilan entre 34 y 65%.

5.1.3.1.3 Zonas de amenaza (NSR-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 12).

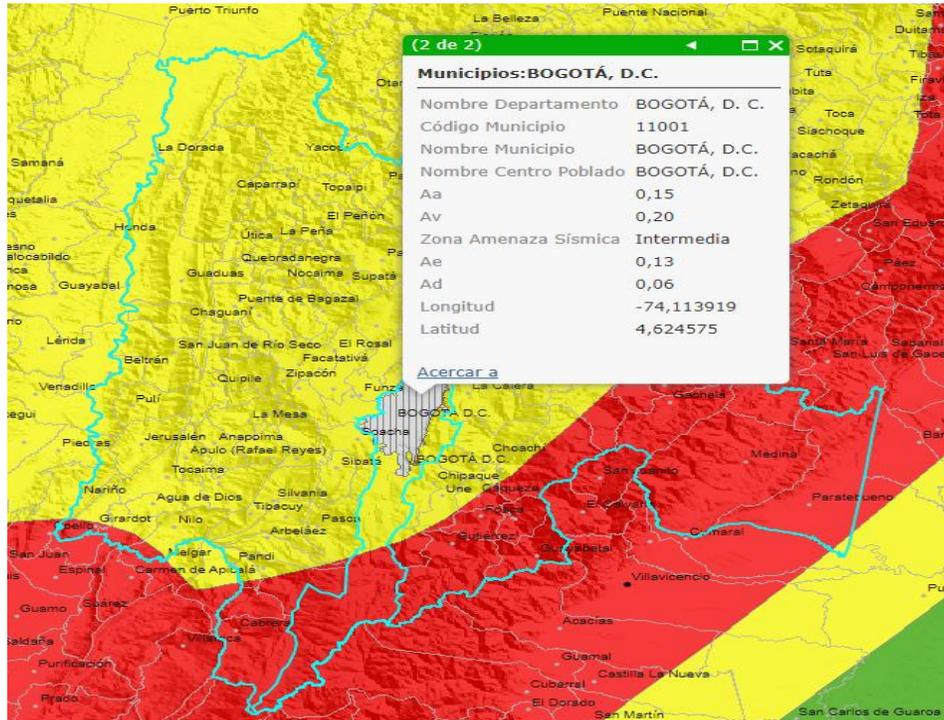


Figura 12. Zonas de amenaza sísmica (NSR-10) para Cundinamarca

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.

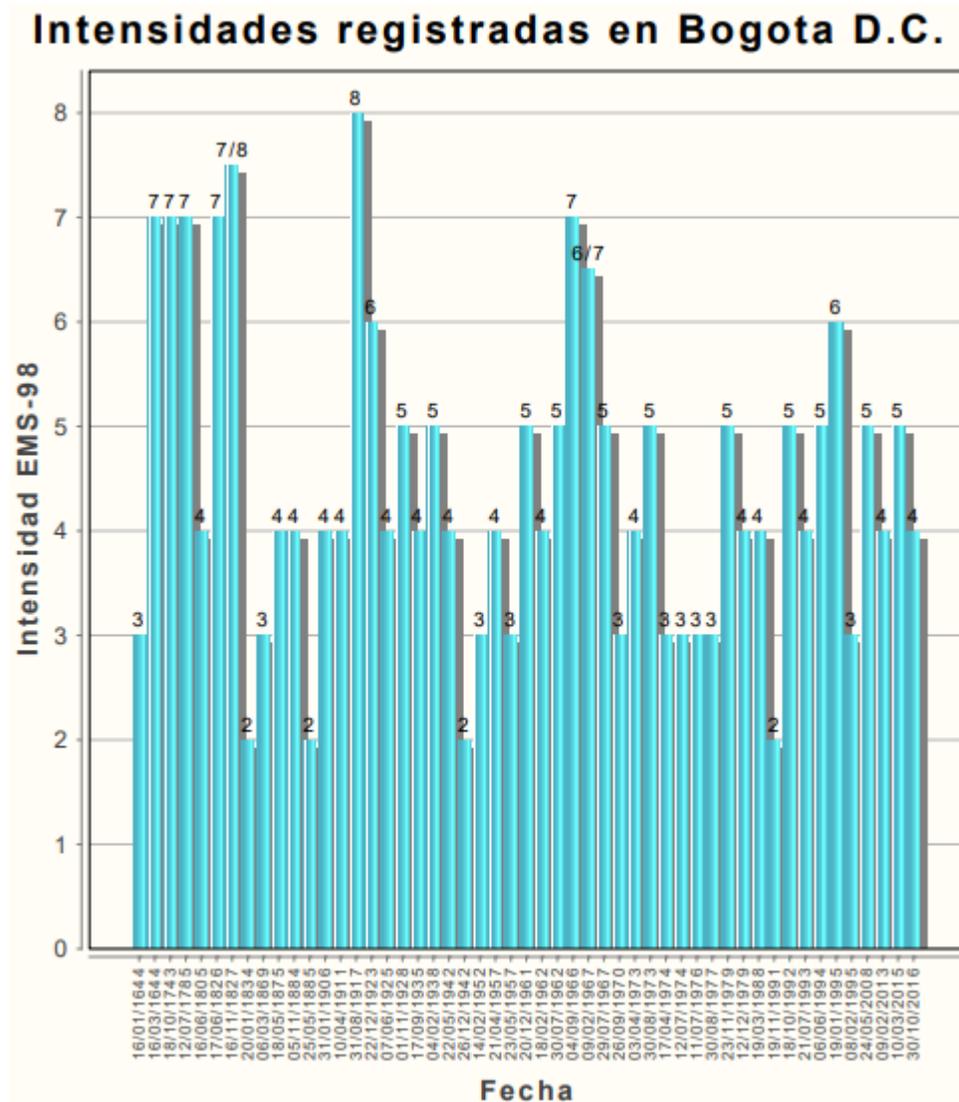


Figura 13. Histograma sísmico de Bogotá

FUENTE: HISTOGRAMA SÍSMICO DE BOGOTÁ D.C. ELABORADO POR SGC. EN [HTTPS://SISH.SGC.GOV.CO/VISOR/SESIONSERVLET?METODO=IRATABLACOMPLETA&OPCIONES=MAPA](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, en la Tabla 4 se presentan 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 Máxima EMS-98	Int. Sitio (MM)	Intensidad Máxima 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.S, 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 dañinos. 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. En la Figura 14, se podrá observar la metodología usada (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2010).

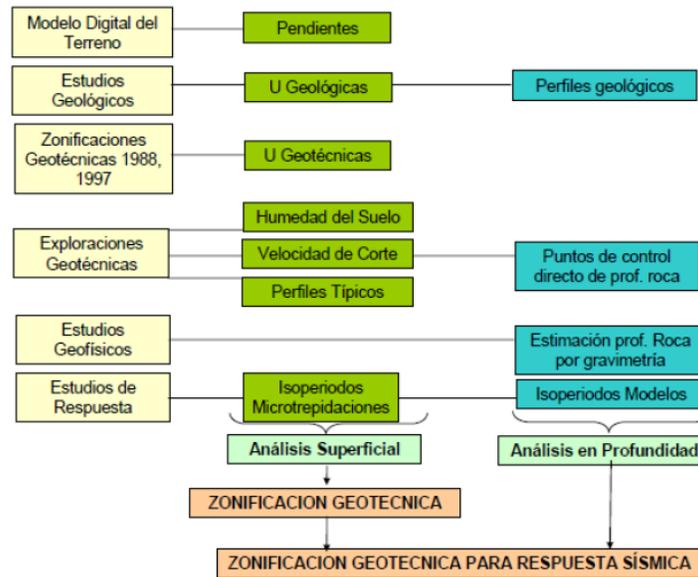


Figura 14. Esquema de metodología usada para la microzonificación sísmica de Bogotá

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 en la Figura 15 y Figura 16.

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 areno 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 areno 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 15. Descripción de zonas de respuesta sísmica

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

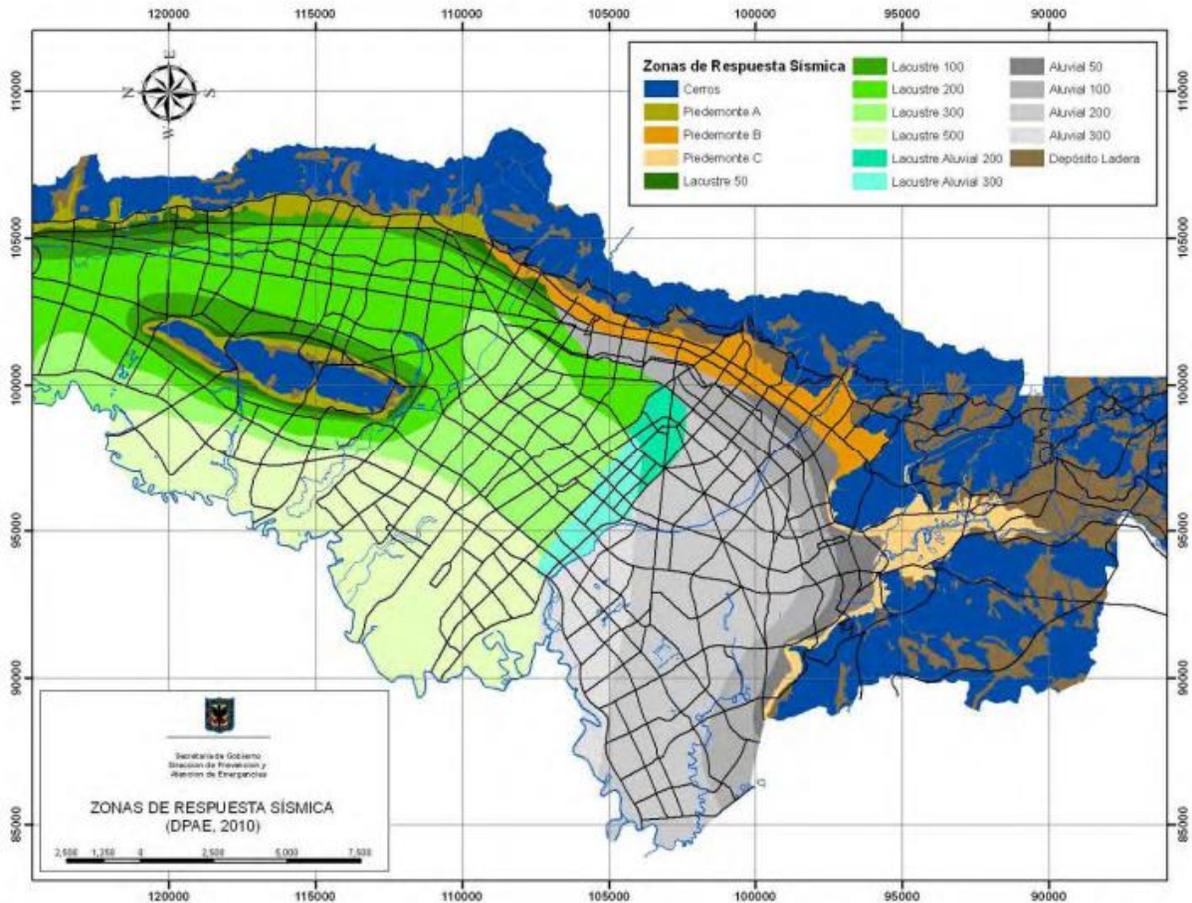


Figura 16. Mapa de microzonificación sísmica en la ciudad de Bogotá

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 200” y “Aluvial 300”. La sección “Aluvial 200” se caracteriza por presentar un espesor entre 100 y 200 metros, con periodo del suelo entre 1,2 y 2,5, 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 otro lado, la sección de “Aluvial 300” se caracteriza por presentar un espesor entre 200 y 300 metros, con periodo del suelo entre 2,5 y 4. Finalmente, al igual que en la sección anterior esta presenta una velocidad de onda promedio entre 175 y 300 m/s, una humedad promedio entre 25 y 50%, se caracteriza por presentar un suelo aluvial duro compuesto por arcillas luminosas, arenas arcillosas o limoso arenosos con sectores de lentes de arena y se presentan riesgos o efectos de amplificación y licuación.

En la Tabla 5, se caracterizarán las zonas presentes y se indica su porcentaje en hectáreas y en porcentaje.

Tabla 5. Microzonificación sísmica del área de influencia

Zona	Espesor deposito	Descripción geotécnica general	Efectos en el sitio	Área de influencia (Ha)	Área de influencia %
Aluvial-200	100-200	Suelo aluvial duro Arcillas limosas o arenas arcillosos o limos arenosos. Algunos sectores presentan lentes de arena limpias	Amplificación y licuación	23,2	85,24
Aluvial-300	200-300			4,0	14,76
Total				27,2	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 se describe en la Figura 17.

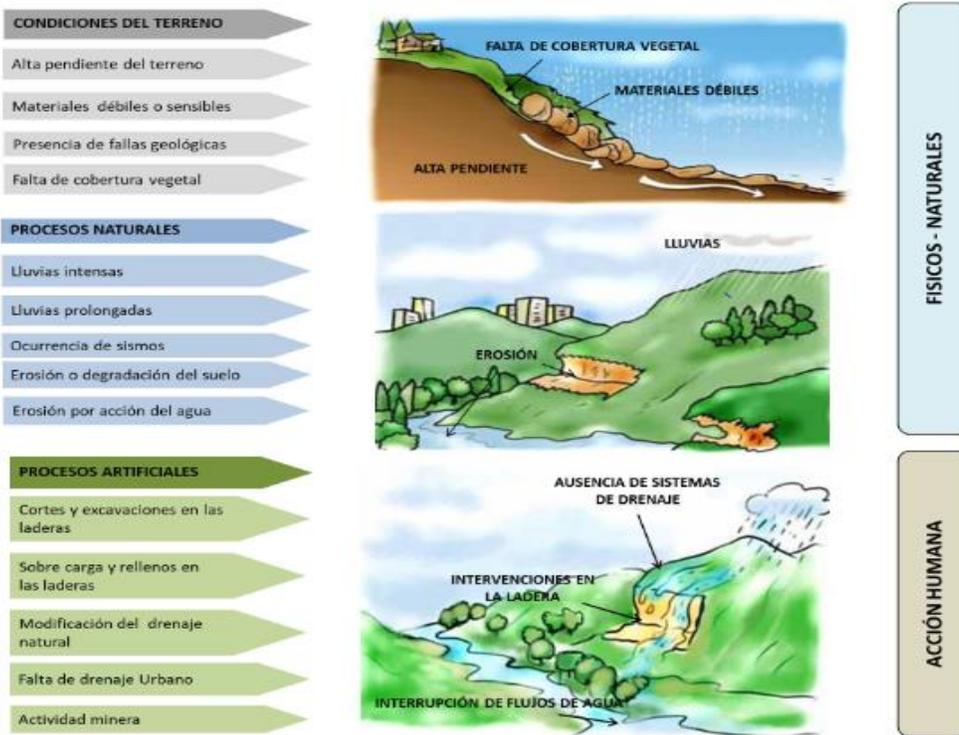


Figura 17. Condiciones que incrementa la posibilidad de amenazas por remoción en masa

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.

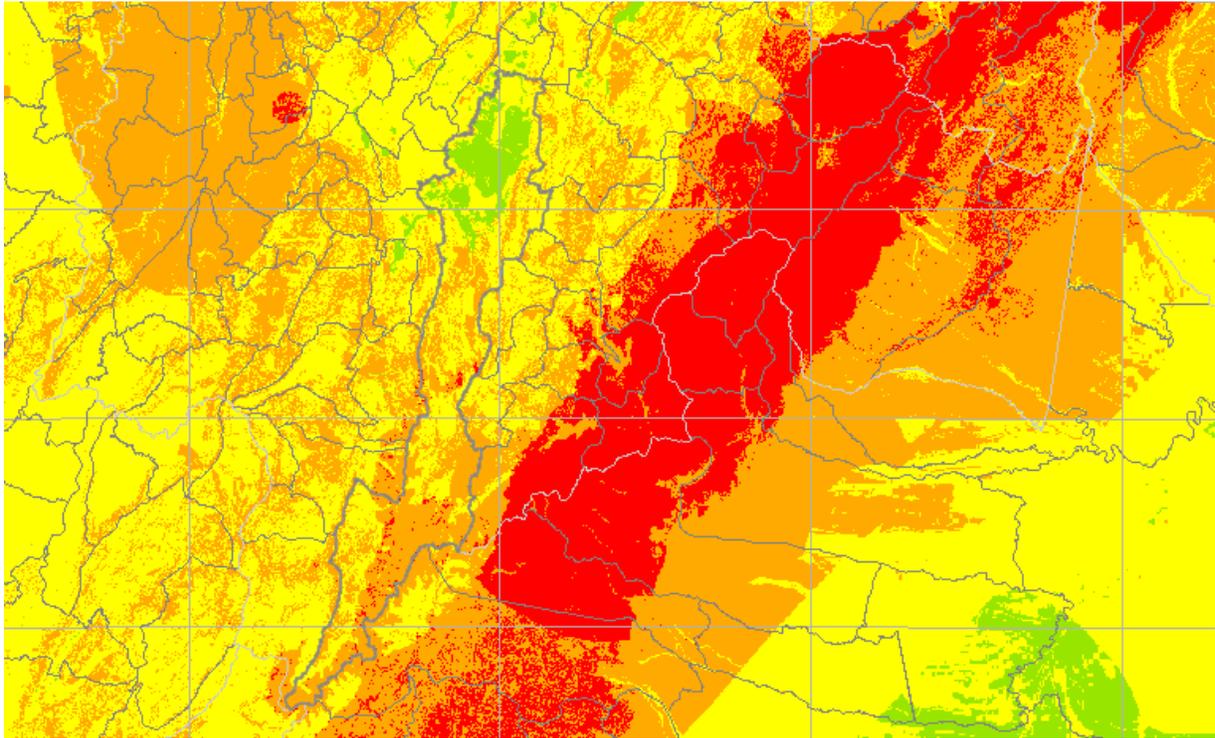


Figura 18 Mapa de amenaza por remoción en masa para Bogotá

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 19).

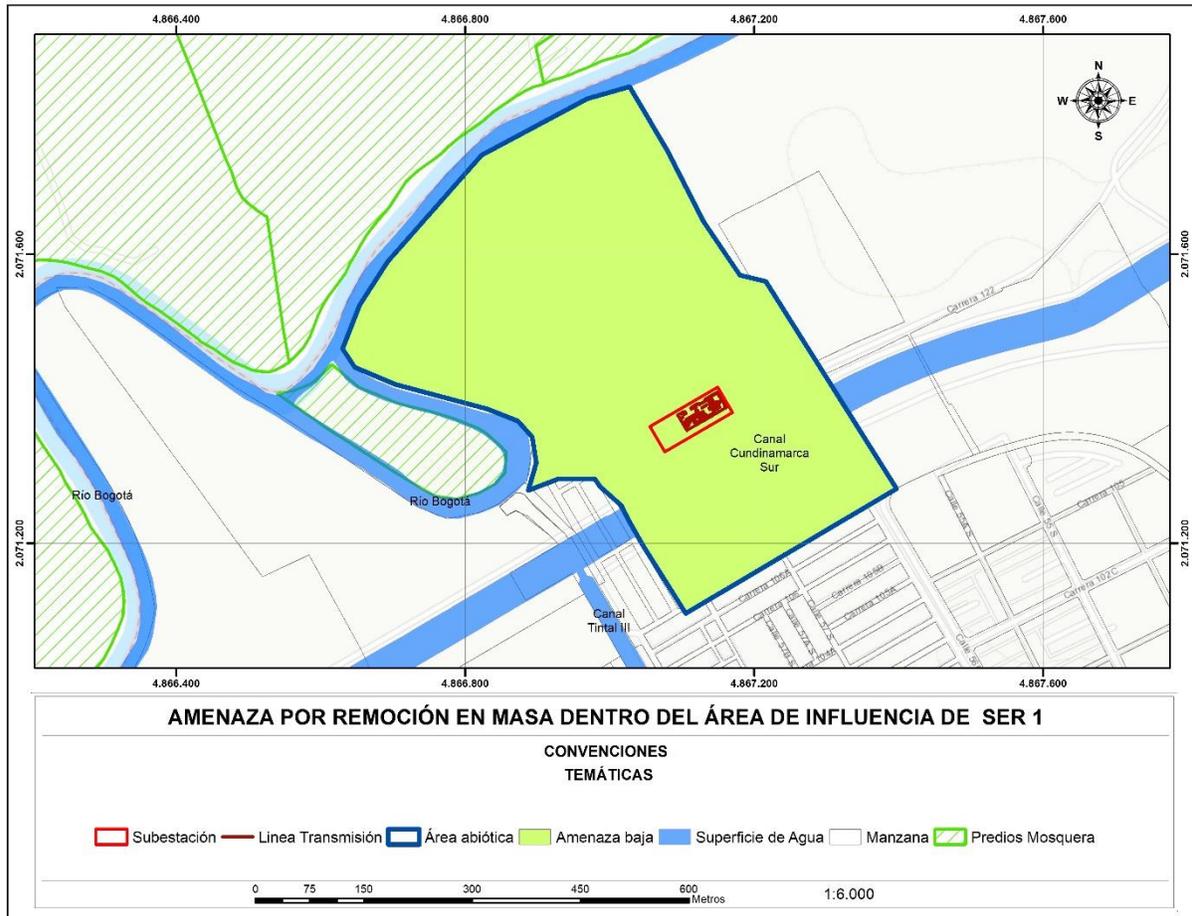


Figura 19. Amenaza por remoción en masa dentro del área de interés

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.3.3 Amenaza 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 amenazas por 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 una amenaza alta a causa de su cercanía a fuentes hídricas representadas por el río Bogotá y el canal Cundinamarca. Para estos escenarios se han construido jarillones con el fin de disminuir el potencial de daños, sin embargo debe tenerse en cuenta que en la clasificación de amenazas ya están consideradas estas estructuras de protección (Figura 20).

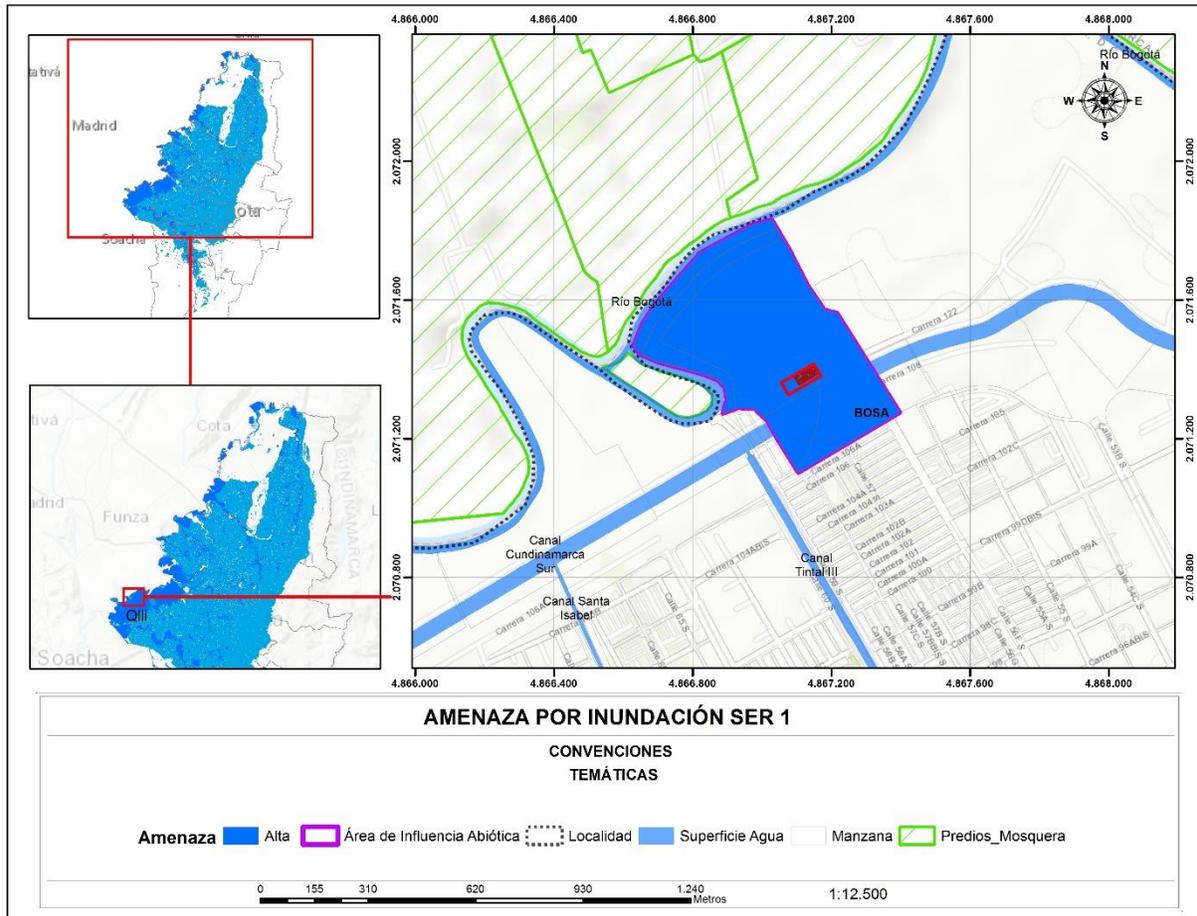


Figura 20. Amenaza por inundaciones dentro del área de interés

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).

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 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 y componente geomorfológicos (Figura 21).

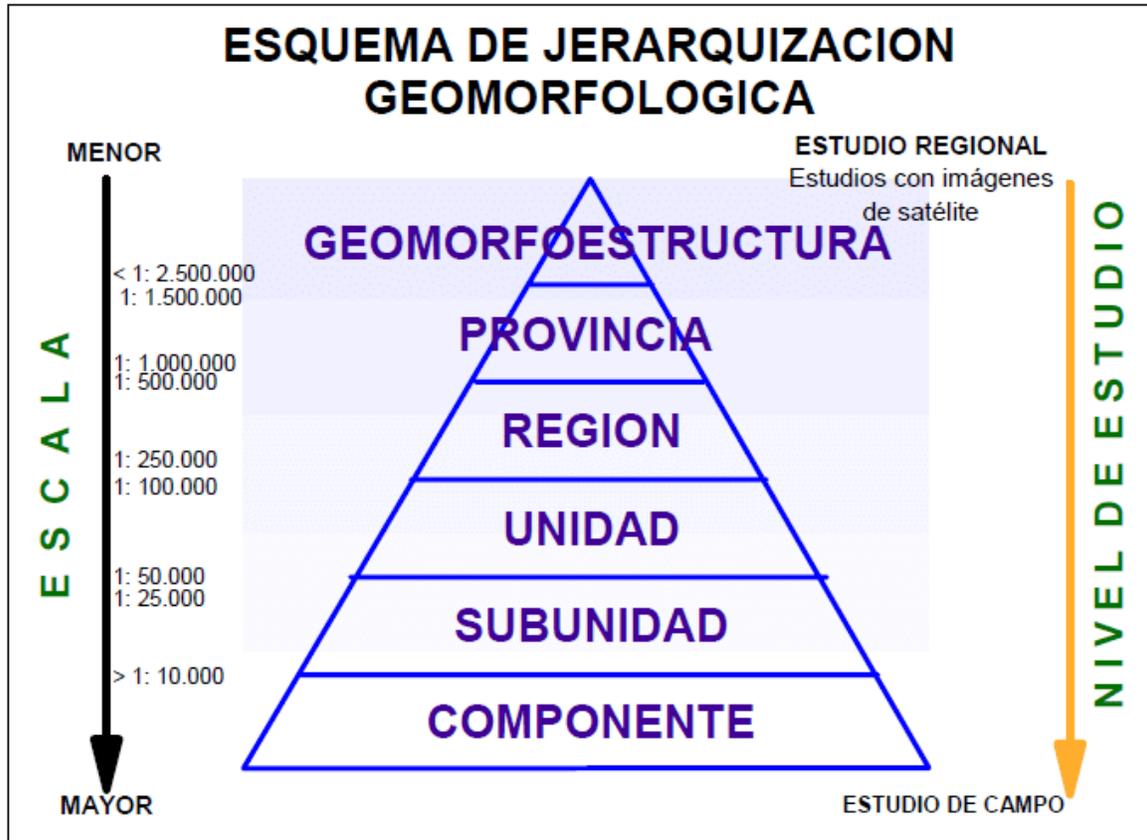


Figura 21. Esquema de Jerarquización

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 geofomas 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 geométricos. 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 la descripción anterior, en la Tabla 6 y Figura 22 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

Geomofestructura	Provincia	Región	Unidad	Subunidad	Nombre unidad geomorfológica	Nomenclatura
Cordillera, Orógeno	Cordillera Oriental	Ambiente fluvial y lagunar	Llanura de inundación	Llanura	Plano inundable	Fpi

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

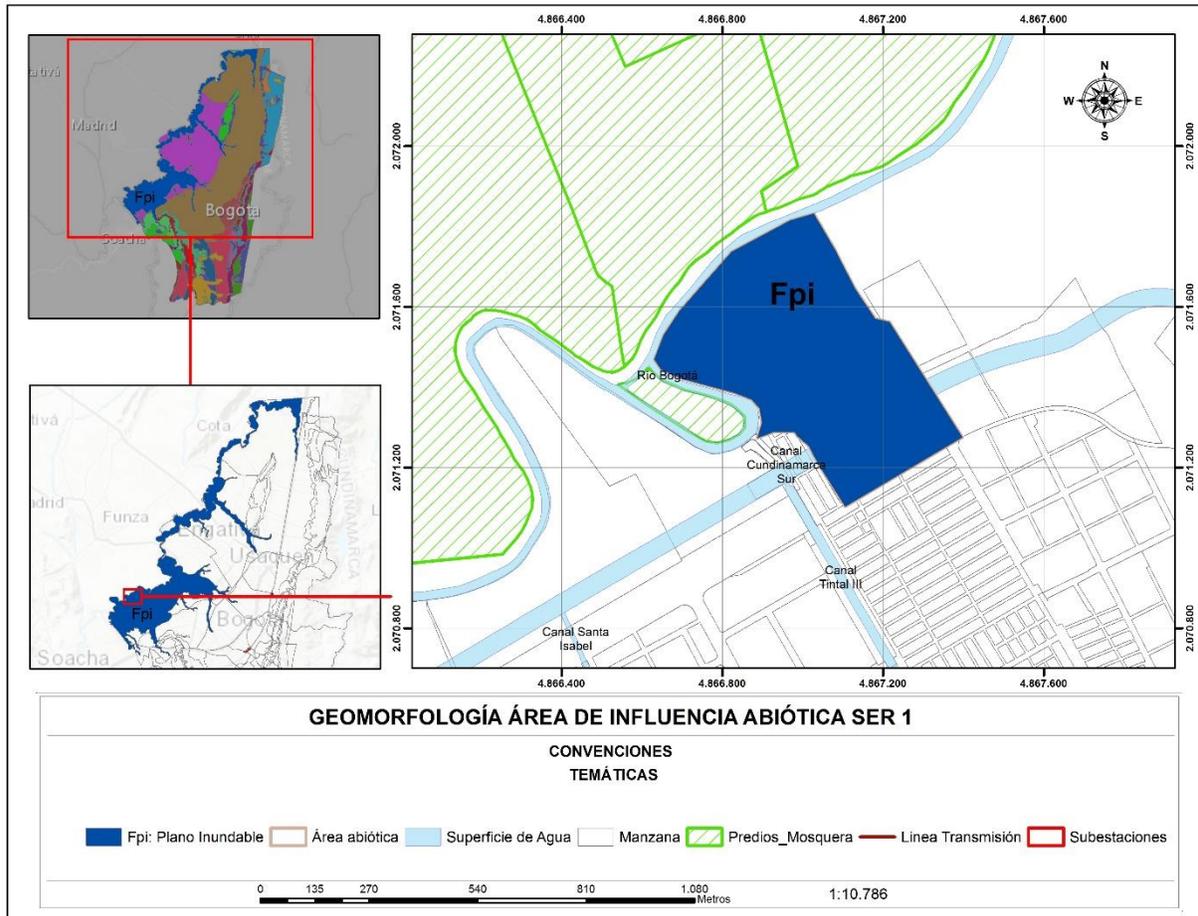


Figura 22. Componente geomorfológico del área de influencia de acuerdo con el SGC

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 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 geoforma (IGAC, 2021). En la Tabla 7 y Figura 23 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	Plano de inundación	Sedimentos clásticos	Aluvial	Cubeta de desborde	Plano inundable	Fpi

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

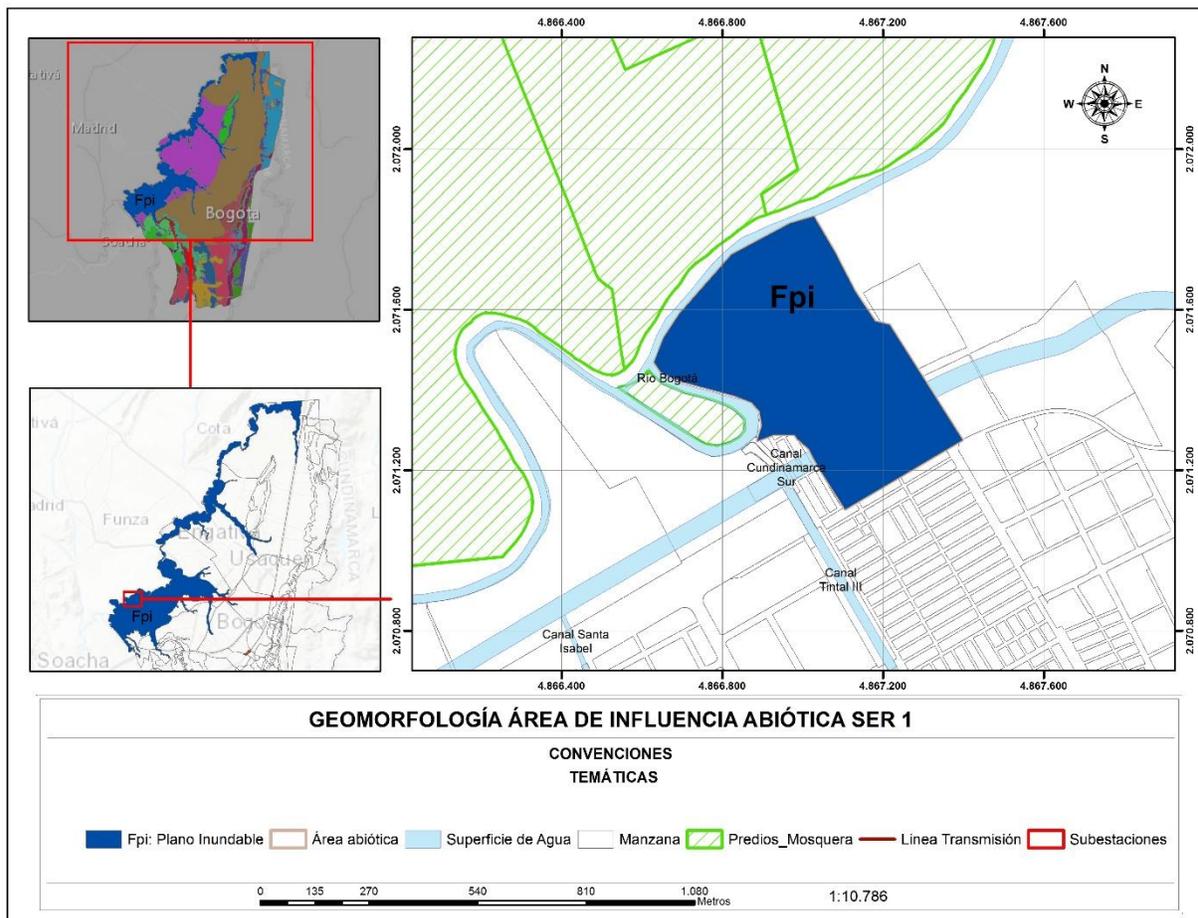


Figura 23. Componente geomorfológico del área de influencia de acuerdo con el SGC

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

Las características de la unidad geomorfológica (Figura 23) encontrada en el área de influencia se presentarán a continuación.

Planicie o llanura de inundación (Fpi): Esta zona se caracteriza por presentar una morfología ondulada que en ocasiones es inundable. Suele encontrarse en los bordes de los cauces fluviales y se limita localmente por escarpes de terraza. La caracterización litológica de la zona consiste en capas de 3 a 5 metros compuestas por arcillas y limos producto como consecuencia de eventos de inundación fluvial. En la sabana de Bogotá, estas estructuras se encuentran asociadas evolutivamente a eventos de secado y procesos de disección de las planicies lagunares por los principales ríos que la drenaron. Los principales ríos asociados con este tipo de ambiente son el río Bogotá, Teusacá, Frío, Subachoque, Las Pavas, Bojacá y Tunjuelito (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. En la Tabla 8 se presentará la clasificación morfogenética para el área de influencia.

Tabla 8. Clasificación morfogenética del área de influencia

Zona estructural	Provincia	Paisaje	Tipo de relieve	Ambiente Morfogenético	Nombre	Nomenclatura
Mega cuenca de sedimentación	Cordillera Oriental	Ambiente fluvial y lagunar	Planicie o llanura de inundación	Planicie	Plano inundable	Fpi

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022



Fotografía 2 Plano inundable 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 Tabla 9.

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 25% (Desde a nivel hasta fuertemente inclinada). Sin embargo, las pendientes que predominan son las denominadas a nivel (0,1%) ya que representan el 63,31% del área estudiada. Estas bajas pendientes se asocian con las unidades geomorfológicas de origen fluvial definidas anteriormente (Figura 24).

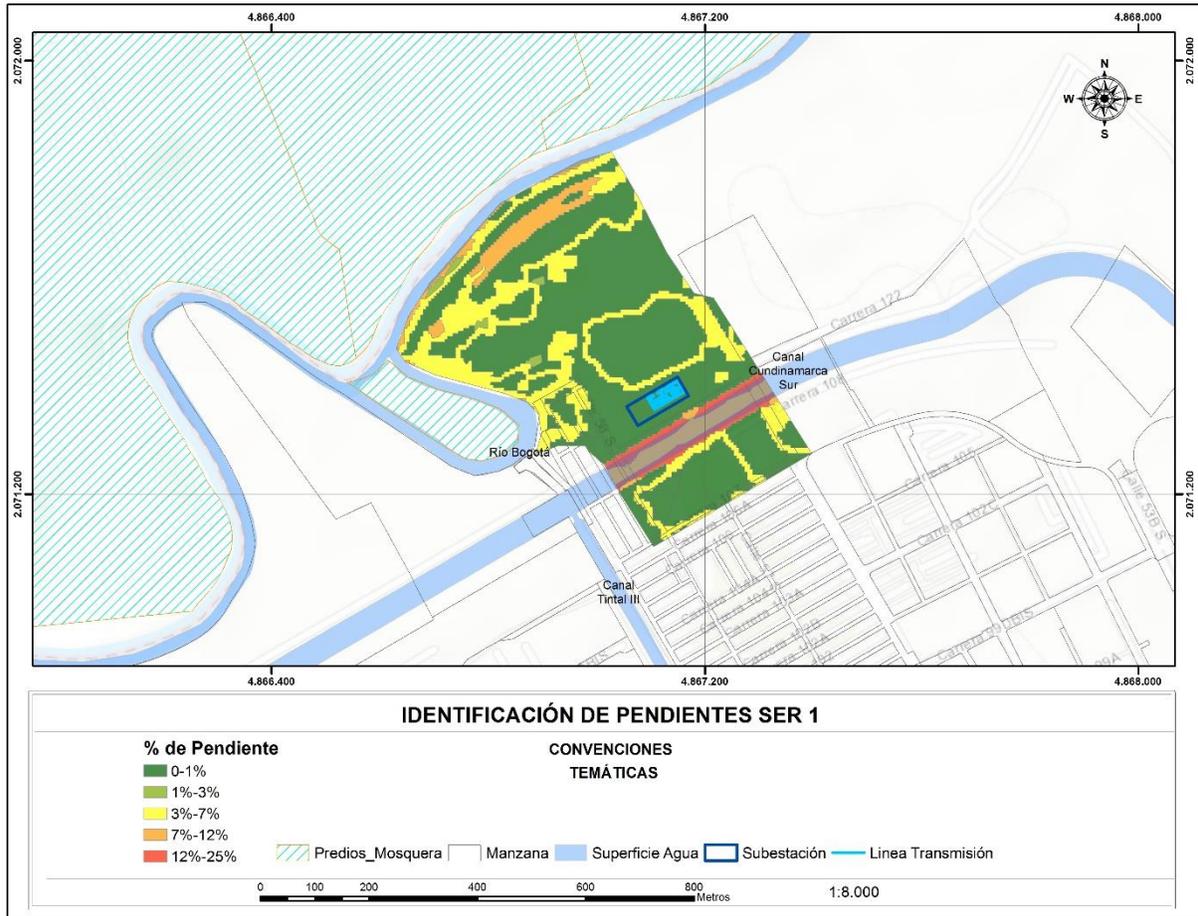


Figura 24. Mapa de pendientes en el área de influencia

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S 2022

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 25%, sin embargo, las pendientes predominantes se presentan entre el 0 y el 12%, por eso la zona se considera moderadamente blanda y con una susceptibilidad moderada a movimientos en masa (Figura 25).

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. En la Tabla 10 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
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 la ladera

Este parámetro representa la homogeneidad del material constituido de las geoformas. El rango de clasificación se podrá observar en la Tabla 11.

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 500 y 1000 m, correspondiendo a laderas largas.

5.1.4.4.4 Forma de la 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 alargadas (500-1000m) 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 traslacional (Tabla 12).

Tabla 12. Rango de forma de ladera

Clase	Características del material	Movimientos en masa asociados
Recta	Muy corta	Movimiento traslacional
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. En la Tabla 13 se presentan los tipos de erosión y los potenciales daños 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 115 kV.
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 una 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 translacional. Los deslizamientos rotacionales se presentan en una ruptura de forma curva o cóncava, mientras que, por otro lado, los deslizamientos translacionales 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 termino 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 morfogénéticos 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

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). Esta metodología ha sido implementada y adaptada para Colombia a través de la entidad del IDEAM (CAR, 2019).

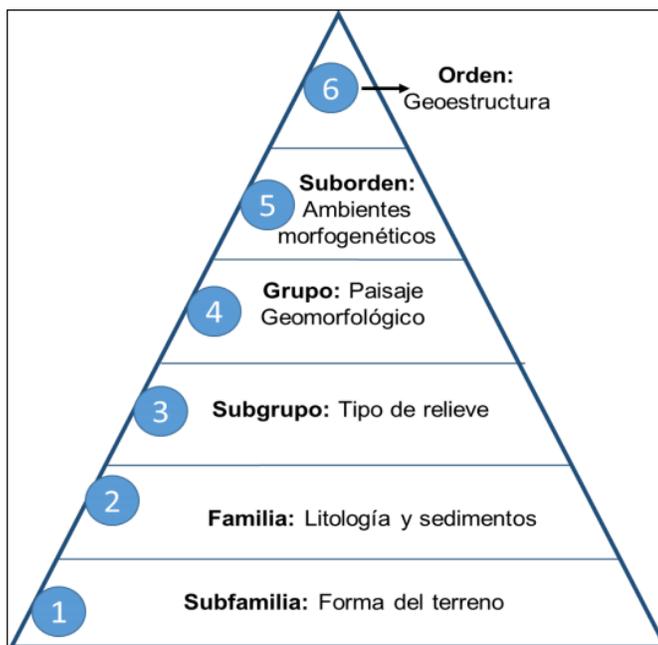


Figura 26 Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto por el SGC

FUENTE: ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ.
ELABORADO POR LAS 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 cuestas, 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, en la Tabla 14, 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 Fluvio-lacustre	Planicie Fluvio-lacustre	Planicie	Formación no consolidada (Depósitos Cuaternarios)	Planicie Fluvio-lacustre

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).

Tabla 15. Paisajes geomorfológicos

Código	Clase
M	Montaña
L	Lomerío
P	Piedemonte
R	Planicie Fluvio-lacustre
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).

De acuerdo con 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 2 unidades de suelos: la primera representada por suelos urbanos (ZU) y la segunda representada por una planicie (RMOa). La unidad denominada RMOa corresponde a la a asociaciones entre AericEplaquents (60%) – FluvaquenticEndoaquepts (40%). Adicionalmente esta unidad está constituida por depósitos clásticos hidrogenicos típicos del plano de inundación del río Bogotá, presentan pobres drenajes, texturas finas y fertilidad moderada (INGETEC, 2019) (Figura 27).



Fotografía 3. Suelo de relleno antrópico en Clima frío, seco. Muestra tomada en Patio Taller

FUENTE: ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ, ELABORADO POR INGETEC, 2017

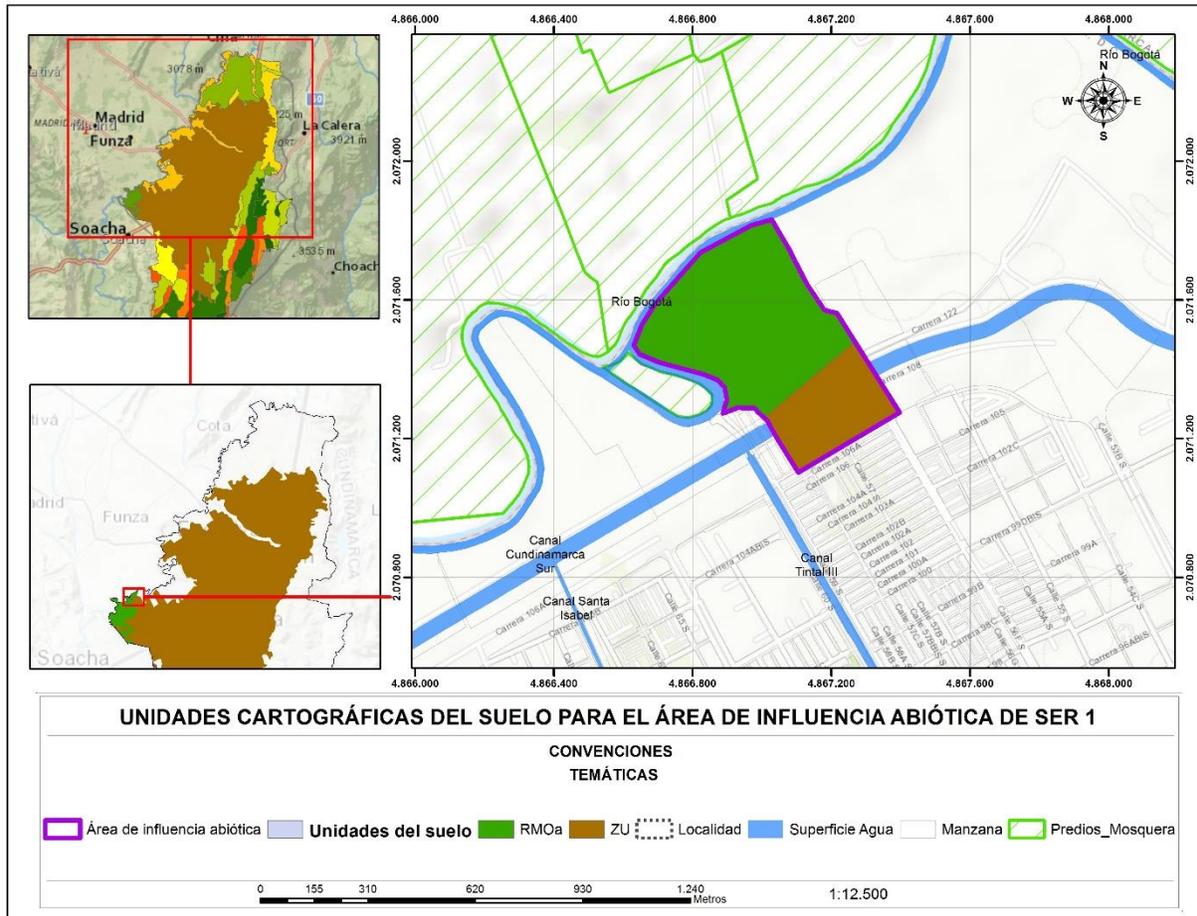


Figura 27. Unidades cartográficas dentro del área de estudio

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, 2014).
- 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 4 y subclase sh. Estos suelos se caracterizan por estar limitados por el nivel freático, están catalogados por presentar un mal drenaje, texturas finas, medias y moderadamente gruesas, tienen una capacidad de intercambio catiónico entre media y alta, presentan fertilidad baja, relieve menor a 3% y ocasionalmente son inundables (CAR, 2019) (Figura 28).



Figura 28. Unidades agrologicas 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 (Figura 29). 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	3.1.1.1.1. 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	3.2.1.1.1. Herbazal denso
2.1. Cultivos transitorios	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.3. Diabazinosas 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. Amacacha
2.2. Cultivos permanentes	3.2.1.1.2.4. Halcachal
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. Amepola	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, lagos 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 cinco tipos de coberturas: tejido urbano continuo, pastos limpios, herbazal, arbustal y tierras desnudas y degradadas. En la Tabla 16 y Figura 30 se muestran las coberturas identificadas, sus respectivos usos y el área que abarcan.

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	ZU	0,92	3,3773862
Pastos limpios	Ganadería	Pastoreo intensivo	CRE	23,49	86,2334802
Herbazal	Conservación	Protección	CRE	1,41	5,17621145
Arbustal	Conservación	Protección	CRE	0,04	0,14684288
Tierras desnudas y degradadas	Sin uso	Protección	CRE	1,38	5,0660793
Total				27,2	100

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

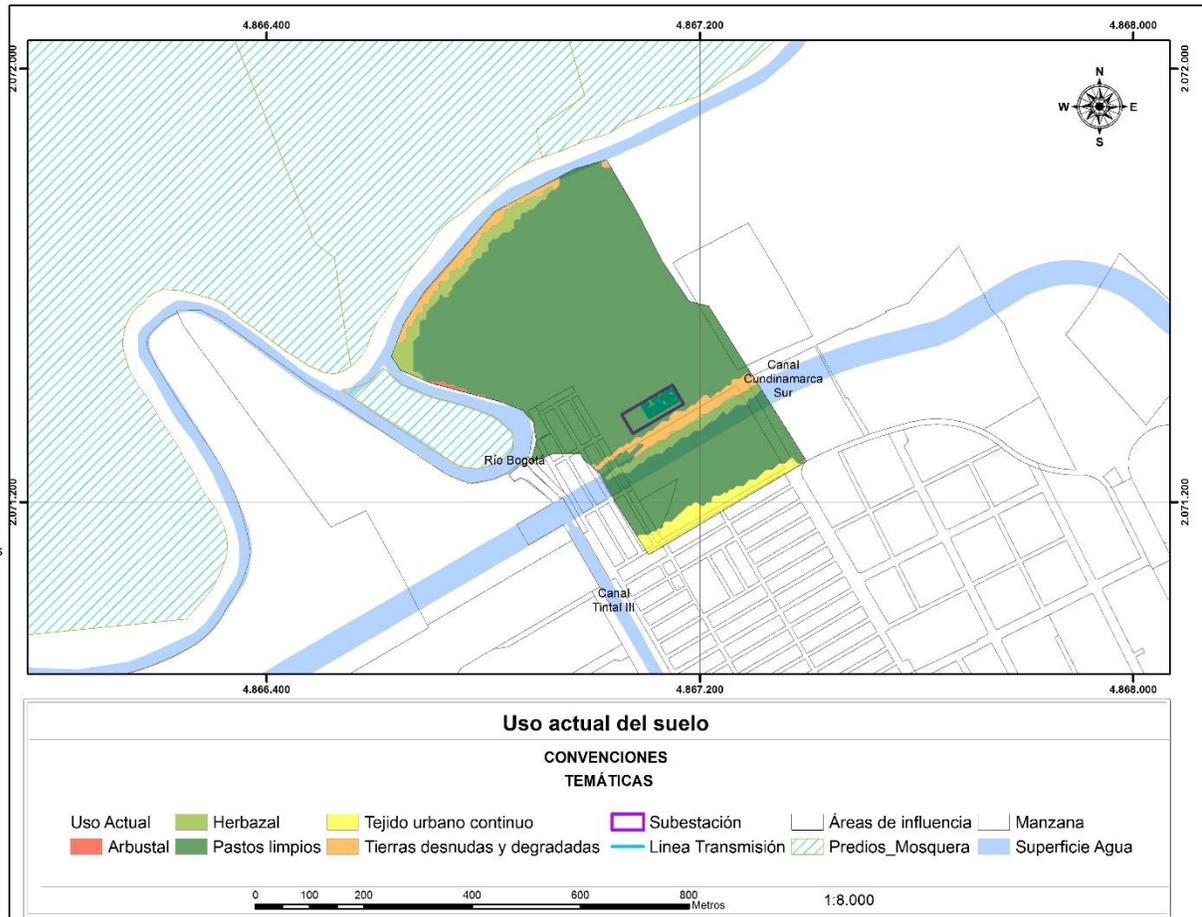


Figura 30. Uso actual del suelo

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 en el POMCA del río Bogotá 2019, en la que se pudieron identificar tres usos potenciales del suelo: Zonas urbana, pastoreo intensivo y cuerpos de agua. En la Tabla 17 y Figura 31, se presenta la caracterización de estos.

Tabla 17. Uso potencial del suelo

Clase agrológica	Subclase	Uso potencial	Área de influencia (Ha)	Área de influencia %
4	sh	Zonas urbanas	1,24	4,55
4	sh	Pastoreo intensivo	25,90	95,08
4	sh	Cuerpos de agua	0,10	0,37
Total			27,2	100

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

De acuerdo con el estudio el EIAS de la PLMB se analizó el área de interés conocida con el nombre de patio taller y se definió que, por sus características fisicoquímicas, esta región tiene como vocación principal ser usada como zona de conservación y recuperación de recursos naturales.

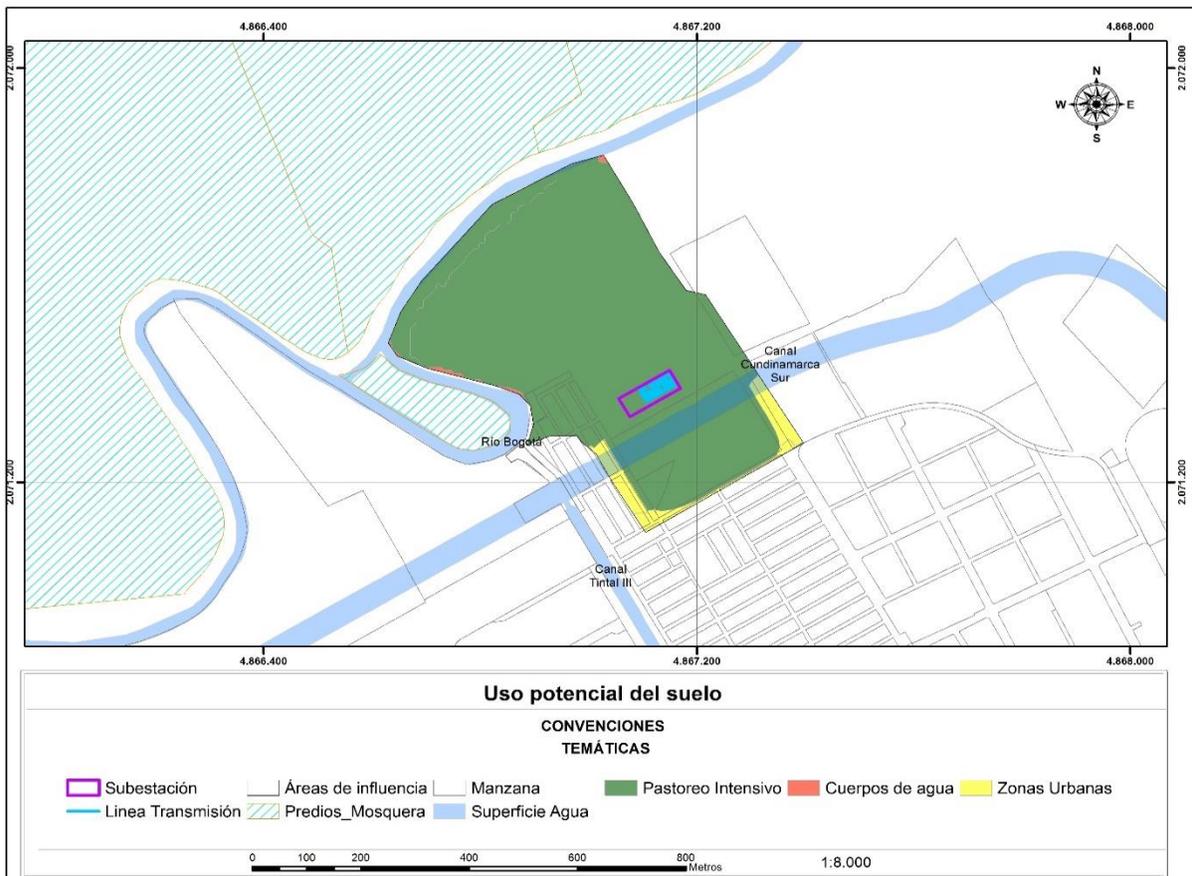


Figura 31 Uso potencial del suelo dentro del área de influencia

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.5.7 Conflictos de uso de 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 el uso potencial, esta diferenciación permite conocer si se está empleando la vocación natural en las tierras, adicionalmente permite definir el comportamiento de estas zonas de acuerdo con los conflictos de uso (CPA Ingeniería, 2020). Las categorías en las que están identificadas los usos del suelo varían por diversos rangos como la sobreutilización, la subutilización, las regiones sin conflicto, entre otros.

Los conflictos de uso en el área de estudio fueron examinados por medio de la herramienta ArcGIS y la fuente proporcionada por el POMCA del 2019. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 18 y Figura 32.

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

Conflicto	Área de influencia (Ha)	Área de influencia %
Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	25.78	94,63
Subutilización severa	1.46	5,37
Total	27.2	100

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

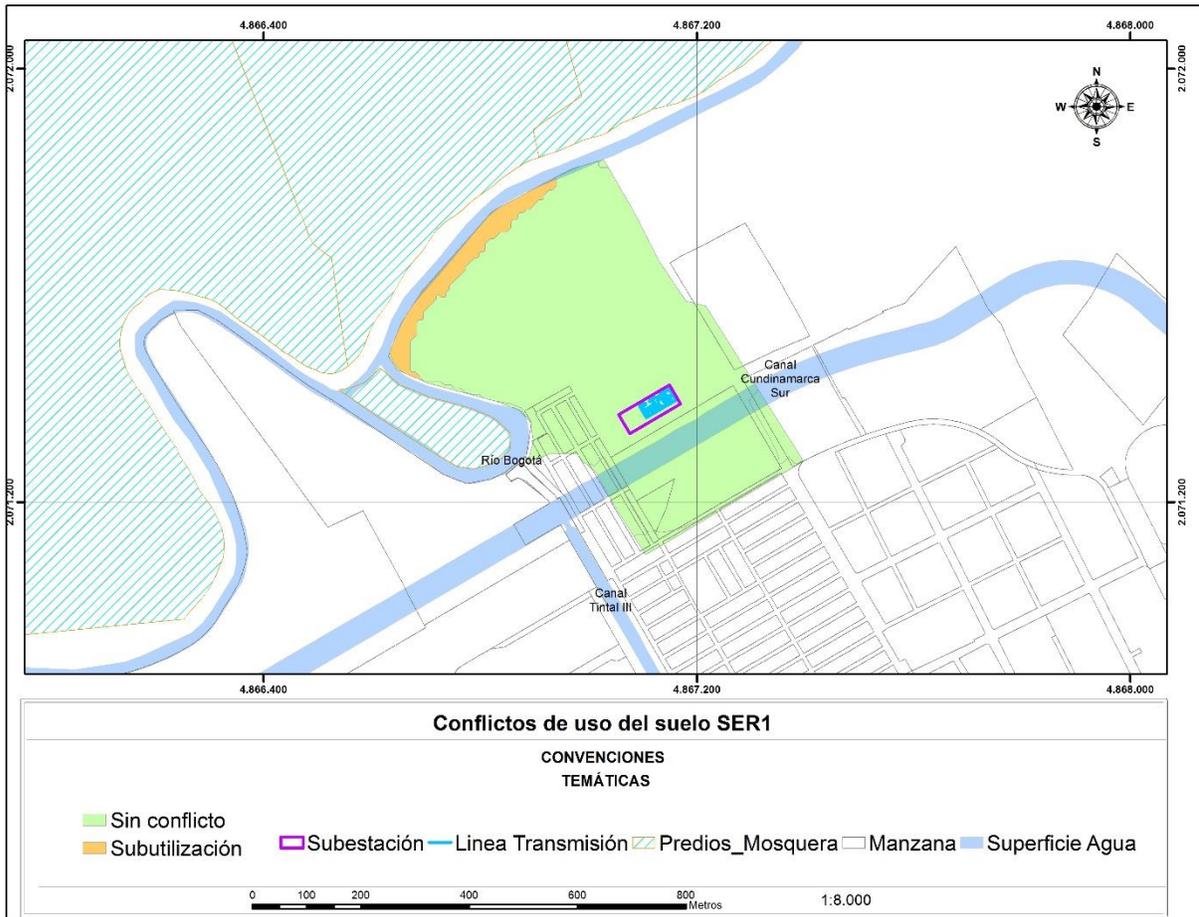


Figura 32 Conflictos de uso del suelo en el área de influencia

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.6 Hidrología

En este apartado, se describirá el componente hidrológico correspondiente a la zona de influencia donde se ubica la subestación eléctrica SER 1 y su línea de transmisión a 115 kV, así mismo, las principales características de la cuenca hídrica donde se ubica la subestación, sistemas lénticos y loticos, y patrones de drenaje.

Los documentos consultados para la elaboración del componente hidrológico fueron: “Estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá – 2019”, Actualización del Estudio de Impacto Ambiental y Social para la Primera Línea del Metro de Bogotá, 2022 realizados por el Consorcio Metro Bogotá, Actualización del Diseño Definitivo de la Estructura de Descarga del Túnel de Emergencia del Interceptor Tunjuelo-Canoas y Diseño Definitivo de la Descarga a Gravedad del Canal Cundinamarca” (EAAB, 2019) y documento de Zonificación del POMCA del Río Fucha 2007.

La zona de influencia del medio abiótico que abarca la subestación SER 1, se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá D.C. en la localidad de Bosa, sobre la microcuenca del canal Cundinamarca perteneciente a la subcuenta del Río Fucha y a su vez, perteneciente a la cuenca de río Bogotá. A este canal drenan las aguas de los humedales de Techo, El Burro y La Vaca y Los Canales Tintal I, II, III y IV.

El área de influencia se compone de un sistema artificial de canales, denominado canal Cundinamarca, se ubica en las localidades de Bosa, Kennedy y Fontibón, que abarca un área total 60.53 Ha. Se caracteriza por presentar corriente de agua en canales construidos, comprende un 100% de área urbana, el canal se divide en dos: Canal Cundinamarca Sur con una longitud de 3,8 km y Norte con una longitud de 4,6 km (Figura 33).

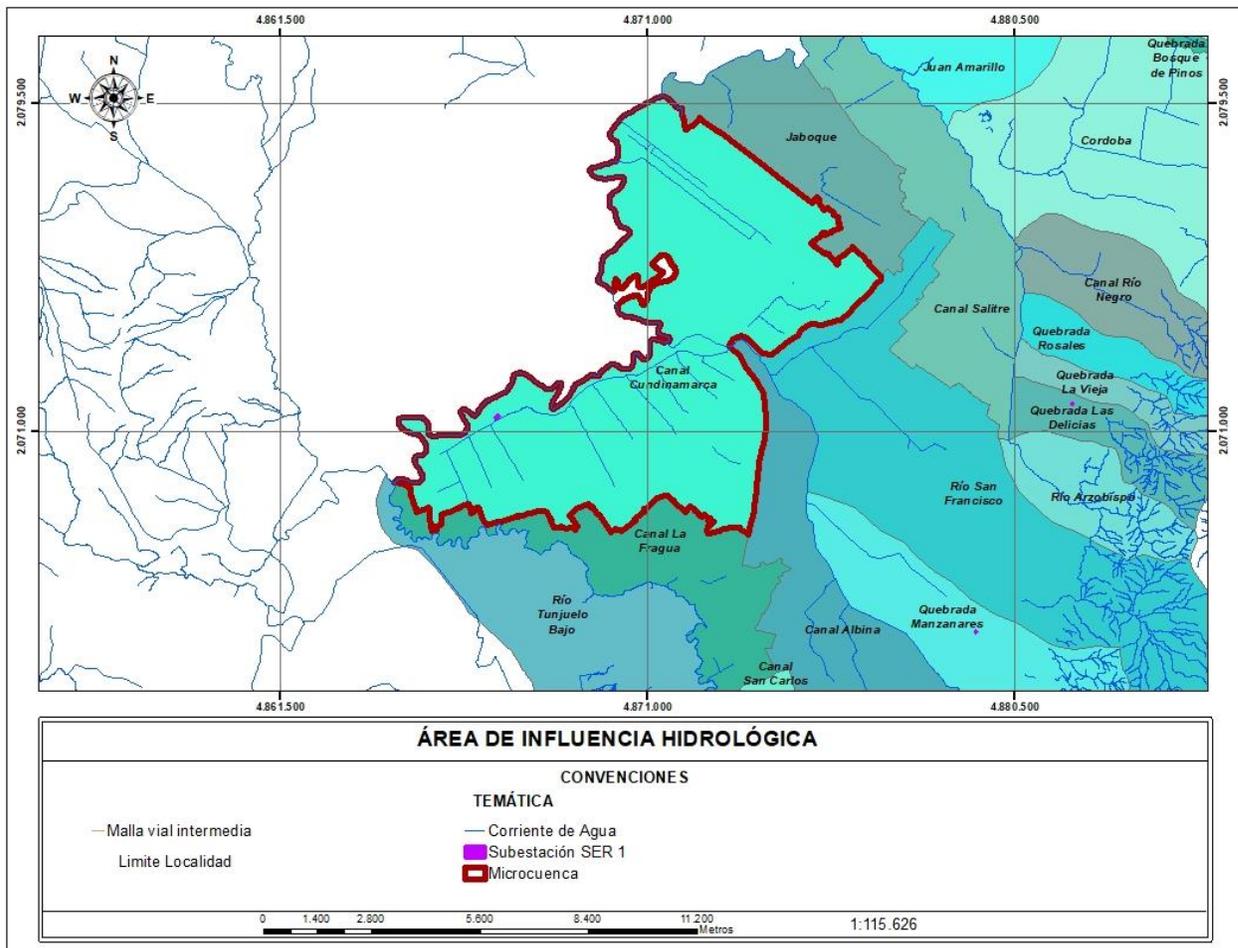


Figura 33. Microcuenca del área de Influencia

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S; 2022

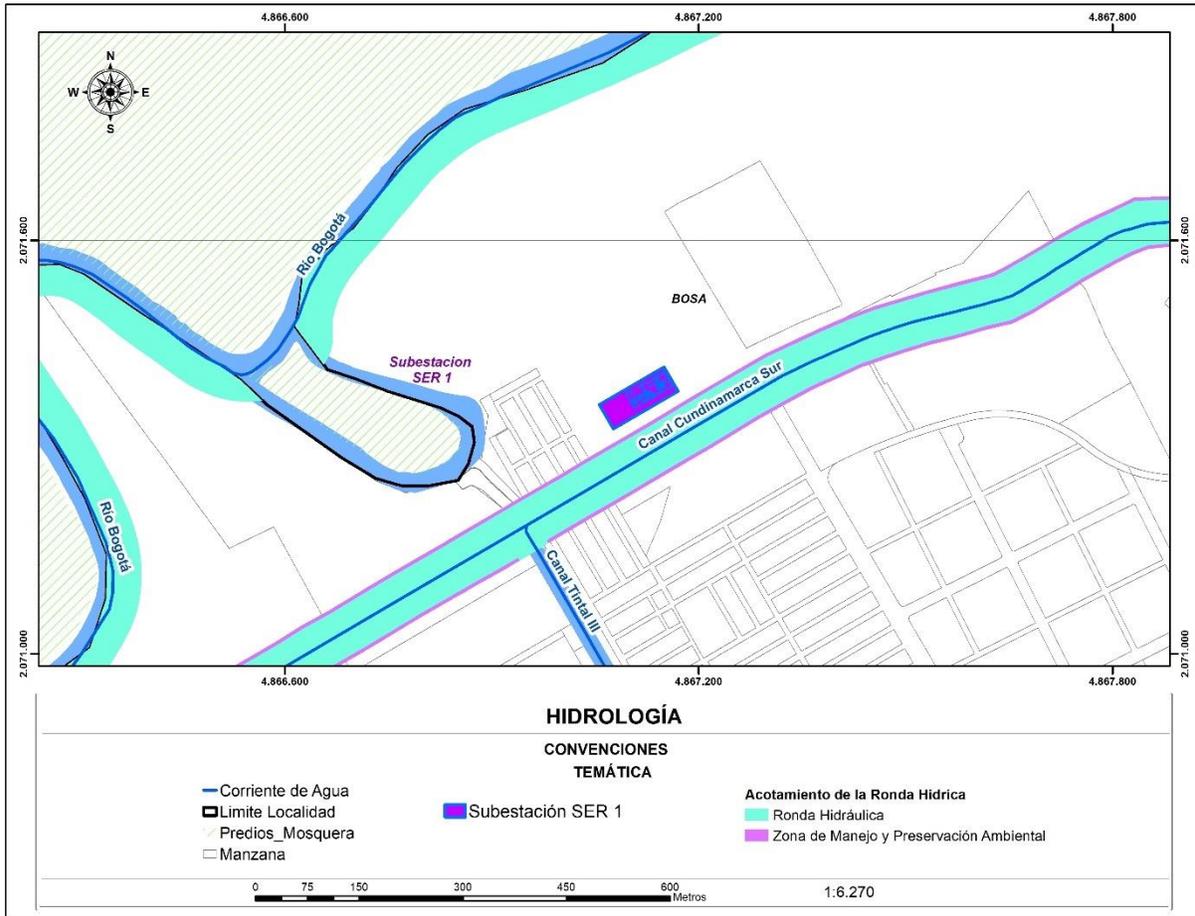


Figura 34. Sistema Hídrico SER 1

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S; 2022

Para la caracterización hidrológica a la cual pertenece la zona de estudio, es importante resaltar que no se realizarán intervenciones sobre los cuerpos de agua presentes en el área de influencia del proyecto, adicional las actividades del proyecto se realizarán a una distancia aproximada de 30 de la franja paralela de acuerdo con la Resolución 0369 de 2019 (Figura 34).

Las actividades de la etapa constructiva que requieren uso de agua y vertimientos se realizarán por medio de terceros autorizados como se describe en el Capítulo 7 Demanda, Uso y Aprovechamiento de los Recursos Naturales que deberán cumplir con la normativa vigente, verificando así que no se realice ningún tipo de vertimiento al suelo que pueda llegar directamente al sistema de alcantarillado público de la ciudad.

Para la etapa operativa se solicitará el servicio 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 las obras necesarias para canalizar las aguas lluvias y conectarse al sistema de alcantarillado pluvial, como se describe en el Capítulo 3. Descripción del Proyecto.

5.1.6.1 Identificación de Sistemas Lenticos y Loticos

En este apartado, se realiza una identificación en la zona de influencia, 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 1 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*

El cuerpo hídrico más cercano al proyecto es el Canal Cundinamarca, el proyecto de la subestación queda ubicado aproximadamente a 30 m de distancia, sin embargo, no se contempla hacer actividades de uso o aprovechamiento del recurso hídrico en ninguna de sus etapas por tanto no se tramitará permisos de concesión para el uso del agua ni de vertimientos u ocupación de cauce.

5.1.6.1.2.1 *Canal Cundinamarca*

El Canal Cundinamarca es un cuerpo de agua utilizado para el almacenamiento temporal de aguas lluvias. El canal se encuentra localizado en la margen izquierda del rio Bogotá, entre la calle 15 y la calle 80 sur. El cuerpo de agua tiene una longitud aproximada de 8.43 km en su totalidad y la descarga de este se hace hacia el rio Bogotá por medio de la estación de bombeo Gibraltar, ubicada en la calle 43 sur, es decir, aproximadamente en el punto medio de la longitud del cuerpo de agua.

Al ser un cuerpo de agua para el almacenamiento y no una corriente, de acuerdo con el estudio de Actualización del Diseño Definitivo de la Estructura de Descarga del Túnel de Emergencia del Interceptor Tunjuelo-Canoas y Diseño Definitivo de la Descarga a Gravedad del Canal Cundinamarca” (EAAB, 2019), presentado por Estudios Técnicos y Construcciones S.A.S. y la EAAB en febrero de 2019, la cota de fondo del Canal Cundinamarca es constante en su longitud y tiene un valor de 2534 msnm. De la misma referencia bibliográfica se puede obtener el nivel y el volumen máximos de almacenamiento en el canal para los periodos de retorno de 10 y 100 años que se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Niveles y Volumen de Almacenamiento Máximos del Canal Cundinamarca

TR (años)	NIVEL MÁXIMO (msnm)	VOLUMEN ALMACENADO (m3)		
		CANAL CUNDINAMARCA	AFLUENTES	TOTAL
10	2538.50	814000	270000	1084000
100	2540.00	938000	474000	1412000

FUENTE: EAAB, 2019

Los canales y colectores que descargan hacia el cuerpo de agua conocido como Canal Cundinamarca son: los Canales Tintal II, III y IV, el Canal Santa Isabel, el Canal Primero de Mayo, el Canal Britalia, el Canal Calle 38, el Canal América, el Canal Castilla, el Canal Magdalena, el Canal Alsacia, el Colector Sistema Granada, y el Colector Central Fontibón.

De acuerdo con (EAAB, 2019), el área de drenaje aferente al Canal Cundinamarca es de 36.86 km², correspondiente a lo presentado en la Figura 35.

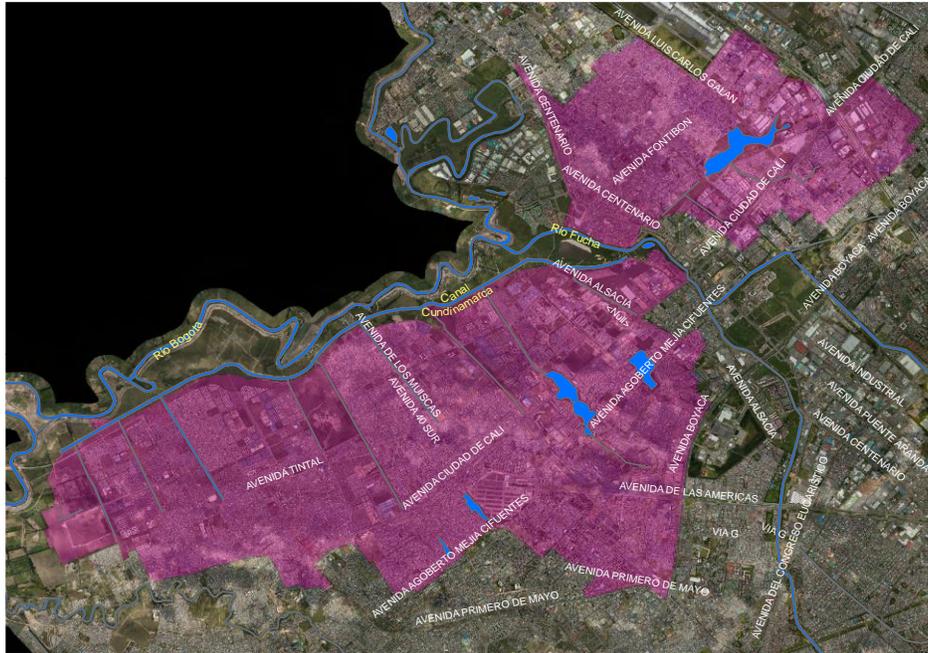


Figura 35. Áreas de Drenaje Aferentes al Canal Cundinamarca

FUENTE: EAAB, 2019

El canal cuenta con una profundidad máxima de 5,41 m, de los cuales 2,19 m se encuentran con revestimiento en concreto y el resto del talud en cobertura de pasto kikuyo (SDA, 2018) (Figura 36).

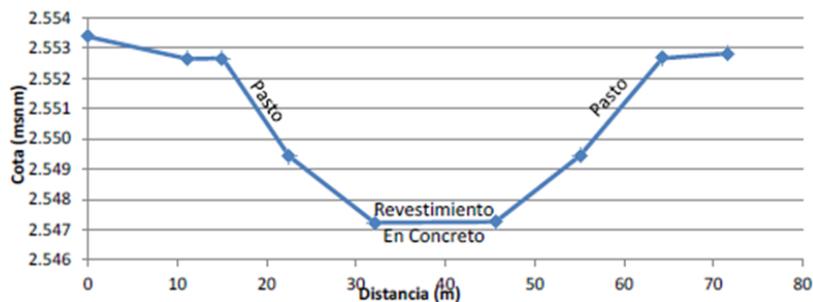


Figura 36 Sección Transversal del Canal Cundinamarca

FUENTE: SDA, 2018

Para el canal, mediante la Resolución 0369 de 2019, emitida por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR y Secretaría Distrital de Ambiente – SDA, se delimitan los elementos del Corredor Ecológico de Ronda – CER (Cauce, Ronda Hidráulica – RH y Zona de Manejo y Preservación Ambiental – ZMPA) del Canal Cundinamarca, de acuerdo con lo dispuesto en los conceptos técnicos No. 07011 de 08 de junio de 2018, No. 10118 de 08 de agosto de 2018 y No. 02423 de 4 de marzo de 2019, elaborados por la Subdirección de Ecosistemas y Ruralidad de la Secretaría Distrital de Ambiente, los cuales establecen la delimitación de los elementos del corredor ecológico de ronda CER y dispone la incorporación a la Estructura Ecológica Principal – EEP del Distrito Capital.

Actualmente el canal está siendo intervenido por la EAAB en el marco del programa TAR – Traslado anticipado de Redes, siendo el contratista (Chafik Ingeniería, 2021), quien ejecuta las obras. La intervención del canal se encuentra específicamente en el punto de entrega de aguas del canal Tintal II al canal Cundinamarca.



Fotografía 4. Canal Cundinamarca, en el sector que entrega aguas al Río Bogotá, mediante la estación de bombeo



Fotografía 5. Punto de descarga de aguas del Canal Tintal II al Canal Cundinamarca

FUENTE: CHAFIK INGENIERÍA, 2021

5.1.7 Calidad del Agua

La empresa Metro Línea 1 en el marco de la Actualización del Estudio de Impacto Ambiental y Social de la PLMB, realizó la caracterización de la microcuenca del Canal Cundinamarca en el mes de noviembre del año 2021, la información para la realización de este ítem fue tomada de este documento.

Se realizó el análisis de los siguientes parámetros físicos: Temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, turbiedad, hidrocarburos, pH y caudales y para los parámetros químicos: Oxígeno disuelto, Demanda química del oxígeno, demanda bioquímica del oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, Tensoactivos, aceites, grasas y metales y el índice de calidad de agua.

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

En la Tabla 20 se encuentran los resultados de los parámetros analizados, comparados de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1076 de 2015 expedido por el MADS “por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente.

Tabla 20. Resultados de los análisis de parámetros y comparación normativa

PARÁMETRO	Puntos de caracterización Canal Cundinamarca		Decreto 1076 de 2015					COMPARACIÓN NORMATIVA
			Consumo Humano y Domestico		Uso Agrícola	Uso Pecuario	Preservación de flora y fauna-agua cálida dulce	
	1	2	Art 2.2.3.3.9.3.	Art 2.2.3.3.9.4.	Art 2.2.3.3.9.5	Art 2.2.3.3.9.6	Art 2.2.3.3.9.10	
pH (Unidades)	7.44	7.59	5.0 - 9.0	6.5 - 8.5	4.5 - 9.0	N.E.	4.5 - 9.0	No supera
Caudal (L/s)	-	-	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Conductividad (µS/cm)	278.0	218.5	N.E.	N.E.	Medición	N.E.	N.E.	Se realiza medición según Art. 2.2.3.3.9.5
Temperatura (°C)	20.6	20.6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Oxígeno Disuelto (mg O ₂ /L)	6.50	6.53	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	4.0	N.A.
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L) (A)	93.98	77.90	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Bicarbonatos (mg CaCO ₃ /L) (A)	93.98	77.90	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Cianuro Total (mg CN/L) (A)	< 0.010	< 0.010	0.2	0.2	N.E.	N.E.	N.E.	No superan
Carbonatos (mg CaCO ₃ /L) (A)	< 4.00	< 4.00	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	28.80	21.60	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.

PARÁMETRO	Puntos de caracterización Canal Cundinamarca		Decreto 1076 de 2015					COMPARACIÓN NORMATIVA
			Consumo Humano y Domestico		Uso Agrícola	Uso Pecuario	Preservación de flora y fauna-agua cálida dulce	
	1	2	Art 2.2.3.3.9.3.	Art 2.2.3.3.9.4.	Art 2.2.3.3.9.5	Art 2.2.3.3.9.6	Art 2.2.3.3.9.10	
(mg O ₂ /L) (A*)								
Demanda Química de Oxígeno (mg O ₂ /L) (A)	76.67	78.33	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Detergentes (mg SAAM/L) (A)	< 0.30	< 0.30	0.5	0.5	N.E.	N.E.	N.A	No supera
Dureza Cálcica (mg CaCO ₃ /L) (A)	73.21	59.71	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Fenoles Totales (mg Fenol/L) (A)	< 0.100	< 0.100	0.002	0.002	N.E.	N.E.	N.A	Indeterminado
Fósforo Total (mg P/L) (A)	0.66	0.59	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Grasas y Aceites (mg GyA/L) (A)	< 2.00	< 2.00	Sin película visible	Sin película visible	N.E.	N.E.	N.A	Indeterminado
Hidrocarburos Totales (mg Hidrocarburos/L) (A)	< 2.0	< 2.0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Nitrógeno Amoniacal (mg N-NH ₃ /L) (A)	3.554	2.984	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg N/L) (A)	8.25	8.09	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Sólidos Disueltos Totales (mg SDT/L) (A)	183.000	130.000	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Sólidos Sedimentables (mL/L) (A)	1.2	0.5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Sólidos Suspendedos Totales (mg SST/L) (A)	129.000	284.000	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Turbiedad (NTU) (A)	130.000	34.000	N.E.	190**	N.E.	N.E.	N.E.	No superan
Cloruros (mg Cl/L) (A)	14.34	14.04	250	250	N.E.	N.E.	N.E.	No superan
Nitratos (mg N-NO ₃ /L) (A)	0.0241	<0.0113	10	10	N.E.	N.E.	N.E.	No superan
Ortofosfatos (mg P-PO ₄ /L) (A)	0.418	0.346	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Sulfatos (mg SO ₄ /L) (A)	18.63	17.84	400	400	N.E.	N.E.	N.E.	No superan
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	7840000	2430000	20000	1000	5000	N.E.	N.E.	Supera Lím. Máx. Art. 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.5
Coliformes Termotolerantes (antes llamados fecales)	21.8	3010	2000	NE	1000	NE	N.E.	Superan Lím. Máx. Art. 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.5 el punto 2

PARÁMETRO	Puntos de caracterización Canal Cundinamarca		Decreto 1076 de 2015					COMPARACIÓN NORMATIVA
			Consumo Humano y Domestico		Uso Agrícola	Uso Pecuario	Preservación de flora y fauna-agua cálida dulce	
	1	2	Art 2.2.3.3.9.3.	Art 2.2.3.3.9.4.	Art 2.2.3.3.9.5	Art 2.2.3.3.9.6	Art 2.2.3.3.9.10	
(NMP/100 mL) *								
Aluminio Total (mg Metal/L) (A)	1.089	1.323	N.E.	N.E.	5	5	N.E.	No superan
Arsénico Total (mg Metal/L) (A)	<0.0030	<0.0030	0.05	0.05	0.1	0.2	N.A	No superan
Bario Total (mg Metal/L) (A)	< 0.090	< 0.090	1	1	N.E.	N.E.	N.A	No superan
Cadmio Total (mg Metal/L) (A)	<0.0030	<0.0030	0.01	0.01	0.01	0.05	N.A	No superan
Calcio Disuelto (mg/L) (A)	11.7560	10.1750	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Calcio Total (mg Metal/L) (A)	17.696	16.299	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.A.
Cobre Total (mg Metal/L) (A)	0.0130	0.0160	1.0	1.0	0.2	0.5	N.A	No superan
Cromo Total (mg Metal/L) (A)	0.0060	0.0050	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E	N.A.
Magnesio Total (mg Metal/L) (A)	1.9190	1.4640	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E	N.A.
Mercurio Total (mg Metal/L) (A)	<0.0003	<0.0003	0.002	0.002	N.E.	0.01	N.A	No superan
Plata Total (mg Metal/L) (A)	< 0.003	0.009	0.05	0.05	N.E.	N.E.	N.A	No superan
Plomo Total (mg Metal/L) (A)	0.0110	0.0120	0.05	0.05	5.0	0.1	N.A	No superan
Zinc Total (mg Metal/L) (A)	<0.0900	<0.0900	15.0	15.0	2.0	25	N.A	No superan

FUENTE: METRO LÍNEA 1,2021

Como se muestra en los resultados la calidad el agua del canal supera los límites especialmente en coliformes fecales y totales y presenta un alto contenido de solidos totales indicando un agua eutrofizada, se evidencia la presencia de algunos metales sin embargo no superar los límites establecidos por la normativa para calidad de agua, adicional con la determinación de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos se realizó la valoración del Índice de Calidad del Agua.

Para la determinación del Índice de calidad del (ICA,) se otorga un valor entre 0 y 1 que señala el grado de calidad de un cuerpo de agua, independiente de su uso. Este número es una agregación de las

condiciones físicas, químicas y en algunos casos microbiológicas del cuerpo de agua, el cual da indicios de los problemas de contaminación (IDEAM, 2021).

El ICA clasifica la calidad del agua de forma descriptiva en las categorías señaladas en la Tabla 21 y el color al que se asocia a cada categoría.

Tabla 21. Calificación del Índice de Calidad del Agua - ICA

Valores	Categoría	Colores – Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy Mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90.	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

Fuente: (IDEAM, 2021)

En la siguiente sección se presentan los valores ICA, calculados a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco (5) variables que determinan, en gran parte, la calidad de las aguas superficiales., correspondientes al pH, conductividad, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales y DQO.

La fórmula de cálculo del indicador es:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right)$$

Dónde:

ICA_{njt} Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en n variables.

W_i Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

I_{ikjt} Es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j, registrado durante la medición realizada en el trimestre k, del período de tiempo t; n es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; no es igual a 5.

En la Tabla 22 se presentan los resultados obtenidos para el canal.

Tabla 22. Resultados - Índice de Calidad del Agua

Cuerpo de agua	ICA
Canal Cundinamarca Punto 1	0,575 *
Canal Cundinamarca Punto 2	0,534

Fuente: METRO LÍNEA 1, 2021

Con lo anterior se evidencia que el Canal Cundinamarca presenta una valoración de “regular” derivado de los valores representativos de DQO y la conductividad.

5.1.8 Usos del Agua

El proyecto de construcción de la subestación y su línea de transmisión a 115 kV en enmarcan en un entorno urbano de la ciudad de Bogotá, la cual cuenta con cobertura residencial del servicio de acueducto superior al 99%, suministrado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá-EAAB que, a su vez, se abastece de tres (3) sistemas: Sistema Chingaza, Sistema Sumapaz, cuenca alta del río Tunjuelo y Sistema Tibitóc - Agregado Norte, localizados en áreas distantes al área de influencia del proyecto. Por lo tanto, es preciso señalar que, no se identifican captaciones o usos asociados a la fuente hídrica del área de influencia.

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 1 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 37).

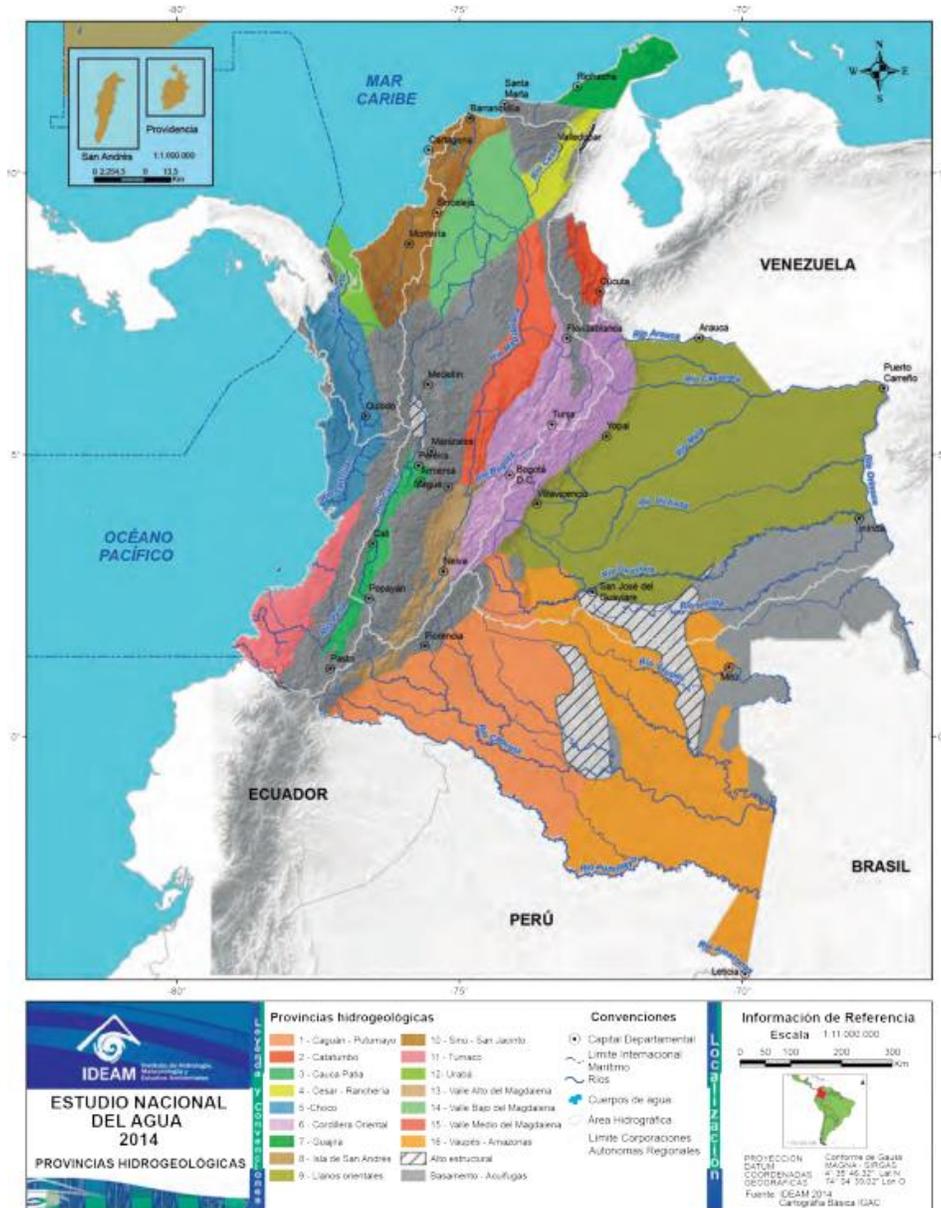


Figura 37 Provincias hidrogeológicas de Colombia

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. En la Tabla 23 se presenta las características regionales.

Tabla 23. 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	<p>B:>1000m</p> <p>K:4,4 a 750 m/d</p> <p>T:4 a 480m²/d</p> <p>S:2.4x10⁻⁵ a 2.2x10⁻³</p> <p>Ss:0.04 a 1.94 l/s/m</p>

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 Tilatá, 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 Barzalozza, 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 38).

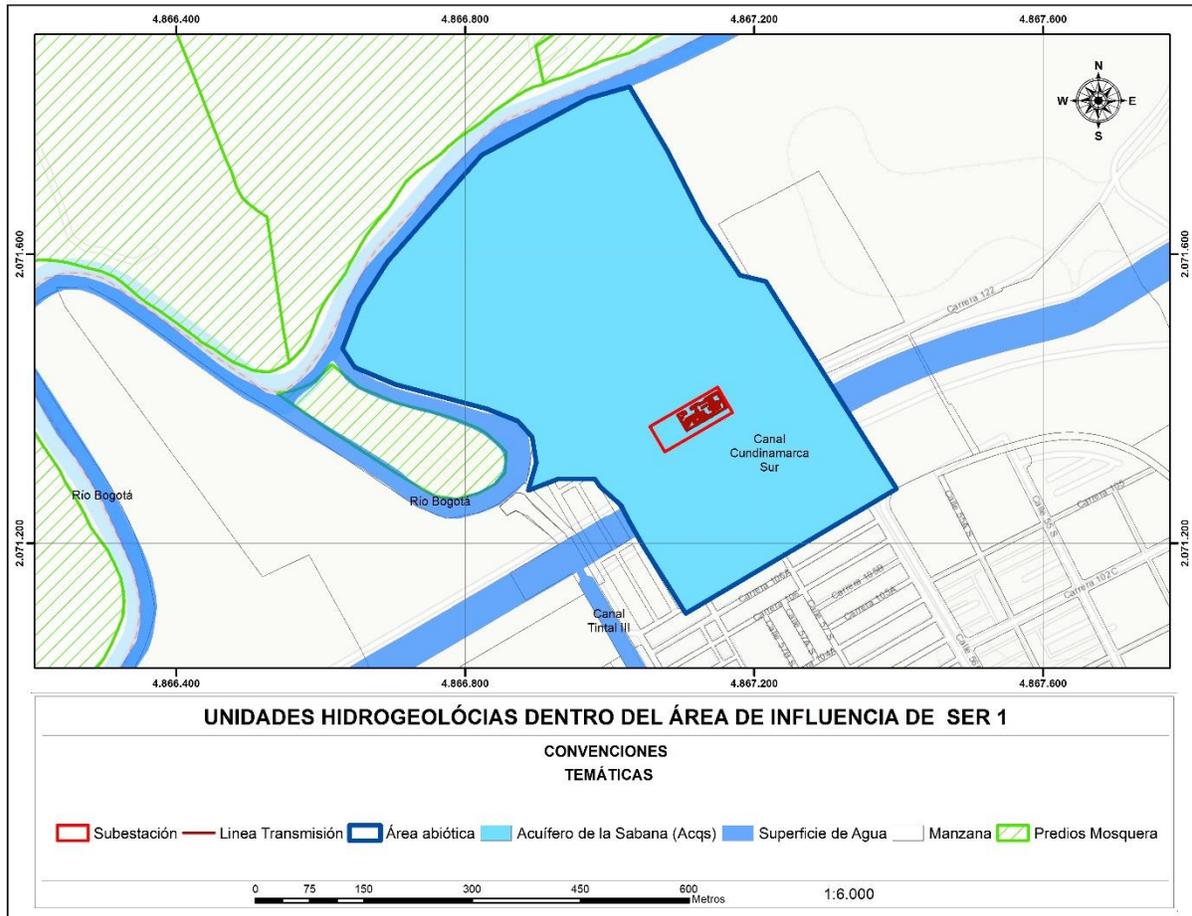


Figura 38 Unidades hidrogeológicas dentro del área de influencia

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.9.3 Inventarios de puntos de agua subterránea

El inventario hidrogeológico es un método de recopilación y análisis de los datos relacionados con la captación y/o afloramientos del agua subterránea. Los puntos de agua subterránea se definen como un lugar o una construcción antrópica que permita el acceso directo o indirecto a un acuífero. Estos pueden incluir perforaciones existentes, como pozos, aljibes y piezómetros, ya sean o no explotados, abandonados o colapsados; también se incluyen los manantiales o surgencias, que deben considerarse como descargas naturales de los acuíferos.

El inventario permite evaluar la disponibilidad, calidad y uso del recurso hídrico subterráneo y tener una visión global de las características, comportamiento y parámetros hidráulicos de las diferentes unidades geológicas potencialmente acuíferas.

Durante los recorridos realizados y las entrevistas efectuadas con la comunidad del área de influencia, fue posible determinar que en área urbanizada no se presentan puntos de agua subterránea,

información que fue corroborada en la caracterización social, en donde se presenta una cobertura del 100% de la red de acueducto y alcantarillado.

En el predio del Patio Taller se caracterizó un punto de agua subterránea en el marco de la Actualización del Estudio de Impacto Ambiental y Social de la PLMB, donde se busca determinar las condiciones de la calidad fisicoquímica del recurso, sin embargo es preciso aclarar que no se prevén impactos al componente hidrogeológico por la naturaleza de las actividades constructivas del proyecto. La caracterización del agua subterránea se presenta a continuación:

► Metodología

Basado en el “Protocolo de Monitoreo de Agua Subterráneas para Estudio Especiales Actualización EIAS”. Los métodos para los análisis de aguas subterránea realizados en el punto, se detallan en la Tabla 25. Se realizó la toma y análisis de laboratorio de las muestras en el área de estudio. Para la purga se retiró tres cuartas (3/4) partes del volumen almacenado en cada uno de los piezómetros y aljibes, se procedió al análisis de los parámetros in situ. Se usaron equipos con operaciones metrológicas de acuerdo con el plan de calibración y mantenimiento. Las características más relevantes de los equipos se describen a continuación la Tabla 24.

Tabla 24. Especificaciones de los Equipos

Equipo	Descripción	Marca	Número de serie
Multiparámetro	Sonda de conductividad	HACH	202302589109
	Sonda de Oxígeno	HACH	202412599939
	Sonda de temperatura y pH	HACH	202532569445 y 202532569445
Multiparámetro	Sonda de conductividad	HACH	202272569287
	Sonda de temperatura del pH	HACH	18772583205

FUENTE: SGS COLOMBIA S.A.S., 2021

Tabla 25. Metodología de análisis

Parámetro	Técnica
Conductividad Eléctrica In Situ Medido MA	SM 2510 B
Oxígeno Disuelto In Situ Medido MA	SM 4500-OG / ASTM D-888-12
pH In Situ Medido MA	SM 4500 H+B
Temperatura In Situ Medido MA	SM 2550 B
Aceites y Grasas	SM 5520 C
Bicarbonatos	SM 2320 B
Carbonatos	SM 2320 B Cálculo
DBO5	SM 5210 B-C / ASTM 888 Mét C
DQO	SM 5220 D DQO
Sólidos Totales Disueltos	SM 2540 C
Sólidos Totales en Suspensión	SM 2540 D 103 – 105 °C
Cloruros	SM 4110 B Modificado
Fosfatos	SM 4110 B Modificado
Nitratos	SM 4110 B Modificado
Sulfatos	SM 4110 B Modificado
Calcio Total	EPA 200.7
Hierro Total	EPA 200.7
Magnesio Total	EPA 200.7 Rev 4.4
Manganeso Total	EPA 200.7 Rev 4.4
Potasio Total	EPA 200.7 Rev 4.4
Sodio Total	EPA 200.7 Rev 4.4
Coliformes Fecales por NMP	SM 9221 E
Coliformes Totales por NMP	SM 9221 B Modificado
Escherichia coli	SM 9221 F Modificado
Hidrocarburos Totales	SM 5520 C,F

FUENTE: SGS COLOMBIA S.A.S., 2021.

► Localización

La localización fue realizada a partir de información secundaria, imágenes satelitales y mapas de la ciudad a partir de las cuales se localizó el punto subterráneo cercano a la Subestación 1. La ubicación se presenta en la Tabla 26.

Tabla 26. Punto de monitoreo

ESTACIÓN	NOMBRE O UBICACIÓN	COORDENADAS ORIGEN NACIONAL	
		ESTE	NORTE
SUB1	PZ1 Subterránea	4867105,4163	2071756,5584

FUENTE: SGS COLOMBIA S.A.S., 2021.

En la Fotografía 6 se muestra las características del sitio de muestreo.



Fotografía 6. Punto De Agua Sub1 Subterránea

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

Resultados de mediciones en el lugar

Los resultados de la medición in situ de pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto, efectuada en el agua subterránea se presentan en la Tabla 27, así como la comparación con Resolución No. 2115 del 22 de junio de 2007, que estipula los criterios de calidad para el uso de recurso hídrico y representados en la Figura 39.

Tabla 27. Parámetros (In Situ)

ESTACIÓN DE MONITOREO	ID	pH	CONDUCTIVIDAD	OXIGENO DISUELTO	Temperatura
		Unidades	µS/cm	mg O2/L	°C
SUB1	Parámetros in situ	7,3	782	0,230	19,9
Resolución No. 2115 del 22 de junio de 2007		6,5 - 9,0	1000	< 4	20 - 30

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

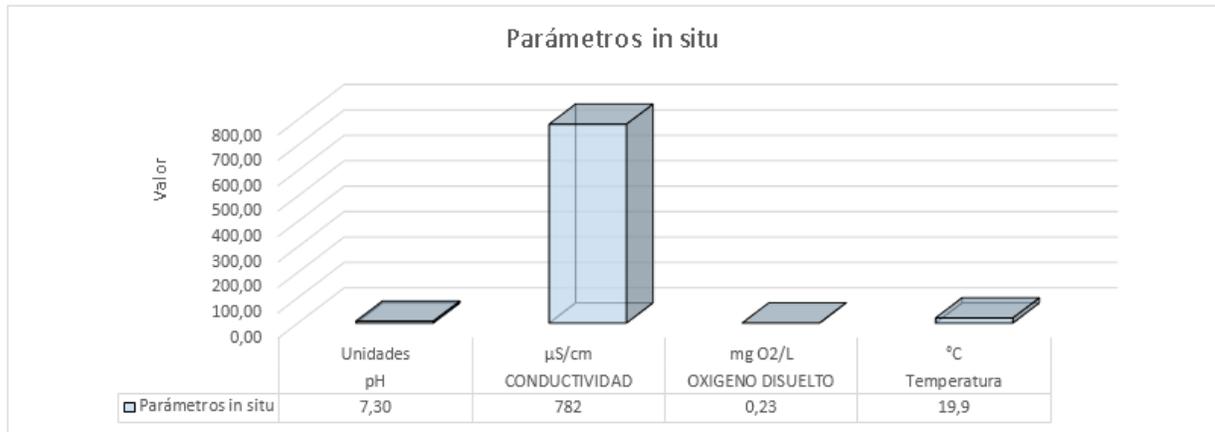


Figura 39. Variables tomadas en el mismo lugar SUB1

FUENTE: LAA, 2022

Según las características de pH del agua esta es neutra ya que está dentro del rango de la norma para agua de consumo humano. Este valor está acorde a las caracterizaciones de agua subterránea que está entre los rangos de 6 a 8,5. Respecto a la conductividad se relaciona con los iones catiónicos o sales disueltas, el resultado indica que se encuentra por debajo del valor de la normatividad.

Para oxígeno disuelto para aguas de consumo humano lo ideal es que el O₂ no sobrepase los 4 mg/L, se observa que el valor es menor, indicando que se encuentra dentro de la normatividad.

► Mediciones fisicoquímicas

Los resultados de las mediciones de los parámetros fisicoquímicos se muestran en la Tabla 28 y Figura 40

Tabla 28. Análisis FisicoQuímicos Sub1

ID	Aceites y Grasas (mg/L)	Acidez Total (mg/L)	Balace iónico (%)	HCO ₃ - (mg/L)	Carbonatos (mg/L)	Hidrocarburos (mg/L)
SUB1	<4,0	ND	3,68	488	<5,0	<4,000000
Resolución No. 2115 del 22 de Junio de 2007	---	---	---	---	---	---

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

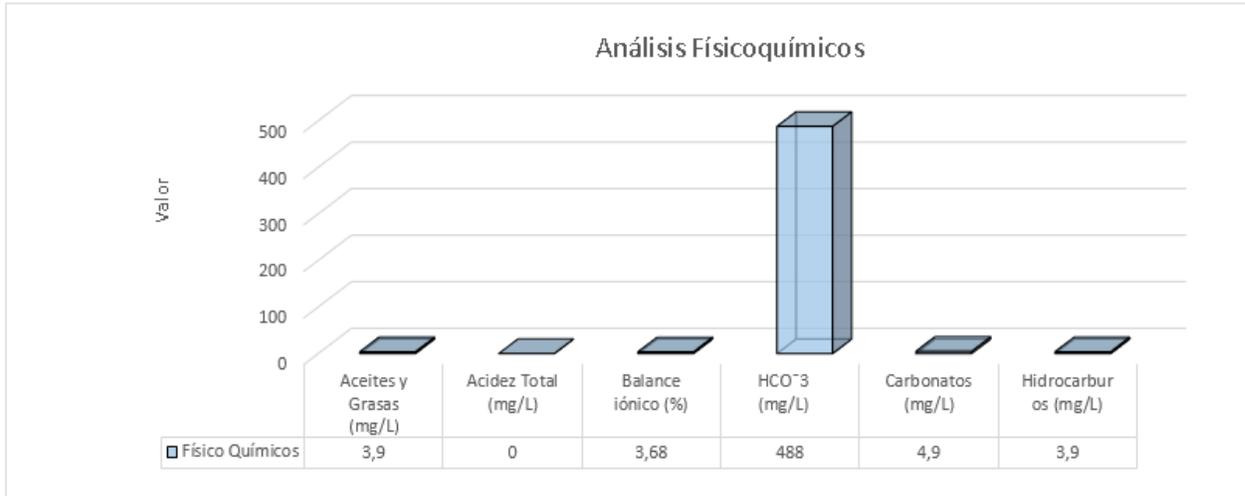


Figura 40. Variables Físico Químicas Sub1

FUENTE: LAA, 2022

► Análisis Físicoquímicos

Para el punto SUB1, con base en los valores obtenidos, no se presenta acidez total, ya que se encuentra relacionada con el pH 7,3 un pH neutro, debido a que en el agua subterránea no se encuentra con presencia de porcentajes altos de CO o CO₂ que reacciona con el agua para formar ácido carbónico aportando a la acidez, y también se obtiene un valor 488 mg/L de Ión bicarbonato HCO₃⁻ de tal manera se considera que en las aguas de pH inferior a 8.3, que son la mayoría de aguas subterráneas la especie dominante es el Ión bicarbonatado se presume que el agua subterránea es de tipo bicarbonatada, asociado con la composición de sedimento del acuífero debido a la disolución de calcita y con el intercambio de iones con minerales de arcilla.

El valor de grasas y aceites al igual que el resultado del valor de Hidrocarburos, están por debajo del límite de detección lo que indica que no hay filtraciones de tanques de almacenamiento subterráneo y también revela que no hay un inadecuado muestreo de los sistemas de extracción de los pozos para la validación del estudio lo cual concuerda con la actividad del lugar donde se realizó el muestreo.

El balance iónico obtenido 3,68% es un control de calidad para revisar la cantidad de cationes y aniones, adicional permite conocer si el sistema acuoso esta de forma homogénea este en su mayoría se dice que es un buen control de calidad si es menor al 10%.

► Sólidos totales y sólidos suspendidos

Se presenta los resultados para la muestra de agua subterránea SUB1 en Tabla 29 y en Figura 41. Los valores obtenidos relacionados con sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales de altas concentraciones en aguas subterráneas, determinan una calidad sin discriminar, la presencia de diferentes elementos: limo, arcillas, sedimentos de escorrentías, entre otros, presentes en el agua, que en su mayoría se dan por minerales, lo cual indica enriquecimiento de algunas sales, más no por presencia de material orgánico, se estima que puede variar entre 30 mg/L y 6000 mg/L de acuerdo a la zona geológica.

Tabla 29. Sólidos Suspendidos y Sólidos Totales

ID	SDT (mg/L)	SST (mg/L)
SUB1	490,0	10680
Resolución No. 2115 del 22 de Junio de 2007	---	---

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021



Figura 41. Sólidos disueltos y sólidos suspendidos totales

FUENTE: LAA, 2022

Los sólidos totales están relacionados con la demanda bioquímica de oxígeno, en la Tabla 30 y Figura 42, se presentan los datos obtenidos en el laboratorio.

Tabla 30. Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno

ID	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)
SUB1	12,8	843,9
Resolución No. 2115 del 22 de junio de 2007	---	---

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

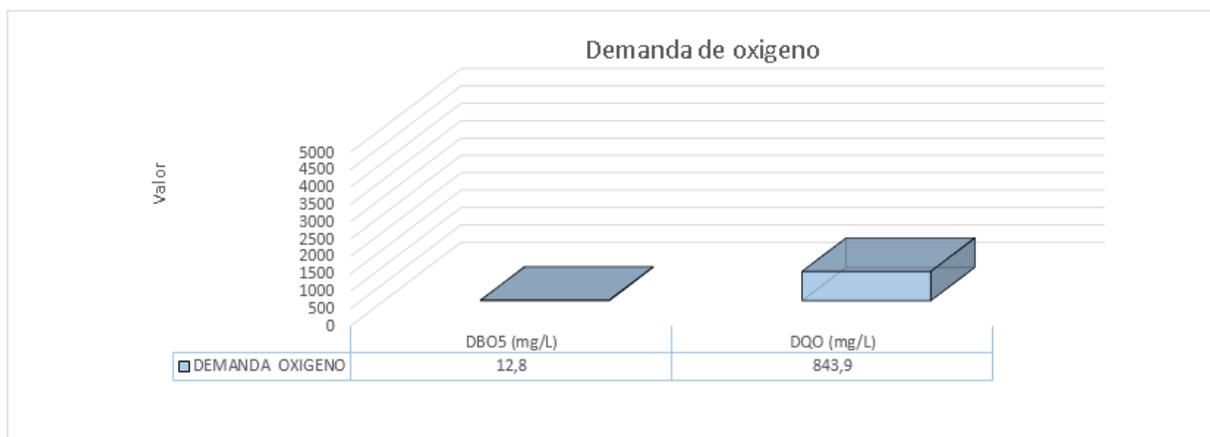


Figura 42. Demanda Bioquímica Y Química De Oxígeno

FUENTE: LAA, 2022

Se observa que para DBO₅ se tiene un resultado de 12,8 mg/l y DQO 843,9 mg/L. En cuanto a demanda química expresa la capacidad de eliminar sustancias orgánicas por procesos químicos lo cual está relacionado con los microorganismos. Para la demanda química se relaciona en el gráfico mayor comparado con el bioquímico lo que otorga la posibilidad que tiene este tipo de agua de actuar como oxidantes frente a minerales.

Para el análisis de las características químicas de aniones y cationes se tabularon los datos por aparte. A continuación, se presentan los datos obtenidos para los aniones en la Tabla 31 y Figura 43.

Tabla 31. Características Química Aniones

ID	Cl- (mg/L)	PO4 3- (mg/L)	NO3 - (mg/L)	SO4 2- (mg/L)
SUB1	23	0,17	< 0,30	3,42
Resolución No. 2115 del 22 de Junio de 2007	250	0,5	10	250

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

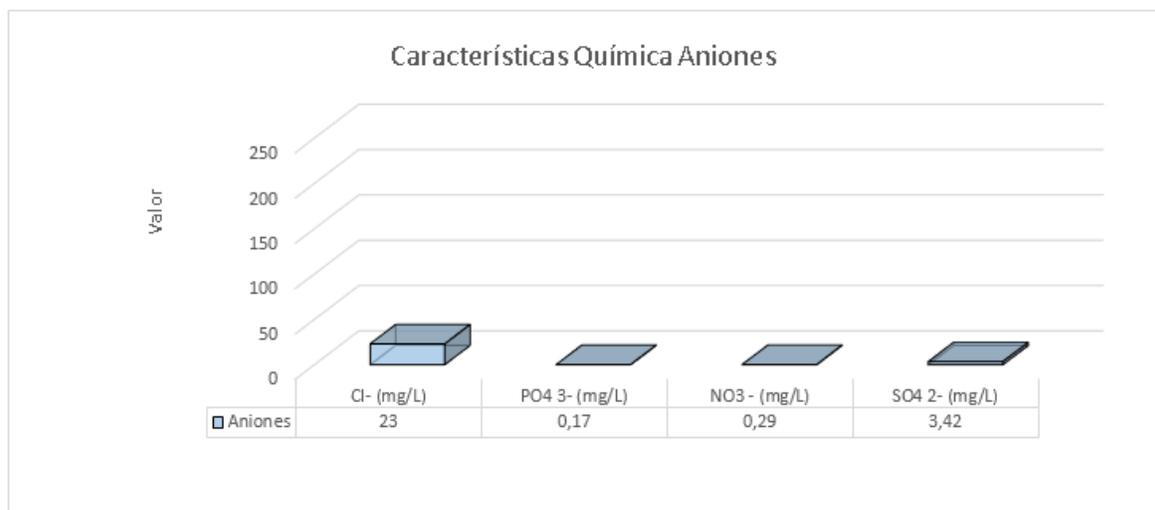


Figura 43. Características Químicas Aniones

FUENTE: LAA, 2022

Son especies de sales solubles en agua, denominadas también como nutrientes para diferentes formas de vida en agua, estos elementos tienen su origen en la disolución o meteorización de las rocas y suelos, y son transportados mediante corrientes, tanto superficiales como subterráneas, y filtrados en el suelo de forma natural o mediante el riego este tipo de agua, Los datos de los aniones obtenidos están por debajo del valor máximo aceptable de la Resolución No. 2115 del 22 de Junio de 2007.

Para la caracterización de la calidad del agua frente a los compuestos de cationes se presentan en la Tabla 32 y Figura 44.

Tabla 32. Caracterización Química De Cationes

ID	Ca ²⁺ (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)
SUB1	58,7	120	0,779	19,8	11,0	104
Resolución No. 2115 del 22 de Junio de 2007	60	0,3	0,1	36	---	---

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

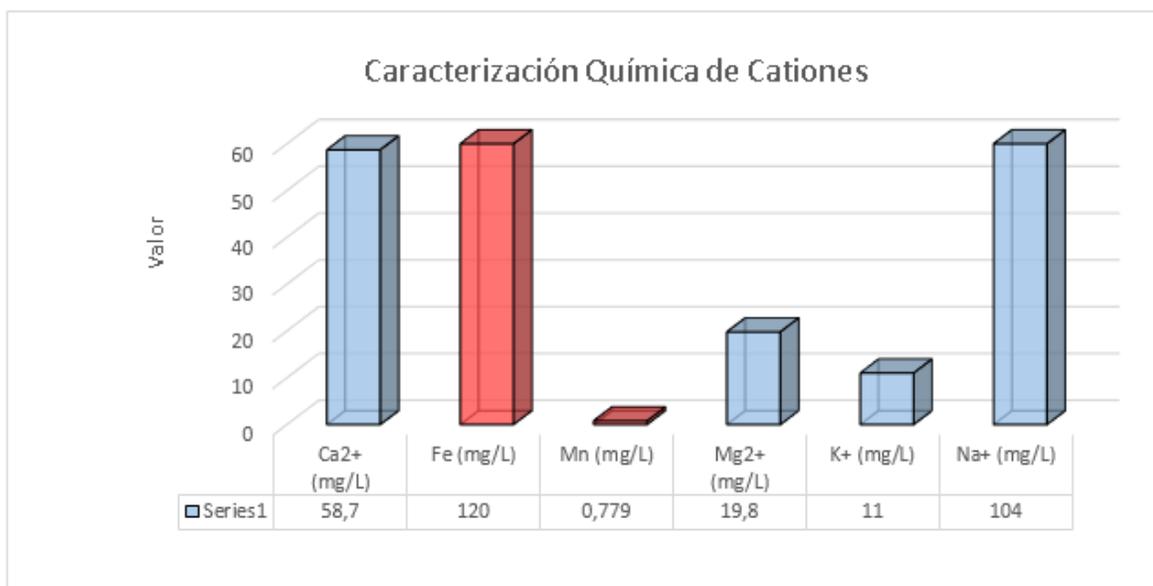


Figura 44. Caracterización Química De Cationes

FUENTE: LAA, 2022

Los valores obtenidos para cationes son presentados por el arrastre de esos minerales, los valores de sodio pueden ser debido a presencia en la zona geológica de silicatos. En general estos valores están alrededor de 10 mg/L a 250 mg/L. La concentración del metal de hierro (Fe) y el valor obtenido de Manganeseo para SUB1 se encuentra por encima del valor máximo aceptable con base en la **Resolución No. 2115 del 22 de Junio de 2007**, sin embargo en agua subterránea es normal encontrar que estos tengan valores altos debido a que se encuentra en equilibrio químico.

En la Tabla 33 y Figura 45 se presenta la comparación de los resultados en variación microbiológica para la muestra de agua subterránea SUB1 con los criterios de calidad admisibles para consumo humano establecidos por la Resolución 2115 de 2007.

Tabla 33. Variables Microbiológicas Determinado En La Sub 1

ID	Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	E. Coli NMP/100 mL)	Coliformes Totales (NMP/100 mL)
SUB1	1,30E+01	< 1,90	4,60E+05
Resolución No. 2115 del 22 de junio de 2007	---	0	0

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

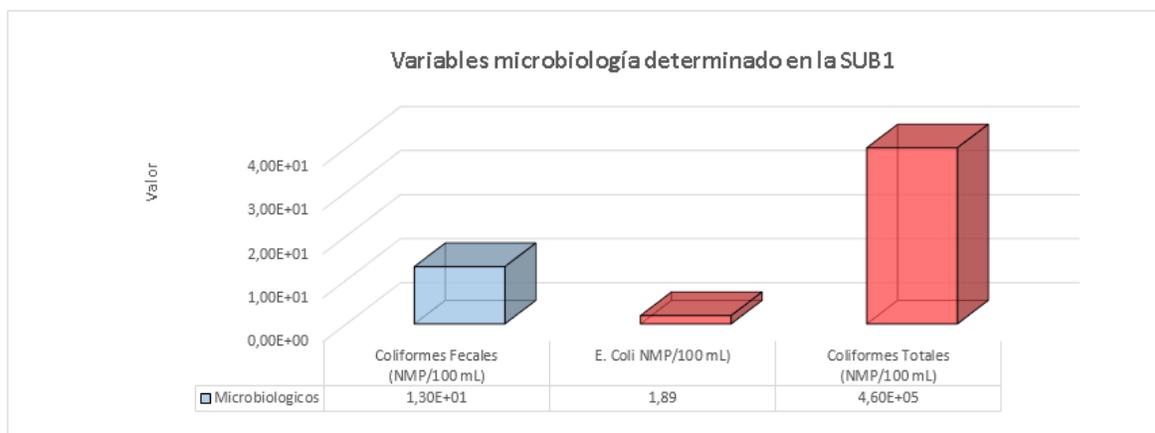


Figura 45. Variables Microbiológicas Determinado En La Sub1

FUENTE: LAA, 2022

El punto muestreado para el agua subterránea SUB1 en microorganismos proporciona valores que sobrepasan el parámetro de calidad establecido para *E. Coli*. y Coliformes totales en comparación con la resolución de calidad de agua. Para los Coliformes totales se considera que se debe potencialmente a procesos de interacción con aguas residuales generadas por conexiones erradas del alcantarillado de la ciudad o por influencia de aguas de escorrentía que se infiltran en el acuífero. La *Escherichia coli* está presente en cantidades muy elevadas en las heces humanas y animales, aguas residuales y agua sujeta a contaminación fecal reciente por tanto se considera el indicador más adecuado de contaminación fecal (Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

► Índice de Riesgo de la Calidad del Agua Subterránea

Se realiza el cálculo IRCA, para conocer el riesgo de la calidad de agua. Este es un indicador que determina la calidad del agua, por el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano, basado en análisis de características físicas, químicas y microbiológicas en muestras de agua. (Resolución 2115 de 2007).

Tabla 34. IRCA

Punto de muestreo	IRCA	Nivel de riesgo
SUB1	36,30%	Alto

FUENTE: LAA, 2022

El IRCA para el punto SUB1 con un valor del 36,30% ALTO confirma agua no apta para su consumo, característico de las corrientes cercanas al Río Bogotá lo que implica un nivel de riesgo alto, se

determina que el agua extraída de los puntos de muestreo no es apta para consumo humano directo (Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

5.1.9.4 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 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 Tabla 35.

Tabla 35. 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

En la Tabla 36 se presenta la clasificación de vulnerabilidad de acuerdo con el método GOD para el área de influencia.

Tabla 36. Parámetros para la 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	Semiconfinado	0,4	Arcillas moteadas	0,5	<5m	0,9	0,18	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).

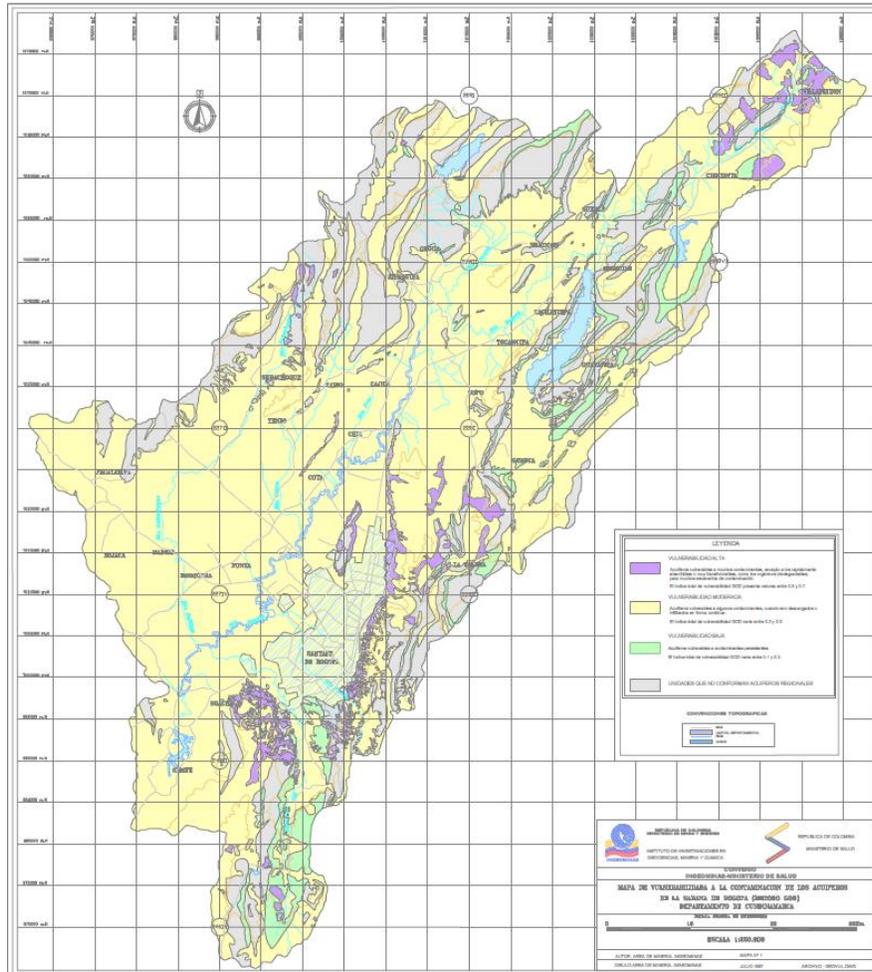


Figura 46 Vulnerabilidad de acuíferos en la sabana de Bogotá (Método GOD)

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 cataloga como moderada es muy antiguo y para una región muy extensa la definición final será la de vulnerabilidad baja (Figura 47).



Figura 47. Vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en SER 1 (Método GOD)

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.9.5 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 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 de fácil ingreso tanto para aguas y como para contaminantes que pueden afectar al ambiente y las poblaciones de la región.

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, En la Tabla 37 se presentarán los rangos establecidos para cada categoría.

Tabla 37. 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: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.9.5.1.1 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 38. 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: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

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.

5.1.9.5.1.2 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 39. 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	Limosa fina	Moderada	3
Franco arcillo-arenoso-Franco arcilloso	Franca fina	Baja	2
Arcilloso arenoso- arcilloso	Fina y muy fina	Muy baja	1

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

En el área de estudio la composición del suelo pertenece a la familia franca fina, por ende, esta zona se encuentra catalogada con una ponderación de 2, equivalente a un potencial de recarga bajo.

5.1.9.5.1.3 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 40. Ponderación del parámetro "Tipo 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

Tipo de Roca	Litología	Ponderación	Potencial de Recarga
	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, interestratificada con capas delgadas de arenisca ferruginosa.	3,5	
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: MATEUS, FAUSTINO, & JIMÉNEZ, 2009, ADAPTADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

De acuerdo con la litología, previamente descrita y definida en las secciones anteriores, el área de influencia se encuentra compuesta por arcillas limosas que equivalen a una ponderación de 1,5 representando un potencial de recarga muy bajo.

5.1.9.5.1.4 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 41. 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	Moderadamente a alta	3,5
	Bosque fragmentado		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

Cobertura %	Tipo de Cobertura	Potencial de recarga	Ponderación
	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: ADAPTADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

La cobertura en la zona de estudio se encuentra representada por dos categorías: pastos limpios y zonas urbanas. Sin embargo, las zonas urbanas ocupan un mayor porcentaje del área de interés (equivalente al 95%), es por lo que el área se clasificó con un potencial de recarga muy bajo con un valor de ponderación igual a 0.

5.1.9.5.1.5 *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 42. Ponderación del parámetro "Uso del suelo"

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: ADAPTADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

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, de recreación, 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:

$$ZR = (0,27 * 4) + (0,23 * 2) + (0,12 * 1,5) + (0,25 * 0) + (0,13 * 1)$$

$$ZR = 1,85$$

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 48.

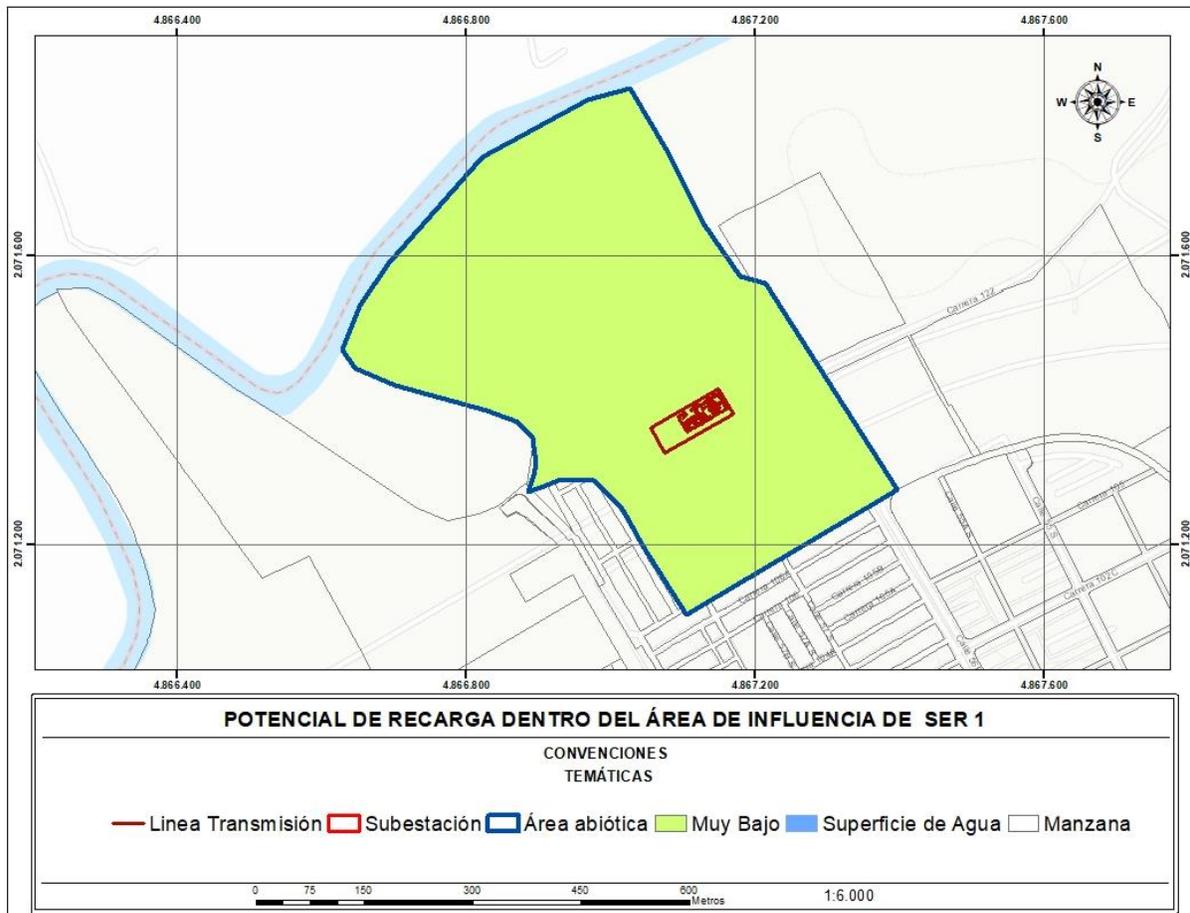


Figura 48. Potencial de recarga dentro del área de influencia

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S 2020

5.1.9.6 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. (Alcaldío Mayor de Bogotá D.C, s.f.)

El área de influencia del presente proyecto se caracteriza por tener una topografía plana y regular, salvo por la intervención antrópica representada por el canal Cundinamarca; adicionalmente los predios de construcción de la subestación se encuentran a aproximadamente 4 o 5 km 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 no existe una tendencia clara en el decrecimiento del terreno que sea óptimo para indicar el flujo del agua subterránea. Sin embargo, por medio de una revisión de información secundaria representada por diversos estudios hidrogeológicos en la cuenca se definió que el agua subterránea de la región (Localidad de Bosa) fluye en sentido este a oeste (Figura 49).

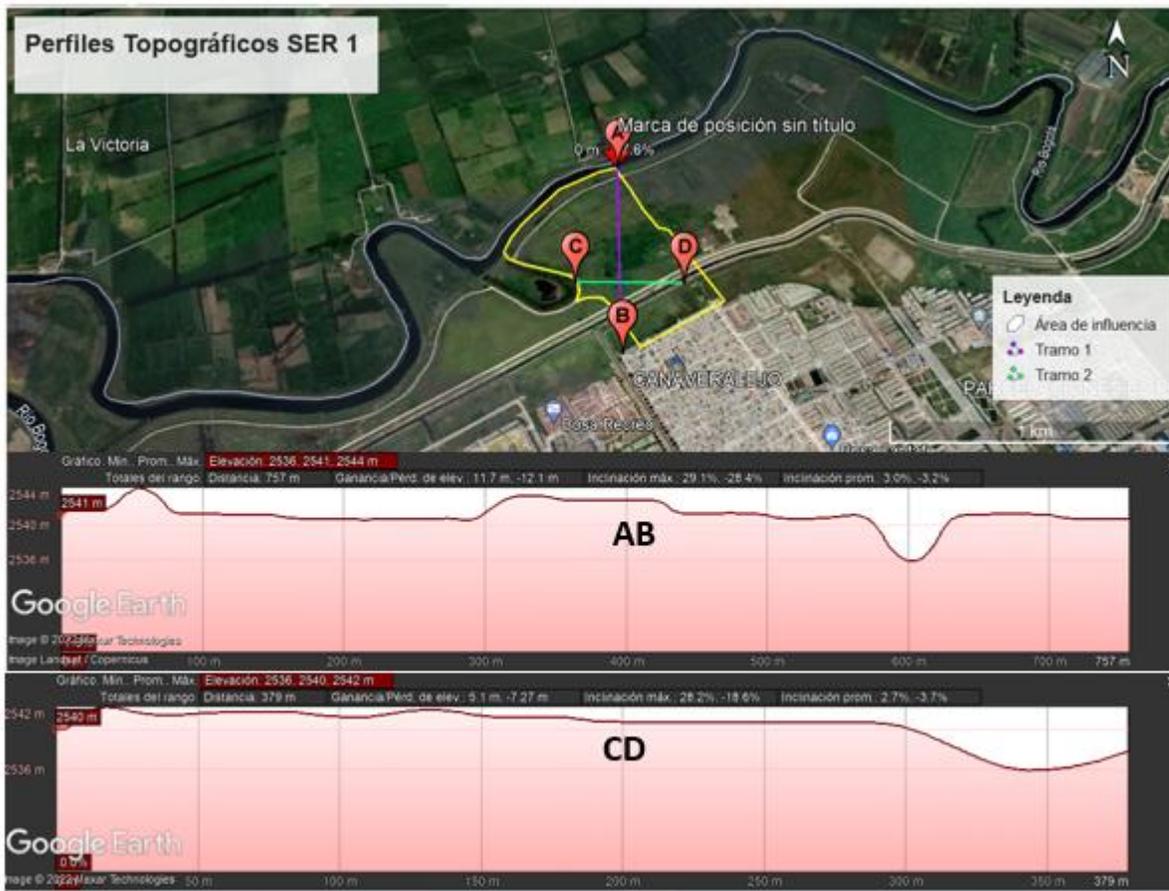


Figura 49. Perfiles topográfico del área de influencia

FUENTE: GOOGLE EARTH

5.1.9.7 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 acuíferas (CPA Ingeniería, 2020). En esta sección se usarán como guía los informes “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital de Bogotá” y la Actualización del Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Primera Línea del Metro de Bogotá, 2022” para determinar y analizar estas variables.

5.1.9.7.1 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. En la Figura 50 se presentan los resultados obtenidos.

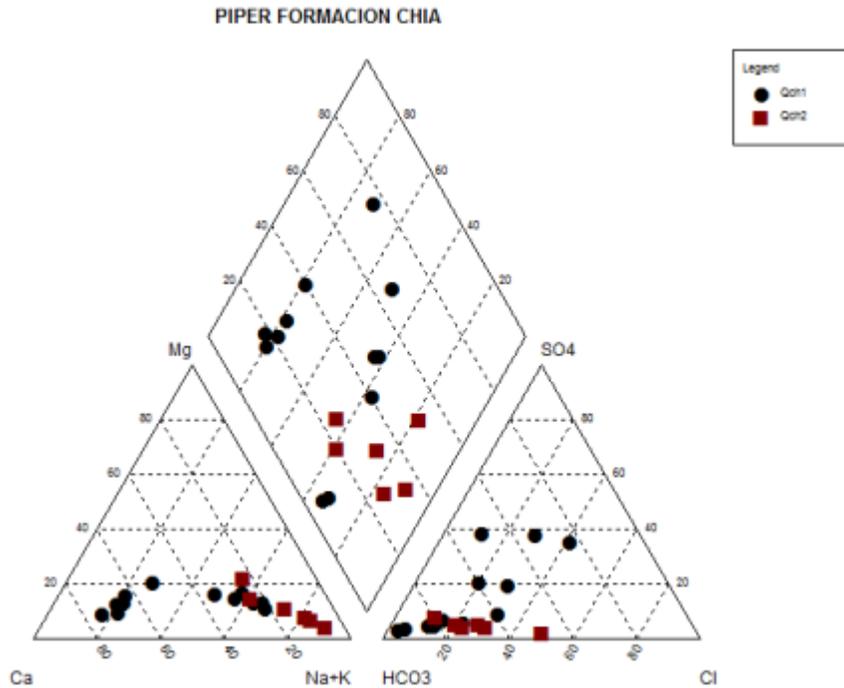


Figura 50. Diagrama de Piper de la Formación Chia

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

El agua subterránea encontrada en esta unidad se encuentra catalogada como bicarbonatada sódica. La presencia de sodio se debe principalmente a procesos de cambios de bases de las arcillas y su flujo es de carácter regional (Veloza Franco, Sistema de modelamiento hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá, 2013).

5.1.9.7.2 pH

De acuerdo con el estudio “Sistema hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá”, el pH de las aguas subterráneas en la ciudad varía entre 5,6 y 8,8. Sin embargo, la localidad de Bosa (Sección de interés) es representada por los valores más bajos de esta franja (Veloza Franco, Sistema de modelamiento hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá, 2013). En la Figura 51 se presenta una demostración gráfica de la variación del pH a lo largo de la ciudad de Bogotá.

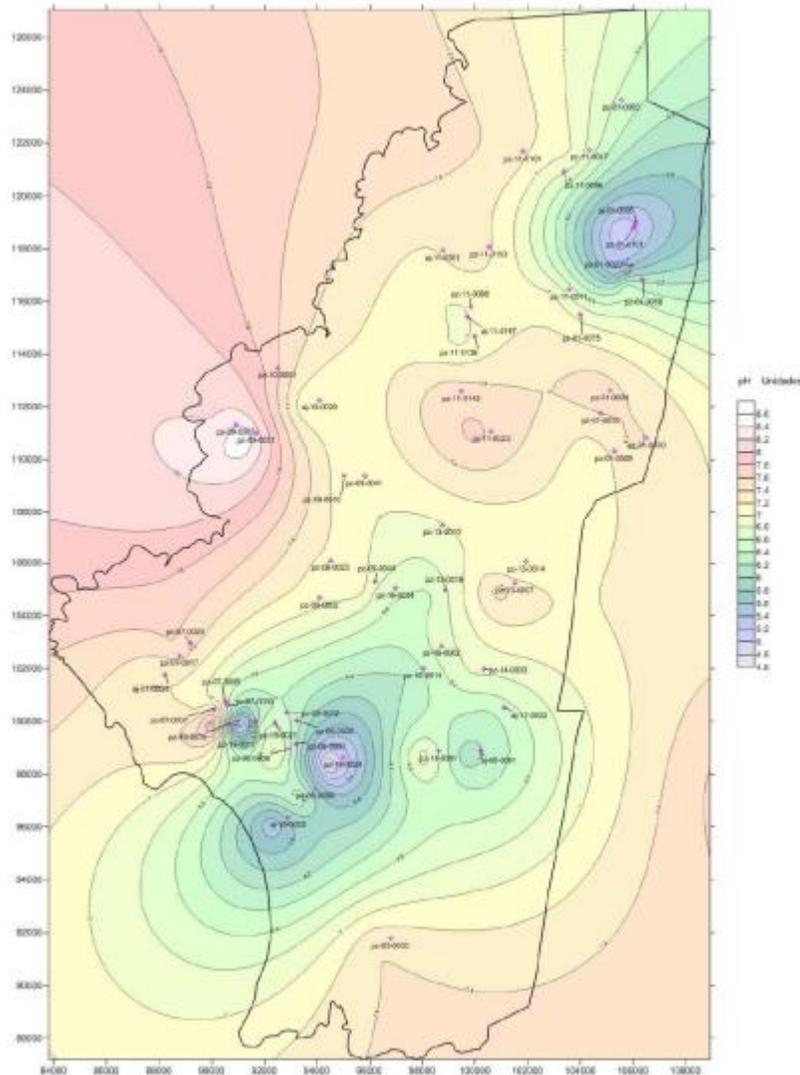


Figura 51. Distribución de pH en Bogotá D.C

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

5.1.9.7.3 Conductividad eléctrica

De acuerdo con el estudio “Sistema hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá”, elaborado por la Secretaria Distrital de Ambiente en el 2013, la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas en la ciudad varía entre 100 y 1900 $\mu\text{s}/\text{cm}$. El incremento de esta variable se va dando de forma gradual en sentido este a oeste siguiendo las líneas de flujo. Finalmente, es importante señalar que este incremento en los iones se debe al contacto del agua subterránea con rocas del cretácico y con depósitos de las

formaciones Chia y Sabana (Veloza Franco, Sistema de modelamiento hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá, 2013)

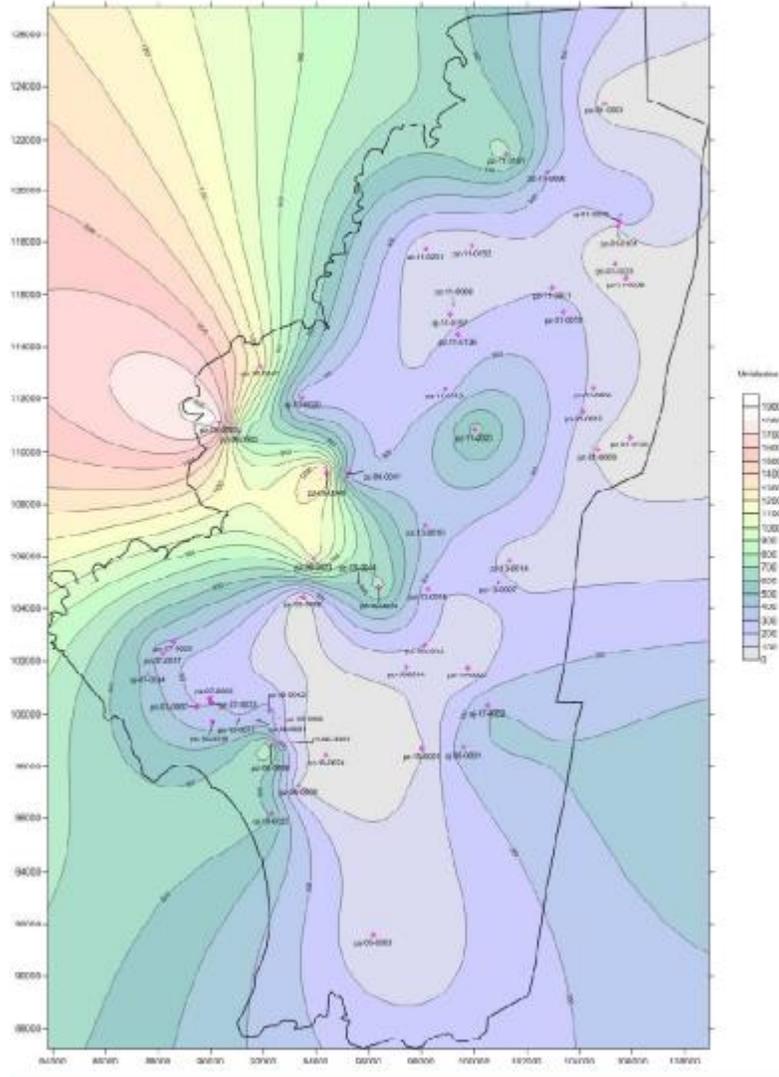


Figura 52. Distribución de conductividad eléctrica en Bogotá ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

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

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 Chía. Esta unidad se encuentra asociada con depósitos aluviales, con características litológicas representadas principalmente por arcillas de diferentes tonalidades. Por esto, la zona se encuentra catalogada con una alta estabilidad geotécnica debido a la gran plasticidad de estos sedimentos.
- En la zona se presentan múltiples sectores con una moderada 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 no se encontraron procesos morfodinámicos relacionados con los fenómenos de erosión de remoción por movimientos en masa. Estas características son favorables para la estabilidad geotécnica dentro del área de estudio ya que la relación entre fenómenos morfodinámicos y estabilidad geotécnica es inversamente proporcional.

La metodología para determinar la estabilidad geotécnica del área de interés consiste en asignar valores para 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 Tabla 43 se podrán observar el rango de valores y la clasificación de estabilidad.

Tabla 43. 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 2022

Después de haber asignado pesos, cada variable debe multiplicarse por un factor de ponderación (Entre 0 y 1) (Observar Tabla 44). 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 44. 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
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

Variable	Descripción	Factor de ponderación
Total		9

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

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 45. 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
		Moderadamente inclinada 7%-12%	0,34		0,34
		Fuertemente inclinada 12%-25%	0,45		0,45

FUENTE: ADAPTADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

- Litología

La unidad geológica en el área de estudio corresponde a la Formación de Depósitos de llanura de inundación representada por la Formación Chía, compuesta litológicamente por arcillas de diversas tonalidades y limos. Este material litológico presenta una gran plasticidad que genera alta estabilidad geotécnica de la zona ya que permite la deformación del material de la zona.

Tabla 46. Calificación asignada para componente litológico

Factor	Descripción	Categorías	Peso	Factor de ponderación	Resultado
Unidades litológicas	Tipo de material	Depósitos de llanura aluvial /Formación Chía	0,2	1	0,2

FUENTE: ADAPTADO POR 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 un lado 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 (por acciones antrópicas) puede generar degradación del suelos, seguido por procesos de meteorización, erosión y remoción de masa.

Tabla 47. 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
		Pastos Limpios	0,45		0,45

FUENTE: ADAPTADO POR 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 se muestra en la Tabla 48.

Tabla 48. Calificación asignada para componente geomorfológico

Factor	Descripción	Categorías	Peso	Factor de ponderación	Resultado
Geomorfología	Unidades asociadas a los agentes modeladores principales	Planos inundables	0,5	1	0,5

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. A continuación, se podrá observar la clasificación asignada para la única unidad hidrogeológica de la zona.

Tabla 49. Calificación asignada para componente hidrogeológico

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

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 50. 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

- 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. En la Tabla 51 se presenta la caracterización de esta variable en el área de interés.

Tabla 51. 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	Ganadería	0,5	1	0,5
		Asentamiento	0,3		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 52. 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

- 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 53. Calificación asignada para componente edafológico

Factor	Descripción	Categorías	Peso	Factor de ponderación	Resultado
Edafología	Clasificación de principales tipos de suelo con sus propiedades físicoquímicas	Zonas urbanas	0,5	1	0,5
		Planicie	0,3		0,3

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

Finalmente, en la Tabla 54 se presentará la zonificación geotécnica del área de estudio.

Tabla 54. 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
		Ligeramente plana 1-3%	0,12		0,12
		Ligeramente inclinada 3-7%	0,23		0,23
		Moderadamente inclinada 7%-12%	0,34		0,34
		Fuertemente inclinada 12%-25%	0,45		0,45
Unidades litológicas	Tipo de material	Depósitos de llanura aluvial /Formación Chía	0,2	1	0,2
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
		Pastos Limpios	0,45		0,45
Geomorfología	Unidades asociadas a los agentes modeladores principales	Planos inundables	0,5	1	0,5
Hidrogeología	Unidades hidrogeológicas (Acuíferos, acuitardos, acuicludos)	Acuitardo Chia	0,6	1	0,6
Hidrología	Capacidad de las cuencas para erosionar y originar procesos morfodinámicos	Río Fucha	0,5	1	0,5
Uso del suelo	Actividad realizada en el suelo del área de interés	Ganadería	0,5	1	0,5
		Asentamiento	0,3		0,3
Sismicidad	Grado de amenaza sísmica	Amenaza sísmica intermedia	0,5	1	0,5

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
		Planicie	0,3		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 ubicada sobre la sección Llanura B. Esta zona 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 (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2010) (Figura 53).

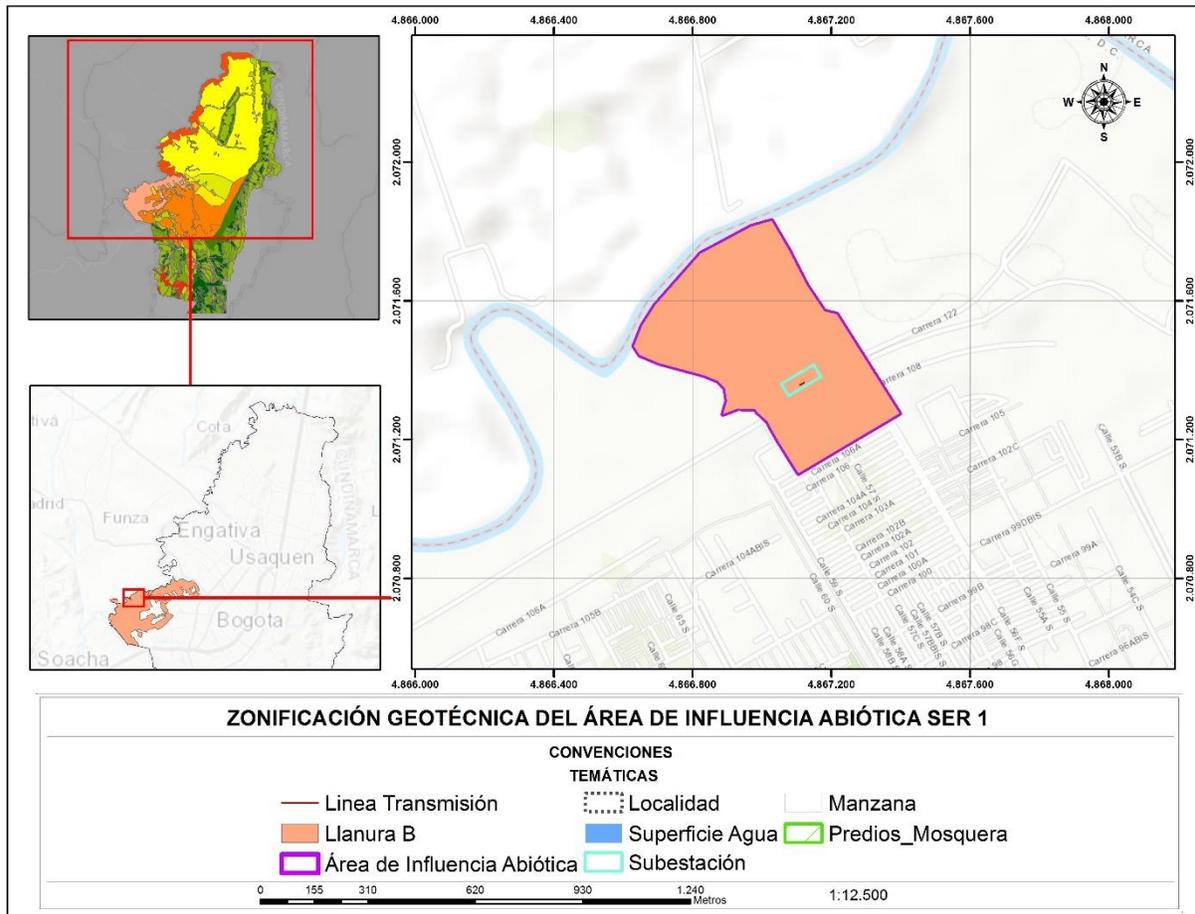


Figura 53. Mapa de microzonificación geotécnica en el área de interés

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) y en la conferencia “Geotecnia de la Primera Línea del Metro de Bogotá”. Estos resultados permitieron identificar los rasgos físicos, la mecánica del suelo y los parámetros de resistencia y diseño.

- Trabajo de campo

El plan exploratorio de esta subestación fue realizado empleando un equipo mecánico. De acuerdo con la conferencia de geotecnia para la Primera Línea del Metro de Bogotá la evaluación de resistencia del subsuelo se realizó por medio de un ensayo de Cono de Penetración Dinámico (DCPT) con una energía para superior al 72%.

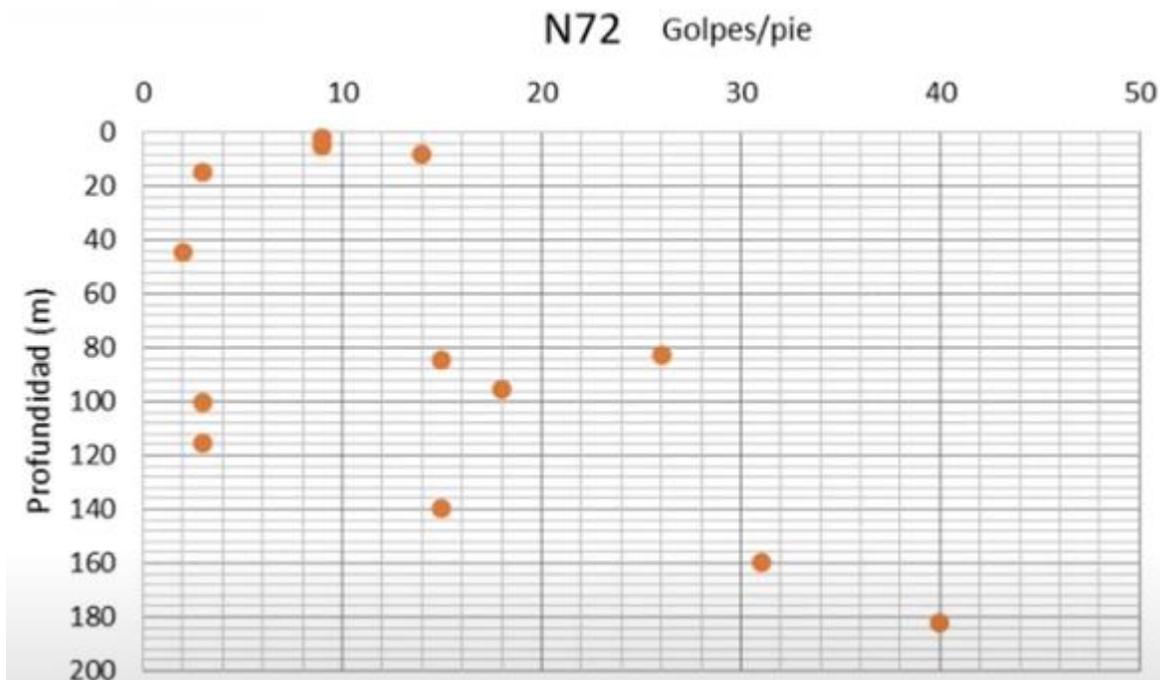


Figura 54. Resistencia de los estratos del subsuelo de acuerdo con el número de golpes

FUENTE: GEOTECNIA DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ. ELABORADO POR METRO DE BOGOTÁ, 2021

- Ensayos de laboratorio

Por medio de este tipo de pruebas se pueden determinar las características físicas y mecánicas del área de estudio. En Tabla 55 se presentará un resumen de los resultados obtenidos para este tipo de suelos.

Tabla 55. Resumen de laboratorios

Estrato N°	Estrato Nombre	Profundidad (m)		Wn %	Ip %	γ_t kN/m ³	N_{72} golpes/pie
		Inicial	Final				
1	Relleno Antrópico	0	1.8/5.0	30	43	16	9
2	Arcilla 1	2.0/3.0	3.5/11.5	30	47	14.76	9
3	Arena Limosa 1	3.6/6.0	8.0/15.0	21	NP	17.09	14
4	Arcilla 2	15.9/7.5	70.0/84.6	114	105	15.1	2
5	Arcillas con materia orgánica	12.0/13.3	16.1/16.5	163	128	14.55	3
6	Arena limosa 2	70/84.6	79.0/96.3	19	NP	17.86	26
7	Arcilla 3	85.0/97.1	91.0/108.8	49	80	15.68	7
8	Arena limosa 3	82.5/104.7	94.8/119.0	17	NP	18.47	18
9	Arcilla 4	105.5/108.8	120.2/126.6	51	53	15.13	3
10	Arcilla 5	121.7/130.1	151.6/155.5	26	26	18.22	3
11	Arena arcillosa	74.6/91.0	91.0/94.0	21	NP	15.27	15
12	Arena limosa 4	126.6/155.5	175.0/182.0	17	NP	18.05	31
13	Arcilla 6	175.5/176.5	189.5/188	24	13	18.99	40
14	Arena limosa 5	189.5/188	200	12	NP	19.05	-

FUENTE: GEOTECNIA DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ. ELABORADO POR METRO DE BOGOTÁ, 2021

- Perfil estratigráfico promedio (Patio taller-AvenidaChile)

De acuerdo con los resultados presentados en el estudio EIAS de Estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá (PLMB) el perfil de la zona, realizado mediante perforaciones se caracteriza por presentar niveles cohesivos. Esta sección fue dividida en tres partes: la parte superior

está compuesta por intercalaciones de arcilla y arena limosa, la parte media e inferior continúan con la misma composición, perfil cohesivo de consistencia blanda a medio firme, presenta humedades muy altas (140-160%), índices de plasticidad mayores a 100% y N60 de 5 golpes a 50 m de profundidad.

Tabla 56. Perfil estratigráfico promedio de la subestación

Estrato	Prof. (m)		Descripción
U1	0	18	(Qsa) Arcilla y arena limosa con lentes de limo, humedad media, plasticidad alta, consistencia medio firme.
U2	18	32	(Qsa) Arcillas y limos, humedad muy alta, plasticidad muy alta, consistencia blanda.
U3	32	75	(Qsa) Arcillas y limos, humedad alta, plasticidad muy alta consistencia medio firme.

FUENTE: EIAS DE ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ (PLMB). Elaborado por INGETEC, 2019

- Nivel freático

De acuerdo con el estudio “Documento de sectorización geológica y geotécnica – conexión subterránea a 115kv entre la subestación SER 1 y la subestación ENEL/Codensa” se pudo establecer que el nivel freático presente en el área de interés es de 3,1m (Metro Línea 1, 2022).

- 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. Para definir la resistencia no drenada se tomaron en cuenta 9 ensayos diferentes de mediciones directas o indirectas. A continuación, se ejemplificarán los ensayos tomados:

- Resistencia a la compresión Inconfinada
- Resultados de Veletas de campo corregidos
- Resultados de Veletas de laboratorio realizados con veletas de bolsillo
- Resultados correlacionados a partir del DMT, basado en la modificación de la correlación de Marchetti
- Resultados a partir de correlaciones de ensayo CPTu, basado en la correlación de Robertson, tomando un $N_{kt}=14$
- Resultados correlacionados a partir del DMT, según correlación de Frank, R
- Correlación a partir del esfuerzo de sobre-consolidación
- Correlaciones a partir del valor SPT e Índice de Plasticidad del Suelo a partir de correlación de Schertmann

También es importante tener en cuenta que por las características cohesivas de los materiales en la zona se priorizo la determinación de este parámetro con el objetivo de emplearlo en el diseño de las

cimentaciones. En la Tabla 57 se presentará el valor encontrado por medio de la mediana, el intercuartil y el percentil 33.

Tabla 57. Resistencia no drenada para el perfil estratigráfico promedio

Estrato	Prof. (m)		Su (kPa)		
	de	a	Mediana	Intercuartil	Percentil 33
U1	0	18	40.29	25.68	38.23
U2	18	32	12.11	6.21	10.26
U4	32	75	14.69	10.96	13.44

FUENTE: EIAS DE ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ (PLMB). ELABORADO POR INGETEC, 2019

5.1.11 Atmósfera

5.1.11.1 Clima

Para determinar las condiciones climatológicas de la zona de estudio, se tuvo en cuenta lo establecido en los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio De Impacto Ambiental – EIA Proyectos de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica TdR-17. 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.

► 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, la información y ubicación de las estaciones se muestra en la Tabla 58 y Figura 55.

Tabla 58. Localización Estaciones Meteorológicas

ID	TIPO	NOMBRE	CORRIENTE-REGISTRO (AÑOS)	CÓDIGO	MAGNA ORIGEN ÚNICO	
					ESTE	NORTE
1	CO	INEM KENNEDY	(1989-2011)	21206560	4973351.151	2172659.056
2	CO	COL. H DURÁN DUSAN	(2002-2016)	21206620	4969019.587	2169716.376
3	CP	UNIVERSIDAD NACIONAL	(2000-2017)	21205012	4978436.819	2170112.460

CO: Climática Ordinaria

CP: Climatológica Principal

FUENTE: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM, 2020

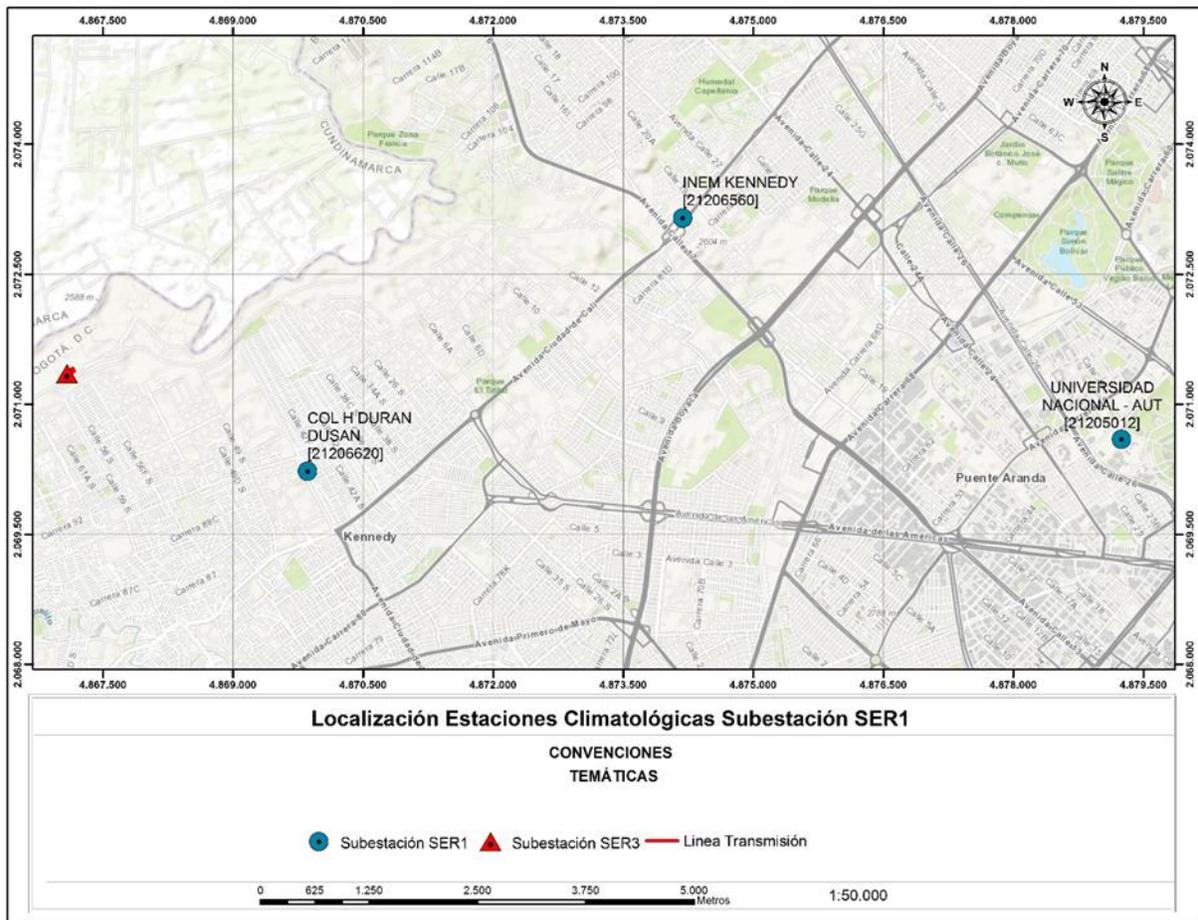


Figura 55. Localización Estaciones Climatológicas

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► 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.

Como se puede observar en las Figura 56, Figura 57 y Figura 58, el valor máximo registrado en las 3 estaciones corresponde al mes de diciembre con una temperatura de 21 °C, mientras que las temperaturas mínimas se registran en los meses de mayo, octubre y diciembre con temperaturas que van entre los 13,10 °C y 13, 60 °C. No se presentan grandes variaciones en las medidas de temperatura entre las tres estaciones.

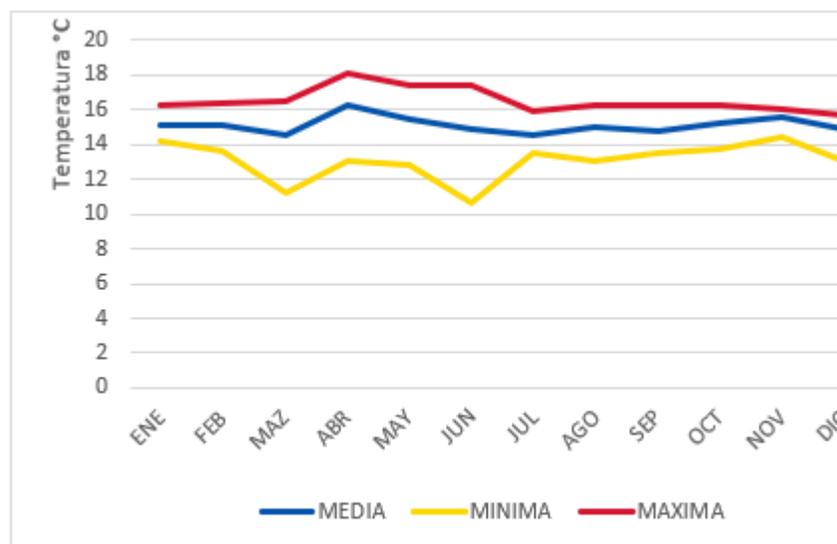


Figura 56. Temperatura Mensual Estación Col. H Durán Dussan

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

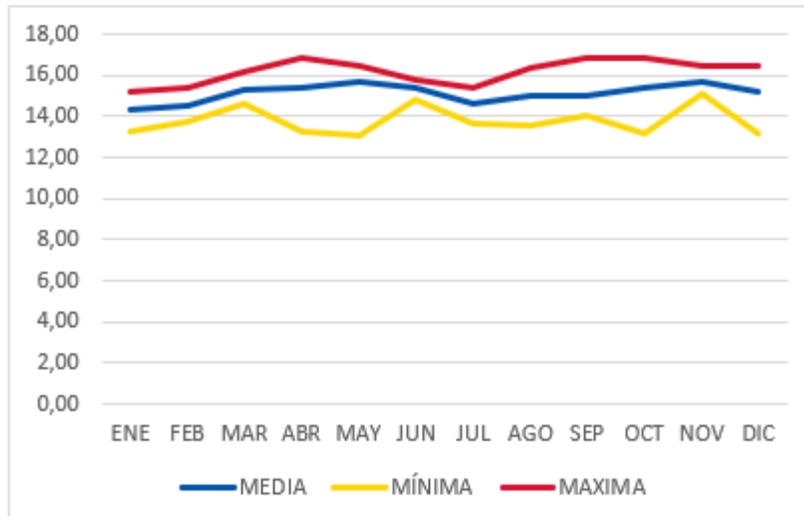


Figura 57. Temperatura Mensual Estación Universidad Nacional

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

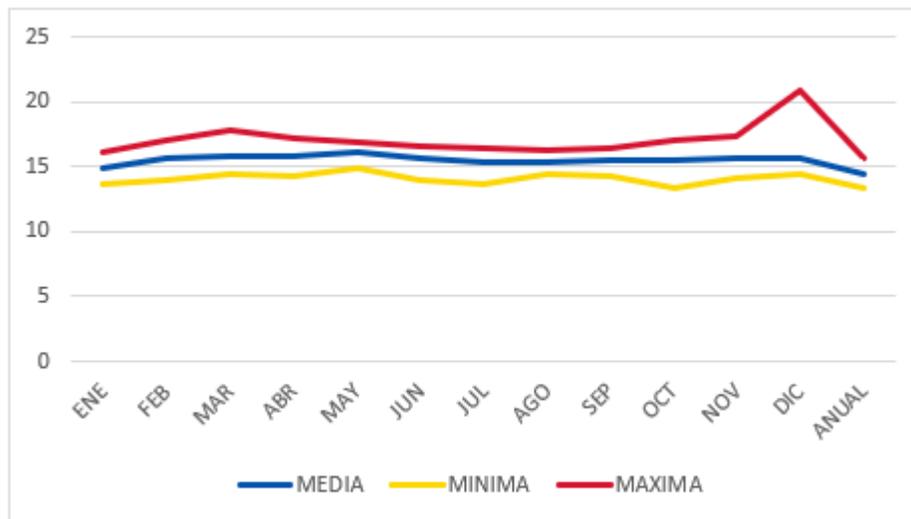


Figura 58. Temperatura Mensual Estación INEM Kennedy.

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► 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: enero, febrero, julio, agosto y septiembre; los meses de enero, febrero, julio, agosto y septiembre representan la época seca.

En la Figura 59 se muestra que los registros del mes de abril en la estación de la Universidad Nacional tuvieron una medición de 120 mm, así mismo, los menores registros, fueron de 13.4 mm en la estación Colegio H. Durán Dussan y 15.6 mm en la estación Inem Kennedy, en el mes de enero. También se puede observar que la estación del Colegio H. Durán Dussan, es la que presenta los mayores valores de precipitación con respecto a Inem Kennedy y Universidad Nacional. Finalmente, 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.

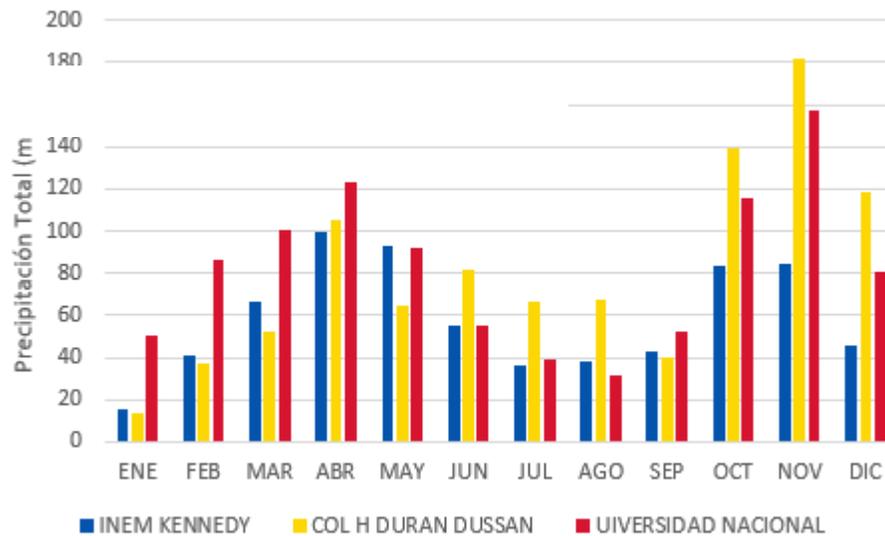


Figura 59. Promedios Mensuales de Precipitación

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Precipitación Número de Días

Como se puede observar en la figura 9, el número de días de la precipitación tiene un comportamiento constante durante los meses del año en las 3 estaciones, presentando un valor de 20 mm para la estación de Kennedy y un valor entre 5 y 10 mm para las estaciones de Col H Durán Dussan y Universidad Nacional.

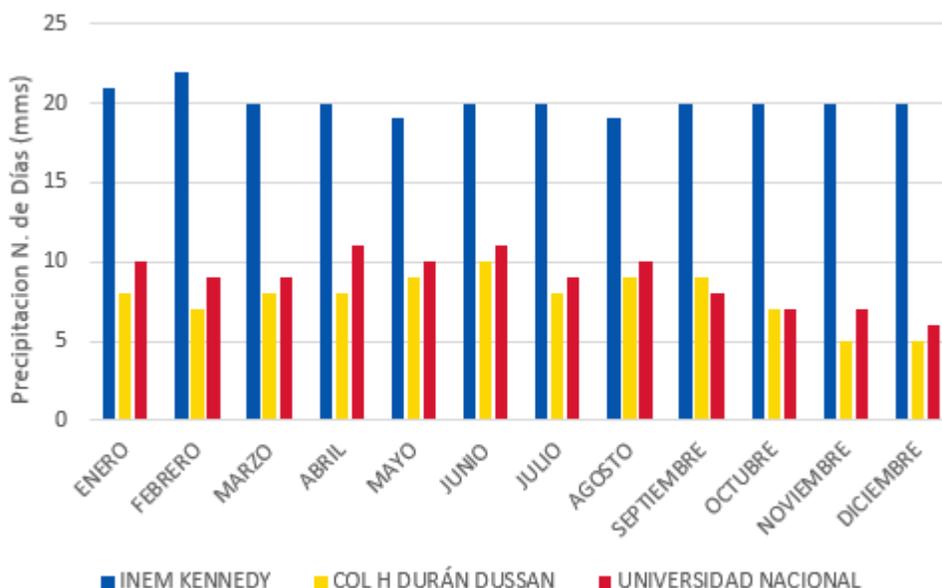


Figura 60. Precipitación Número de Días

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Precipitación Máxima en 24 horas

Para la precipitación máxima en 24 horas, en la ciudad de Bogotá, los meses que presentaron mayor registro, fueron Abril, Mayo y Junio siendo acorde, con el periodo de lluvias en el régimen bimodal.

Como se observa Tabla 59 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, con valores entre 37mm y 80mm. Igualmente, también se evidencian datos atípicos como en la estación Col H. Duran Dussan que presenta un dato de 76,5 en el mes de junio y la estación Universidad Nacional, se registra un valor de 76,5 para el mes de junio.

Tabla 59. Valores Máximos de Precipitación 24 Horas (mm)

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
INEM KENNEDY	14,1	28	37,5	49,5	80,6	32,6	37,4	34	60	47,5	31,5	37,4
Año Ocurrencia MAX	2008	2004	2019	2016	2008	2008	2008	2017	2002	1998	2009	2010
COL. H. DURÁN. DUSSAN	17,9	20,5	48,5	30	41,2	76,5	24,2	25	20,4	31	37	40,8
Año Ocurrencia MAX	2011	2012	2009	2014	2007	2007	2010	2015	2012	2007	2009	2011

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
UNIVERSIDAD NACIONAL	37,4	51,9	48,5	59,1	80,6	76,5	47,6	34,0	60,0	47,5	43,1	40,8
Año Ocurrencia MAX	2011	2012	2009	2014	2007	2007	2010	2015	2012	2007	2009	2011

FUENTE: DATOS IDEAM -ADAPTADO POR CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► Humedad Relativa

La humedad relativa se define como la cantidad de vapor contenida en el ambiente y la atmosfera de la tierra. La relación existente entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor de equilibrio del agua, a una temperatura dada. La humedad relativa, depende de la temperatura y la presión del lugar a analizar. Es decir que la misma cantidad de vapor de agua produce una mayor humedad relativa en el aire frío que en el aire caliente.

Como se puede observar en la Figura 61, los porcentajes de mayor humedad se presentan en los meses de marzo, abril, mayo y noviembre respectivamente para la estación de la Universidad Nacional, los cuales son meses donde se presentan lluvias altas. Así mismo, los meses de agosto y septiembre, son los que presentan los menores valores debido a que son meses relativamente secos y de bajas precipitaciones. En los demás meses, la humedad va variando, debido a que son meses de transición donde hay presencia de masas húmedas y secas.

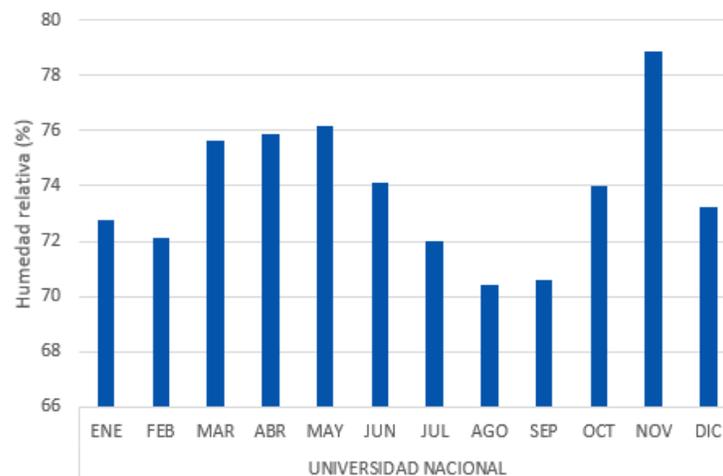


Figura 61. Promedios Mensuales de Humedad Relativa en Porcentaje

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► 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 61.

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 (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). En la Figura 63 se muestra el valor medio anual multi anual de la nubosidad que corresponde a un valor de 2,0. 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 62. Representación de la Nubosidad

FUENTE: WWW.TÍTULOSNÁUTICOS.NET/METEOROLOGÍA.ADAPTACIÓNPORGERMÁNBERNAL.2007

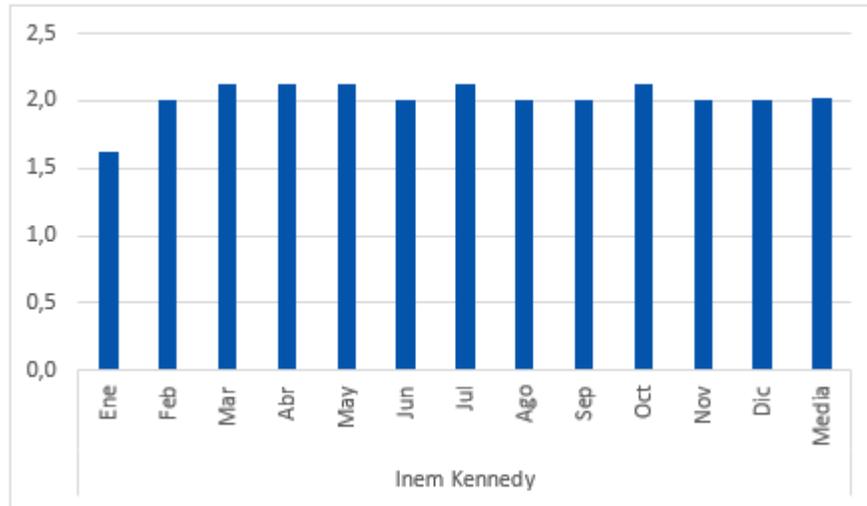


Figura 63. Distribución Mensual de Nubosidad

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► 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 13, los mayores valores se presentan en los meses de enero y febrero entre 5,4 y 5,3 horas de sol, mientras que, en los meses de marzo, abril y mayo, se presentan los valores más bajos del año con 3,7, 3,0 y 3,4 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 13 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.

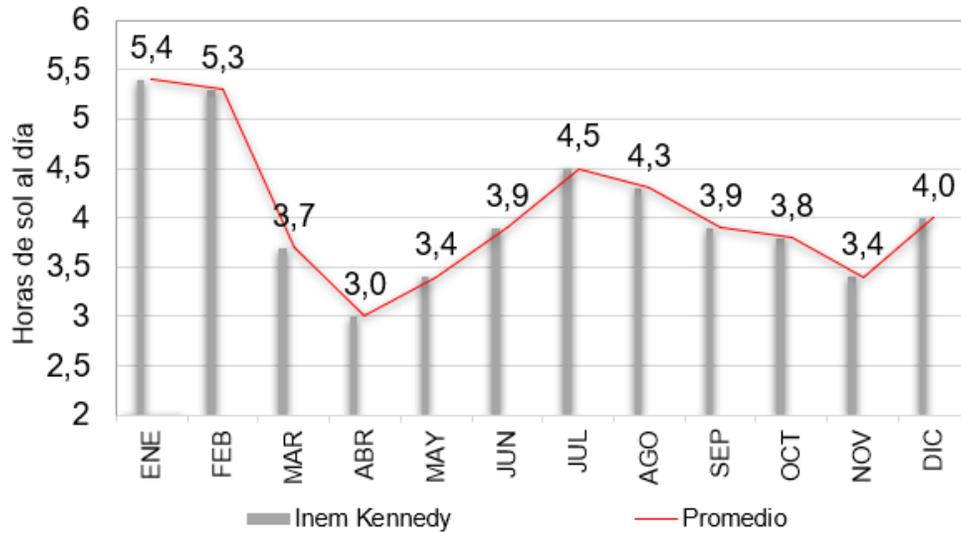


Figura 64. Comportamiento Mensual de Brillo Solar (Horas de Sol al Día)

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

► 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 Kennedy, 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.

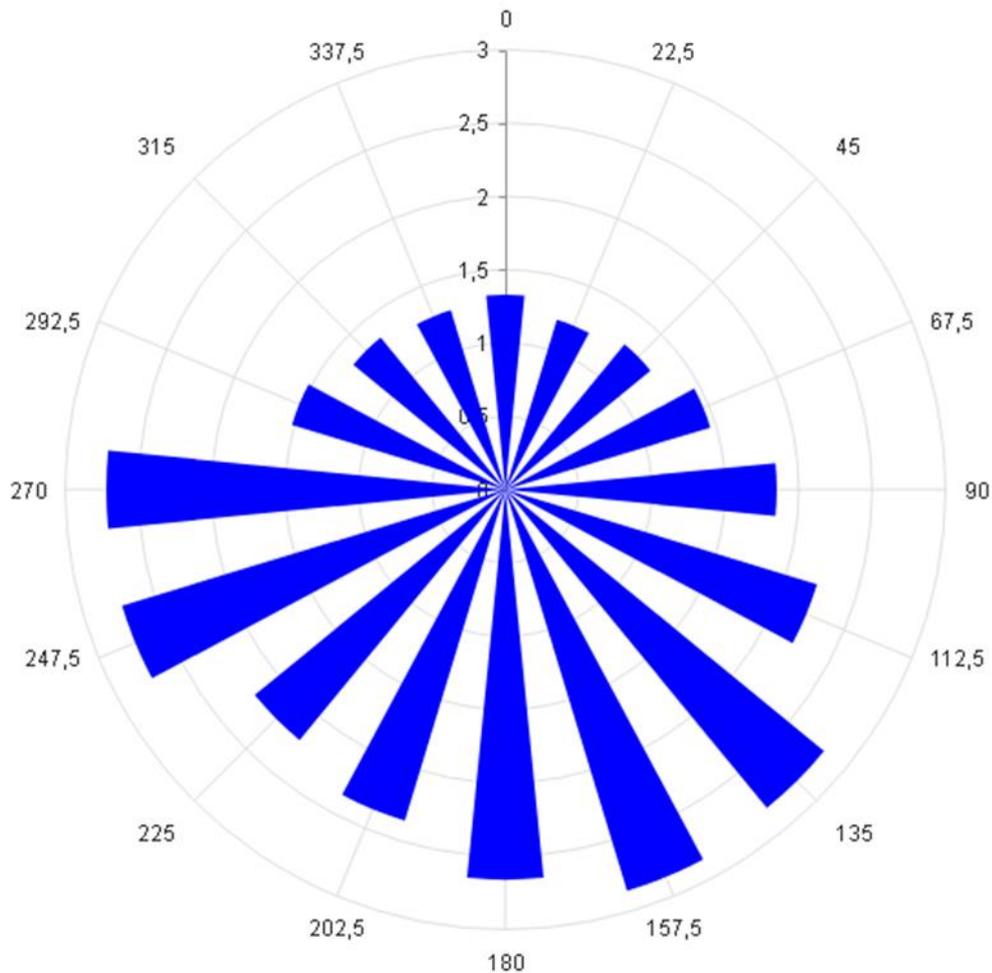


Figura 65. Rosa de Vientos Estación Kennedy 01-01-2018 - 08-11-2022

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

Como se puede observar Figura 65, entre los años 2018 y 2022, la dirección del viento que predomina es al sur occidente (SW) con velocidades de hasta 2,5 m/s y sur oriente (SE) con velocidades de hasta 2,9 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 6 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.

► 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 60 y Tabla 61.

Tabla 60. 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 Frío	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, INVEMAR, I.SINCHI, IIAO, 2007)

Tabla 61. Rangos de Denominación de Precipitación

DENOMINACIÓN PRECIPITACIÓN	RANGOS 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, INVEMAR, 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 62).

Tabla 62. Diversidad 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 Húmedo	De 3001 a 7000 mm/ año
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
FRÍOS (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 FRÍOS (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, mediante un ejercicio de interpolación de datos, se logró determinar que la zonificación climática para la zona de estudio corresponde a Frio-Muy Seco según como se observa en Tabla 63.

Tabla 63. Zonificación Climática en el Área de Estudio

NOMBRE ESTACIÓN	ELEVACIÓN (MSNM)	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (MM)	ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA
INEM KENNEDY	2580	15,5	608	Frio-Muy Seco
COL H DURÁN DUSSAN	2562	7,12	369	Frio-Muy Seco
UNIVERSIDAD NACIONAL	2556	15,2	777	Frio-Muy Seco

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



Figura 66. Zonificación Climática

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S, 2022

5.1.11.2 Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas

El Decreto 948 de 1995 expedido por el Ministerio de Medio Ambiente hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) clasifica los diferentes tipos de fuentes de emisión de contaminantes en las siguientes clases:

- ▶ Fuentes 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 fijas puntuales: Es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas.
- ▶ Fuentes 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.

- ▶ Fuentes de emisiones móviles: Es la fuente de emisión que, por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza.

Durante el desarrollo de la línea base de este componente se identificaron las posibles fuentes de emisiones atmosféricas del área de influencia del componente atmosférico, a partir del inventario de fuentes de emisión elaborado por la Secretaría Distrital de Medio Ambiente de Bogotá (SDA), por la información tomada por la empresa Metro Línea 1 y por los recorridos en campo realizados, donde se evidencia que para el área de influencia de la Construcción de la Subestación Receptora SER 1 no se presentan fuentes fijas de emisión, respecto a las fuentes móviles el sistema vial dentro del área de Patio Taller es exclusivo para las actividades del mismo por tanto el aforo vehicular no es representativo comparado con el que se presenta en vías principales de la ciudad, el paso de automotores es limitado y las vías se encuentran destapadas lo que puede restringir más el tránsito vehicular.

5.1.11.3 Calidad del Aire

La caracterización del ítem de calidad de aire en el área del proyecto “Construcción de la Subestación Eléctrica Receptora SER 1 y su Línea de Transmisión a 115 kV”, se realizó siguiendo como guía el documento “Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales” que fue expedido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y por el Ministerio de Ambiente 2018. La evaluación de la calidad del componente atmosférico esta direccionada a la valoración de la concentración de los diferentes contaminantes en el aire y su incidencia en la alteración de las propiedades físicas y químicas de la atmósfera; teniendo en cuenta los mecanismos de incorporación (biogénico y/o antropogénico) y de acuerdo con factores meteorológicos como dirección del viento, humedad relativa, temperatura y presión barométrica.

5.1.11.3.1 Objetivo General

Analizar los resultados de los diferentes monitoreos desarrollados para la valoración de la calidad del aire en la Subestación Eléctrica SER 1, en el marco del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto.

5.1.11.3.2 Objetivos específicos

- ▶ Obtener las concentraciones de Partículas Suspendidas Menores a 10 μ m (PM₁₀) por método automático.
- ▶ Obtener las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂) por el método de medición directa.
- ▶ Obtener las concentraciones de dióxido de azufre (SO₂) por medición automática.
- ▶ Obtener las concentraciones de monóxido de carbono (CO) por el método de medición directa.

- ▶ Obtener las concentraciones de ozono (O₃) por el método de medición directa.
- ▶ Obtener las concentraciones de Partículas Suspendidas Menores a 2,5µm (PM_{2,5}) por método automático.
- ▶ Comparar los resultados obtenidos a partir de información secundaria con los valores máximos permisibles según la legislación colombiana vigente con relación a la calidad del aire (Resolución 2254 de 2017).

5.1.11.3.3 Localización

En el presente documento realizado por el Laboratorio de Análisis Ambiental LAA, de CPA Ingeniería SAS con datos tomados por el Concesionario Metro Línea 1, se muestran los datos de los monitoreos realizados para la Subestación Receptora SER 1. La ubicación de las estaciones de monitoreo se muestran en Tabla 64 y Figura 69 los resultados de los análisis son comparados con la Resolución 2254 de 2017.

Tabla 64. Coordenadas de estaciones de aire

ESTACIÓN DE MUESTREO	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
AR1	4867040	2071370
AR2	4867110	2071010
M1	4867134.47	2071594.85

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

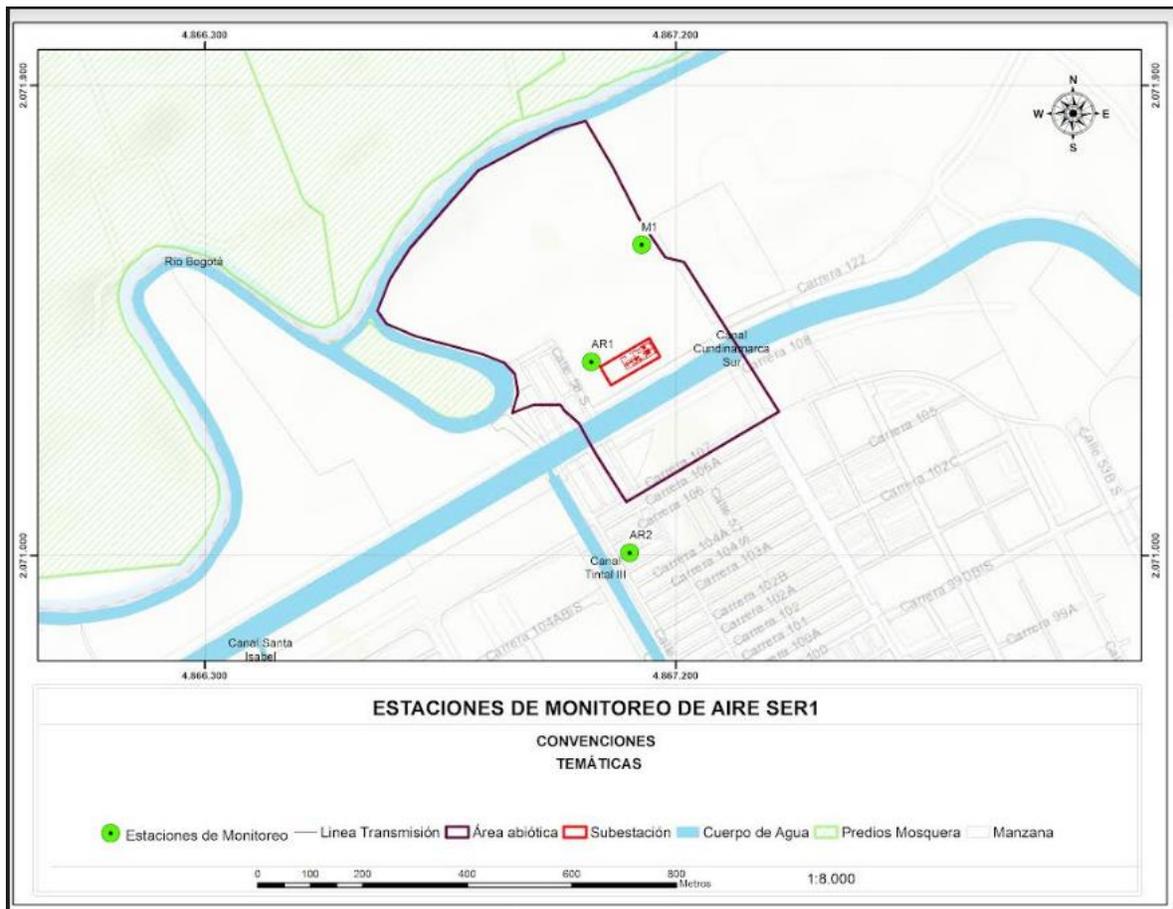


Figura 67. Localización de estaciones de calidad de aire

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

5.1.11.3.1 Características de los contaminantes monitoreados

5.1.11.3.1.1 Material particulado igual o menor a 10 micras (PM_{10})

El material particulado PM_{10} 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 PM_{10} 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 .

5.1.11.3.1.2 *Material particulado igual o menor a 2.5 micras (PM_{2.5})*

Las partículas suspendidas menores a 2.5 micrómetros o PM_{2.5} es un contaminante del aire constituido por material sólido o líquido con diámetro menor de 2.5 milésimas de milímetro. Las PM_{2.5} 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 PM_{2.5} se les conoce también como partículas finas en suspensión.

Algunas PM_{2.5} se emiten directamente a la atmósfera, como son las provenientes de la combustión de vehículos diésel y de gasolina. Las PM_{2.5} 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).

5.1.11.3.1.3 *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 NO_x 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.

5.1.11.3.1.4 *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.

5.1.11.3.1.5 *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.

5.1.11.3.1.6 *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 gasolinas 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).

5.1.11.3.1.7 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 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 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.

5.1.11.3.1.8 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 (ng/muestra). En la Tabla 65 se resumen las características de fuentes.

Tabla 65. Características de los compuestos estudiados

CONTAMINANTE	DESCRIPCIÓN	ORÍGENES	EFFECTOS
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 (NO ₂)	Gas de color pardo rojizo fuertemente tóxico.	Hornos industriales. Vehículos automotores. Centrales termoeléctricas.	-Lesiones pulmonares. - Formación lluvia ácida. -Deterioro de edificios y monumentos. -Daño a los bosques. -Formación de contaminación fotoquímica.

CONTAMINANTE	DESCRIPCIÓN	ORÍGENES	EFFECTOS
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

5.1.11.3.2 Descripción de los Métodos de Muestreo

5.1.11.3.2.1 Determinación de material particulado igual o menor a 10 micras (PM₁₀) e igual o menor a 2,5 micras (PM_{2,5})

La metodología usada para este estudio es la establecida por la norma de la US EPA contenida en el e-CFR (Electronic code of federal regulations) Título 40, Parte 50, Apéndice J: Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM₁₀ in the Atmosphere.

El método gravimétrico por Muestreador de alto volumen (para ambas determinaciones) se basa en hacer pasar una muestra de aire a través de un filtro secado y pesado previamente hasta peso constante, ubicado dentro de un cabezal, por medio de un motor que está acoplado a una garganta

(controlador de flujo volumétrico) a un caudal 1,02 a 1,24 m³/min para PM₁₀ durante un período de muestreo de 24±1 horas. El filtro se pesa en el laboratorio bajo condiciones de humedad controlada antes y después de su utilización para determinar la ganancia neta de peso.

► Equipo de PM₁₀

Para la ejecución de los muestreos se utilizaron tres (3) equipos muestreadores de alto volumen para PM₁₀. Fotografía 7 Los equipos utilizados corresponden a los permitidos por el MADS, quien ha adoptado los autorizados por la EPA (Tisch Environmental Inc modelo 6070V para PM₁₀).



a) Cabezal con impactadores b) Shelter y cabezal c) Shelter con motor, horómetro, timer mecánico

Fotografía 7. Equipo muestreador de alto volumen para la determinación de PM₁₀

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

► Equipo de PM_{2,5}

El método gravimétrico para bajo volumen se usó para la determinación de material particulado igual o menor a 2.5 micra. La metodología usada para este estudio es la establecida por la norma de la EPA contenida en el e-cfr (electronic code of federal regulations) título 40, parte 50, apéndice I: reference method for the determination of fine particulate matter as pm_{2.5} in the atmosphere. Para este método se utiliza un muestreador de bajo volumen provisto de un clasificador de partículas para PM_{2.5}. Fotografía 8.

Preparación de los filtros: los filtros fueron inspeccionados a contraluz para detectar posibles orificios o imperfecciones, luego se enumeran en una orilla de la cara que no va a ser expuesta; posteriormente, se mantienen por 24 horas en condiciones ambientales controladas (en el desecador) para ser pesados en la balanza analítica, aproximando al miligramo más cercano; se anota su peso neto junto con el número del filtro



Fotografía 8. Muestreador de PM_{2.5}. Semi automático

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

5.1.11.3.2.2 Dióxido de nitrógeno (NO₂)

La metodología usada de Quimioluminiscencia es la establecida por la norma de la US EPA contenida e-CFR (Electronic code of federal regulations) Título 40, Parte 50, Apéndice F: Quimioluminiscencia Fase Gaseosa Método de Referencia Automatizado RFNA-1194-099 (para el modelo T200 de Teledyne API). Este método provee una forma de muestreo y medida directa de la concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el ambiente en periodos de medida de 1 hora o periodos más largos (8 horas).

Componentes del equipo de muestreo: Para las mediciones de dióxido de nitrógeno en el área de influencia del proyecto, se utilizó un equipo analizador de óxidos de nitrógeno marca Teledyne API® modelo T200 diseñados para implementar el principio de medida descrito y por tanto se consideran como un método de referencia # RFCA-1194-099, bajo las condiciones de operación descritas en el manual del equipo. Las características más relevantes de los equipos se describen a continuación Tabla 66 y Fotografía 9.

Tabla 66. Especificaciones del equipo utilizado para las mediciones de NO₂

PARÁMETRO	RANGO
Rango	0 - 50 ppb de NO ₂
Precisión	0.5% de las lecturas
Límite de detección más bajo	0,4 ppb
Flujo de muestra	500 cm ³ /min ±10%
Rango de temperatura de operación	5 a 40°C

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



Fotografía 9. Equipo utilizado para las mediciones de NO₂

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

5.1.11.3.2.3 Dióxido de azufre (SO₂)

El método colorimétrico con pararrosanilina es el establecido por la norma de la US EPA contenida e-CFR (Electronic code of federal regulations) Titulo 40, Parte 50, Apéndice A-2: Reference Method for the Determination of Sulfur Dioxide in the Atmosphere, consiste en hacer pasar una muestra de aire gracias a una bomba de vacío, a través de una solución de Tetracloromercurato de Potasio (TCM), la cual absorbe el SO₂, formando un complejo de diclorosulfitomercurato resistente a la oxidación del aire.

► Preparación de la solución absorbente

En el laboratorio de Gestión & Medioambiente S.A.S fue preparada la solución absorbente de tetracloromercurato de potasio (TCM), para la determinación de SO₂; los reactivos químicos usados fueron tipo analítico. La solución fue envasada en recipientes de dos litros de capacidad debidamente rotulados y refrigerados desde su salida del laboratorio.

► Componentes del equipo de muestreo

Se utilizaron muestreadores RAC para tres gases simultáneamente, cuyo propósito del muestreo es hacer pasar el aire por el reactivo seleccionado, después el resto de aire pasa por una trampa de humedad, un filtro de membrana y un orificio crítico que permite hacer la regulación del flujo. El flujo de aire se logra a través de una bomba de vacío cuyas características cumplen con las especificaciones de la US EPA: motor de 1700 rpm, 0,5 HP de potencia, presión máxima de 20 psi, 115 voltios de corriente y 23 pulgadas de mercurio de capacidad de vacío al nivel del mar, conectada a un programador de tiempo



Fotografía 10. Equipo utilizado para las mediciones de gases NO₂ y SO₂

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

El flujo de aire que pasa a través del sistema es controlado por orificios críticos y el tiempo de muestreo, que debe ser de 24 ± 1 hora, es controlado por medio de un programador de tiempo (temporizador). El sistema es protegido por un filtro de membrana de 8 micras colocado entre la entrada de la muestra y

el primer burbujeador, y por una trampa de humedad que contiene sílica gel, colocada entre el burbujeador trampa y la bomba de vacío.

5.1.11.3.2.4 Monóxido de carbono (CO)

La metodología usada de fotometría infrarroja no dispersiva (NDIR) es la establecida por la norma de la US EPA contenida e-CFR (Electronic code of federal regulations) Título 40, Parte 50, Apéndice C: Measurement principle and calibration procedure for the measurement of carbón monóxido in the Atmosphere.

Este método provee una forma de muestreo y medida directa de la concentración del monóxido de carbono (CO) en el ambiente en periodos de medida de 1 hora o periodos más largos (8 horas). Este método está basado en la medición automática de la absorción de la radiación infrarroja por CO en una muestra de aire dibujado en un analizador que emplea fotometría infrarroja de longitud de onda no dispersiva (método NDIR). La energía infrarroja procedente de una fuente en el fotómetro se hace pasar a través de una celda que contiene la muestra de aire a analizar, y la absorción cuantitativa de energía por el CO en la celda de muestra se mide por un detector apropiado.

El sistema de medida es calibrado con estándares de referencia con concentraciones de CO conocidas y trazables a estándares primarios NIST (National Institute of Standards and Technology).

► Componentes del equipo de muestreo

Para las mediciones de monóxido de carbono en el área de influencia del proyecto, se utilizaron dos equipos analizadores de monóxido de carbono marca Teledyne API® modelo 300T diseñados para implementar el principio de medida descrito y por tanto se consideran como un método de referencia # RFCA-10932-093, bajo las condiciones de operación descritas en el manual del equipo. Las características más relevantes de los equipos se describen en la Tabla 67 y Fotografía 11.

Tabla 67. Especificaciones de los equipos utilizados para las mediciones de CO

PARÁMETRO	RANGO
Rango	0 - 50 ppm CO
Precisión	0,5% de las lecturas
Límite de detección más bajo	0,04 ppm
Flujo de muestra	800 cm ³ /min ±10%
Rango de temperatura de operación	5 a 40°C

FUENTE: MANUAL DE ANALIZADOR DE CO TELEDYNE API MODELO 300T



Fotografía 11. equipo utilizado para las mediciones de CO

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

5.1.11.3.2.5 *Compuestos orgánicos Volátiles (VOC)*

► **Descripción del método (muestreo activo sobre tubos adsorbentes seguido de desorción y cromatografía de gases)**

La metodología usada en el monitoreo de calidad del aire en el área de influencia es la establecida por la norma de la US EPA TO-17: Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes. La muestra de aire del punto de interés se recolecta usando una bomba de muestreo de bajo flujo, a la cual se le acoplan tubos de vidrio empacados de forma específica con material absorbente (carbón activado en este caso). El método usado para determinar la concentración de estos compuestos es la técnica de cromatografía de gases, detector FID, de purga y trampa o inyección directa. El análisis en laboratorio se realiza inyectando una fracción de la muestra al cromatógrafo de gases que, mediante una columna cromatográfica y un programa de temperatura específico, separa los compuestos orgánicos, los cuales son determinados y cuantificados por un detector FID. En la Fotografía 12 se muestra el equipo empleado para las mediciones de VOC.



Bomba de muestreo y calibrador de flujo Tubos de carbón activado

Fotografía 12. Equipo de muestreo utilizado para las mediciones de VOC

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

5.1.11.3.2.6 Ozono (O₃)

El ozono es medido basándose en la atenuación de la luz que pasa por una celda de absorción que tiene una longitud de 15 cm y está limitada por ventanas de cuarzo. Una lámpara de mercurio de baja presión está situada en un extremo de la celda de absorción y en el lado contrario de la celda hay un fotodiodo, el cual contiene un filtro de interferencias interno centrado a 254 nm, que es la longitud de onda principal emitida por la lámpara de mercurio. Una bomba de aire impulsa la muestra de aire ambiente al instrumento a un caudal aproximado de 1 l/min. Una electroválvula realiza una conmutación de forma que envía alternativamente este aire de muestra a la celda de absorción directamente o bien haciéndolo pasar por un eliminador de ozono y después a la celda de absorción. La intensidad de la luz en el fotodiodo es medida en el aire que ha pasado por el eliminador de ozono (I_o) y en el aire que no ha pasado por el eliminador (I). La concentración de ozono se calcula a partir de las medidas de I_o e I según la Ley de Beer Lambert:

$$C_{O_3} = \frac{1}{\sigma l} \ln \left(\frac{I_o}{I} \right)$$

Dónde:

l es la longitud del recorrido (15 cm) y σ es la sección transversal de absorción para el ozono a 254 nm (1,15 x 10⁻¹⁷ cm² molécula⁻¹ o 308 atm⁻¹ cm⁻¹). El analizador usado está basado en este principio y es

considerado un método de referencia EQOA-0410-190 ya que ha sido diseñado en concordancia con la parte 53 del e-CFR título 40 (código electrónico de regulaciones federales de los Estados Unidos). Fotografía 13.



Fotografía 13. equipo utilizado para las mediciones de O₃

FUENTE: GESTIÓN & MEDIOAMBIENTE SAS., 2021

5.1.11.3.3 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°.

5.1.11.3.4 Macro localización y descripción de las estaciones de monitoreo

La macrolocalización 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 los puntos más cercanos de la estación SER 1 (Figura 67 y Tabla 64).

Punto AR1: La estación se encuentra ubicada dentro del área de patio taller se encuentra entre los cuerpos de agua río Bogotá y canal Cundinamarca.



Fotografía 14. Estación de monitoreo punto AR1

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

Punto AR2: Punto ubicado en un edificio ubicado en la Calle 72 con Cra. 13 barrio Cañaveralejo de uso institucional y comercial. Fotografía 15.



Fotografía 15. Estación AR2 Barrio Cañaveralejo

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

Punto M1: La estación se encuentra ubicada a aproximadamente 15 metros de una vía destapada con 5 metros de ancho, en donde se observa el paso de vehículos de carga pesada. Fotografía 16 y Fotografía 17.



Fotografía 16. Estación de monitoreo punto M1 patio taller

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021



Fotografía 17. Estación de monitoreo punto M1 zona verde del patio taller

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

5.1.11.3.5 Análisis

5.1.11.3.5.1 Material particulado como PM_{10} y como $PM_{2.5}$

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

$$[PM_{2.5} \text{ ó } PM_{10}] = \frac{(W_f - W_i) * 10^6}{V_{std}}$$

Donde,

[$PM_{2.5}$ o PM_{10}]: 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 .

5.1.11.3.5.2 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:

$$[NO_2] \text{ en } \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = [NO_2] \text{ en ppb} * \frac{(PM \text{ de } NO_2)}{V_{molar}}$$

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

Dónde:

[NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)] = concentración de NO_2 en microgramos por metro cúbico

[NO_2 (ppb)] = concentración de NO_2 en partes por billón

V_{molar} = volumen molar del gas

PM = masa molecular del gas de NO_2 , (46 g/gmol)

R = constante universal de los gases ideales ($0.082 \text{ atm} * \text{L}/\text{gmol} * \text{K}$)

T= temperatura de referencia en K (298.15 K)

P= Presión de referencia en atmosferas (1 atm)

5.1.11.3.5.3 Dióxido de azufre (SO₂)

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

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

Donde,

C = µg SO₂/m³

A = Absorbancia corregida de la solución que contiene la muestra

A0 = Absorbancia corregida del blanco.

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

Vstd = volumen estándar de aire muestreado (L estándar).

Va = Volumen de la solución absorbente analizada, 10 ml;

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

5.1.11.3.5.4 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:

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

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

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)

5.1.11.3.5.5 Ozono

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/m³_{STD}) teniendo en cuenta la siguiente relación:

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

$$V_{\text{molar}} = R \frac{T \text{ referencia}}{P \text{ referencia}}$$

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

5.1.11.3.6 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 el Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire del MAVDT y la Resolución 2254 de 2017.

Tabla 68. 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**

5.1.11.3.7 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 69).

Tabla 69. 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)	µg/m ³	75 ¹
Promedio aritmético anual	µg/m ³	50
MATERIAL PARTICULADO (PM_{2.5})		
Promedio diario (24 horas)	µg/m ³	37
Promedio aritmético anual	µg/m ³	25
DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂)		
Promedio aritmético horario	µg/m ³	200
Promedio aritmético anual	µg/m ³	60
DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)		
Promedio diario (24 horas)	µg/m ³	50
Promedio aritmético horario	µg/m ³	100
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: RESOLUCIÓN 2254 DE 2017 DEL MAVDT HOY MADS CONDICIONES DE REFERENCIA.

¹ A partir de Julio de 2018 el promedio de PM₁₀ pasó de 100 µg/m³ a 75 µg/m³ como límite permisible 24 horas y de PM_{2.5} de 50 µg/m³ a 37 µg/m³.

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.

5.1.11.3.8 Resultados

5.1.11.3.8.1 Material Particulado PM_{10}

Los resultados durante 18 días de monitoreos de material particulado menor o igual a 10 micras (PM_{10}) se muestran en la Tabla 70.

Tabla 70. Concentraciones de PM_{10}

Datos	Estación AR1 PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Estación AR2 PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Estación M1 PM_{10} ($\mu g/m^3$)
1	12.86	20.8	119.37
2	17.40	16.10	16.12
3	22.87	23.30	11.03
4	17.20	21.31	15.65
5	47.96	27.77	
6	26.97	17.95	21.05
7	23.90	23.71	
8	28.01	23.70	19.54
9	35.57	31.40	19.92
10	28.30	22.49	29.01
11	53.11	24.93	
12	35.51	47.54	18.66
13	70.13	22.70	
14	33.51	2.08	20.45
15	42.29	4.33	19.94
16	47.11	2.82	21.94
17	51.45	29.15	17.75
18	24.22	29.04	13.75
Conteo	18	18	14
Promedio	34.35	21.73	18.84
Mín	12.86	2.08	11.03

Datos	Estación AR1 PM ₁₀ (µg/m ³)	Estación AR2 PM ₁₀ (µg/m ³)	Estación M1 PM ₁₀ (µg/m ³)
Max.	70.13	47.54	29.01
Días de Incumplimiento	0	0	0
% Cumplimiento	100%	100%	100%

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

En las Figura 68 a Figura 70 se muestran las mediciones por cada estación del monitoreo durante los 18 días.

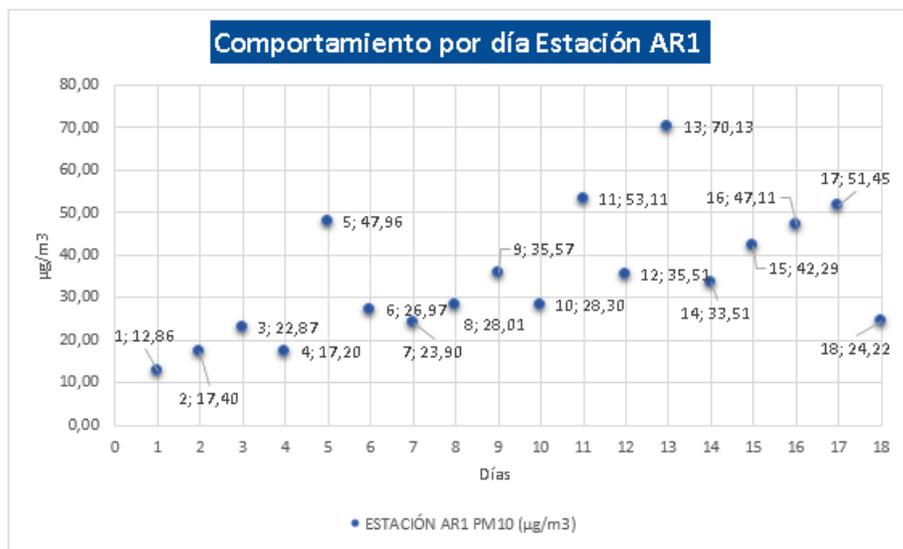


Figura 68. Comportamiento para la estación AR1

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022



Figura 69. Comportamiento para la estación AR2

FUENTE: CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

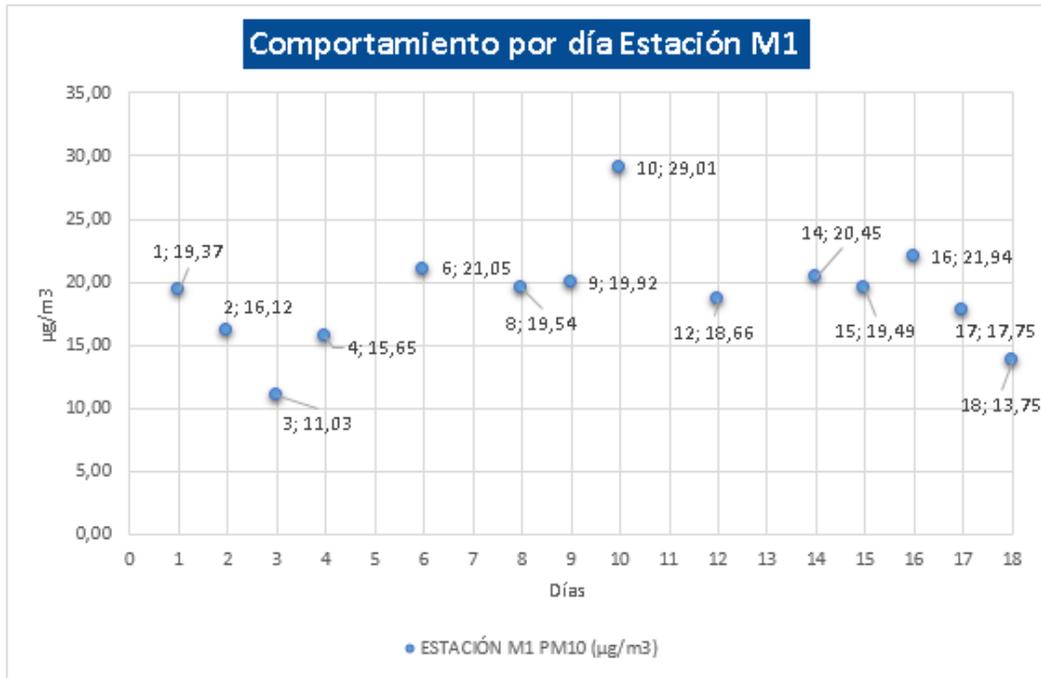


Figura 70. Comportamiento para la estación M1

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

Se realiza la comparación con la Resolución 2254/2017 teniendo en cuenta las estaciones monitoreadas para el parámetro PM₁₀, se relaciona el valor máximo y el promedio como se muestra en la Tabla 71 y en la Figura 69.

Tabla 71. Concentración máxima y promedio de PM₁₀ en los monitoreos por estaciones

Punto de monitoreo	Promedio aritmético $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ STD	MÁXIMA DIARIA ($\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ STD)	MÁXIMA ANUAL RES.2254/2017 ($\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ STD)	MÁXIMA DIARIA RES.2254/2017 $\mu\text{g (PM}_{10}/\text{m}^3$ STD)
Estación AR1	34.35	70.13	50	75
Estación AR2	21.73	47.54	50	75
Estación M1	18.84	29.01	50	75

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

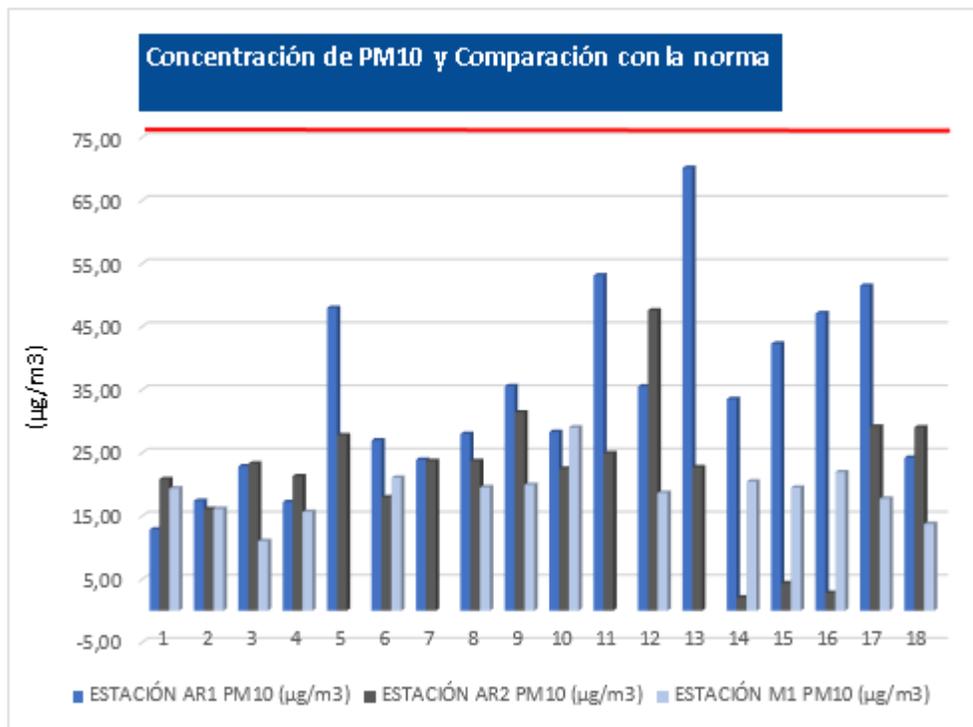


Figura 71. Comparación de concentraciones de PM₁₀ de monitoreos y comparación con normatividad

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

En la Tabla 72 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 68. De acuerdo con el resultado del índice de la calidad del aire ICA se valora una calidad de aire BUENA, sin afectaciones a la salud humana.

Tabla 72. Concentración promedio µg/m³ y valor del ICA de PM₁₀ por cada estación

Estación	Concentración Promedio µg/m ³	Índice de Calidad del Aire ICA	Calidad
Estación AR1	34.35	17.44	BUENA
Estación AR2	21.73	20.12	BUENA
Estación M1	18.84	17.44	BUENA

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2022

En la Figura 71 se detalla el comportamiento de los días de monitoreo de cada estación, se observa que estos no sobrepasan el nivel máximo diario de 75 µG/m³ STD comparado con la Resolución 2254 de 2017. Al igual en la Tabla 71 se puede observar que tanto el promedio aritmético como el máximo diario tampoco supera lo establecido, es por esto, que como se evidencia en la Tabla 72 el índice de calidad ICA para las tres estaciones es una calidad “BUENA” para PM₁₀ µg/m³ (24 horas).

5.1.11.3.8.2 Material Particulado PM_{2.5}

Los resultados de las mediciones de las tres estaciones del material particulado menor o igual a 2,5 micras (PM_{2.5}) se muestran en la Tabla 73.

Tabla 73. Concentraciones de PM_{2.5} obtenidas por cada estación

Información	Estación AR1 PM _{2.5} (µg/m ³)	Estación AR2 PM _{2.5} (µg/m ³)	Estación M1 PM _{2.5} (µg/m ³)
1	5.25	20.27	13.64
2	5.99	9.21	10.49
3	5.71	5.56	7.72
4	10.74	19.96	9.30
5	4.21	3.45	5.70
6	6.99	6.84	11.72
7	9.15	15.36	9.03
8	9.37	11.58	13.45
9	4.24	3.86	12.76
10	6.74	8.98	12.53
11	8.11	7.95	12.16
12	4.99	6.25	9.80
13	10.19	11.86	11.13
14	7.37	7.90	12.19
15	4.70	2.61	6.84
16	8.69	7.17	13.50
17	8.69	12.20	11.28
18	11.21	9.40	8.43
Conteo	18	18	18
Promedio	7.35	9.30	10.65
Mín	4.21	2.61	5.70
Max.	11.21	20.27	13.64
Días de Incumplimiento	0	0	0
% Cumplimiento	100%	100%	100%

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

En las Figura 72 a Figura 74 se muestran las mediciones por cada estación durante los 18 días de muestreo.

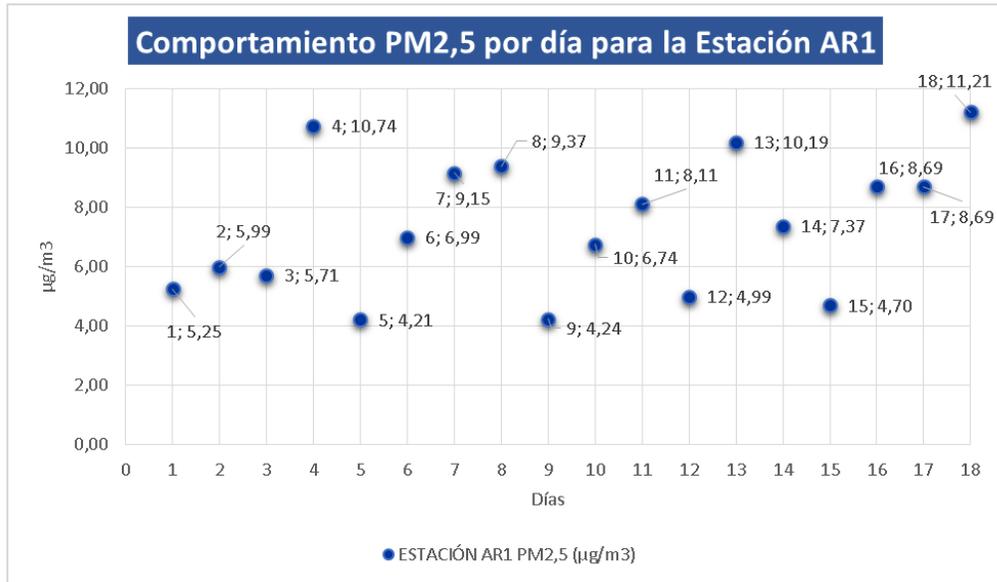


Figura 72. Comportamiento de PM_{2,5} estación AR1

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

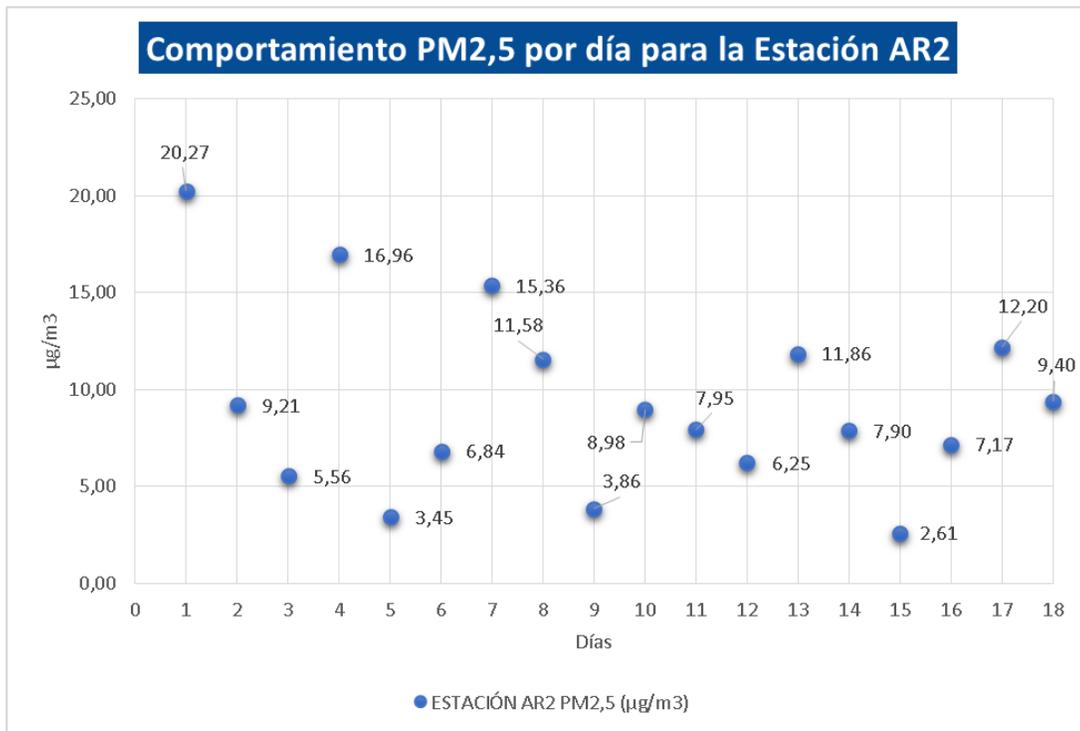


Figura 73. Comportamiento de PM_{2,5} estación AR2

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

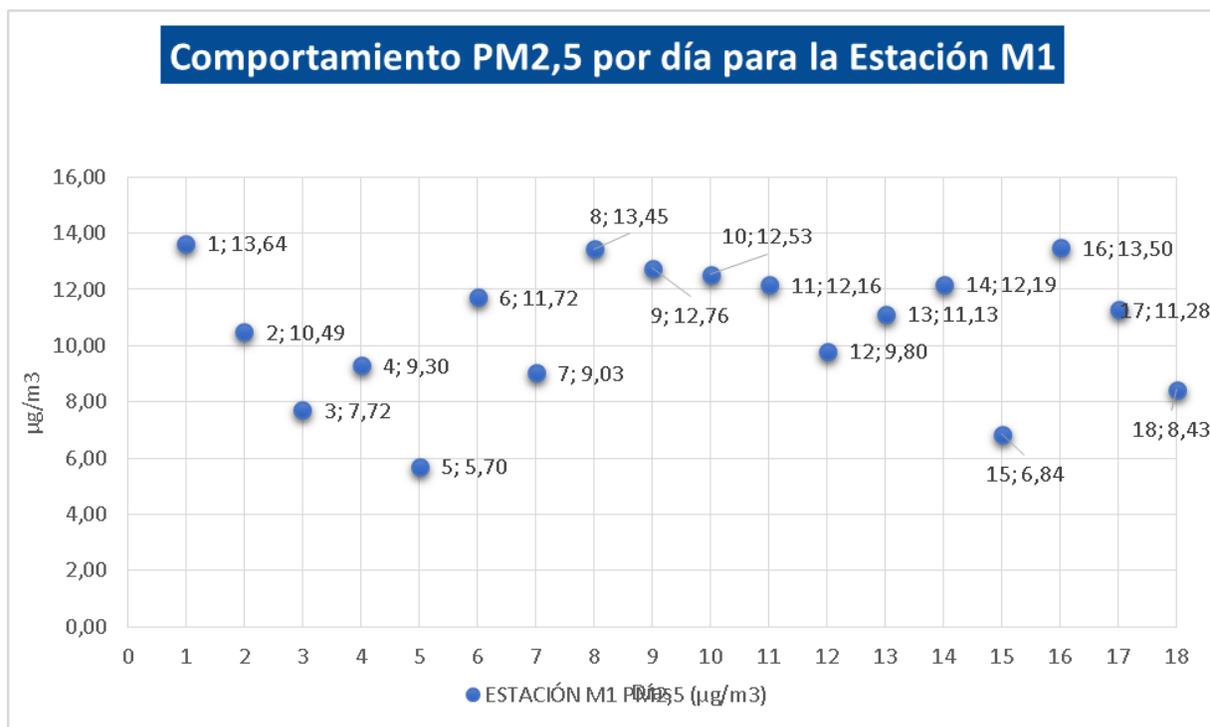


Figura 74. Comportamiento de PM 2.5 estación M1

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

En la Tabla 74 y en la Figura 75 se presenta la comparación de cada punto relacionando el valor máximo y el promedio con la norma.

Tabla 74. Concentración promedio y máximo de PM_{2,5} en los puntos de monitoreo

Punto de monitoreo	Promedio aritmético µg PM _{2.5} /m ³ STD	MÁXIMA DIARIA (µg PM _{2.5} /m ³ STD)	MÁXIMA ANUAL RES.2254/2017 (µg PM _{2.5} /m ³ STD)	MÁXIMA DIARIA RES.2254/2017 µg (PM _{2.5} /m ³ STD)
Estación AR1	7.35	11.27	25	37
Estación AR2	9.30	20.27	25	37
Estación M1	10.65	13.64	25	37

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

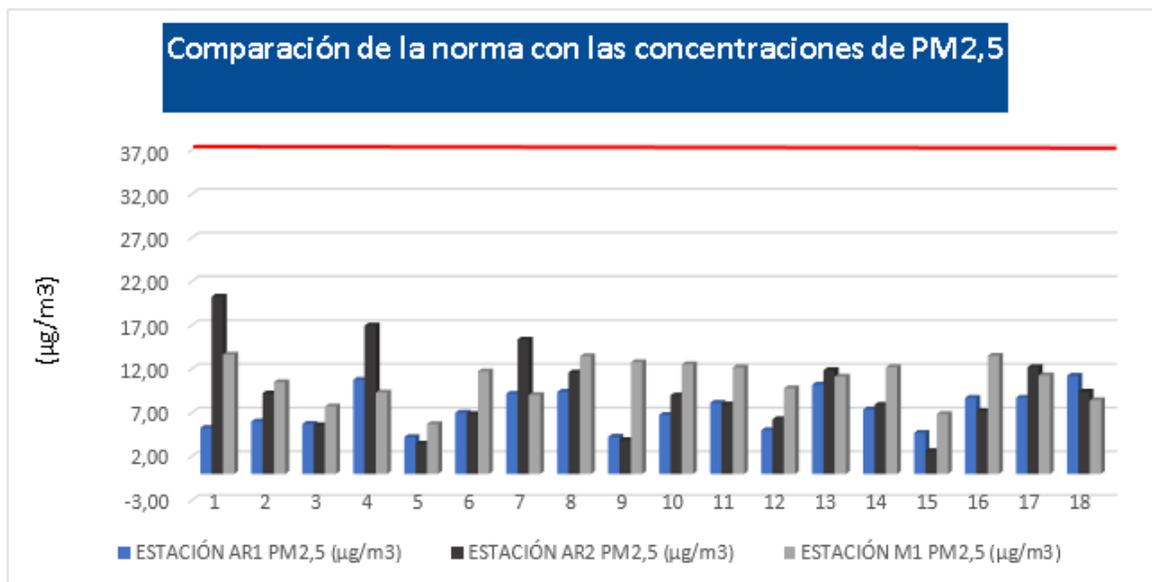


Figura 75. Concentraciones de PM_{2.5} en cada uno de los puntos monitoreados y comparación con normatividad

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

El resultado del cálculo del índice de Calidad de Aire ICA para PM_{2.5} se presenta en la Tabla 75. El color de la celda corresponde a la clasificación conforme a la toma de muestras por días para las estaciones monitoreadas, el resultado para cada estación indica una calidad de aire “BUENA”, sin afectaciones a la salud humana.

Tabla 75. Concentración promedio de PM_{2.5} y valor del ICA en los puntos de monitoreo

Estación	Concentración Promedio µg/m ³	Índice de Calidad del Aire ICA	Calidad
Estación AR1	7.35	30.63	BUENA
Estación AR2	9.30	38.75	BUENA
Estación M1	10.65	44.38	BUENA

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

Algunos datos tomados en las estaciones AR1 y M1 presentaron valores moderados, mientras que los valores de la estación AR2 tienden a disminuir en los 18 días monitoreados. El material particulado menor a 2.5 micras tiene un límite diario de 37 µg/m³ y un límite anual evaluado de manera indicativa de 25 µg/m³ acorde con la resolución 2254 de 2017; como se observa en la Figura 75 en general las estaciones presentan valores por debajo del límite, no se supera la norma diaria, ni la anual.

En la Tabla 74 se muestra que tanto el promedio aritmético como el máximo diario de las estaciones no sobrepasan el nivel máximo diario de la norma $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ STD, es por esto que el Índice de calidad de Aire ICA para este parámetro indica una calidad “BUENA” para $\text{PM}_{2.5} \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 horas) para todas las estaciones monitoreadas.

5.1.11.3.8.3 Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

Los resultados registrados de dióxido de nitrógeno (NO_2) para las estaciones de monitoreo de los puntos AR1, AR2 Y M1 se presenta en Tabla 76.

Tabla 76. Concentraciones de NO_2 obtenidas por cada día de monitoreo en las estaciones

Información	Estación AR1 NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Estación AR2 NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Estación M1 NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	11.53	19.18	85.43
2	12.13	16.79	91.28
3	10.30	8.31	86.80
4	14.06	18.97	89.93
5	8.83	19.01	76.40
6	9.38	13.37	91.18
7	6.25	18.68	87.27
8	4.80	18.98	90.53
9	4.47	11.18	89.15
10	23.46	24.84	115.24
11	19.13	16.81	168.23
12	11.96	11.60	91.35
13	12.68	19.46	90.31
14	11.66	8.96	91.90
15	12.79	13.45	90.93
16	16.59	17.10	100.42
17	18.96	20.13	78.70
18	15.51	23.00	92.72
Conteo	18	18	18
Promedio	12.47	16.66	94.88
Mín	4.47	8.31	76.40
Max.	23.46	24.84	168.23
Días de Incumplimiento	0	0	0
% Cumplimiento	100%	100%	100%

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

En las Figura 76 a Figura 78 se muestran las mediciones por cada estación durante los 18 días de monitoreo de la concentración de NO_2 .

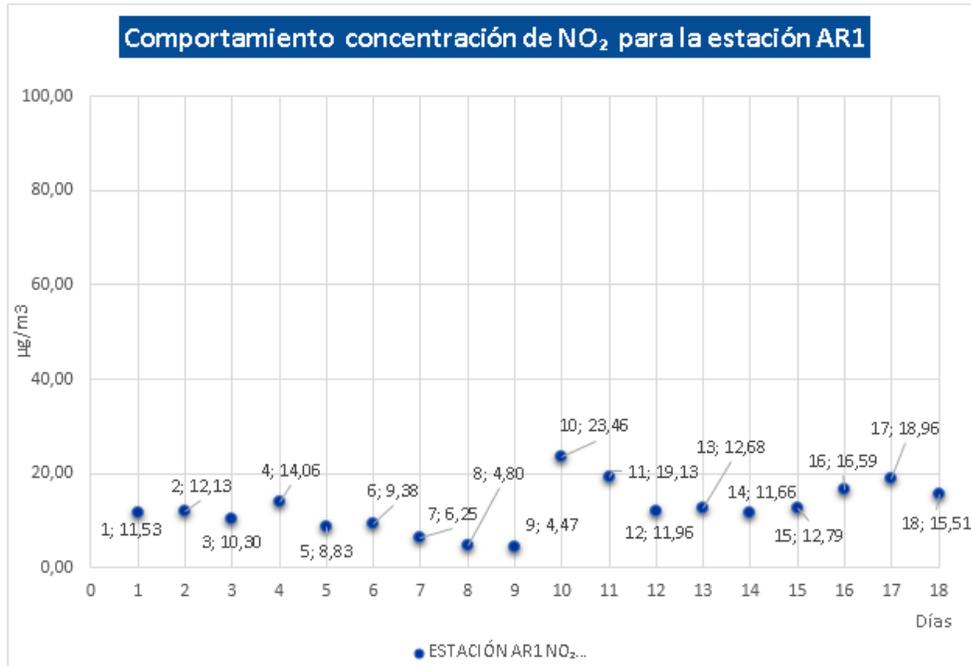


Figura 76. Comportamiento del monitoreo de NO₂ estación AR1

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

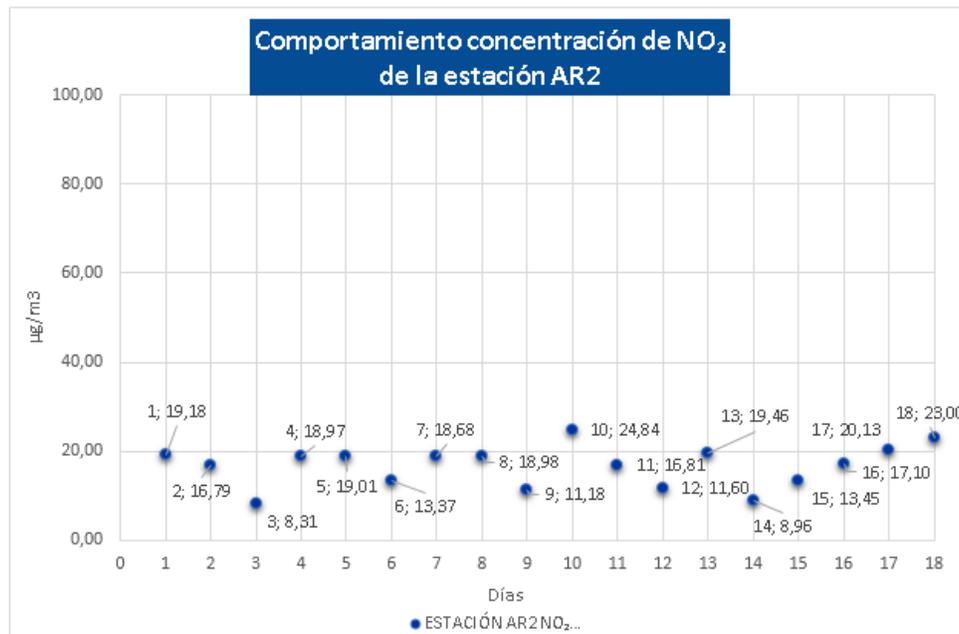


Figura 77. Comportamiento del monitoreo de NO₂ estación AR2

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

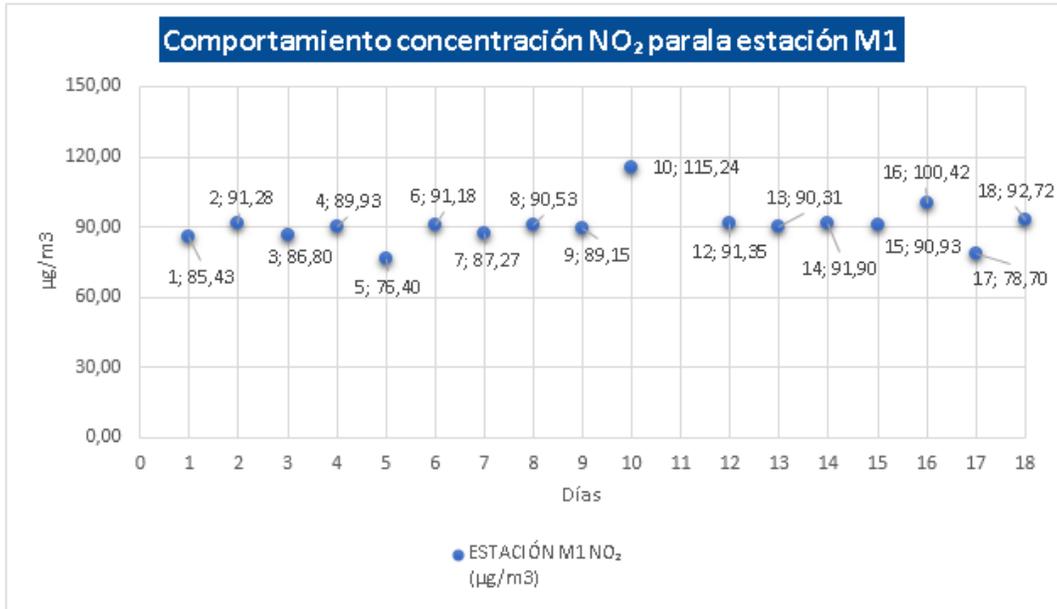


Figura 78. Comportamiento del monitoreo de NO₂ estación M1

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

La comparación con la normatividad con el valor máximo y el promedio de los monitoreos por estación está se muestra en la Tabla 77 y en la Figura 79.

Tabla 77. Concentración promedio, máxima y máxima diaria de la norma de NO₂ por estación

Punto de monitoreo	Promedio aritmético NO ₂ µg/m ³ SDT	MÁXIMA DIARIA NO ₂ µg/m ³ SDT	MÁXIMA DIARIA RES.2254/2017 NO ₂ µg/m ³ SDT
Estación AR1	12.47	23.46	200
Estación AR2	16.66	24.84	200
Estación M1	94.88	168.23	200

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

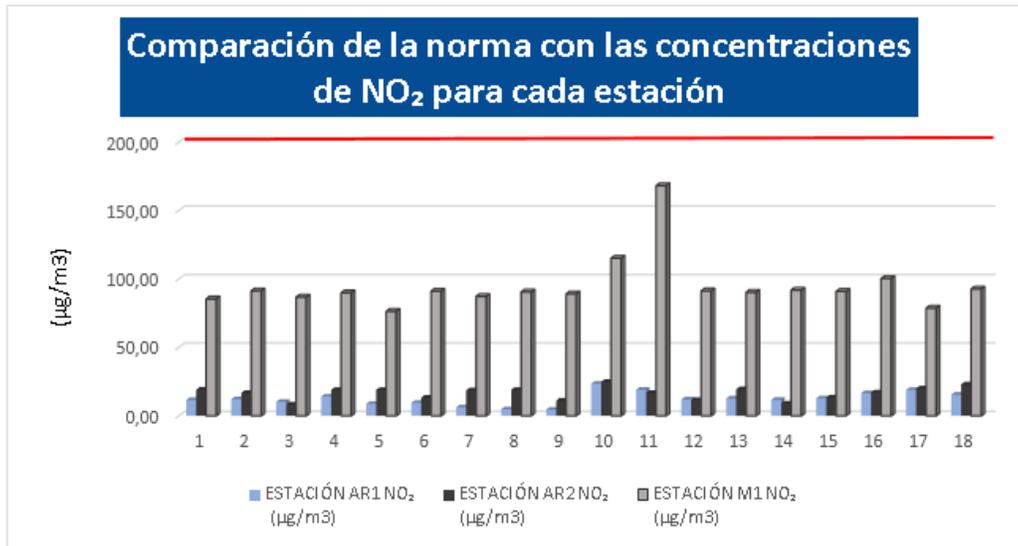


Figura 79. Comparación de concentraciones de NO₂ en cada estación y comparación con normatividad

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo del índice de Calidad de Aire ICA. Tabla 78 De acuerdo con el resultado de los monitoreos se indica una calidad de aire “BUENA”, sin afectaciones a la salud humana para las tres estaciones de medición.

Tabla 78- Concentración promedio de NO₂ y valor del ICA en las estaciones medidas

Estación	Concentración Promedio µg/m ³	Índice de Calidad del Aire ICA	Calidad
Estación AR1	12.47	6.24	BUENA
Estación AR2	16.66	8.33	BUENA
Estación M1	94.88	47.44	BUENA

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

En las Figura 76 a Figura 78 se observan datos constantes con valores de concentración bajos para las estaciones AR1 y AR2, y un aumento de las concentraciones medidas en la estación M1, en la Figura 79 se detalla la comparación de las estaciones con el nivel máximo diario de la norma, se visualiza mayor concentración en la estación M1 sin embargo los valores no sobrepasan el nivel máximo diario de 200 µg/m³ STD.

En la Tabla 77 se muestra que tanto el promedio aritmético como el máximo diario no sobrepasan el nivel máximo diario de la norma en ninguna de las estaciones monitoreadas, es por esto que como se muestra en la Tabla 78 el índice de calidad ICA tiene una valoración de BUENA para las tres estaciones.

5.1.11.3.8.4 Dióxido De Azufre (SO₂)

Para las estaciones AR1 y AR2 el dióxido de azufre (SO₂), presentan un nivel tan bajo que se encuentra por debajo del límite de cuantificación de los 18 días de monitoreo, de tal manera que no son representativos, es por esto que, para este parámetro se muestran los resultados de los datos registrados en la estación M1 (Tabla 79).

Tabla 79. Concentraciones de SO₂ obtenida para la estación M1

Información	Estación M1 SO ₂ (µg/m ³)
1	2.16
2	2.16
3	2.18
4	2.16
5	2.18
6	2.17
7	2.16
8	2.18
9	2.16
10	2.15
11	2.17
12	2.16
13	2.17
14	2.17
15	2.17
16	2.16
17	2.19
18	2.15
Conteo	18
Promedio	2.17
Mín	2.15
Max.	2.19
Días de Incumplimiento	0
% Cumplimiento	100%

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

En la Figura 80 se muestra la comparación de las concentraciones obtenidas en cada día de monitoreo de la estación M1.

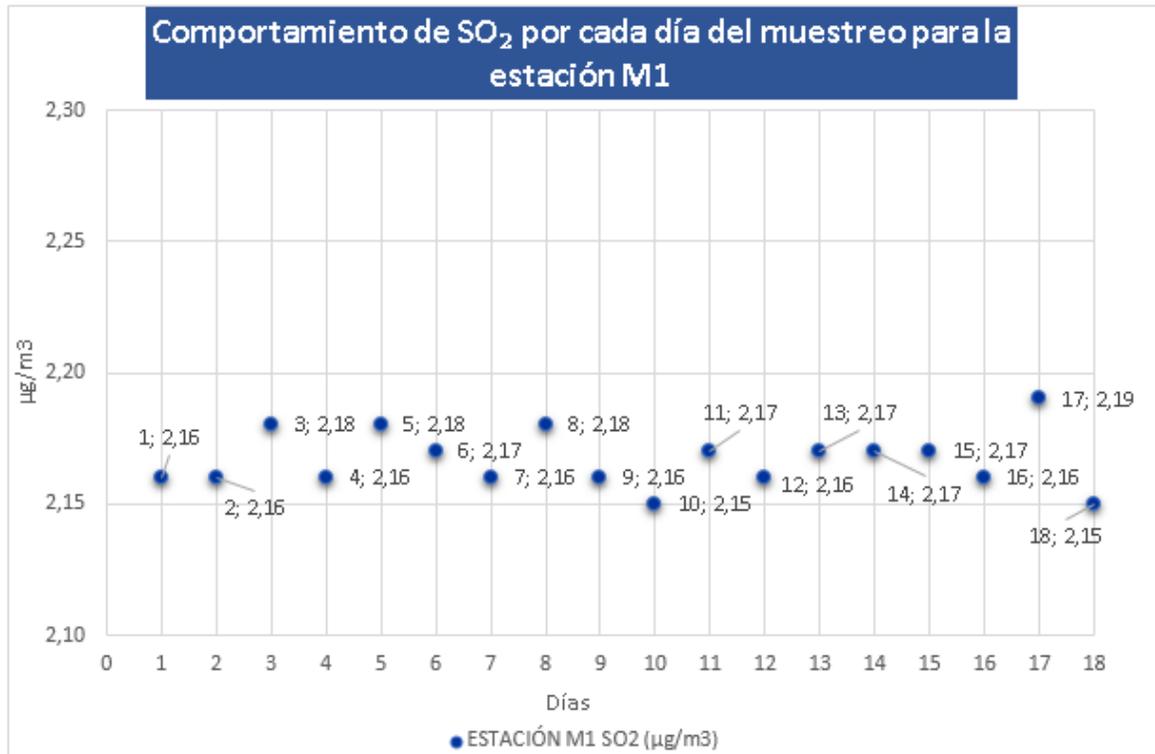


Figura 80. Comportamiento por cada día de muestreo de SO₂ para la estación M1

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

La comparación con la normatividad teniendo en cuenta el valor máximo y el promedio, está relacionado en la Tabla 80 y Figura 81 para la estación M1.

Tabla 80. Concentración promedio de SO₂ para la estación M1

Punto de monitoreo	Promedio aritmético µg SO ₂ /m ³ STD	MÁXIMA DIARIA SO ₂ /m ³ STD	MÁXIMA DIARIA RES.2254/2017 µg SO ₂ /m ³ STD
Estación M1	2.17	2.19	50

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

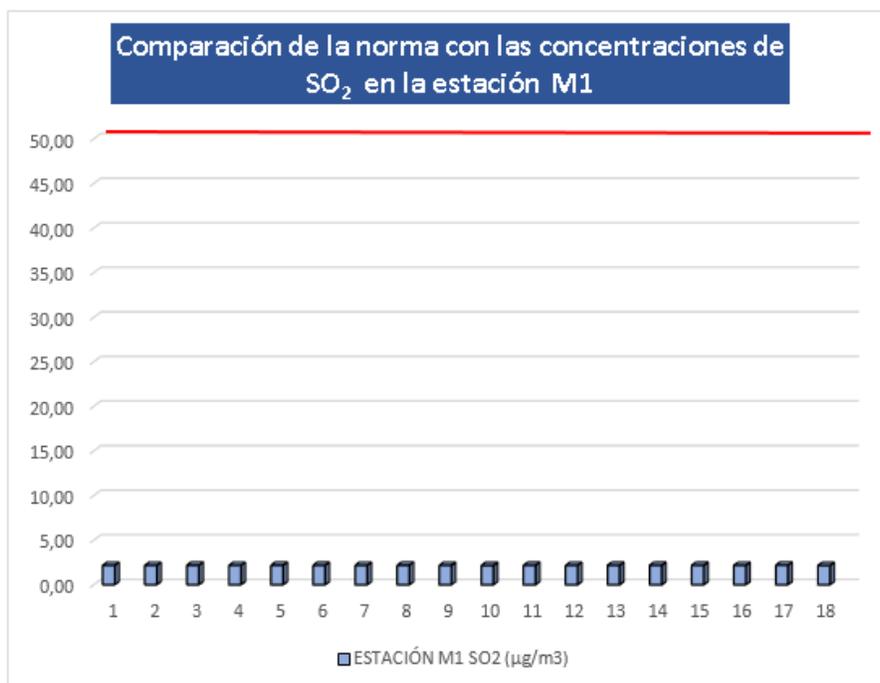


Figura 81. Comparación de concentraciones de SO₂ en la estación M1 y comparación con normatividad

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

No se realizará el índice de calidad del aire para el dióxido de azufre SO₂ ya que la metodología empleada se realiza en un periodo de muestra de 24 horas y el rango que se establece teniendo en cuenta el Capítulo IV de la Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Índice de Calidad del Aire (ICA) es de 1 hora y el tiempo de medición de este contaminante corresponde a 24 +/- 1 hora.

En La Figura 80 se presenta el comportamiento diario de las concentraciones de SO₂ de la estación M1 con unos valores en tendencia lineal, Figura 81 se realiza la comparación de los días de monitoreo estación M1 con el nivel máximo diario se visualiza que los valores obtenidos no sobrepasan el nivel máximo diario de 50 µg/m³ STD, por último en la Tabla 80 muestra que tanto el promedio aritmético como el máximo diario no sobrepasan el nivel máximo diario de la norma 50 µg/m³ STD en la Resolución 2254 de 2017 del MADS.

5.1.11.3.8.5 Monóxido De Carbono (CO)

Se presentan la comparación de los resultados de las concentraciones del contaminante monóxido de carbono CO determinado para el análisis de datos, se determinó la concentración máxima del contaminante durante 18 días de monitoreo en tiempos de exposición de 8 horas con los cálculos de las medias móviles, el máximo permisible de 5000 µg/m³ establecido en la Resolución 2254 del 2017

del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), en la Tabla 81 se encuentra relacionados los datos.

Tabla 81. Concentraciones de CO obtenidas por cada estación monitoreada

Información	Estación AR1 CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Estación AR2 CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Estación M1 CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	214.66	834.79	14463.24
2	443.66	353.00	17756.85
3	539.04	186.04	18902.45
4	348.23	572.43	18043.25
5	314.84	734.62	18329.65
6	233.74	462.71	10310.43
7	348.23	605.82	18329.65
8	281.45	539.04	18329.65
9	162.19	348.23	18329.65
10	395.93	667.83	18329.65
11	276.67	477.02	18329.65
12	200.35	429.32	16611.25
13	286.22	725.07	18616.05
14	243.28	457.94	18329.65
15	181.27	515.19	17470.45
16	319.61	639.21	18902.45
17	353.00	982.67	18472.85
18	462.71	1154.40	18472.85
Conteo	18	18	18
Promedio	311.39	593.63	17573.87
Mín	162.19	186.04	10310.43
Max.	539.04	1154.40	18902.45
Días de Incumplimiento	0	0	18
% Cumplimiento	100%	100%	0%

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

En las Figura 84 a Figura 84 se muestra la comparación de las concentraciones obtenidas en cada día de monitoreo de las estaciones AR1, AR2 y M1.

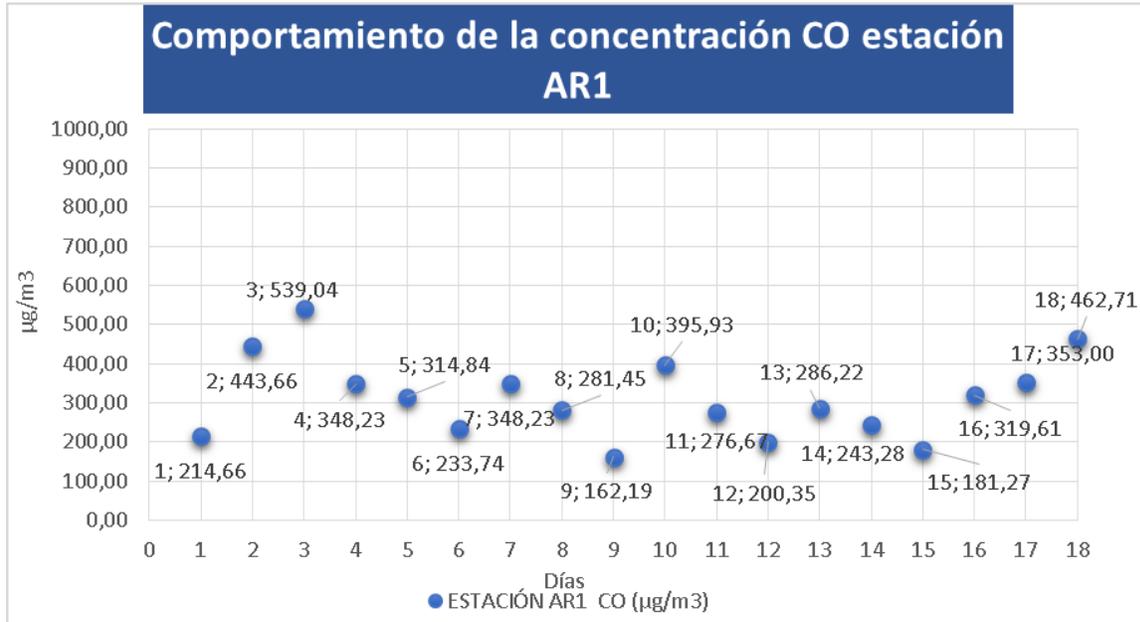


Figura 82. Comportamiento de CO estación AR1

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

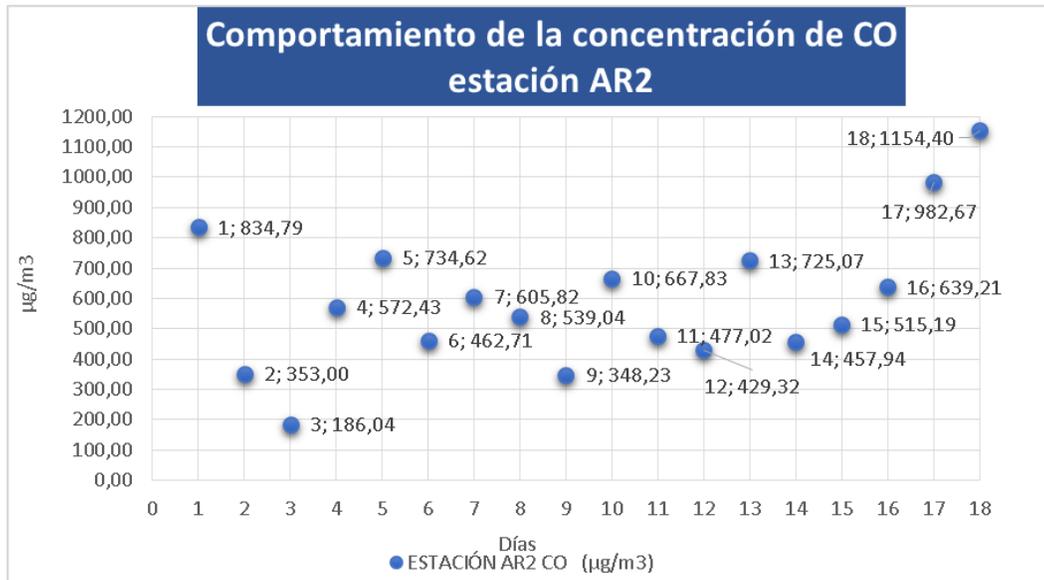


Figura 83. Comportamiento de CO estación AR2

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

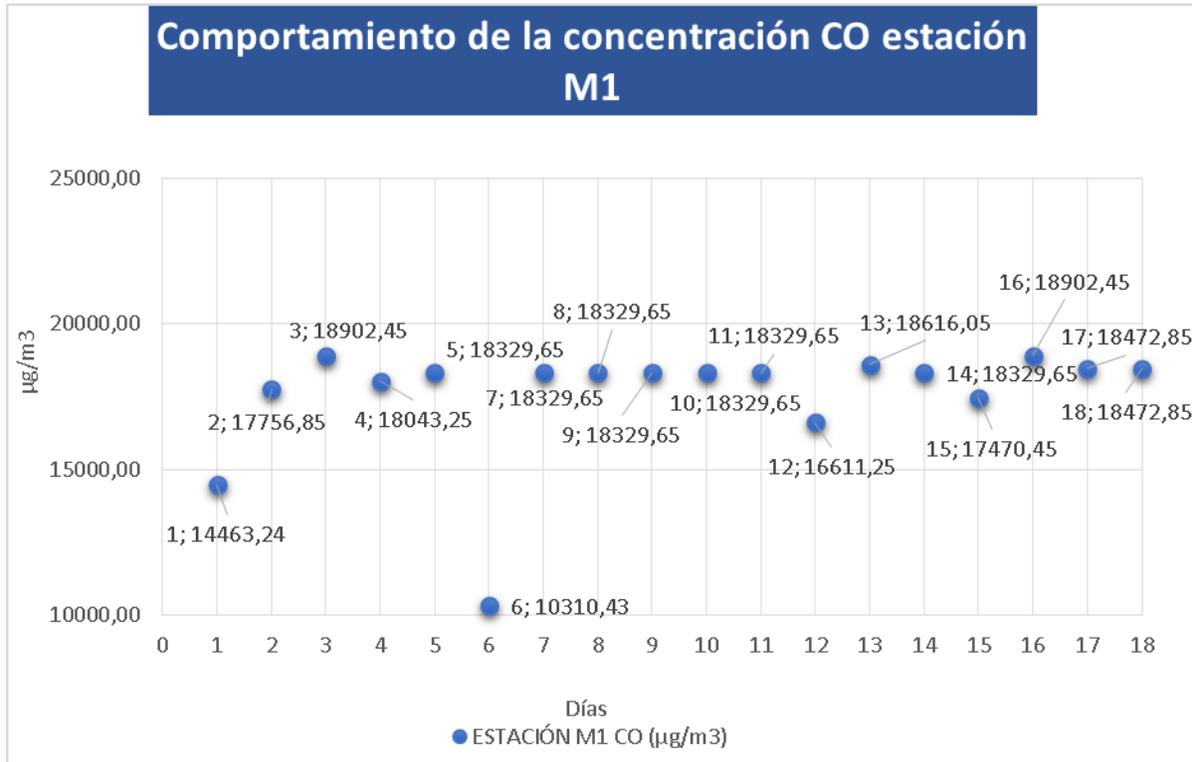


Figura 84. Comportamiento de CO estación M1

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

Se resume el resultado promedio y máxima diaria de las mediciones respecto a la concentración del CO detectada en cada una de las estaciones monitoreadas y se compara con el nivel máximo permisible en la Tabla 82 y la Figura 85.

Tabla 82. Concentración promedio y máxima del CO para cada estación y normativa

Punto de monitoreo	Promedio aritmético CO µg/m³ STD	MÁXIMA DIARIA CO µg/m³ STD	MÁXIMA DIARIA RES.2254/2017 CO µg/m³ STD
Estación AR1	311.39	539.04	5000
Estación AR2	593.63	1154.4	5000
Estación M1	17573.87	18902.45	5000

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

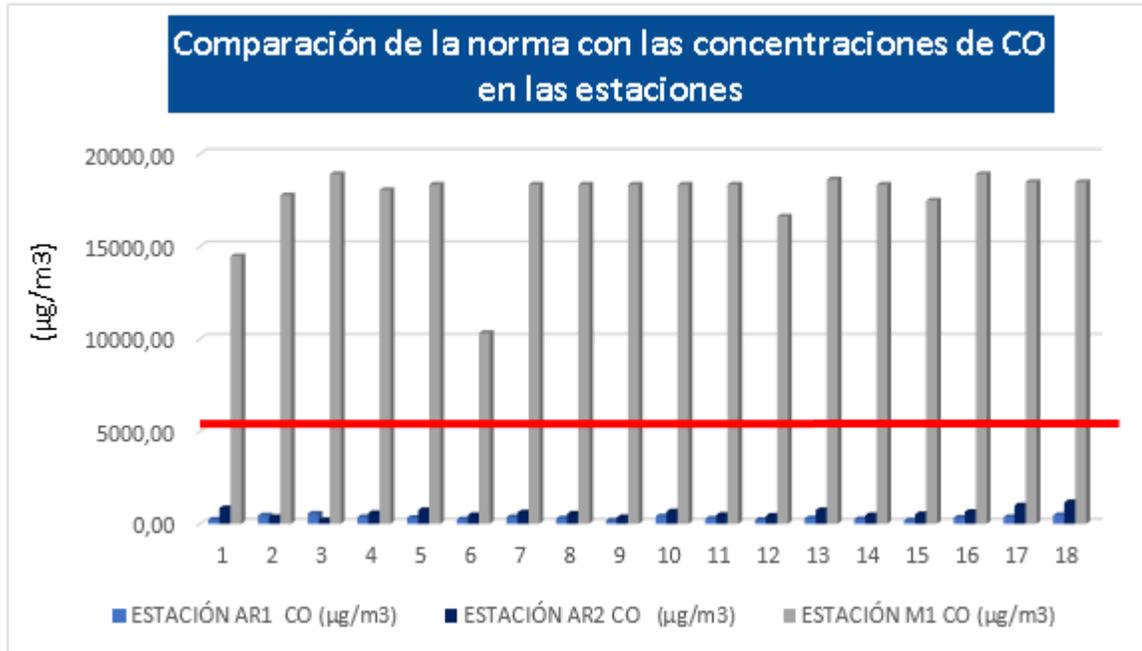


Figura 85. Comparación de concentraciones del CO en cada estación y comparación con normatividad

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

En la Tabla 83 se presentan los resultados del cálculo del índice de Calidad de Aire ICA.

Tabla 83. Valor del ICA y concentraciones con base en el promedio de los días monitoreados para cada estación

Estación	Concentración Promedio µg/m³	Índice de Calidad del Aire ICA	Calidad
Estación AR1	311.39	3.06	BUENA
Estación AR2	593.63	5.83	BUENA
Estación M1	17573.87	198.37	DAÑINA A LA SALUD

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

Como se evidencia en la Figura 85 en las estaciones AR1 y AR2 los datos están bajo el cumplimiento normativo, esto debido a que no se presentó ninguna excedencia del límite establecido en la Resolución 2254 de 2017 de 5.000 µg/m³ para 8 horas, mientras que en la estación M1 se visualiza que los valores obtenidos sobrepasan el nivel máximo, es por esto que el índice de calidad ICA para las estaciones AR1 y AR2 presentan un índice de calidad "BUENA" y en la estación M1 un ICA determinado como DAÑINO A LA SALUD donde se pueden experimentar efectos en la salud, quienes pertenecen a los grupos sensibles pueden experimentar efectos graves en la salud. Las variaciones de mediciones

entre estaciones se puede dar debido a las actividades que en el momento del monitoreo estaban en ejecución, la ubicación de la estación M1 es muy cercana a las obras que se vienen adelantando en el Patio Taller de la PLMB y donde se encuentra la maquinaria que funciona con la carburación de combustibles, adicional coincide con la presencia de compuestos como el dióxido de azufre, ya que en las estaciones AR1 y AR2 están por debajo del rango de detección y en la estación M1 si se presenta.

5.1.11.3.8.6 Hidrocarburos Totales (HCT's)

Los Hidrocarburos Totales, evaluados por medio de Heptano, Octano, Nonano, Decano, Undecano y Dodecano, en la estación M1 en la mayoría de los casos se registraron valores inferiores al límite de cuantificación del método empleado en el laboratorio correspondiente a <5 ng, en los 18 días del estudio.

Las muestras tomadas a bajos volúmenes permitió determinar que la mayoría de los datos obtenidos fueron inferiores al límite de cuantificación, esto quiere decir que las muestras recolectadas a 16,6 mL/min no captaron la cantidad de analito suficiente para analizar, es por esta razón que se realizaron mediciones a alto volumen.

Las mediciones que se realizaron al aumentar el flujo, para captar alguna proporción de contenido con carga Hidrocarburos Totales. Se obtuvieron promedios de concentración que oscilan entre 19 y 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valores que se consideran de baja incidencia sobre el ambiente y sobre la salud ya que no superan los 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, esto determina que la zona del Patio Taller no cuenta con fuentes de aporte de Hidrocarburos Totales realmente significativos.

Para los Hidrocarburos Totales, en la Resolución 2254 del 2017 del MADS, no se establecen límites permisibles diarios o anuales que permitan realizar una comparación normativa y conforme a la normativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) de acuerdo con lo establecido en la Resolución 2254 de 2017 artículo 20 no se calcula.

5.1.11.3.8.7 Compuestos Orgánicos Volátiles (COV'S)

Los compuestos orgánicos volátiles (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, p, m – Xileno y o – Xileno), en las zonas de medición AR1 y AR2 se presentan en niveles muy bajos de compuestos orgánicos volátiles, teniendo en cuenta que las áreas de monitoreo son en su mayor parte zona rural y zona suburbana, por lo que no se presentan factores que permitan una producción significativa de este tipo de contaminantes. La estación M1 aire registraron en la mayoría valores por debajo al límite de cuantificación del método analítico empleado en el laboratorio para su cuantificación correspondiente a <5 ng equivalente a <0.005 μg .

La Resolución 2254 del 2017 del MADS, no establece límites permisibles diarios ni anuales por esto no se realizó 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 μg 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, la metodología del monitoreo fue medición por 30 minutos.

5.1.11.3.8.8 Ozono (O₃)

Se presentan los resultados de las concentraciones monitoreadas durante 18 días del contaminante Ozono (O₃), en las estaciones AR1, AR2 y M1 y la comparación frente al límite máximo permisible de un tiempo de exposición de 8 horas (100 µg/m³) establecido en la Resolución 2254 de 2017 del MADS..

En la Tabla 84 se presenta la información de los días con el compendio de los promedios diarios horarios obtenidos a partir de los datos almacenados por los equipos automáticos de ozono utilizados en el monitoreo para las tres estaciones.

Tabla 84. Concentraciones de ozono (O₃) registradas en los días monitoreados para las estaciones

Información	Estación AR1 O ₃ (µg/m ³)	Estación AR2 O ₃ (µg/m ³)	Estación M1 O ₃ (µg/m ³)
1	13.74	10.59	9.63
2	13.84	10.19	12.18
3	17.12	22.05	11.26
4	15.89	17.12	9.99
5	12.34	12.41	11.20
6	15.66	9.92	10.29
7	12.41	9.98	10.64
8	14.88	12.72	14.11
9	15.35	10.59	12.25
10	10.74	10.28	12.50
11	16.65	18.46	17.37
12	15.99	11.25	13.84
13	19.92	14.69	15.99
14	10.76	11.24	14.16
15	15.58	11.68	12.23
16	13.61	10.56	12.17
17	13.61	13.25	12.86
18	15.12	12.63	15.08
Conteo	18	18	18
Promedio	14.62	12.76	12.65
Mín	10.74	9.92	9.63
Max.	19.92	22.05	17.37
Días de Incumplimiento	0	0	0
% Cumplimiento	100%	100%	100%

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2022

En la Figura 86 a Figura 88 se muestran las concentraciones obtenidas en cada día de monitoreo para cada estación.

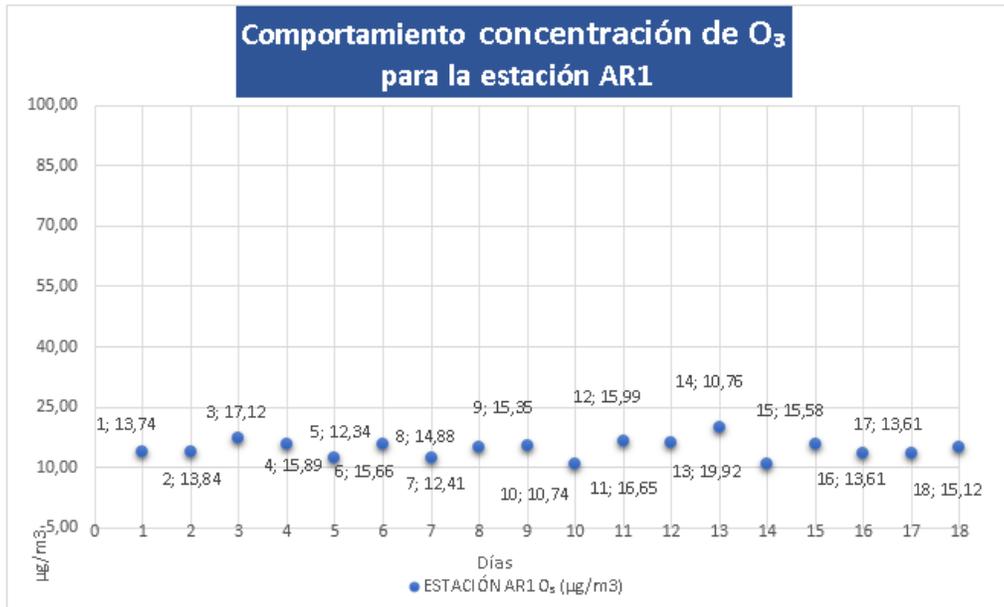


Figura 86. Comportamiento de la concentración de O₃ estación AR1

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

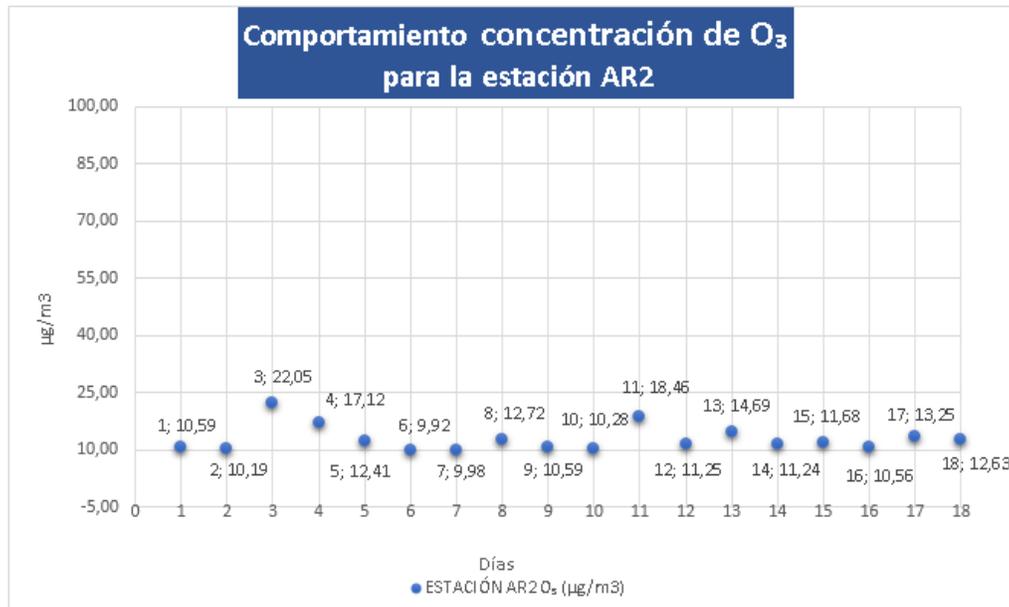


Figura 87. Comportamiento de la concentración de O₃ estación AR2

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

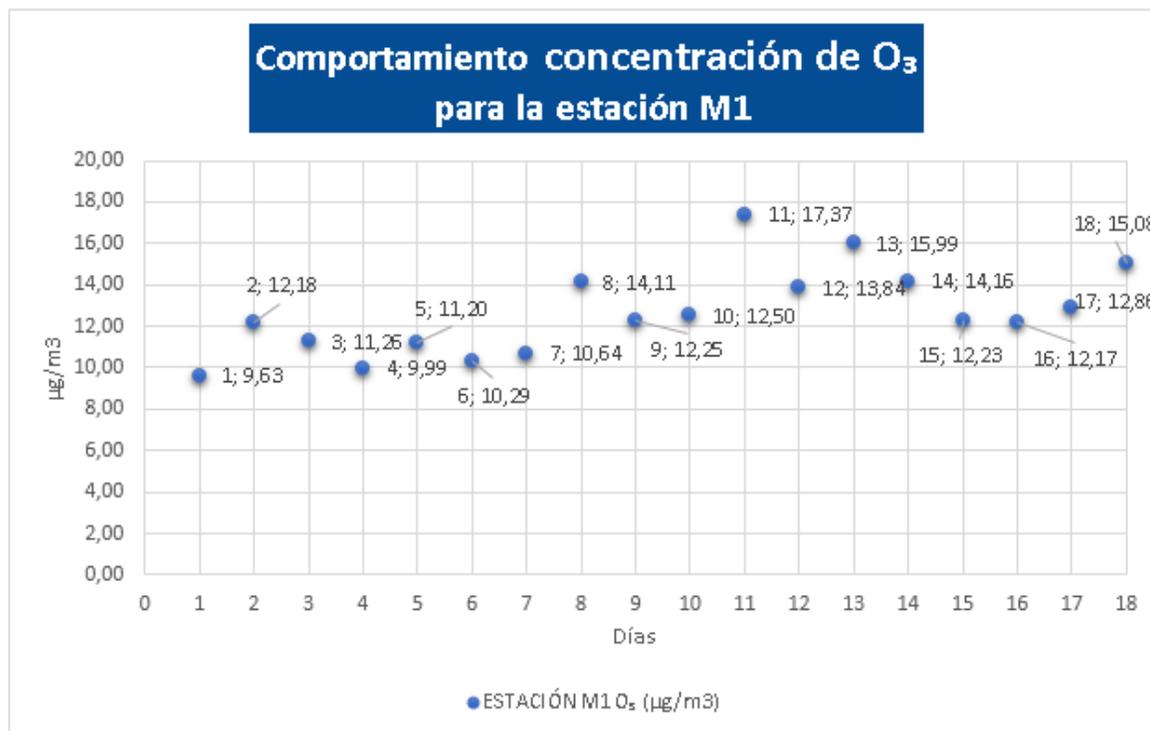


Figura 88. Comportamiento de la concentración de O₃ estación M1

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

En la Tabla 85 y la Figura 89 se presenta el resultado de la concentración del O₃ promedio y máxima de las mediciones (media móvil 8 horas) detectada en cada una de las estaciones monitoreadas y respecto al nivel máximo permisible por la Resolución 2254 del 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Tabla 85. Concentración de O₃ promedio y máxima de las estaciones en comparación con la norma

Punto de monitoreo	Promedio aritmético O ₃ µg/m ³ STD	MÁXIMA DIARIA O ₃ µg/m ³ STD	MÁXIMA DIARIA RES.2254/2017 O ₃ µg/m ³ STD
Estación AR1	14.62	19.92	100
Estación AR2	12.76	22.05	100
Estación M1	12.65	17.37	100

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

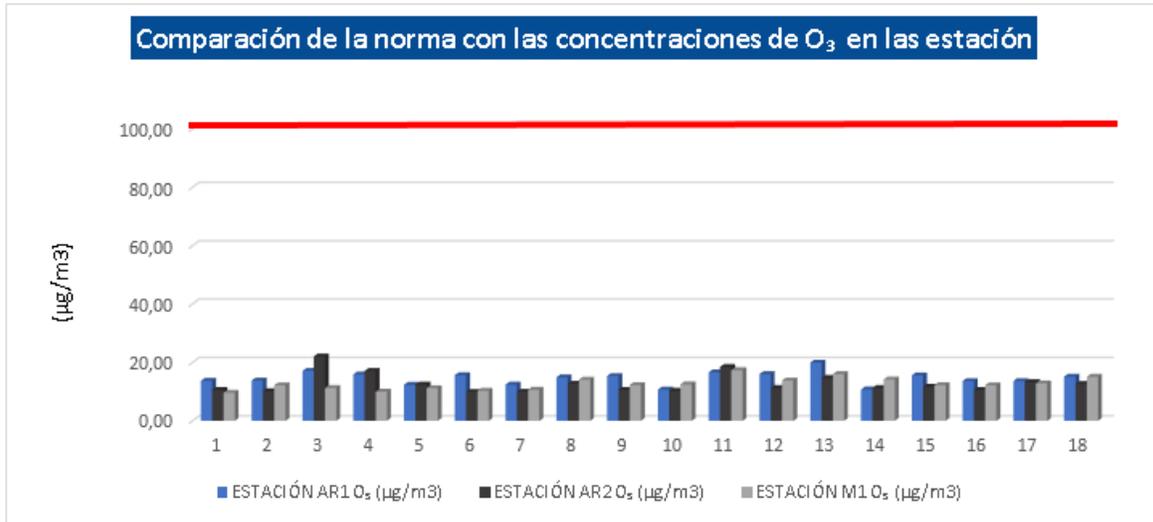


Figura 89. Comparación de concentraciones del O₃ obtenidas en las estaciones en comparación con la norma

CPA INGENIERÍA S.A.S., 2022

En la Tabla 86 se muestra el cálculo del índice de Calidad de Aire ICA, el color de la celda corresponde a la clasificación del índice de acuerdo con los resultados de las mediciones para cada estación, se determina una calidad de aire “BUENA”, sin afectaciones a la salud humana.

Tabla 86. Concentración promedio del O₃ de las estaciones y su valor del ICA

Estación	Concentración Promedio µg/m ³	Índice de Calidad del Aire ICA	Calidad
Estación AR1	14.62	6.90	BUENA
Estación AR2	12.76	6.02	BUENA
Estación M1	12.65	5.97	BUENA

FUENTE: CONSORCIO AMBIENTAL LÍNEA 1 METRO, 2021

Para las estaciones AR1 y AR2 se presentan datos constantes con bajas concentraciones, para la estación M1 se presentan variaciones de datos sin embargo las concentraciones son bajas; al realizar la comparación entre estaciones con el nivel máximo diario se visualiza que los valores obtenidos no sobrepasan el nivel máximo diario de 100 µg/m³ STD de la Resolución 2254 del 2017, es por esto que el valor del Índice de Calidad de Aire para este parámetro se valora como “BUENA” para O₃ µg/m³ (8 horas) en todas las estaciones monitoreadas.

5.1.11.3.8.9 Conclusiones

Las concentraciones de material particulado como PM_{10} obtenidas en los 18 días de monitoreo de las estaciones AR1 (predio el Corzo) AR2 (barrio Cañaveralejo) Y M1 (Patio Taller), 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 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En todo el monitoreo el índice de calidad de Aire ICA por PM_{10} 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 $PM_{2.5}$ las estaciones AR1 y AR2 no superan en ninguna medición los límites diarios y anuales de acuerdo con la resolución 2254 de 2017 y el valor de índice ICA, en todos los días de monitoreo las concentraciones obtenidas para la estación M1 aire, se presentaron algunos valores altos que 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 $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y con base en la norma de índice de calidad ICA este parámetro indica una calidad de aire **“BUENA”** para todas las estaciones, presenta una buena calidad del aire sin afección respiratoria para la salud pública.

En la estación M1 las concentraciones obtenidas de óxidos de nitrógeno NO_2 los datos se encuentran de forma dispersa y sin ninguna tendencia, pero todos los datos están por debajo de los estándares permisibles por la norma para un tiempo de 1 hora establecida en $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del compuesto. El ICA de $47.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alcanza a encontrarse en una calidad del aire **“BUENA”**. Con respecto a las estaciones AR1 y AR2 sus concentraciones son bajas y presenta plenos valores por debajo de la normativa establecida por la resolución 2254 del 2017 del MADS para un tiempo de 1 hora establecida en $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del NO_2 y el índice de calidad ICA.

Para todos los días monitoreados en la estación M1 el análisis de Dióxido de Azufre SO_2 no supera el límite normativo establecido por la resolución 2254 del 2017 del MADS ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un periodo de 24 horas) y para las estaciones AR1 y AR2 los valores obtenidos se encontraban por debajo del límite de cuantificación y de la misma manera no superando el valor normativo establecido. Los valores de SO_2 imperceptibles que se presentaron en las zonas de Predio el Corzo AR1, Barrio Cañaveralejo AR2 y Patio Taller M1, se debe a que no se encuentran grandes industrias que pueda producir este tipo de contaminante teniendo en cuenta que estas zonas son básicamente rural, residencial y suburbana, por lo que no representan ningún riesgo para la salud de la población.

Los puntos de monitoreo AR1 y AR2 se observa un cumplimiento normativo de la Resolución 2254 de 2017 y del índice de calidad ICA. Las concentraciones de monóxido de carbono CO registraron datos muy altos en concentración durante los días de monitoreo en la estación M1 (Patio Taller), de tal manera que superan el límite máximo diario de $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con respecto a la norma ICA indica una calidad de aire **“DAÑINA A LA SALUD”**, donde las personas pueden experimentar efectos en la salud, quienes pertenecen a los grupos sensibles pueden experimentar efectos graves en la salud. Se puede inferir que la fuente principal de CO en el estudio son los motores de combustión interna incompleta de

vehículos con productos del petróleo proveniente de las obras del Patio Taller que se ubican cerca a la estación de monitoreo.

Las concentraciones obtenidas en los monitoreos diarios en las estaciones monitoreadas AR1, AR2 y M1 de los Hidrocarburos Totales y Compuestos Orgánicos Volátiles la mayoría de los valores presentan datos inferiores al límite de cuantificación y al aumentar el flujo es más fácil determinar alguna porción determinando que la disponibilidad de los contaminantes en la atmosfera es baja y no se considera una amenaza a la salud humana y/o ambiente.

Para el gas de Ozono en la estación AR1 (Predio el Corzo), AR2 (barrio Cañaveralejo) Y M1 (Patio Taller), se presentó concentraciones muy bajas, dando cumplimiento y no sobrepasando el límite máximo diario de $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Resolución 2254 del 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) para un periodo de 8 horas y el índice de calidad ICA es de un aire de calidad **“BUENA”**.

De lo anterior, se puede inferir que la calidad de aire en el sector monitoreado es Buena, sin embargo, se puede ver afectado por las obras adelantadas en el Patio Taller de la PLMB, que generan emisiones de monóxidos de carbono.

5.1.11.4 Ruido

El ruido es uno de los principales problemas ambientales de la vida moderna y es inseparable de las actividades humanas, del crecimiento urbano y tecnológico. Para controlar este impacto ambiental, las normas nacionales e internacionales establecen un mínimo de confort acústico para la convivencia entre el hombre y el desarrollo industrial.

Los niveles de presión sonora aproximados para el área de del proyecto son comparados con los dB estipulados en la Resolución 627 del 7 de abril de 2006, emitida por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), lo cual ya se encuentran los ajustes pertinentes para dicha comparación. Sin embargo, estos valores pueden tener variaciones al momento en que se desarrollen las actividades frecuentes del área de estudio.

5.1.11.4.1 Objetivo general

Evaluar los niveles de ruido encontrados actualmente en el área de estudio, de acuerdo con lo reportado en los Mapas Estratégicos de Ruido tomados de la Secretaria Distrital de Ambiente, con el fin de establecer una línea base de emisión para este componente, determinando los niveles de presión sonora de fondo y alrededores antes de la construcción y ejecución del proyecto.

5.1.11.4.2 Objetivos específicos

- ▶ Presentar los resultados del monitoreo de ruido ambiental para la Subestación eléctrica Receptora 1.
- ▶ Comparar los resultados con los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental establecidos en el artículo 17 de la Resolución 0627 de 2006.

5.1.11.4.3 Marco Conceptual

A continuación, se definen los conceptos más importantes a tener en cuenta en el presente numeral:

- ▶ **SONIDO:** “Sensación percibida por el órgano auditivo, debido generalmente a la incidencia de ondas de compresión (longitudinales) propagadas en el aire. Por extensión se aplica el calificativo del sonido, a toda perturbación que se propaga en medio elástico, produzca sensación audible o no”.²
- ▶ **RUIDO:** Es un sonido molesto y desagradable, que puede consistir en un tono puro simple, pero en la mayoría de los casos contiene muchos tonos a diferentes frecuencias e intensidades. La perturbación generada por un sonido no solamente depende de su nivel, la frecuencia también afecta la perturbación; a mayores frecuencias las molestias son más pronunciadas que a bajas frecuencias.
- ▶ **PRESIÓN SONORA:** “Es la diferencia entre la presión total instantánea en un punto cuando existe una onda sonora y la presión estática en dicho punto”.³
- ▶ **NORMA DE RUIDO AMBIENTAL:** Es “el valor establecido por la autoridad ambiental competente, para mantener un nivel permisible de presión sonora, según las condiciones y características de uso del sector, de manera tal que proteja la salud y el bienestar de la población expuesta, dentro de un margen de seguridad”.⁴

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 S.A.S., se pretende mostrar los datos del monitoreo de ruido ambiental, los datos fueron tomados por la empresa Línea Metro 1 en el año 2021, en el marco de licenciamiento de la construcción de la Subestación Receptora SER 1.

² Resolución 0627 del 4 de abril de 2006. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

³ Resolución 0627 del 4 de abril de 2006. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

⁴ Resolución 0627 del 4 de abril de 2006. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

5.1.11.4.3.1 Localización

La ubicación de los puntos fue realizada a partir de información secundaria e imágenes satelitales a partir de las cuales se ubicaron las áreas importantes para la determinación del ruido ambiental presente en el área de la Subestación Receptora SER 1. La ubicación de los puntos se muestra en la Tabla 87 y Figura 90.

Tabla 87. Puntos de Monitoreo Ruido

ESTACIÓN	NOMBRE O UBICACIÓN	COORDENADAS ORIGEN NACIONAL	
		ESTE	NORTE
P-01	Patio taller sobre terraplén río Bogotá	4867040	2071810
P-02	Patio taller costado norte (vía interna de la empresa de acueducto)	4867720	2071730
P-03	Barrio Atalayas	4867400	2071190
P-04	Av. Longitudinal y Occidente Cañaveralejo	4867720,514	2071694,553

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

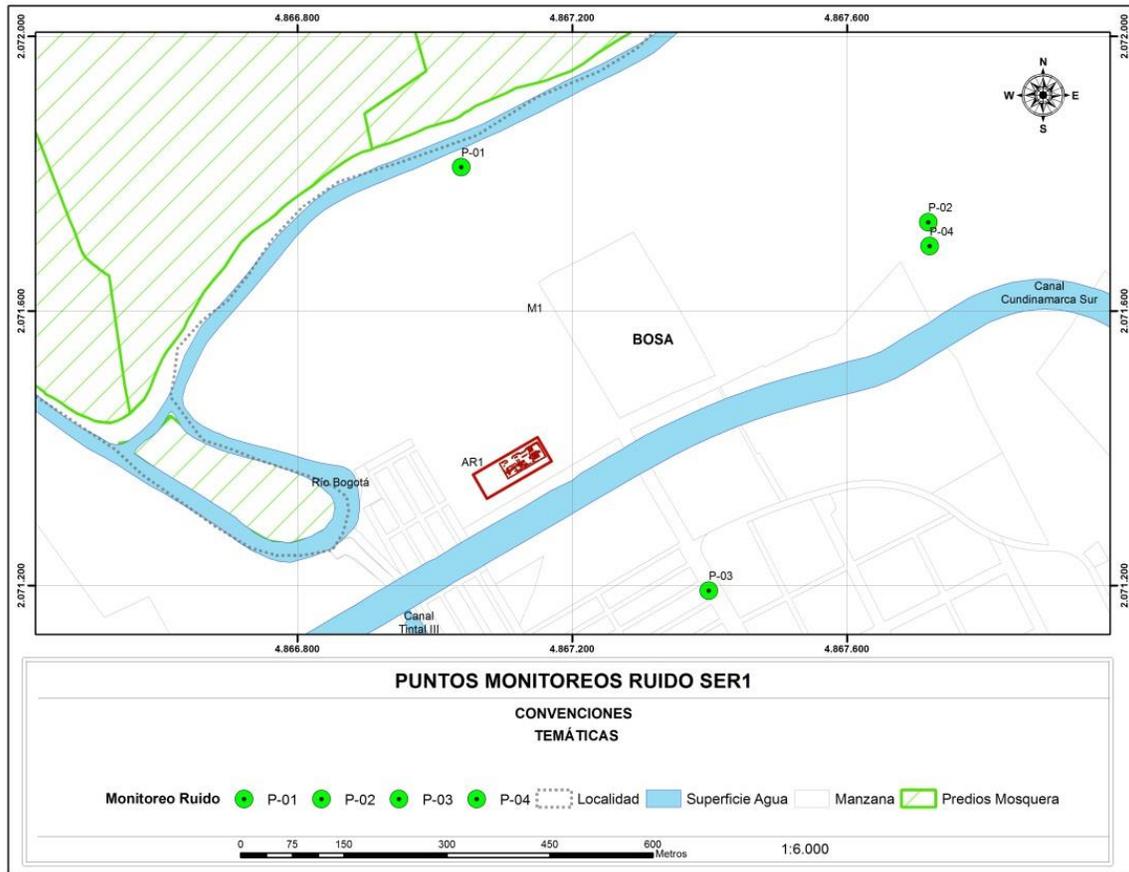


Figura 90. Localización Ruido

FUENTE: CPA INGENIERIA SAS., 2022

5.1.11.4.3.2 Características de los Puntos

Punto 1 (P-01): El punto de toma de muestra se ubicó sobre el terraplén de Río Bogotá, a un costado del Patio Taller Metro de Bogotá, en la Fotografía 18 se encuentra evidencia del punto.

Punto 2 (P-02): El punto de toma de muestra se ubicó en la Patio taller costado norte (vía interna de la empresa de acueducto), en la Fotografía 19 se encuentra evidencia del punto.

Punto 3 (P-03): El punto de toma de muestra se ubicó en el Barrio Atalayas, a un costado del Patio Taller Metro de Bogotá, en la Fotografía 20 se encuentra evidencia del punto.

Punto 4 (P-04): El punto de toma de muestra se ubicó en la Av. Longitudinal y Occidente Cañaveralejo, a un costado del Patio Taller Metro de Bogotá, en la Fotografía 21 se encuentra evidencia del punto.



Fotografía 18. P-01



Fotografía 19. P-02



Fotografía 20. P-03



Fotografía 21. P-04

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

5.1.11.4.3.3 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 88, se identifican las fechas de medición en cada punto.

Tabla 88. Fechas Día Hábil y No Hábil.

Puntos de medición	Día No hábil		Día hábil	
	Día	Noche	Día	Noche
P-01	Fecha: 06/06/2021 Hora inicio: 7:15 am Hora Fin: 8:15 am	Fecha: 07/06/2021 Hora inicio: 12:00 am Hora Fin: 1:00 am	Fecha: 08/06/2021 Hora inicio: 7:15 am Hora Fin: 8:15 am	Fecha: 09/06/2021 Hora inicio: 12:00 am Hora Fin: 1:00 am
P-02	Fecha: 06/06/2021 Hora inicio: 8:30 am Hora Fin: 9:30 am	Fecha: 07/06/2021 Hora inicio: 2:00 am Hora Fin: 3:00 am	Fecha: 08/06/2021 Hora inicio: 8:30 am Hora Fin: 9:30 am	Fecha: 09/06/2021 Hora inicio: 2:00 am Hora Fin: 3:00 am
P-03	Fecha: 06/06/2021 Hora inicio: 10:00 am Hora Fin: 11:00 pm	Fecha: 07/06/2021 Hora inicio: 3:00 am Hora Fin: 4:00 am	Fecha: 08/06/2021 Hora inicio: 10:00 am Hora Fin: 11:00 pm	Fecha: 09/06/2021 Hora inicio: 3:00 am Hora Fin: 4:00 am
P-04	Fecha: 11/07/2021 Hora inicio: 7:15 am Hora Fin: 8:15 am	Fecha: 11/07/2021 Hora inicio: 9:15 pm Hora Fin: 10:15 pm	Fecha: 14/07/2021 Hora inicio: 7:15 am Hora Fin: 8:15 am	Fecha: 14/07/2021 Hora inicio: 9:15 pm Hora Fin: 10:15 pm

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 89 se presenta la distribución de las medidas.

Tabla 89. 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 de la resolución. 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).

5.1.11.4.3.4 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. Este punto particularmente está

alejado de receptores sensibles de ruido y de fuentes que puedan ser generadoras de ruido, está más rodeado por zonas verdes.

5.1.11.4.3.5 Equipos utilizados en la medición

Los equipos que se usaron para el monitoreo son los listados a continuación:

- ▶ 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.

5.1.11.4.3.6 Resultados

Las condiciones ambientales se describen en la Tabla 90 y las condiciones predominantes en la Tabla 91.

Tabla 90. Condiciones Ambientales

Punto	Día No hábil		Día hábil	
	Día	Noche	Día	Noche
	Día (velocidad del viento promedio)	Noche (velocidad del viento promedio)	Día (velocidad del viento promedio)	Noche (velocidad del viento promedio)
P-01	0.5 m/s	0.44 m/s	1.06 m/s	1.0 m/s
P-02	1 m/s	0.12 m/s	1.48 m/s	1.24 m/s
P-04	1.02 m/s	0.28 m/s	1.24 m/s	1.3 m/s
P-03	0.5 m/s	1.7 m/s	1.22 m/s	1.46 m/s

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

Tabla 91. Condiciones Predominantes

Punto	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 Día no Hábil	06/06/2021 7:15 am	25,2	92	SE	0,0	761,9
	07/06/2021 12:00 am	29,1	68	SE	0,7	762,0
P-01 Día Hábil	08/06/2021 7:15 am	32,1	59	SE	0,0	762,9
	09/06/2021 12:00 am	24,0	91	E	0,0	761,9
P-02 Día no Hábil	06/06/2021 8:30 am	25,1	91	SE	0,7	762,0
	07/06/2021 2:00 am	31,5	59	SW	1,7	762,3
P-02	08/06/2021	32,1	56	SE	0,0	763,4

Punto	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)
Día Hábil	8:30 am					
	09/06/2021 2:00 am	23,5	96	WNW	0,0	761,9
P-03 Día no Hábil	06/06/2021 10:00 am	24,4	91	S	0,7	762,8
	07/06/2021 3:00 am	31,8	58	SE	0,7	761,7
P-03 Día Hábil	08/06/2021 10:00 am	23,5	96	WNW	0,0	761,9
	09/06/2021 3:00 am	25,9	82	E	0,0	761,9
P-04 Día no Hábil	11/07/2021 7:15 am	13,1	81,7	E	0,0	560
	11/07/2021 9:15 pm	24,1	42,5	E	0,0	560
P-04 Día Hábil	14/07/2021 7:15 am	14,2	47,3	S	0,0	560
	14/07/2021 9:15 pm	24,3	43,7	N	0,0	560

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

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 92, 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 92. 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 93 corresponden a los resultados de ruido en horario diurno en los puntos que corresponde al sector de restricción B, "Tranquilidad y ruido moderado" y al subsector "Zonas

residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes”, de acuerdo con la Resolución 627 del 7 de abril de 2006 expedida por el MAVDT.

Tabla 93. Resultados Diurno Y Comparación Con La Normatividad

Punto	Tipo	Mediciones de Ruido Ambiental Diurno 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-01	Hábil	50,1	49,4	56,2	52,0	46,7	52,1	65	SI	3,5	6,7%	4,5	7:15:30	8:15:14
	No hábil	58,3	57,1	57,4	53,5	57,0	56,9	65	SI	1,8	3,2%	2,4	7:15:31	8:15:16
P-02	Hábil	51,7	56,7	56,6	58,4	57,6	56,7	65	SI	2,6	4,6%	3,4	8:30:28	9:30:27
	No hábil	49,9	60,5	56,7	57,6	58,5	57,8	65	SI	4,0	7,0%	5,2	8:30:38	9:30:25
P-03	Hábil	73,6	66,4	38,5	61,0	64,4	68	65	NO	13,3	19,5%	17	10:00:16	11:00:25
	No hábil	69,8	67,6	68,4	72,1	67,9	69,5	65	NO	1,9	2,7%	2,4	10:00:13	11:00:25
P-04	Hábil	51,7	56,7	56,6	57,4	54,6	55,8	65	SI	2,3	4,1%	3,0	7:15:00	8:15:00
	No hábil	50,2	56,7	56,6	52,4	57,6	55,5	65	SI	3,2	5,8%	4,1	7:15:00	8:15:00

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

Estos puntos se encuentran ubicados en zonas estratégicas cercanas al lugar de construcción de la estación SER 1 ubicada en Patio Taller, en donde las fuentes principales de ruido son por el paso de vehículos como camiones y motocicletas, la fauna local compuesta por animales silvestres y domésticos tales como aves cantando, perros ladrando, así mismo como el sonido generado por personas hablando y demás actividades cotidianas.

Se observan los valores calculados de LAeq para diurno hábil y no hábil. Esto se calculó mediante la expresión:

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

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.

Este sector está clasificado como restricción B de acuerdo a las actividades evidenciadas en la zona en la cual se registraron niveles de presión sonora de 52,1 dB a 68 dB en día hábil diurno, donde el menor resultado se registra en el P-01 (Terraplén de Patio Taller) y el mayor en el P-03 (Barrio Atalayas),

mientras que para día no hábil horario diurno, se registran niveles de presión sonora entre 55,5 dB en el P-04 (Av. Longitudinal y Occidente Cañaveralejo) a 69,5 dB en el P-03 (Barrio Atalayas); Los mayores NPS se presentan en el P-03 (Barrio Atalayas) los cuales sobrepasan el límite máximo permisible de **65 dB** exigido por la Resolución 627 del 7 de abril de 2006 por lo tanto **NO CUMPLE** con la norma, adicional a eso en este punto en día hábil se presenta la desviación estándar (13,3), el coeficiente de variación (19,5%) y el intervalo de confianza (17) con los valores más altos de todos los datos lo cual nos indica una amplia variación entre éstos, cabe aclarar que durante el monitoreo no se permitieron fuentes permanentes de ruido, por lo tanto, los sobrepasos registrados en este punto se debe a las condiciones normales del entorno; En cuanto a los demás puntos aunque se evidencian algunos coeficientes de variación elevados ninguno pasa del 10% y todos **CUMPLEN** con los límites establecidos por la norma y esto se observa en la **Figura 91**.

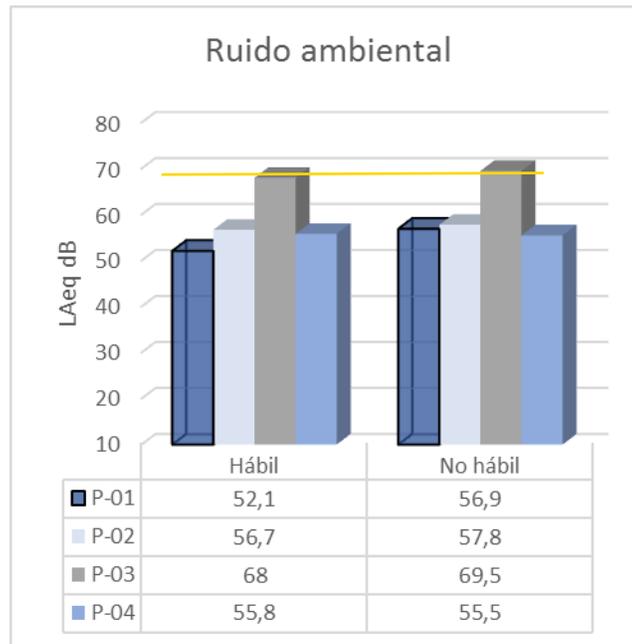


Figura 91. Resultados de Ruido Ambiental

FUENTE: CPA INGENIERÍA SAS., 2022

En la Tabla 94 se reflejan los resultados del monitoreo en horario nocturno.

Tabla 94. Ruido Ambiental Nocturno y Comparación con la Normatividad

Mediciones de Ruido Ambiental – Día Hábil y No Hábil –														
Punto	Tipos	Dirección					LAeq dB	Valor Máximo Permitido dB	¿Cumple ?	Estadística			Hora Inicial	Hora Final
		N	E	S	O	V				SD	CV	IC		
P-01	Hábil	57,4	61,6	59,0	71,1	70,3	67,2	50	NO	6,4	10,0%	2,9	7:15:00	8:15:00
	No hábil	63,6	67,5	65,6	63,4	61,3	64,8	50	NO	2,4	3,7%	1,1	7:15:00	8:15:00
P-02	Hábil	71,8	70,9	51,1	62,0	60,2	67,8	50	NO	8,5	13,5%	3,8	8:30:00	9:30:00
	No hábil	56,8	55,3	68,1	59,8	67,0	64,2	50	NO	5,9	9,5%	2,6	8:30:00	9:30:00
P-03	Hábil	54,9	66,8	64,4	66,3	65,4	65,0	50	NO	4,9	7,8%	2,2	10:00:00	11:00:00
	No hábil	54,9	62,2	55,9	59,4	54,1	58,4	50	NO	3,4	5,9%	1,5	10:00:00	11:00:00
P-04	Hábil	47,4	45,6	49,0	51,1	50,3	49,1	50	SI	2,2	4,5%	2,9	21:15:39	22:15:21
	No hábil	47,4	45,6	54,3	55,6	53,1	52,7	50	NO	4,4	8,4%	5,7	21:15:39	22:15:21

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

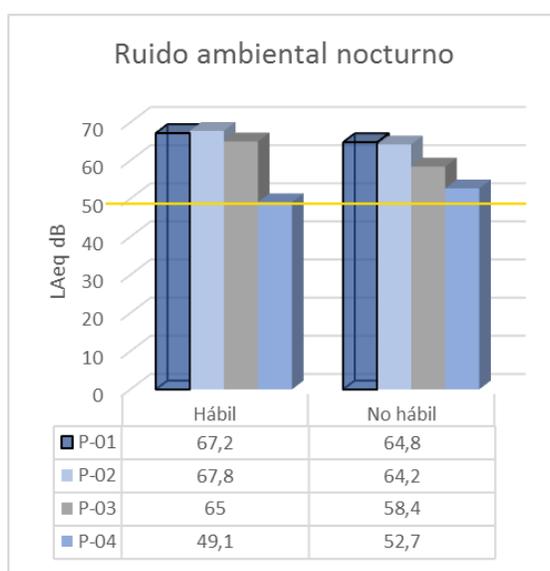


Figura 92. Ruido Ambiental Nocturno

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

Estos puntos se encuentran ubicados en zonas estratégicas cercanas al lugar de construcción de la estación SER 1 ubicada en Patio Taller, en donde las fuentes principales de ruido son por el paso de vehículos motocicletas y el paso de ambulancias, la fauna local compuesta por animales silvestres y domésticos tales como aves cantando, perros ladrando, así mismo como el sonido generado por personas hablando y demás actividades cotidianas como chiflidos o música.

Se observan los valores calculados de LAeq para diurno hábil y no hábil. Esto se calculó mediante la expresión:

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

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.

Este sector está clasificado como restricción B de acuerdo a las actividades evidenciadas en la zona en la cual se registraron niveles de presión sonora de 49,1 dB a 67,8 dB en día hábil nocturno, donde el menor resultado se registra en el P-04 (Av. Longitudinal y Occidente Cañaveralejo) y el mayor en el P-02 (Patio taller costado norte, vía interna de la empresa de acueducto), sin embargo los puntos P-01, P-02, P-03 sobrepasan el límite máximo permisible de 50 dB exigido por la Resolución 627 del 7 de abril de 2006 por lo tanto **NO CUMPLEN** con la norma mientras que para día no hábil horario diurno, se registran niveles de presión sonora entre 52,7 dB en el P-04 (Av. Longitudinal y Occidente Cañaveralejo) a 64,8 dB en el P-01 (Terraplén de Patio Taller); Los mayores NPS se presentan en el P-01 (Terraplén de Patio Taller) y P-02 (Patio taller costado norte, vía interna de la empresa de acueducto), en este caso los 4 puntos sobrepasan el límite máximo permisible de 50 dB exigido por la Resolución 627 del 7 de abril de 2006 por lo tanto **NO CUMPLEN** con la norma, en general, únicamente el P-04 en día hábil **CUMPLE** con los límites establecidos por la norma en horario nocturno, esto se observa en la Figura 92.

5.1.11.4.3.7 Correcciones por tonalidad de impulsividad

En la Tabla 95 se relacionan las correcciones a los datos por tonalidad e impulsividad.

Tabla 95. Corrección por Tonalidad e Impulsividad

CORRECCIÓN HORARIO DIURNO																
Punto	Tipos	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	Diurno hábil	0	0	0	0	0	6,0	3,0	6,0	0	6,0	6,0	3,0	6,0	0	6,0
	Diurno No hábil	0	0	0	0	0	6,0	6,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0	3,0	6,0	6,0
P-02	Diurno hábil	0	0	3,0	0	0	6,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0	3,0	6,0	6,0	6,0
	Diurno No hábil	0	0	0	0	0	3,0	3,0	6,0	6,0	3,0	3,0	3,0	6,0	6,0	3,0
P-03	Diurno hábil	0	0	0	0	0	3,0	0	6,0	3,0	6,0	3,0	0	6,0	3,0	6,0
	Diurno No hábil	6,0	3,0	0	6,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0	6,0	3,0	3,0	6,0	3,0
P-04	Diurno hábil	6,0	0	6,0	6,0	6,0	0	0	0	3,0	3,0	6,0	0	6,0	6,0	6,0
	Diurno No hábil	6,0	0	6,0	6,0	6,0	0	0	0	0	0	6,0	0	6,0	6,0	6,0
CORRECCIÓN HORARIO NOCTURNO																
Punto	Tipos	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	Diurno hábil	6,0	0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	3,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	Diurno No hábil	0	0	0	0	0	3,0	0	3,0	3,0	3,0	3,0	0	3,0	3,0	3,0
P-02	Diurno hábil	6,0	3,0	0	0	0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	Diurno No hábil	0	0	0	0	0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0
P-03	Diurno hábil	0	0	0	0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0	3,0
	Diurno No hábil	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	6,0	6,0	6,0	3,0	3,0	6,0	6,0	6,0	3,0
P-04	Día hábil	6,0	0	6,0	6,0	6,0	0	0	0	3,0	3,0	6,0	0	6,0	6,0	6,0
	Día no hábil	6,0	0	6,0	6,0	6,0	0	0	0	0	0	6,0	0	6,0	6,0	6,0

FUENTE: METRO LÍNEA 1, 2021

5.1.11.4.3.8 Incertidumbre

Se determina la incertidumbre teniendo en cuenta el error del equipo sonómetro, ya calibrado antes del monitoreo y los errores de la estación meteorológica. Siendo ésta una incertidumbre tipo A ya que es dada por un laboratorio de calibración. Para los valores de error en los datos se cuenta con una incertidumbre tipo B ya que es dada por otros factores que afectan la medición. Los cálculos se muestran en la Tabla 96.

Tabla 96. 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

5.1.11.4.3.9 Conclusiones

El resultado del monitoreo realizado evidencia que para la modalidad diurno, para día hábil y no hábil, comparado con la normativa si **CUMPLE** en los diferentes puntos con excepción del punto P-03 ya que allí se sobre pasan los niveles máximo permitido por la norma para zonas hoteleras y residenciales para día hábil y no hábil de ruido establecidos en la Resolución 627 de 2006, por lo tanto este punto **NO CUMPLE** con la normatividad, probablemente causado por el paso de vehículos a altas velocidades al ser una zona con poco flujo vehicular.

En el caso del horario nocturno, la mayoría de estos puntos **NO CUMPLEN** la normatividad para los niveles de ruido en día hábil y en día no hábil ya que sobrepasan los niveles permitidos en la Resolución 627 de 2006 que son de **50 dB** en horario nocturno, esto es debido a que en el momento del monitoreo se evidencio el paso de motos y volquetas, y a causa de la velocidad con la que los vehículos pueden transitar a altas horas de la noche, es necesario buscar una alternativa para no aumentar los NPS en la zona. En el único caso en donde se **CUMPLE** con la norma es en día hábil nocturno en el punto P-04 probablemente porque no hay paso de vehículos en el momento de realizar el monitoreo.

5.1.11.5 Campos Eléctricos

La línea base de campos eléctricos y magnéticos se realizó bajo la referencia de simulaciones realizadas para subestaciones eléctricas de la empresa Enel-Colombia con condiciones similares a la subestación Receptora donde se realiza la modelación para una transformados eléctrico tipo GIS (ENEL, 2020)

Para realizar la simulación se tomaron los módulos de Alta Tensión (AT) instalados en equipos capsulados, los módulos de Media Tensión (MT) instalados en celdas y las conexiones se realizaron mediante conductores blindados del tipo XLPE; en estos tres casos, las emisiones de campo eléctrico al ambiente son insignificante 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 93 se observa los resultados de los ensayos realizados en la simulación de campos eléctricos y en la Figura 94 la intensidad de campo eléctrico a 1 m de altura sobre el suelo.

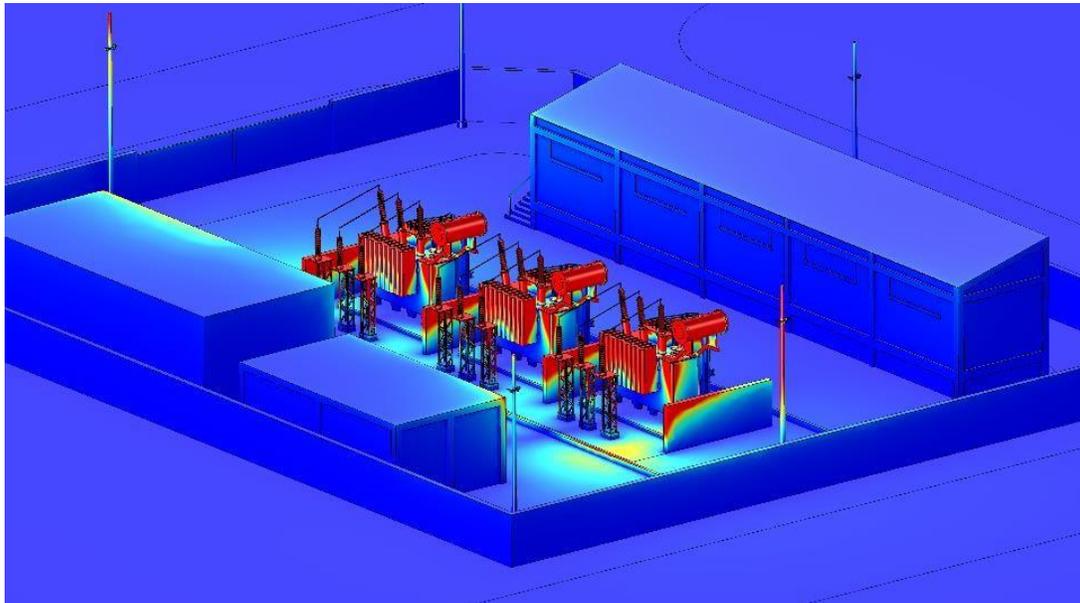


Figura 93. Campo eléctrico emitido por la subestación calle primera
(límite de color: 1 kV/m)

FUENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL, 2020 PARA LA EMPRESA ENEL-COLOMBIA

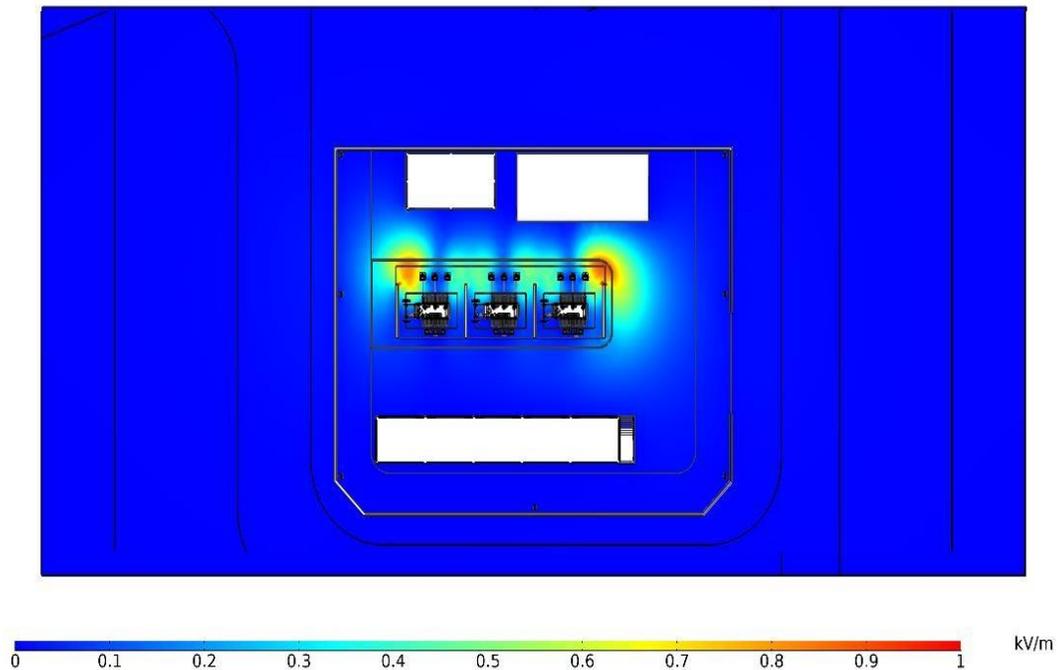


Figura 94. Campo eléctrico emitido por la subestación calle primera a un metro de altura (límite de color: 1 kV/m).

FUENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL, 2020 PARA LA EMPRESA ENEL-COLOMBIA

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).

5.1.11.5.1 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 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.

En las Figura 95 y Figura 96 se muestran las emisiones de campo magnético producido por la subestación y sus conexiones a 1 m sobre el nivel del suelo.

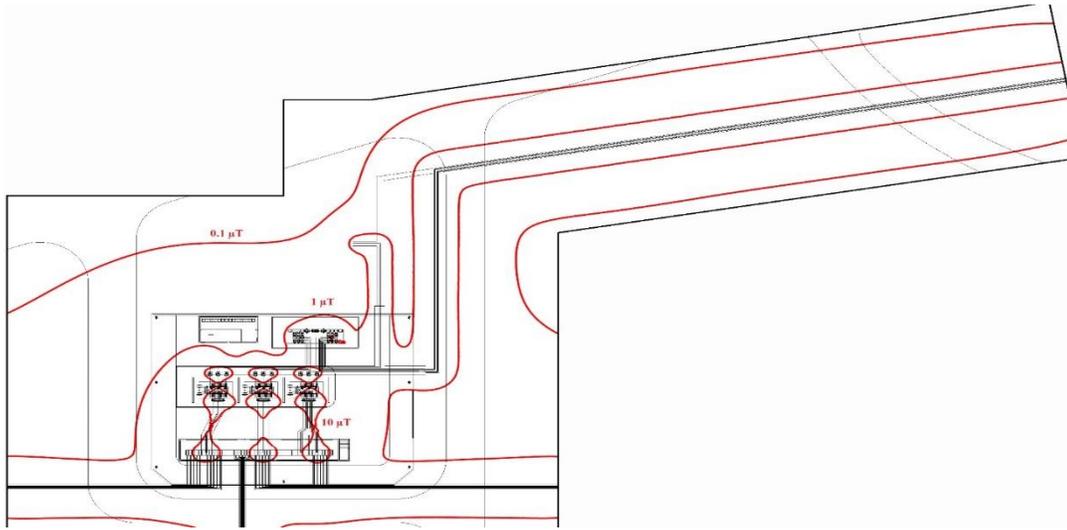


Figura 95. Isolíneas de densidad de flujo magnético producido por la subestación Calle primera y los circuitos que la conforman a una altura de 1 m sobre el suelo.

FUENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL, 2020

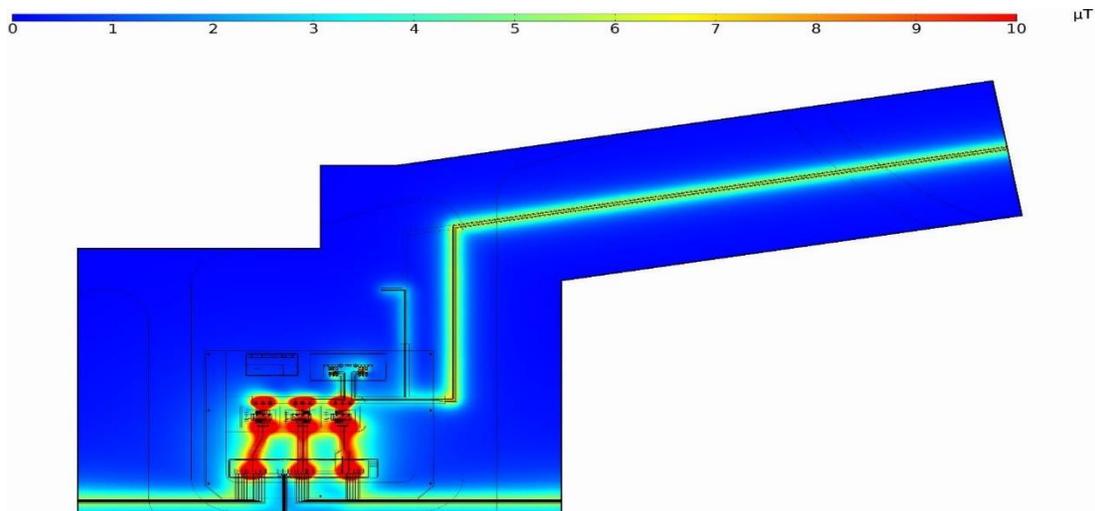


Figura 96. Densidad de flujo magnético producido por la subestación Calle primera y los circuitos que la conforman a una altura de 1 m sobre el suelo, para un límite de color de 10 μT.

FUENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL, 2020 PARA LA EMPRESA ENEL-COLOMBIA

Los resultados de simulación, para los parámetros indicados, muestran que los circuitos de entrada/salida de la subestación calle primera, 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.

De los estudios realizados para las subestaciones de Enel para subestaciones tipo GIS, se puede concluir que se cumplirían con los niveles estándar establecidos por Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) en cuanto a campos eléctricos (donde los niveles más altos estarían sólo dentro del área interna de la subestación), la densidad de flujo magnético (Que sería inferior fuera de las áreas de conexión de los conductores). Por lo anterior, se infiere que la afectación por campos eléctricos y magnéticos no se daría más allá del área interna de la subestación.