

CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 MEDIO ABIÓTICO

5.1.9 HIDROGEOLOGÍA



Transmisora Colombiana
de Energía S.A.S. E.S.P.



COMPLEMENTO DEL ESTUDIO DE IMPACTO
AMBIENTAL- MODIFICACIÓN 2 LICENCIA
AMBIENTAL RESOLUCIÓN No. 170 / 2021 –
INFORMACIÓN ADICIONAL

Proyecto Segundo refuerzo de red
en el área oriental: Línea de transmisión
La Virginia – Nueva Esperanza 500 kV

UPME 07-2016

TCE-ET2W-GPB00-0003-1

Control de Cambios SMAYD LTDA

FECHA	VERSIÓN	DESCRIPCIÓN
23/09/2022	V1A	Versión Información Adicional
ELABORADO POR: Grupo interdisciplinario SMAYD LTDA	REVISADO POR: A. Fajardo	APROBADO POR: A. Fajardo

Control de Revisiones TCE

FECHA	VERSIÓN	DESCRIPCIÓN
30/09/2022	V2	Versión Final
ELABORADO POR: SMAYD LTDA	REVISADO POR: TCE S.A.S.	APROBADO POR: TCE S.A.S.

CONTENIDO

5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....	5
5.1 Medio Abiótico	5
5.1.9 Hidrogeología.....	5
5.1.9.1 Provincia Hidrogeológica Cordillera Oriental	5
5.1.9.2 Unidades Hidrogeológicas.....	6
5.1.9.1 Inventario de puntos de agua	12
5.1.9.3 Hidrogeoquímica.....	27
5.1.9.4 Pruebas de bombeo	31
5.1.9.5 Geofísica	32
5.1.9.6 Dirección de flujo agua subterránea.....	40
6. BIBLIOGRAFÍA	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1 Clasificación genérica de tipos de unidades hidrogeológicas en función de composición, porosidad y permeabilidad	6
Tabla 5-2: Clasificación genérica de tipos de unidades hidrogeológicas desde la hidráulica.	7
Tabla 5-3 Clasificación unidades hidrogeológicas	8
Tabla 5-4 Unidades hidrogeológicas en el AI	10
Tabla 5-5 Características de las Unidades Hidrogeológicas identificadas en el Área de Influencia	12
Tabla 5-6 Localización de los puntos hidrogeológicos inventariados en el área de estudio	13
Tabla 5-7. Características de los puntos hidrogeológicos inventariados	14
<i>Tabla 5-8. Nuevos puntos hidrogeológicos identificados en el área de influencia de la Modificación No. 2 Resolución 170/2021</i>	<i>20</i>
Tabla 5-9 Resultado de laboratorio monitoreo agua subterránea para iones mayores	28
Tabla 5-10 Características de producción de la prueba de bombeo	31
Tabla 5-11 Datos históricos de pruebas de bombeo realizadas en el Pozo (P-01)	32
Tabla 5-12 Régimen de bombeo - volumen y caudal extraído (2020 – 2021)	32
Tabla 5-13 Tabla de valoración de recarga potencial.	33
Tabla 5-14 Tabla de ponderación de pendientes	34
Tabla 5-15 Tabla de ponderación de suelos	35
Tabla 5-16 Tabla de ponderación de geología.....	36
Tabla 5-17 Tabla de ponderación coberturas	37
Tabla 5-18 Tabla de ponderación de uso actual del suelo.....	38
Tabla 5-19 Tabla de áreas de recarga potencial para el Área de Influencia	39
Tabla 5-20 Matriz resumen de análisis de la Vulnerabilidad de Acuíferos a la Contaminación bajo la metodología GOD para las unidades acuíferas aflorantes	45
Tabla 5-21 Vulnerabilidad a los acuíferos en el área de estudio	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5-1 Modelo Hidrogeológico Básico Cordillera Oriental	6
Figura 5-2 Mapa de unidades hidrogeológicas	11
Figura 5-3 Inventario de puntos de agua subterránea en el área de estudio	13

<i>Figura 5-4. Correo de solicitud de permiso de ingreso al predio Monserrate.</i>	17
<i>Figura 5-5. Comunicación recibida por parte del propietario del predio Monserrate.</i>	17
<i>Figura 5-6 Inventario de puntos de agua subterránea predio Monserrate</i>	19
Figura 5-7 Histograma de caudales tomados en el P-01 de 1987 a 2018.....	23
Figura 5-8 Histograma de niveles estáticos tomados en el P-01 de 1987 a 2018.....	24
Figura 5-9 Histograma de niveles dinámicos tomados en el P-01 de 1987 a 2018.....	25
Figura 5-10 Histograma de abatimientos tomados en el P-01 de 1987 a 2018.....	26
Figura 5-11 Histograma de capacidad específica calculada para el P-01 de 1987 a 2018.....	26
Figura 5-12 Muestreo de puntos de agua subterránea en el AI.....	27
Figura 5-13 Diagrama de Piper, manantial M-01, Formación Arenisca Dura.	29
Figura 5-14 Diagrama de Stiff, manantial M-01, Formación Arenisca Dura.	30
Figura 5-15 Tipos de agua en los pozos que atraviesan la Formación Chía.....	30
Figura 5-16 Tipos de agua en los pozos que atraviesan la Formación Tilatá.....	31
Figura 5-17 Ponderación de pendientes para recarga potencial de acuíferos en el Área de Influencia	34
Figura 5-18 Ponderación de tipo de suelo para recarga potencial de acuíferos en el Área de Influencia	35
Figura 5-19 Ponderación de tipo de roca para recarga potencial de acuíferos en el Área de Influencia	36
Figura 5-20 Ponderación de coberturas para recarga potencial de acuíferos en el Área de Influencia.....	37
Figura 5-21 Ponderación de uso actual del suelo para recarga potencial de acuíferos en el Área de Influencia	38
Figura 5-22 Recarga potencial de acuíferos en el Área de Influencia	39
Figura 5-23 Dirección Regional de flujo de Agua Subterránea.....	41
Figura 5-24 Esquema modelo hidrogeológico conceptual	43
Figura 5-25 Metodología GOD para el Análisis de Vulnerabilidad de Acuíferos a la Contaminación	44
Figura 5-26 Mapa de vulnerabilidad a los acuíferos	46

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 5.1.9. Hidrogeología / FUNIAS.xlsx
Anexo 5.1.9. Hidrogeología / Resultados de laboratorio
Anexo A13. Inf Ad Acta 69 de 2022

5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 Medio Abiótico

5.1.9 Hidrogeología

De acuerdo con el ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA (IDEAM, Estudio Nacional del Agua, 2014), existen 16 diferentes Provincias Hidrogeológicas en Colombia, definidas con base en unidades tectono estratigráficas separadas entre sí por rasgos estructurales regionales, que coinciden con límites de cuencas geológicas mayores y que, desde el punto de vista hidrogeológico, corresponden a barreras impermeables representadas por fallas regionales y altos estructurales. Adicionalmente, se caracterizan por su homogeneidad geomorfológica.

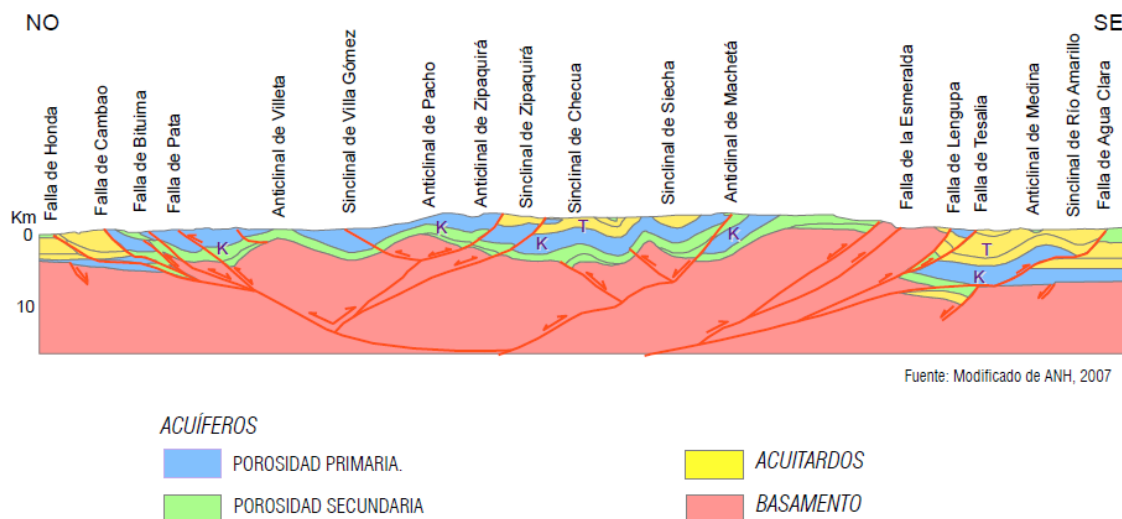
5.1.9.1 Provincia Hidrogeológica Cordillera Oriental

Esta provincia intramontana se localiza en la parte meridional del país, y coincide con la secuencia plegada sedimentaria de la cordillera Oriental que se extiende en dirección suroeste-noreste (Figura 5-1). Por el norte, limita con rocas metamórficas del macizo de Santander. Por el oriente, está delimitada por el sistema de fallas del piedemonte de la cordillera Oriental. En el sur, limita con el sistema de fallas de Algeciras- Garzón (AGFS) y con el macizo del mismo nombre; y en el occidente, por el sistema de fallas Suaza, Prado- Bituima y La Salina.

La cordillera Oriental constituye una secuencia cretácica sedimentaria plegada. La provincia, cuya morfología es diferente en la Llanura Oriental, al oriente, y en el valle del Magdalena, al occidente, estratigráficamente no tiene similitudes litológicas con las otras cordilleras y su comportamiento hidrogeológico difiere de estas unidades tectónico-sedimentarias. Desde el punto de vista geológico, pertenece a la cuenca pericratónica distal de la cordillera Oriental, en la cual el principal rasgo estructural se relaciona con fallas que afectan el basamento y resultan de la reactivación de una deformación preestructural de “horst y graben”, cuya expresión en superficie toma la forma de amplios anticlinales y sinclinales estrechos, cubiertos por depósitos cuaternarios fluviolacustres y glaciares que suprayacen rocas sedimentarias detríticas de texturas arenosas, lutíticas y carbonatadas, que se extienden desde el Cretácico hasta el Terciario Superior.

La gruesa secuencia de rocas sedimentarias detríticas conforma estructuras anticlinales y sinclinales con sus flancos orientales, normalmente más empinados e, incluso, invertidos. Las estructuras plegadas, limitadas por fallas de cabalgamiento de carácter regional, se orientan con rumbo noreste-suroeste, siguiendo la tendencia general de las estructuras principales de la cordillera Oriental (McLaughlin & Arce, 2015).

Figura 5-1 Modelo Hidrogeológico Básico Cordillera Oriental



Fuente: IDEAM, 2014.

5.1.9.2 Unidades Hidrogeológicas

Con base a la guía internacional para la presentación de la leyenda de mapas hidrogeológicos de la UNESCO, la metodología de las zonas hidrogeológicas homogéneas de Colombia, el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, Estudio Nacional del Agua, 2014), se puede establecer una clasificación de las unidades hidrogeológicas presentes para el área de estudio.

En la Tabla 5-1 se presentan los cuatro (4) tipos clásicos de unidades hidrogeológicas y sus características principales, y en los numerales siguientes se describen los acuíferos desde el punto de vista hidráulico y geológico.

Tabla 5-1 Clasificación genérica de tipos de unidades hidrogeológicas en función de composición, porosidad y permeabilidad

TIPO DE FORMACIÓN	EJEMPLOS	RANGOS DE PERMEABILIDAD	RANGOS DE POROSIDAD
Acuífero	Depósitos aluviales de diversas condiciones (terrazas, abanicos, planicies, etc.). Formaciones calcáreas karstificadas.	1-1000 m/ día	10-30%
Acuitardo	Depósitos aluviales con niveles de limos, arcillas y arenas muy finas). Formaciones de areniscas limosas y areniscas arcillosas.	Día 0,1-001 m/día	20-40%
Acuicludo	Formaciones arcillosas.	10-4 – 10-7 m/día	>40%
Acuífugo	Rocas ígneas y metamórficas sanas. Formaciones calcáreas sin disolución.	<10-6 m/día	<0,1%

Fuente: Modificado del Atlas Hidrogeológico de Colombia, 2002. SGC.

5.1.9.2.1 Acuíferos identificados desde el punto de vista hidráulico.

Atendiendo al comportamiento hidráulico de los acuíferos hay en general tres (3) tipos de acuíferos: libres, confinados y semiconfinados, los cuales se describen en la Tabla 5-2.

Las unidades identificadas corresponden a acuíferos libres, confinados y semiconfinados. El acuífero libre Depósito Coluvial tiene aprovechamiento de manantiales para uso doméstico y pecuario, mientras que para los acuíferos confinados a semiconfinados es frecuente el aprovechamiento mediante pozos y manantiales.

Los acuíferos confinados a semiconfinados están asociados principalmente a sedimentos de granulometría diversa con intercalaciones de capas limo arcillosas que actúan como capas confinantes, estos acuíferos se presentan a diversas profundidades y en particular por debajo de 7 m de profundidad, mientras que en el nivel superficial se asocian a acuíferos libres.

Tabla 5-2: Clasificación genérica de tipos de unidades hidrogeológicas desde la hidráulica.

TIPO	DESCRIPCIÓN	PERFIL
Acuíferos Libres	Para estas unidades la superficie del agua del acuífero es a presión atmosférica.	
Acuíferos Confinados	El agua se encuentra sometida a presión de confinamiento, es decir un acuífero está limitado en el techo por un Acuicludo o por un Acuífugo. El nivel freático de estos acuíferos está por encima del techo del acuífero (por efectos de presión de confinamiento).	
Acuíferos semiconfinados.	Para estos acuíferos la capa confinante es un Acuitardo y se puede generar recarga diferida por goteo hacia el acuífero.	

Fuente: Modificado del Atlas Hidrogeológico de Colombia, 2002. SGC.

Se establecieron las unidades hidrogeológicas, de acuerdo con el tipo de acuífero y flujo de agua subterránea, de acuerdo con los lineamientos del Servicio Geológico Colombiano – SGC, en el Atlas Hidrogeológico de Colombia (SGC, 2003) como se presenta en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3 Clasificación unidades hidrogeológicas

CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS		
A. SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE INTERGRANULAR.		
CONVENCIONES	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO (L/S/M)
A1	Acuíferos continuos de extensión regional, de muy alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial. Acuíferos libres y confinados con agua generalmente de buena calidad química.	Muy Alta Mayor de 5.0
A2	Acuíferos continuos de extensión regional, de alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente fluvial, glaciuvial, marino y volcánoclastico. Acuíferos libres y confinados con agua de buena calidad química.	Alta Entre 2.0 y 5.0
A3	Acuíferos continuos de extensión regional de mediana productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente fluvial, glaciuvial, marino y volcánoclastico. Acuíferos generalmente confinados con agua de buena calidad química.	Media Entre 1.0 y 2.0
A4	Acuíferos discontinuos de extensión local de baja productividad, conformados por sedimentos cuaternarios y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente aluvial, lacustre, coluvial, eólico y marino marginal. Acuíferos libres y confinados con agua de regular calidad química.	Baja Entre 0.05 y 1.0
B. ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE Y A TRAVÉS DE FRACTURAS (ROCAS FRACTURADAS Y/O CARSTIFICADAS).		
CONVENCIONES	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO (L/S/M)
B1	Acuíferos discontinuos de extensión regional de muy alta productividad, conformados por rocas sedimentarias carbonatadas cretácicas, consolidadas de ambiente marino. Acuíferos generalmente confinados con agua de buena calidad química.	Muy Alta Mayor de 5.0
B2	Acuíferos continuos de extensión regional de mediana productividad, conformados por rocas sedimentarias y volcánicas piroclásticas de ambiente marino continental. Acuíferos libres y confinados con aguas de buena calidad química. Con frecuencia se encuentran fuentes termales asociadas a la tectónica.	Media Entre 1.0 y 2.0
B3	Acuíferos discontinuos de extensión regional y local, de baja productividad, conformados por rocas sedimentarias y volcánicas, terciarias a paleozoicas consolidadas, de ambiente marino y continental. Acuíferos generalmente confinados con aguas de buena calidad química.	Baja Entre 0.05 y 1.0
C. SEDIMENTOS Y ROCAS CON LIMITADOS A NINGÚN RECURSO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.		
CONVENCIONES	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO (L/S/M)
C1	Complejo de sedimentos y rocas con muy baja productividad, constituidos por depósitos cuaternarios no consolidados de ambientes lacustres, deltaicos y marinos y por rocas sedimentarias terciarias a cretácicas poco consolidadas a muy consolidadas, de origen continental o marino. Almacenan aguas de regular a mala calidad química, aislada en las regiones costeras.	Muy Baja Menor de 0.05
C2	Complejo de rocas ígneo-metamórficas con muy baja a ninguna productividad, muy compactas y en ocasiones fracturadas, terciarias a precámbricas. Almacenan aguas de buena calidad química. Con frecuencia se encuentran fuentes termales asociadas a la tectónica.	Muy Baja a ninguna Menor de 0.05

Fuente: Atlas de aguas subterráneas Colombia. Plancha 5-09. Bogotá, 2003.

5.1.9.2.2 Unidades hidrogeológicas en el Área de Influencia

En relación con las anteriores consideraciones, y teniendo en cuenta la mencionada metodología de clasificación propuesta, para el área de estudio, se tiene la siguiente categorización de las unidades hidrogeológicas.

Los acuíferos y acuitardos identificados en el AI corresponden al Acuífero Depósito Coluvial, Acuitardo Plaeners, Acuífero Arenisca Dura, Acuitardo Guaduas, Acuitardo Chía, Acuífero Labor y Tierna, Acuífero Tilatá, Acuífero Depósito Aluvial, Acuitardo Río Tunjuelito y Acuífero Conejo (Figura 5-2):

- **Sedimentos con flujo esencialmente intergranular (A)**

Son rocas y depósitos de rocas con porosidad primaria, que tienen una capacidad específica desde los 0.05 l/s/m a 5 l/s/m. Dentro de esta unidad se encuentran las rocas de la Formación Depósito Coluvial, Arenisca Dura, Guaduas, Chía, Labor y Tierna, Tilatá, Depósito Aluvial y Río Tunjuelito.

Acuífero Depósito Coluvial (A3): Es un acuífero de extensión local, que se correlaciona con sedimentos cuaternarios. Puede aportar caudales entre 1 l/s a 5 l/s por pozo dependiendo de los niveles arenosos que se atraviesen. Se califica como “Acuífero de Poca Importancia Hidrogeológica-APIH” dado su poco espesor, su mayor posibilidad de ser contaminado y su fácil agotamiento en caso de una sobreexplotación.

Acuífero Arenisca Dura (A2): Acuífero de extensión regional, cuya producción está ligada al grado de fracturamiento que puedan tener las capas de arenisca. Puede aportar caudales de 12 l/s o más. Se califica como “Acuífero de Gran Importancia Hidrogeológica-AGIH” dado su gran espesor, su mayor posibilidad de recarga, porque realmente aflora en su totalidad, aun así, es posible su fácil agotamiento en caso de una sobreexplotación.

Acuitardo Chía (A4): Acuitardo de extensión regional conformado principalmente por arcillas con materia orgánica, suprayacidas por una capa delgada de limos y arcillas. No se considera de interés hidrogeológico debido a su litología poco permeable.

Acuitardo Guaduas (A3). Es un acuitardo continuo de extensión regional de bajo a medio rendimiento, asociado al predominio de arcillas en la parte superior y predominio de areniscas (Niveles Arenisca La Guía y La Lajosa), junto a la presencia de varios mantos de carbón en la parte inferior. En el área de estudio se estima que puede aportar un caudal de 1 l/s a 5 l/s. Se califica como “Acuífero de Moderada Importancia Hidrogeológica-AMIH” dado su amplio espesor y amplia presencia en el área de la Cuenca del Río Bogotá.

Acuífero Labor Tierna (A1): Acuífero de extensión regional de alto rendimiento, siendo el más importante para el aporte de agua subterránea en el área de estudio. Se correlaciona con la Formación Labor Tierna, y puede producir caudales entre 10 l/s a 60 l/s. Se califica como “Acuífero de Gran Importancia Hidrogeológica-AGIH” dado su gran espesor su mayor posibilidad de recarga por su amplia distribución, porque en superficie aflora en estructuras anticlinales y sinclinales amplias, donde el sinclinal logra una importante acumulación de agua subterránea y en los anticlinales se resalta las amplias zonas de recarga.

Acuitardo Río Tunjuelito (A3): Acuitardo de extensión regional de moderada a baja producción, conformado por secuencias de gravas fluviales con intercalaciones de arenas, arcillas orgánicas y turbas. La Formación Río Tunjuelito se encuentra depositada por debajo de la Formación Chía y es de baja importancia hidrogeológica.

Acuífero Depósito Aluvial (A3): Es un acuífero de extensión local, que se correlaciona con sedimentos cuaternarios. Puede aportar caudales entre 1 l/s a 5 l/s por pozo dependiendo de los niveles arenosos que se atraviesen. Se califica como “Acuífero de Poca Importancia Hidrogeológica-APIH” dado su poco espesor, su mayor posibilidad de ser contaminado y su fácil agotamiento en caso de una sobreexplotación.

Acuífero Tilatá (A2): Acuífero de extensión local de alto rendimiento, que se correlaciona con la Formación Tilatá. Puede aportar caudales entre 10 l/s a 40 l/s. Se califica como “Acuífero de Gran Importancia Hidrogeológica-AGIH” dado su gran espesor, su mayor posibilidad de recarga, porque realmente aflora en su totalidad, aun así, es posible su fácil agotamiento en caso de una sobreexplotación.

- Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas (rocas fracturadas y/o carstificadas) (B)

Conformadas por rocas sedimentarias y calcáreas, con porosidad secundaria y capacidad específica desde los 0.05 l/s/m a 2 l/s/m. A esta unidad, pertenecen rocas de la Formación Plaeners y Conejo.

Acuitardo Plaeners (B2): Acuitardo de extensión regional, cuya producción está ligada al grado de fracturamiento que puedan tener los niveles de liditas y chert. Puede aportar caudales hasta de 10 l/s. Se califica como “Acuífero de Moderada Importancia Hidrogeológica-AMIH” dado su poco espesor.

Acuífugo Conejo (B3): Acuífugo de extensión regional constituido por arcillolitas, calizas y limolitas, donde los niveles de calizas diaclasadas y fracturadas pueden tener porosidad secundaria. Basado en su litología se considera de baja importancia hidrogeológica.

En el AI la unidad hidrogeológica (Tabla 5-4) que abarca mayor cobertura es el Acuífero Arenisca Dura con 40.44%, seguido por el Acuitardo Plaeners (37.36%), Acuífero Depósito Coluvial (8.48%), Acuífero Labor y Tierna (4.3%), el Acuífero Tilatá (2.99%), el Acuitardo Río Tunjuelito con 2,43%, Acuitardo Chía (1,83%) Acuitardo Guaduas (1,03%), Acuífugo Conejo (0,93%) y por último el Acuífero Depósito Aluvial (0,21%).

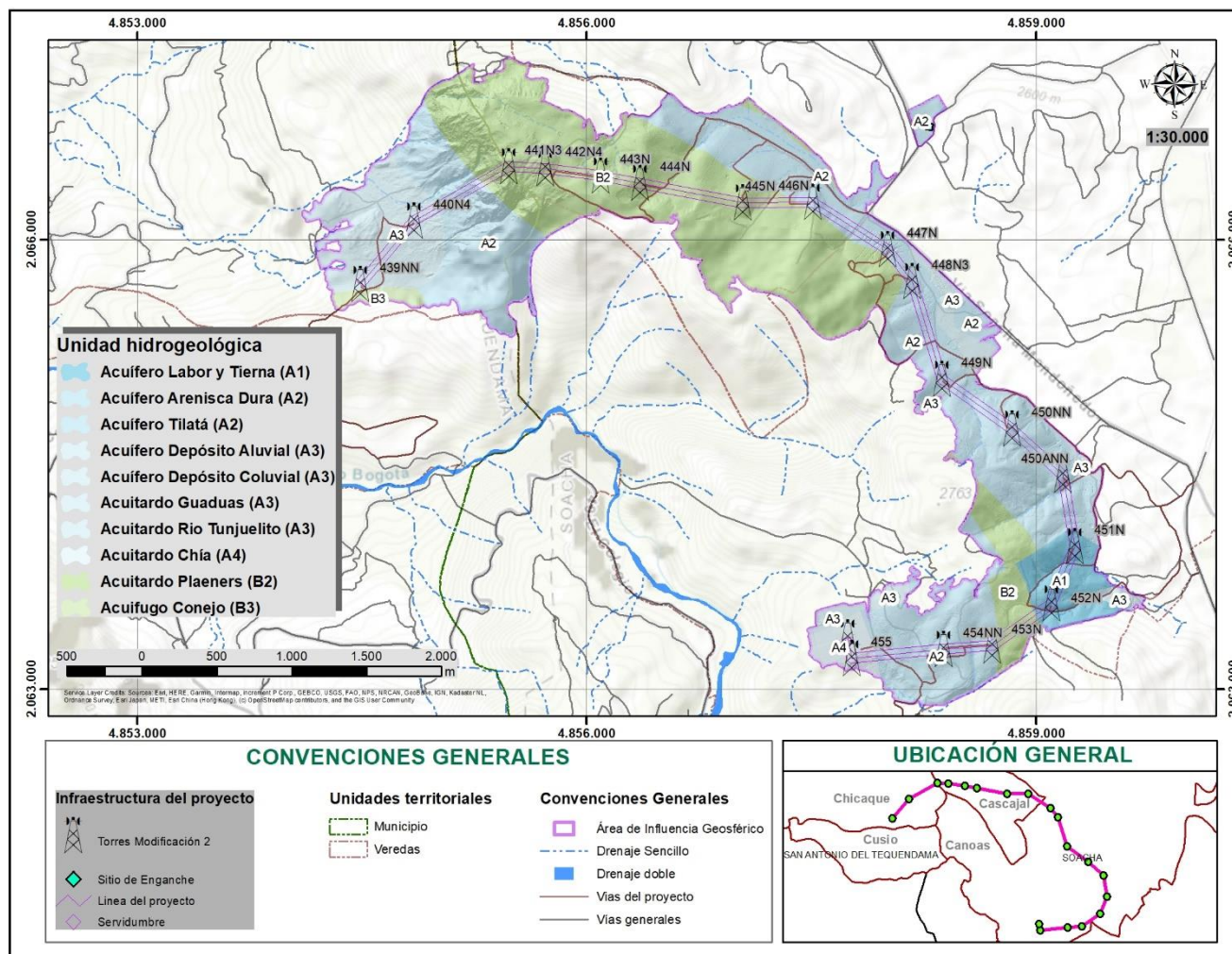
Tabla 5-4 Unidades hidrogeológicas en el AI

Unidad hidrogeológica	Área (ha)	% Área
Acuífugo Conejo (B3)	6,05	0,93
Acuífero Depósito Coluvial (A3)	55,46	8,48
Acuífero Labor y Tierna (A1)	28,13	4,30
Acuitardo Plaeners (B2)	244,38	37,36
Acuitardo Chía (A4)	11,95	1,83
Acuífero Depósito Aluvial (A3)	1,35	0,21
Acuífero Arenisca Dura (A2)	264,50	40,44
Acuitardo Guaduas (A3)	6,73	1,03
Acuífero Tilatá (A2)	19,59	2,99
Acuitardo Río Tunjuelito (A3)	15,92	2,43
TOTAL	654,07	100,00

Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

Figura 5-2 Mapa de unidades hidrogeológicas



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

A continuación, se presenta una tabla resumen (Tabla 5-5) de las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de influencia del proyecto, con sus principales parámetros hidráulicos y espesores.

Tabla 5-5 Características de las Unidades Hidrogeológicas identificadas en el Área de Influencia

Unidad Hidrogeológica	Espesor	T (m ² / día) Transmisividad	K (m/ día) Conductividad Hidráulica	S Capacidad Específica
Acuitardo Guaduas (A3)	700	5	0.1	6 E-07
Acuitardo Chía (A4)	500	7.3 – 52.45	0.15 – 3.5	1 E-02
Acuífero Depósito Aluvial (A3)	7.5	3	0.15	2.7 E-01
Acuitardo Río Tunjuelito (A3)	660	-	-	-
Acuífero Depósito Coluvial (A3)	7.5	3	0.15	2.7 E-01
Acuífugo Conejo (B3)	130	-	-	3.3 E -07
Acuitardo Plaeners (B2)	120	-	-	-
Acuífero Arenisca Dura (A2)	370	189	0.8	-
Acuífero Tilatá (A2)	370	189	0.8	-
Acuífero Labor y Tierna (A1)	245	66 - 81	0.92 – 4.4	-

Fuente: CAR-ANLA,2020.

5.1.9.1 Inventario de puntos de agua

En el área de influencia de la Modificación No. 2 de la Licencia Ambiental del Proyecto Segundo refuerzo de red en el área oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500 kV UPME 07 2016 se cuenta con la presencia de diferentes puntos de agua subterránea, los cuales sirven como puntos de descarga natural de los acuíferos presentes en el lugar.

El inventario de puntos de agua se realizó entre el 04 de enero y el 18 de febrero del 2022, mediante la ubicación directa de puntos de aprovechamiento en toda el área de estudio, identificando manantiales y pozos.

Los manantiales son puntos o áreas de la superficie del terreno donde de manera natural aflora un flujo de agua proveniente de un acuífero o embalse subterráneo (Custodio R. L., 1999).

Los pozos son construcciones más profundas que los aljibes, pueden construirse con taladro o los más superficiales manualmente, su diámetro de revestimiento varía entre 2 y 8 pulgadas y pueden tener una profundidad de hasta 400 metros aproximadamente, el método para extraer el agua subterránea puede ser por motobomba, bombas sumergibles, energía eólica o manual. Se realiza en el terreno a través de diferentes formaciones geológicas con la finalidad de interceptar algún acuífero de interés.

Una vez clasificados los diferentes puntos inventariados, se hace una relación de los puntos de agua con connotación hidrogeológica en la Tabla 5-6 donde se muestra la ubicación, tipo de punto y unidad hidrogeológica al interior del área de influencia. Para cada punto de agua se diligenció el formato FUNIAS, los cuales se encuentran en el Anexo A5.1.9 Hidrogeología / FUNIAS.

Para el área de estudio se inventariaron 8 puntos de agua subterránea, de los cuales 6 corresponden a manantiales y 2 corresponden a pozos (Tabla 5-6). Cabe mencionar que el uso de agua subterránea está asociado principalmente a actividades de uso doméstico y pecuario, y los pozos presentan un nivel estático de aproximadamente 45 metros.

Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La
Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

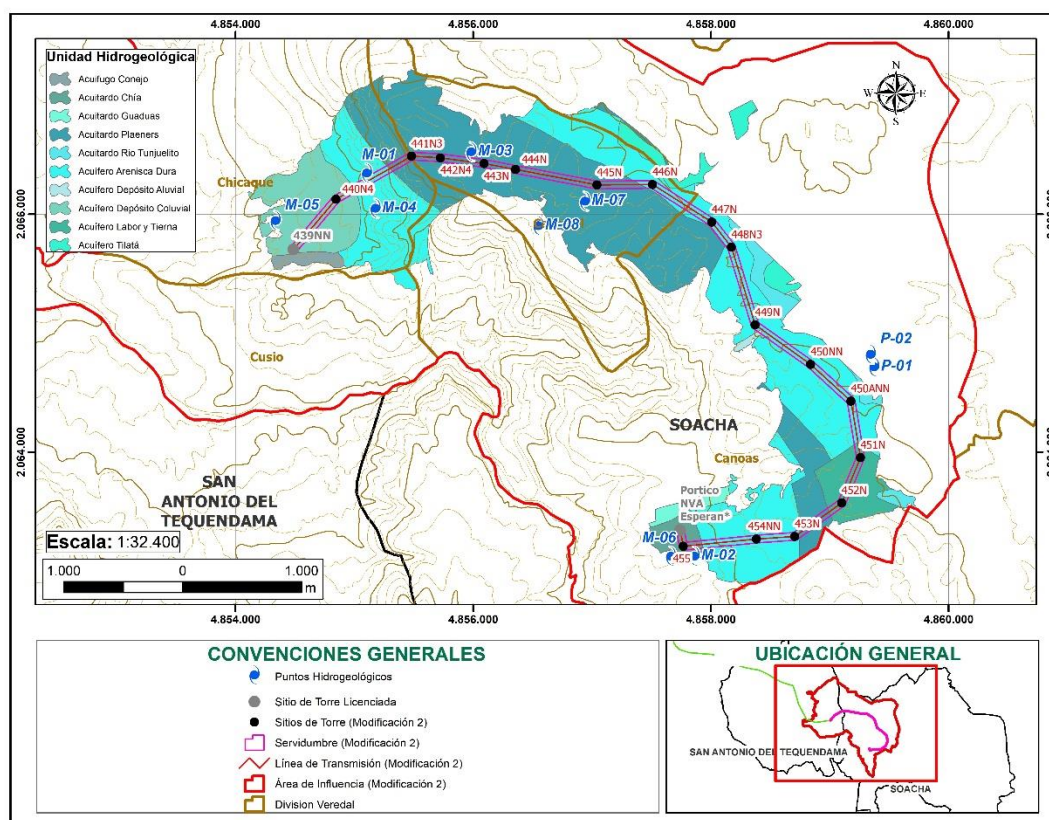
Tabla 5-6 Localización de los puntos hidrogeológicos inventariados en el área de estudio

ID	TIPO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORÍGEN NACIONAL	
		ESTE	NORTE
M-01	Manantial	4855105,459	2066347,945
P-01	Pozo	4859375,119	2064716,973
P-02	Pozo	4859345,532	2064823,397
M-02	Manantial	4857863,473	2063126,346
M-03	Manantial	4855985,408	2066526,073
M-04	Manantial	4855178,493	2066050,639
M-05	Manantial	4854337,536	2065946,964
M-06	Manantial	4857663,375	2063125,518
M-07	Manantial	4856940,972	2066110,437
M-08	Manantial	4856549,888	2065904,691

Se incluyen dos nuevos puntos hidrogeológicos identificados (Tabla 5-8)

Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

Figura 5-3 Inventario de puntos de agua subterránea en el área de estudio



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

La información para el desarrollo del inventario de puntos de agua subterránea se realizó a través de la interacción con la comunidad, con el fin de gestionar el ingreso a los predios y de registrar información referente al uso y aprovechamiento de estos, como también los parámetros de calidad de agua in situ.

La metodología empleada en cada punto consistió en la georreferenciación mediante GPS, la descripción de las características del agua, registro fotográfico, medición de parámetros in situ; en el caso del pozo P-01 se registró la profundidad, así como el diámetro, tipo de revestimiento, régimen y caudal de explotación. Para el pozo P-02 no se cuenta con esta información a la fecha, debido a que no fue posible el ingreso al predio. Toda esta información fue recopilada empleando el formato único nacional para inventario de puntos de aguas subterráneas (FUNIAS).

En la Tabla 5-7 se muestra un resumen de los puntos hidrogeológicos inventariados.

Tabla 5-7. Características de los puntos hidrogeológicos inventariados

ID	Tipo	Uso	Vereda - Predio	Unidad geológica	Parámetros físicoquímicos in situ	Fotografía
M-01	Manantial	Uso doméstico y pecuario	San Isidro	Formación Arenisca Dura	pH: 7,24 Conductividad Eléctrica (μS/cm): 58 Temperatura (°C): 17,1 SDT (mg/l): 13	
P-01	Pozo	Uso doméstico y agrícola	El Llano y La Cruz Sumicol	Formación Superficial Río Tunjuelito Captación: Formación Arenisca Dura	Nivel estático: 52,08 Nivel Dinámico: 62,59 Caudal concesionado: 0,12 l/s	
P-02	Pozo	Uso doméstico e industrial	Vidrio Andino	Formación Superficial Río Tunjuelito Captación: Formación Arenisca Dura	Caudal concesionado: 8,4 l/s	

Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

ID	Tipo	Uso	Vereda - Predio	Unidad geológica	Parámetros fisicoquímicos in situ	Fotografía
M-02	Manantial	Uso doméstico	EMGESA	Formación Chía	pH: 6,72 Conductividad Eléctrica (μS/cm): 216 Temperatura (°C): 16,7 SDT (mg/l): 208	
M-03	Manantial	Inactivo	Monserate / Vereda Cascajal	Formación Plaeners	pH: 6,6 Conductividad Eléctrica (μS/cm): 105 Temperatura (°C): 17,2 SDT (mg/l): 53	
M-04	Manantial	Uso doméstico y pecuario	Monserate / Chicaque alto	Formación Arenisca Dura		
M-05	Manantial	Uso doméstico, agrícola y pecuario	San Antonio del Tequendam a	Deposito Coluvial		

ID	Tipo	Uso	Vereda - Predio	Unidad geológica	Parámetros fisicoquímicos in situ	Fotografía
M-06	Manantial	Inactivo	EMGESA	Formación Chía	pH: 6,06 Conductividad Eléctrica (μS/cm): 207 Temperatura (°C): 17,8 SDT (mg/l): 102	

Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos se tiene que los puntos de agua subterráneos inventariados presentan pH ligeramente ácido, bajo contenido en sólidos disueltos y así mismo bajas conductividades eléctricas.

Referente a los usos y usuarios del recurso hídrico subterráneo se tiene aprovechamiento para uso doméstico, agrícola y pecuario principalmente. Cabe mencionar que los manantiales identificados en el área de influencia están a más de 100 metros de los sitios de torre propuestos en el proyecto por lo que se concluye que no presentarán ninguna afectación.

Adicionalmente se eligió 1 punto de agua subterránea (Manantial M-01) por su tipo de uso y ubicación, el cual está captando el Acuífero Arenisca Dura, para realizar la caracterización fisicoquímica y de calidad por el laboratorio S.G.I. S.A.S y cuyos resultados se encuentran en el Anexo A5.1.9 Hidrogeología. Resultados de Laboratorio.

De acuerdo con el Requerimiento No. 8 del Acta de Información Adicional No. 69 del 4 y 5 de agosto de 2022, en el cual la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA solicitó: «Complementar el inventario de puntos de agua subterránea para el predio Monserrate»; TCE realizó las gestiones requeridas y contactó nuevamente al propietario del predio Monserrate, a través del correo electrónico enviado el día 19 de agosto de 2022 (Figura 5-4), dado que este es el medio de contacto que el propietario ha establecido con TCE; en respuesta, a través del correo electrónico enviado por el propietario, TCE recibió el comunicado de fecha 26 de agosto de 2022 (Figura 5-5), en el que se reitera la negativa de autorizar cualquier permiso de ingreso a su propiedad por parte de TCE o sus contratistas.

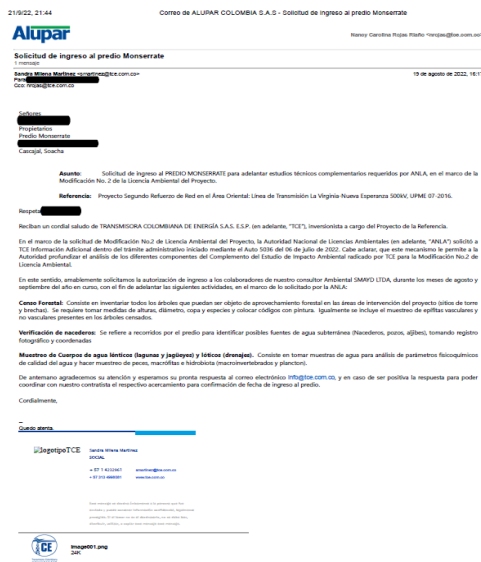
En consecuencia, y dados los factores externos a TCE sobre los que no se tiene control, no fue posible adelantar actividades de levantamiento de información primaria para complementar el inventario de puntos de agua subterránea en el predio Monserrate. No obstante, con el objetivo de cumplir el requerimiento de información adicional del Acta No.069 de 2022 se consultaron fuentes de información secundaria, como se menciona a continuación.

COMPLEMENTO DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – MODIFICACIÓN 2 LICENCIA AMBIENTAL RESOLUCIÓN No. 170 / 2021 – INFORMACIÓN ADICIONAL

Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La
Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016



Figura 5-4. Correo de solicitud de permiso de ingreso al predio Monserrate.



Nota: En cumplimiento a la Ley 1581 de 2012 “Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales”, se guarda reserva respecto de los datos sensibles del propietario del predio.

Figura 5-5. Comunicación recibida por parte del propietario del predio Monserrate.

Señora
SANDRA MILENA MARTINEZ
TRANSMISORA COLOMBIANA DE ENERGÍA (TCE)

Asunto: Respuesta NEGATIVA a solicitud de autorización de ingreso PREDIO MONSERRATE para adelantar estudios técnicos complementarios requeridos por ANLA, en el marco de la Modificación No. 2 de la Licencia Ambiental del Proyecto.

REFERENCIA: Proyecto Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de Transmisión La Virginia Nueva Esperanza 500Kv, UPME 07-2016.

Respetada Señora,

El pasado 19 de agosto del año en curso, recibimos una solicitud de parte de ustedes para autorizar el ingreso de colaboradores de su consultor Ambiental SMAYD LTDA, durante los meses de agosto y septiembre del año en curso, con el fin de adelantar distintas actividades. A lo anterior, nos permitimos dar respuesta NEGATIVA a dicha solicitud teniendo en cuenta lo siguiente:

1. En primer lugar, en virtud de lo establecido por el artículo 669 del Código Civil de Colombia, los titulares del derecho de dominio o propiedad, tenemos la facultad para **GOZAR Y DISPONER** de nuestros bienes, no siendo contra la ley o contra derecho ajeno. Por lo tanto, es en uso de dicho derecho que tenemos total disposición de negarle el acceso a cualquier persona que pretenda ingresar al predio llamado MONSERRATE. Es de resaltar que ustedes no son una autoridad de policía ni presentan un mandamiento escrito de autoridad judicial competente que nos obligue a permitirles la entrada. De hecho, en caso de que ustedes decidan ingresar a nuestro predio sin autorización alguna, estarían vulnerando nuestro derecho fundamental a la inviolabilidad del domicilio, consagrado en el artículo 28 de la Constitución Política. En consecuencia, acarrearían las respectivas consecuencias penales y civiles en su contra.

entonces hablando de un proyecto de GRAN IMPACTO, lo que significa que la socialización es indispensable y debe ser INTEGRAL. Tanto para los propietarios de los predios como para la comunidad en general. Este proyecto va en contra de lo estipulado de acción sin dolo que recordamos en: “ninguna intervención externa, realizada por diferentes actores (transmisionistas o de desarrollo, está exenta de hacer dolo (no intencional) a través de sus acciones.”

En conclusión, **NO AUTORIZAMOS EL INGRESO DE COLABORADORES DE SU CONSULTOR AMBIENTAL SMAYD LTDA NI DE TRANSMISORA COLOMBIANA DE ENERGÍA E.S.P NI DE NINGUNA OTRA EMPRESA O CONTRATISTA, DURANTE LOS MESES DE AGOSTO Y SEPTIEMBRE DEL AÑO EN CURSO, CON EL FIN DE ADELANTAR LAS DISTINTAS ACTIVIDADES QUE USTEDES LES HAN ORDENADO.** En caso de que se incumpla nuestra disposición, no exoneraremos en esfuerzos desde la parte legal para suspender su actuar forzado.

Atentamente,

COPROPIETARIA DEL PREDIO MONSERRATE
Cédula: [REDACTED]
Correo electrónico: [REDACTED]

¹ Justicia Transicional y acción sin dolo: Una reflexión desde el proceso de restitución de tierras. Aura Patricia Ballester Jarama y Olga del Pilar Viqueiro Cruz. Documento 23. Centro de Estudios de Derecho, Justicia y Sociedad. Dejusticia. ISBN: 978-958-58-160-1-1

Nota: En cumplimiento a la Ley 1581 de 2012 “Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales”, se guarda reserva respecto de los datos sensibles del propietario del predio.

Ante la mencionada negativa por parte del propietario del predio Monserrate, se solicitó a la Corporación Autónoma de Cundinamarca – CAR, mediante comunicación con número de radicado 20221069520 del 19 de agosto de 2022, el inventario de puntos de agua subterránea (nacimientos, pozos y/o aljibes) y/o concesiones de aguas subterráneas y superficiales otorgadas por la Corporación para el predio en mención, indicando las respectivas coordenadas (con datum y origen)) (Ver **Anexo «A13. Inf Ad Acta 69 de 2022\Requerimiento 8»**).

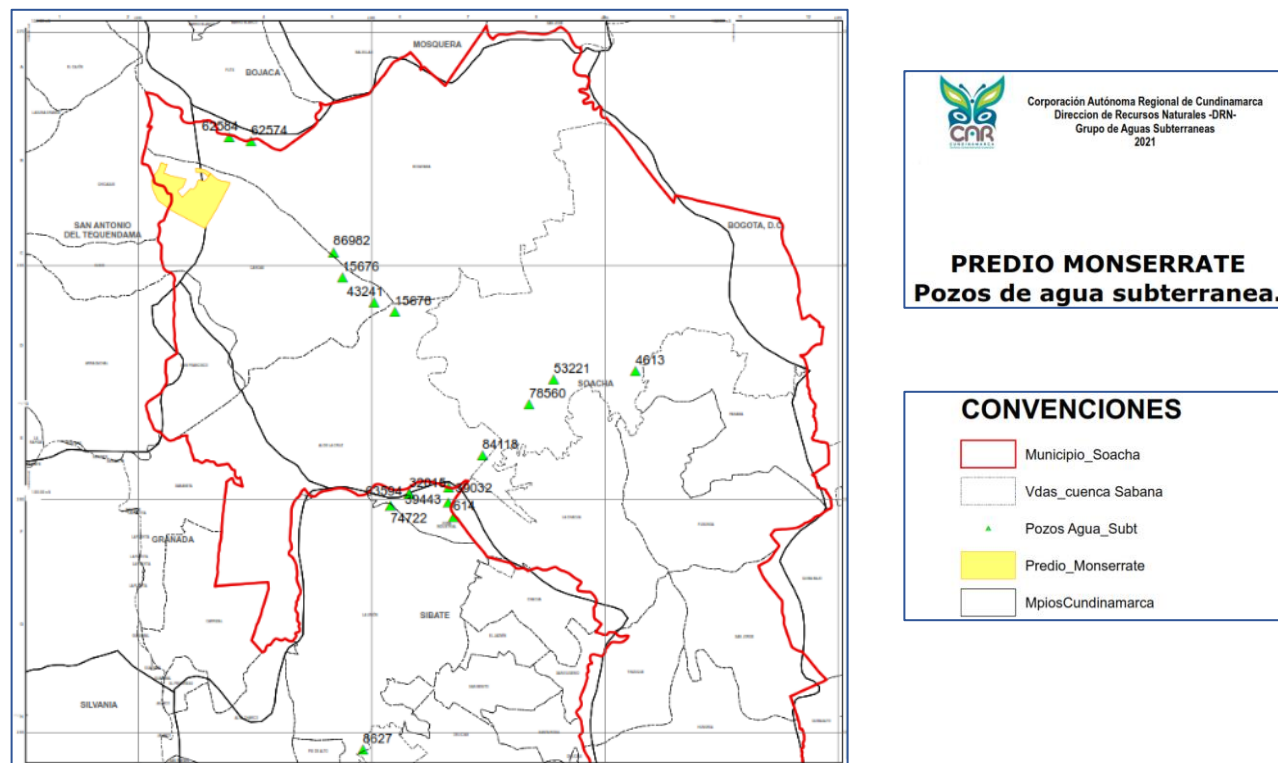
Por lo que, por medio de la comunicación con número de radicado 20222071524 del 01 de septiembre de 2022 (Ver **Anexo «A13. Inf Ad Acta 69 de 2022\Requerimiento 8»**) la CAR dio respuesta a la solicitud y emitió las consideraciones de las respectivas áreas, que se citan a continuación:

Por parte de la Dirección Regional Tequendama, se indica que: «El predio denominado “Monserrate”, identificado con (...) ubicado una parte en la vereda Chicaque del municipio de San Antonio del Tequendama, tiene una extensión menor con respecto a la restante porción de terreno ubicado en la vereda Canoas del municipio de Soacha, en el área de la jurisdicción de la Dirección Regional Tequendama, **no se evidencian cuerpos de agua ni tampoco concesiones de aguas otorgadas en el predio**»..

Por parte de la Dirección Regional Soacha, se menciona: «En respuesta al asunto, amablemente informo que en el sector mencionado en el oficio del solicitante con radicado 20221069520, de acuerdo con el Servicio de Atención de Expedientes de la Corporación - SAE **no se tienen registradas concesiones de agua, subterráneas y/o superficiales otorgadas, así mismo tampoco se registra concesión otorgada en el predio citado en la petición**»

Por último, el grupo de aguas subterráneas de la CAR suministró el mapa de pozos de aguas subterráneas registrados en su base de datos, en el cual se evidencia que, la CAR no reporta ningún punto hidrogeológico en el predio Monserrate (Figura 5-6).

Figura 5-6 Inventario de puntos de agua subterránea predio Monserrate



Fuente: CAR., 2022.

En consecuencia, se concluye que, la CAR **no** reporta puntos hidrogeológicos al interior del predio Monserrate. Considerando que no se obtuvo la autorización del ingreso al citado predio por parte del propietario, a través de la información consultada se infiere que no existen puntos hidrogeológicos al interior de esta propiedad, en este sentido se da cumplimiento al citado requerimiento de información adicional establecido por la ANLA.

Adicionalmente, es importante mencionar que, si bien no se contó con permiso de ingreso al predio Monserrate, con la nueva gestión social realizada por TCE, los propietarios de los predios La Mano del Chilco y La Loma permitieron el ingreso del grupo consultor Smayd Ltda. En este sentido, fue posible desarrollar una nueva fase de campo, mediante la cual, se identificaron dos nuevos puntos hidrogeológicos en el área de influencia de la Modificación de Licencia Ambiental No.2 (Tabla 5-8). En el **Anexo «A13. Inf Ad Acta 69 de 2022\Requerimiento 8»** se adjuntan los Formularios Únicos Nacionales Para Inventario De Puntos De Agua Subterránea de estos dos manantiales identificados.

**Tabla 5-8. Nuevos puntos hidrogeológicos identificados en el área de influencia de la Modificación No. 2
Resolución 170/2021**

ID	Tipo	Uso	Vereda - Predio	Unidad geológica	Fotografía
M-07	Manantial	Utilización para necesidades domésticas individuales	Cascajal – Soacha – La Mano del Chilco	Formación Plaeners	
M-08	Manantial		Cascajal – Soacha – La Loma		

Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

5.1.9.2.3 Parámetros hidráulicos de los acuíferos regionales

De acuerdo con la información analizada en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca hidrográfica del Río Bogotá (CAR, 2019) se establecieron propiedades hidráulicas en los acuíferos regionales que se mencionan a continuación:

- Nivel estático (NE)

El nivel estático o piezométrico se define como la distancia del suelo al nivel de espejo de agua sin que esté funcionando la bomba por lo menos durante un lapso de 24 h.

El nivel estático en el acuífero cretácico es del orden de 0 a 25.14 m de profundidad (Formaciones Conejo, Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna y Guaduas), el nivel estático en el acuífero cuaternario (Depósitos Aluviales y Coluviales) es del orden de 2,61 a 24.93 m de profundidad y el nivel estático en el acuífero cuaternario de la Formación Chía – Río Tunjuelo es del orden de 13.88 a 29.26 m.

- Nivel Dinámico

También llamado nivel de bombeo, porque es producido cuando comienza la descarga del acuífero por el pozo. Este nivel depende del caudal de bombeo, del tiempo de bombeo y de las características hidrogeológicas del acuífero. También se debe tener en cuenta la técnica desarrollada en el diseño de pozo.

El nivel dinámico en el acuífero cretácico (Formaciones Conejo, Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna y Guaduas) es del orden de 2.79 a 48.42 m de profundidad, el nivel dinámico en el acuífero cuaternario (Depósitos Aluviales y Coluviales) es del orden de 9.8 a 26.54 m de profundidad y el nivel dinámico en el acuífero cuaternario de la Formación Chía – Río Tunjuelo es del orden de 16.23 a 32.57 m de profundidad.

- Abatimiento (s)

Es la diferencia entre el Nivel Dinámico y el Nivel Estático. Se refiere a la reducción del nivel del agua en un pozo debido a una extracción sostenida. El abatimiento es una función de las propiedades del acuífero (conductividad hidráulica, (K)) y las características del pozo incluyendo su construcción. Se utiliza para estimar las propiedades de los acuíferos en ausencia de pruebas sistemáticas.

El abatimiento en el acuífero cretácico (Formaciones Conejo, Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna y Guaduas) es del orden de 1.79 a 33.83 m de profundidad, el abatimiento en el acuífero cuaternario (Depósitos Aluviales y Coluviales) es del orden de 0.44 a 9.98 m de profundidad y el abatimiento en el acuífero cuaternario de la Formación Chía – río Tunjuelo es del orden de 2.35 a 3.59 m de profundidad.

- Caudal (Q)

Corresponde a la cantidad de líquido que pasa en un cierto tiempo por determinada área, el caudal utilizado durante las pruebas de bombeo es del orden de 0.27 a 27.12 l/s.

En la Cuenca del Río Bogotá (Sector Tibitóc-Soacha) en el área de Fontibón el caudal (Q) de La Formación Tilatá (N2t) es del orden de 2 a 40 l/s y en la Formación Arenisca Labor-Tierna (K2t) reporta un caudal (Q) de unos 2 a 30 l/s, mientras que en la Formación Arenisca Dura el caudal (Q) es del orden de 2 a 14 l/s. En esta SubCuenca del Río Bogotá (Sector Tibitóc-Soacha).

En la subcuenca del río Teusacá, los valores del caudal (Q) en la Formación Tilatá (N2t) están entre 2 y 40 l/s; para la Arenisca Labor Tierna (K2t) presenta valores de (Q) de 3 a 12 l/s y para la Formación Arenisca Dura (Ksd) entre 2 y 7 l/s. Estos valores están dentro de la categoría de Gran a Media Importancia Hidrogeológica.

Para la subcuenca Embalse Tominé, se muestra el parámetro hidráulico del caudal, el cual tiene los siguientes valores en las diferentes unidades litoestratigráficas consideradas como los mejores acuíferos: Formación Tilatá (N2t) con un Q entre 2-12 l/s en un sector y de 1-25 l/s en otro sector, la Formación Arenisca Labor-Tierna (K2t) presenta un Q entre 0.8 a 18 l/s y para la Formación Arenisca Dura (Ksd) presenta un caudal Q entre 2 a 25 l/s.

- Transmisividad (T)

Se define como el caudal que se filtra a través de una franja vertical de terreno, de ancho unitario y de altura igual a la del manto permeable saturado bajo un gradiente de unidad a una temperatura fija determinada (Custodio E. y., 1993).

La transmisividad en el acuífero cretácico (Formaciones Conejo, Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna y Guaduas) es del orden de 5.4 a 1064 m²/día. En el acuífero cuaternario (Depósitos Aluviales y Coluviales) es del orden de 1.37 a 37 m²/día y en el acuífero cuaternario de la Formación Chía – Río Tunjuelo es del orden de 315 a 1432 m²/día.

En la subcuenca del río Balsillas (incluye el Río Bojacá) en la Formación Arenisca Labor-Tierna (K2t) es del orden de 5 a 20 m²/día y la Formación Arenisca Dura (K2d) la transmisividad es del orden de 15 a 140 m²/día (CAR, 2019).

- Conductividad Hidráulica (K)

Este parámetro representa la mayor o menor facilidad con la que el medio deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal a la dirección del flujo. El término de conductividad hidráulica es usado comúnmente cuando se trata de agua en una sola fase, mientras que el término permeabilidad se usa en la industria petrolera donde los fluidos de interés son el gas, el petróleo y el agua (Schwartz, 1990). Esta se determina a partir del análisis de pruebas de bombeo.

La conductividad hidráulica en el acuífero cretácico (Formaciones Conejo, Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna y Guaduas) es del orden de 0.7 a 59.1 m/día. En el acuífero cuaternario (Depósitos Aluviales y Coluviales) es del orden de 0.5 a 9.1 m/día y en el acuífero cuaternario de la Formación Chía – río Tunjuelo es del orden de 17.5 a 43.6 m/día.

- Capacidad Específica (Ce)

Relación entre el Caudal y el Abatimiento. Rendimiento de un pozo (Q) por unidad de abatimiento (s), medido regularmente en galones por minuto/pies de abatimiento, definido por la ecuación $Ce = Q/s$.

La capacidad específica en el acuífero cretácico (Formaciones Conejo, Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna y Guaduas) es del orden de 0.02 a 4.13 l/s/m, la capacidad específica en el acuífero cuaternario de los Depósitos Aluviales y Coluviales es del orden de 0.005 a 4.54 l/s/m y la capacidad específica en el acuífero cuaternario de la Formación Chía – río Tunjuelo es del orden de 2.35 a 8.06 l/s/m.

En la subcuenca del río Balsillas (incluye el río Bojacá), los valores reportados de capacidad específica (Ce) en la Formación Tilatá es de 0,003 l/s/m mientras que la Formación Arenisca dura es de 0,00045 l/s/m (inferido).

- Coeficiente de almacenamiento (s)

Se refiere al volumen que es capaz de liberar el acuífero al descender en una unidad el nivel piezométrico. Toma valores diferentes según sea el acuífero libre o cautivo. En un acuífero libre el valor del coeficiente de almacenamiento coincide con el valor de la porosidad eficaz. En un acuífero confinado, sin embargo, este volumen de agua que causa un descenso de una unidad en el nivel piezométrico coincide con la suma del agua liberada por el acuífero como consecuencia de la dilatación que éste sufre al descomprimirse y el agua que cede el terreno al compactarse el armazón por tener que soportar en mayor parte el peso del terreno suprayacente.

El coeficiente de almacenamiento en el acuífero cretácico (Formaciones Conejo, Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna y Guaduas) es del orden de 6×10^{-7} , el acuífero cuaternario de los Depósitos Aluviales es del orden de 1.1×10^{-2} y el coeficiente de almacenamiento en el acuífero cuaternario de la Formación Chía – Río Tunjuelo es del orden de 2.62×10^{-3} .

5.1.9.2.4 Parámetros hidráulicos de los acuíferos dentro del área de estudio

El pozo P-01 (E 4859375 N 2064717) localizado en el predio el Llano y la Cruz en la Vereda Canoas, en la empresa Sumicol, tiene una profundidad de 170 metros, captando el acuífero Arenisca Dura catalogado como un acuífero con buena importancia hidrogeológica dentro del área de estudio. Tiene un caudal concesionado de 0,12 l/s asociado a uso de tipo doméstico y agrícola.

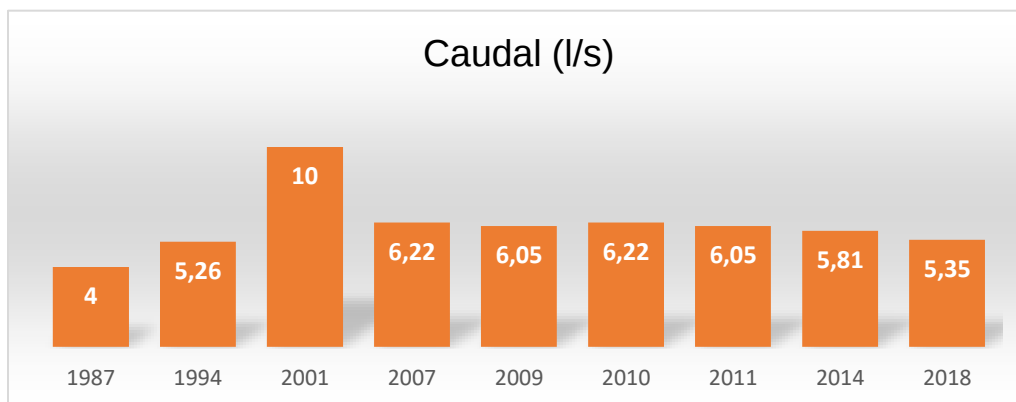
A partir de la información recopilada en campo se capturan datos históricos de caudales, niveles estáticos y dinámicos, abatimiento máximo y capacidad específica de 1987 a 2018 como se evidencia a continuación.

- Caudal (oferta hídrica)

El caudal corresponde al volumen de agua que pasa instantáneamente por la sección de aforos en la unidad de tiempo y se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s) o en litros por segundo (l/s), cuando se manejan pequeñas magnitudes. El caudal en una corriente de agua es función del área de la sección de aforos (A) y de la velocidad media del flujo (V) y se obtiene mediante el producto de estas dos variables: $Q = V * A$ (IDEAM, 2007).

La oferta hídrica de la captación del pozo P-01 (acuífero Arenisca Dura), se ha calculado mediante pruebas de bombeo anuales (Figura 5-7) las cuales arrojaron datos que evidencian un ligero descenso del caudal, especialmente entre el año 2014 al 2018 (0,46 l/s).

Figura 5-7 Histograma de caudales tomados en el P-01 de 1987 a 2018



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

- Nivel estático (NE)

El nivel estático o piezométrico se define como la distancia del suelo al nivel de espejo de agua sin que esté funcionando la bomba por lo menos durante un lapso de 24 h.

Los niveles estáticos en el Pozo P-01 se han mantenido relativamente constantes durante el año 1987 a 2018, por lo cual se concluye que no se han presentado descensos significativos o afectación del acuífero Arenisca Dura (Figura 5-8).

Figura 5-8 Histograma de niveles estáticos tomados en el P-01 de 1987 a 2018



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

- Nivel Dinámico

También llamado nivel de bombeo, porque es producido cuando comienza la descarga del acuífero por el pozo. Este nivel depende del caudal de bombeo, del tiempo de bombeo y de las características hidrogeológicas del acuífero. También se debe tener en cuenta la técnica desarrollada en el diseño de pozo.

Los niveles dinámicos en el Pozo P-01 se han mantenido relativamente constantes durante el año 1987 a 2018, por lo cual se concluye que no se han presentado descensos significativos o afectación del acuífero Arenisca Dura (Figura 5-9).

Figura 5-9 Histograma de niveles dinámicos tomados en el P-01 de 1987 a 2018



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

- Abatimiento (s)

Es la diferencia entre el Nivel Dinámico y el Nivel Estático. Se refiere a la reducción del nivel del agua en un pozo debido a una extracción sostenida. El abatimiento es una función de las propiedades del acuífero (conductividad hidráulica, (K)) y las características del pozo incluyendo su construcción. Se utiliza para estimar las propiedades de los acuíferos en ausencia de pruebas sistemáticas.

De acuerdo con los datos históricos de abatimiento (1987-2018) presentados en el Pozo P-01 que está captando el acuífero Arenisca Dura (Figura 5-10), se puede evidenciar que se presenta hacia el año 2018 un ligero abatimiento en el acuífero respecto a los años anteriores (2,17).

Figura 5-10 Histograma de abatimientos tomados en el P-01 de 1987 a 2018



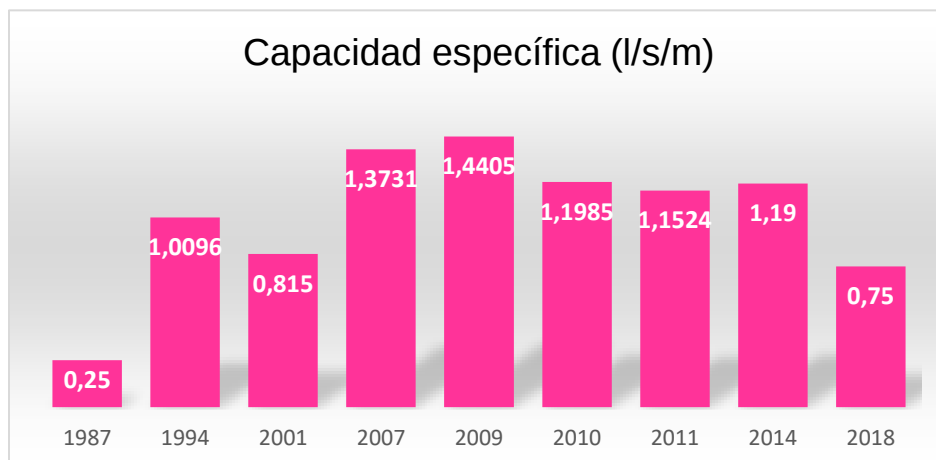
Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

- Capacidad Específica (Ce)

Relación entre el Caudal y el Abatimiento. Rendimiento de un pozo (Q) por unidad de abatimiento (s), medido regularmente en galones por minuto/pies de abatimiento, definido por la ecuación $Ce = Q/s$.

Basados en los datos históricos de capacidad específica calculada entre los años 1987 a 2018 para el Pozo P-01 que está captando el acuífero Arenisca Dura, se puede evidenciar que hacia el año 2018 se presenta disminución de la capacidad específica en 0,44 l/s/m (Figura 5-11).

Figura 5-11 Histograma de capacidad específica calculada para el P-01 de 1987 a 2018

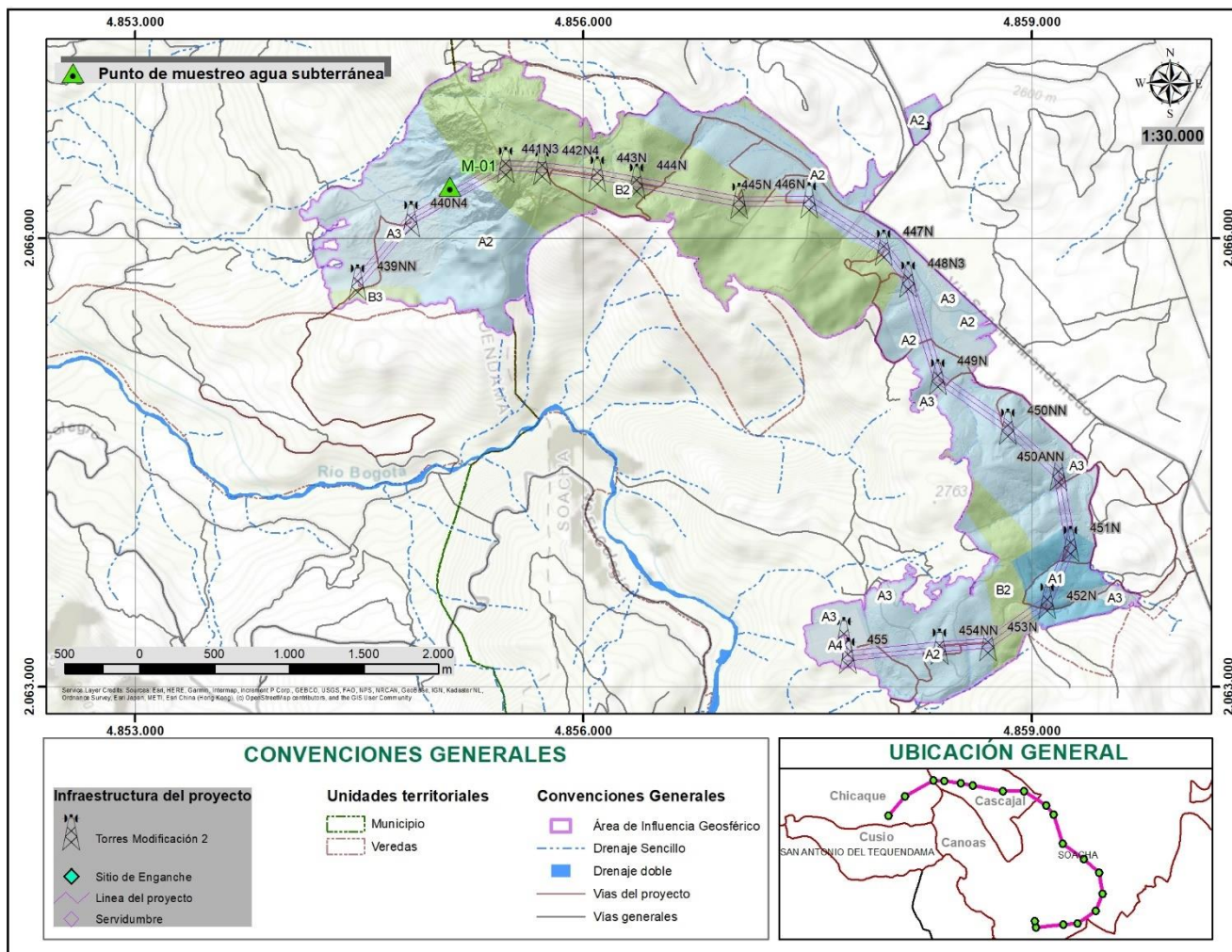


Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

5.1.9.3 Hidrogeoquímica

En cuanto a la caracterización del agua subterránea para los acuíferos presentes en el área de estudio se tomaron parámetros fisicoquímicos en un manantial (M-01) localizado en la vereda Chicaque asociado al Acuífero Arenisca Dura (Figura 5-12) y como referencia se tomó información secundaria del tipo de agua del Acuitardo Chía y Tilatá del estudio realizado en el marco del convenio PUJ-SDA (PUJ-SDA, 2018).

Figura 5-12 Muestreo de puntos de agua subterránea en el AI



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

En la Tabla 5-9 se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica del punto hidrogeológico (M-01) por el laboratorio S.G.I. S.A.S (Anexo A5.1.9. Resultados de laboratorio).

Tabla 5-9 Resultado de laboratorio monitoreo agua subterránea para iones mayores

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
Calcio en mg/L	EPA 200, 2, EPA 6010 D	mg/L	6,909
Carbonato en mg/L	SM 2320 B	mg/L CaCO ₃	10
Cloruros en mg/L	SM 4500 CL- B	Mg /L Cl-	4
Hierro en mg/L	EPA 200, 2, EPA 6010 D	mg/L	0.146
Magnesio en mg/L	EPA 200, 2, EPA 6010 D	mg/L	1
Potasio en mg/L	EPA 200, 2, EPA 6010 D	mg/L	4,882
Sulfatos en mg/L	SM 4500 SO ₄ 2 -E	mg/L	18,94
Acidez Total en mg/L CaCO ₃	SM 2310 B	mg/L CaCO ₃	5
Aluminio en mg/L	EPA 200, 2, EPA 6010 D	mg/L	0,203
Conductividad en μS/cm	SM 2310 B	μS/cm	61
Demanda Química de Oxígeno en mg/L	SM 5220 C	mg/L	35
Fósforo Total en mg/L	SM 4500 -P, B, E	mg/L P-PO ₄	0,16
Manganeso en mg/L	EPA 200, 2, EPA 6010 D	mg/L	0,05
Nitratos en mg/L	SM 4500 NO ₃ D	mg/L NO ₃	1,05
Nitritos en mg/L	SM 4500 NO ₂ B	mg/L NO ₂	0,02
Nitrógeno Total Kjeldahl en mg/L	EPA 200, 2, EPA 6010 D	mg/L NH ₃	4,64
Oxígeno Disuelto en mg/L	ASTM D 888- 12 E-1, C	mg/L -O ₂	5,41
Valor de pH	SM 4500 H+ B	Valor de pH	7,47
Sodio en mg/L	EPA 200, 2, EPA 6010 D	mg/L	1,585
Sólidos Totales en mg/L	SM 2540 C	mg/L	43

Fuente: S.G.I. S.A.S, 2022

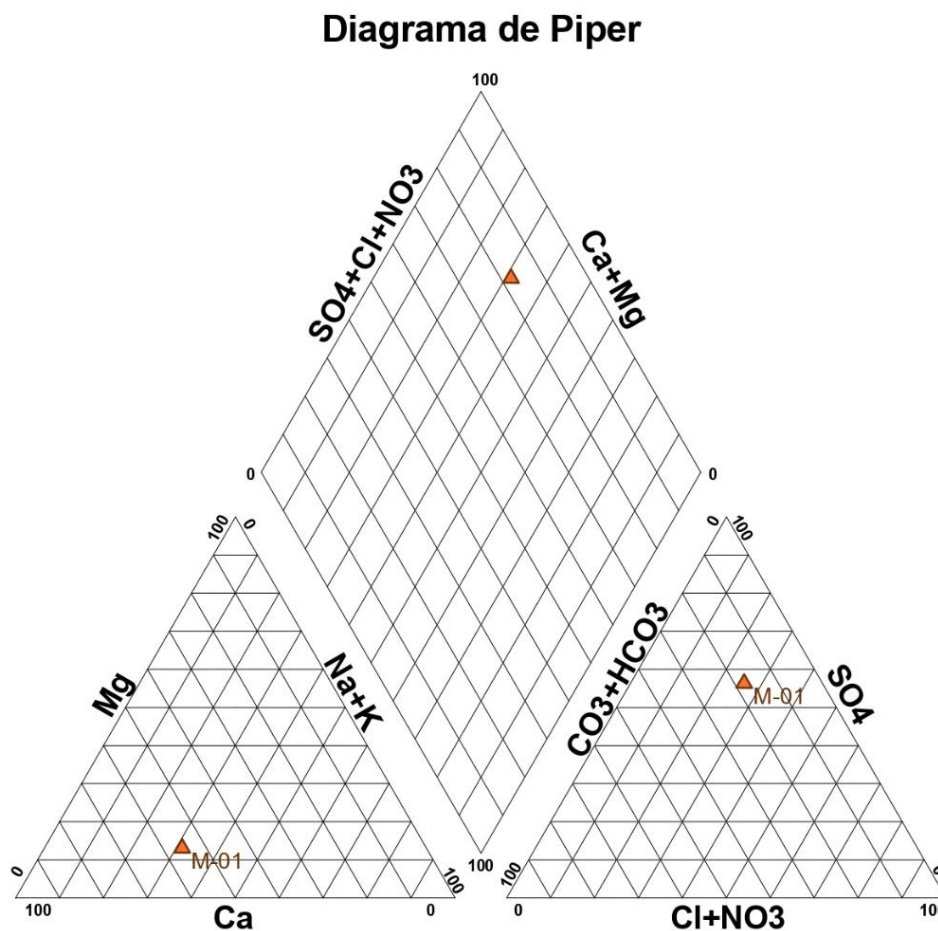
5.1.9.3.1 Diagrama De Piper y Stiff

Los diagramas de Piper se componen de dos triángulos y un rombo, los cuales exponen la proporción de aniones y cationes del agua objeto de análisis. El triángulo de la esquina inferior izquierda representa los cationes, y el de la esquina inferior derecha muestra los aniones; justo encima de ambos está el rombo que los relaciona y combina.

El diagrama obtenido muestra el tipo de agua geoquímicamente hablando (Figura 5-13). Para el triángulo de los cationes, se observa la presencia de mayores concentraciones de calcio, en comparación con el sodio, magnesio y potasio. En cuanto a la proporción de aniones, se observa dominancia del sulfato.

A partir de lo anterior, y de acuerdo con la ubicación de los puntos en el rombo que combina tanto los aniones como los cationes, se determinaron aguas de tipo cálcicas sulfatadas tipo cloruro de calcio indicando un bajo grado de mineralización.

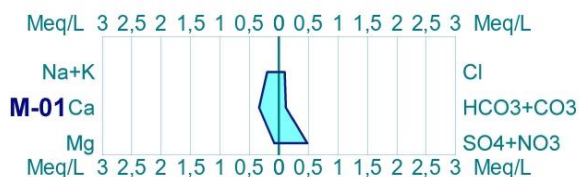
Figura 5-13 Diagrama de Piper, manantial M-01, Formación Arenisca Dura.



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

Los diagramas de Stiff corroboran la presencia de aguas de tipo cálcicas sulfatadas, por lo que corresponden en a aguas subterráneas naturales jóvenes (Figura 5-14), comportamiento relacionado con un bajo grado de mineralización.

Figura 5-14 Diagrama de Stiff, manantial M-01, Formación Arenisca Dura.



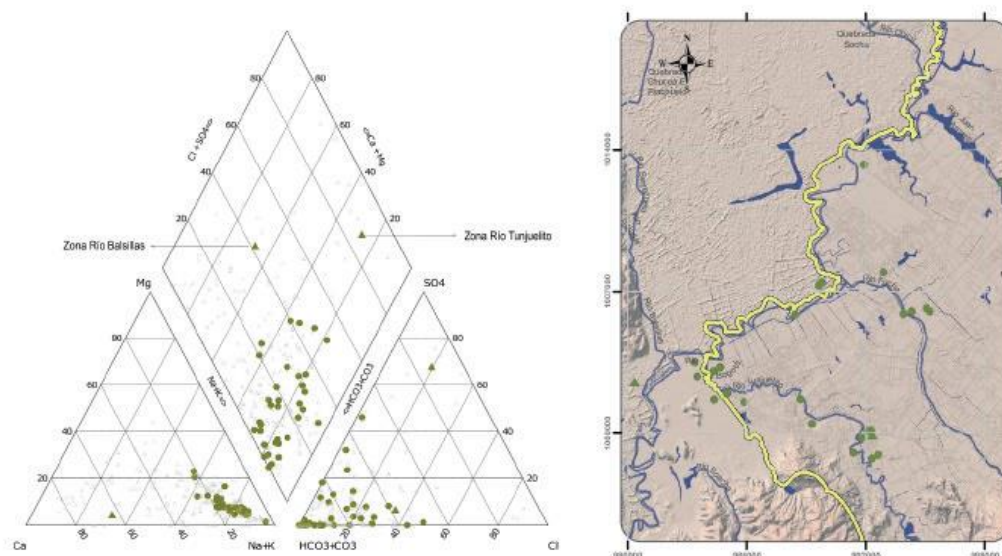
Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

5.1.9.3.2 Balance iónico

El balance iónico arrojó un porcentaje de error del 4,74%, con un total de meq de Cationes de 0,650 y de Aniones de 0,714 (Anexo A5.1.9. Resultados de laboratorio).

Por otro lado, dentro del estudio realizado en la marco del convenio PUJ-SDA (PUJ-SDA, 2018), se identifican los tipos de agua asociados a las formaciones geológicas de los pozos que atraviesan la Formación Chía (Figura 5-15), ubicada en las rondas de los ríos principales, se encontraron aguas Bicarbonatadas Sódicas ($\text{HCO}_3\text{-Na}$), con profundidades de extracción promedio de 128 m. Esta formación es muy superficial (con profundidades de máximo 10 m; el pozo de menor profundidad tiene 25 m), por tal motivo no se tienen muestras exclusivas en esta formación. Además de las aguas bicarbonatadas sódicas se evidencian dos datos bien diferenciados: una en el río Balsillas justo antes de la desembocadura al río Bogotá ($\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ a 180 m de profundidad) y la segunda sobre el río Tunjuelito (Na-SO_4 con 175 m de profundidad media).

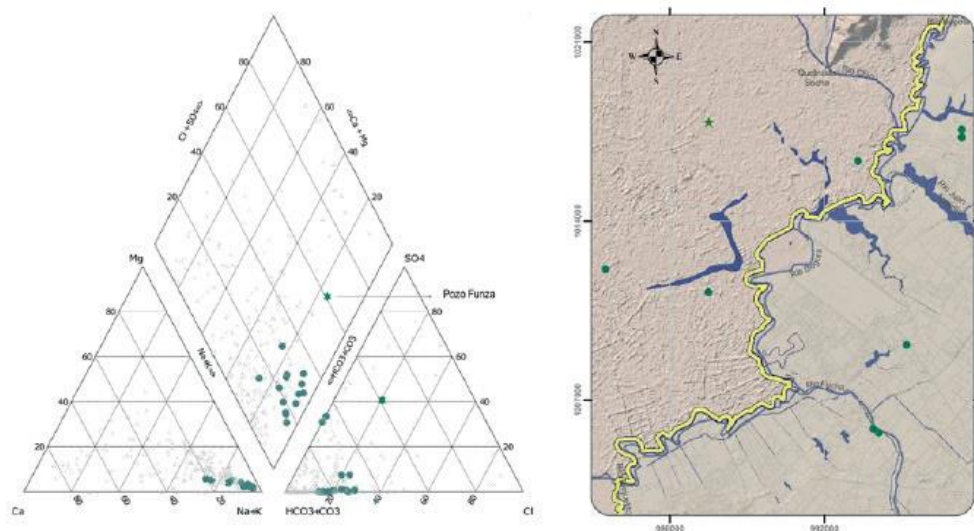
Figura 5-15 Tipos de agua en los pozos que atraviesan la Formación Chía



Fuente: PUJ-SDA, 2018.

La Formación Tilitá (310 m de espesor), tiene puntos de extracción ubicados hacia la zona centro de la cuenca media de la Sabana de Bogotá (Figura 5-16Figura 5-17). Son aguas de tipo Bicarbonatadas Sódicas (Na-HCO₃ a 483 m de profundidad); las muestras con altos contenidos de Sulfatos (SO₄) a 526 y 400m de profundidad están ubicadas en Suba y en Cota (PUJ-SDA, 2018).

Figura 5-16 Tipos de agua en los pozos que atraviesan la Formación Tilitá



Fuente: PUJ-SDA, 2018.

5.1.9.4 Pruebas de bombeo

El 26 de febrero de 2018 la empresa Sumicol S.A.S realiza una prueba de bombeo en el marco de la solicitud de renovación de la concesión otorgada por la CAR bajo la resolución DRSOA 0132 del 11 de septiembre del 2019, al pozo (P-01 E 4859375 N 2064717) de 170 metros de profundidad localizado en los predios el Llano y la Cruz en la Vereda Canoas, el cual tiene uso doméstico y de riego.

La oferta hídrica (5,35 l/s) y parámetros hidráulicos calculados en la prueba de bombeo se mencionan a continuación (Tabla 5-10):

Tabla 5-10 Características de producción de la prueba de bombeo

Caudal de prueba promedio	5.35
Nivel estático (m)	55
Nivel de bombeo máximo observado (m)	64.69
Tiempo para nivel de bombeo máximo (min)	8

Fuente: Sumicol S.A.S, 2018.

Donde se tiene que,

Q: Caudal l/s

S: Abatimiento máximo observado para el caudal de prueba en metros.

$$S = (64.69 - 55)$$

$$S = 9.69$$

Capacidad específica

$$C = 5.35 \text{ l/s} / 9.69 \text{ m} = 0.55 \text{ l/s/m}$$

Así mismo, se tiene el registro histórico (Tabla 5-11) de las variables hidrodinámicas de las pruebas de bombeo realizadas en el marco de la concesión y operación del pozo:

Tabla 5-11 Datos históricos de pruebas de bombeo realizadas en el Pozo (P-01)

Características	1987	1994	2001	2007	2009	2010	2011	2014	2018
Nivel estático (m)	21.7	48.7	51.65	52.24	51	50.50	47.2	48.4	55
Nivel dinámico (m)	37.7	53.91	63.92	56.77	52,2	55.69	52.45	53.3	62.17
Caudal (l/s)	4	5.26	10	6.22	6.05	6.22	6.05	5.81	5.35
Abatimiento máximo (m)	16	5.21	12.27	4.53	4.2	5.19	5.25	4.9	7.17
Capacidad específica (l/s/m)	0.25	1.0096	0.8150	1.3731	1.4405	1.1985	1.1524	1.19	0.75

Fuente: Sumicol S.A.S, 2018.

Basados en los datos históricos de las pruebas de bombeo realizadas se puede observar que el nivel estático tomado en el 2018 presentó un descenso respecto al tomado en el 2014 y así mismo el nivel dinámico descendió 8.87 metros; adicionalmente el abatimiento aumentó 2.27 metros disminuyendo así la capacidad específica.

Adicionalmente se presentan en la Tabla 5-12 datos promedio del volumen y caudal extraído, como también del régimen de bombeo para el año 2020 y 2021.

Tabla 5-12 Régimen de bombeo - volumen y caudal extraído (2020 – 2021)

Año	Promedio Volumen (l/mes)	Promedio Caudal extraído al mes (l/s/mes)	Promedio Régimen (hora/mes)
2020	74660	0,028	4,07
2021	69830	0,025	8,3

Fuente: Sumicol S.A.S, 2021.

Durante el año 2020 se calculó un volumen de agua promedio de 74660 litros al mes, el cual fue ligeramente mayor que el del 2021 con 69830 litros al mes. En cuanto al caudal promedio extraído se tuvo un promedio al mes de 0,028 litros para el 2020 y de 0,025 para el 2021. Por último, el régimen de bombeo promedio al mes para el 2020 es de 4,07 horas y en el 2021 de 8,3 horas.

5.1.9.5 Geofísica

Con el fin de determinar la resistividad aparente del terreno se realizaron estudios de resistividad eléctrica en los sitios de torre donde se situarán las diferentes estructuras asociadas al diseño de la Modificación No. 2 de la línea de transmisión de alta tensión La Virginia - Nueva Esperanza a 500 kV. Así mismo, se realiza el cálculo y se presentan los resultados de la resistividad aparente del terreno de cada una de las estructuras mencionadas en el Anexo A5.1.9 Hidrogeología. Estudio de resistividad eléctrica y resistividad aparente.

Debido a que la información que nos arroja este método no nos permite tener una profundidad de exploración de interés hidrogeológico, no se analiza en el presente apartado.

5.1.9.5.1 Zonas de recarga

En general las condiciones geológicas, estructurales y topográficas del área de estudio, permiten establecer que la recarga de los acuíferos potenciales presentes en la zona es por infiltración directa en su área de afloramiento. Las zonas de recarga son áreas conformadas por material con alta permeabilidad primaria o secundaria y con una disposición estructural en áreas de alta precipitación que las hace aptas para recarga de acuíferos. Su importancia radica en alimentar acuíferos, algunos de los cuales contribuyen con los caudales de los cuerpos de agua de la zona.

La zona de recarga de los acuíferos se define como el área donde ocurre este proceso de infiltración natural del agua lluvia hacia el acuífero a través del suelo con alta capacidad de infiltración o roca suficientemente permeable. Por tanto, la mayoría de los métodos aplicados para estimar las zonas de recarga, se basan en la evaluación del potencial del terreno para permitir la infiltración del agua lluvia (Silva, 2007), para ello se analizan variables relacionadas con la topografía, geología, suelos, uso del suelo y factores climáticos. La definición del tipo y cantidad de variables depende en gran medida de la escala de estudio y del objeto específico de esta zonificación. En general las zonas de recarga se caracterizan como altas, medias o bajas.

En el presente estudio se adoptó la metodología desarrollada por Matus Silva (Silva, 2007), en la cual las variables utilizadas son insumos generados dentro de la presente evaluación como: tipo de suelo, cobertura vegetal, unidad geológica, pendiente del terreno y uso del suelo. Cada una de estas variables es discretizada en cinco (5) rangos, a cada rango dependiendo de su potencial para contribuir a la recarga se le asigna un valor de 1 a 5, siendo 5 el potencial “muy alto” y 1 “muy bajo”. La suma de todos estos factores, cada uno con un peso diferente, determina el valor del potencial de recarga (Tabla 5-13) con base en la siguiente ecuación:

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

Sin embargo, los pesos relativos asignados en la metodología no son útiles para cualquier subcuenca, sino que están en consecuencia o relación con las características de cada una y criterios del especialista.

Para la evaluación de las condiciones de recarga dentro del área de estudio se tomó como base las capas generadas para pendientes, suelos, geología, coberturas y uso actual del suelo (Tabla 5-13 a Tabla 5-18), para esto se procesan cada uno de los componentes en un álgebra de mapas de acuerdo con la ponderación realizada para capa componente (Figura 5-17 a Figura 5-21) y de esta se obtienen las zonas de recarga.

Tabla 5-13 Tabla de valoración de recarga potencial.

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: Matus Silva, 2007.

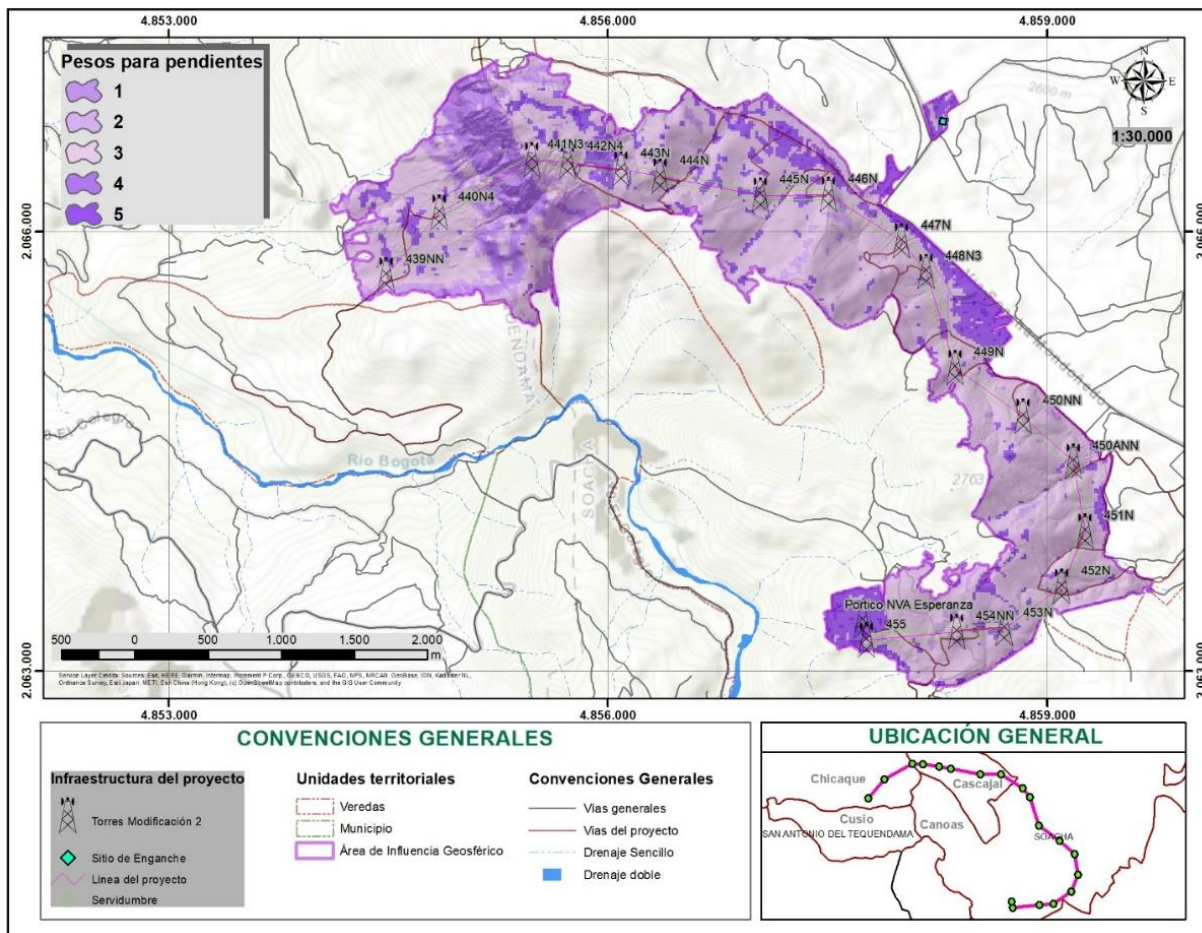
Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

Tabla 5-14 Tabla de ponderación de pendientes

Pendientes	Peso
A nivel 0-1% (a)	5
Ligeramente plana 1-3% (a)	5
Ligeramente inclinada 3-7% (b)	4
Moderadamente inclinada 7-12% (c)	4
Fuertemente inclinada 12-25% (d)	3
Ligeramente empinada 25-50% (e)	3
Moderadamente empinada 50-75% (f)	2
Fue empinada 75-100% (g)	1
Totalmente escarpada >100% (g)	1

Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

Figura 5-17 Ponderación de pendientes para recarga potencial de acuíferos en el Área de Influencia



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

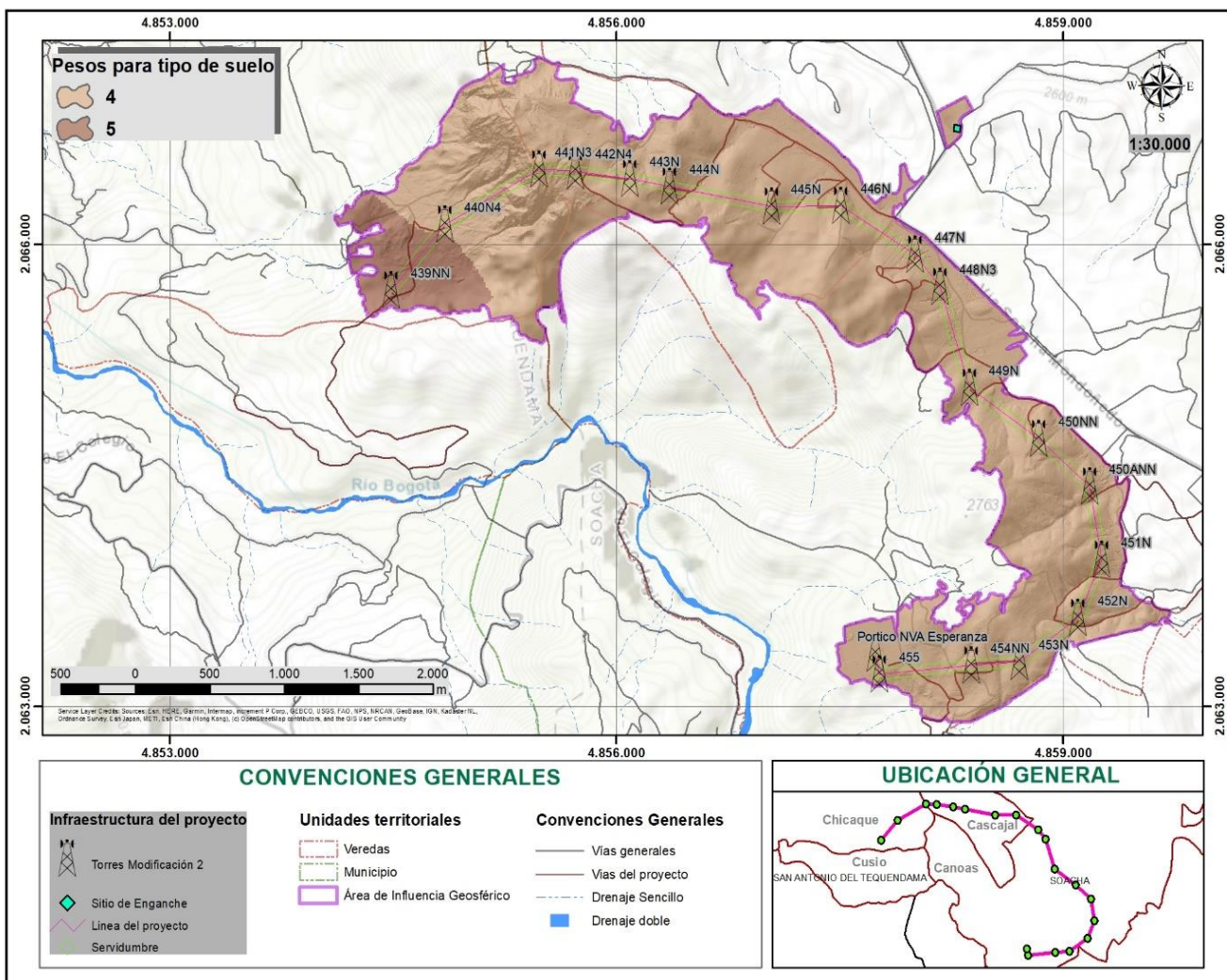
Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

Tabla 5-15 Tabla de ponderación de suelos

Suelos	Peso
MLSg	4
MLVe	4
MQKd	5
MLVe	4
MMCe	4
RMQb	4

Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

Figura 5-18 Ponderación de tipo de suelo para recarga potencial de acuíferos en el Área de Influencia



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

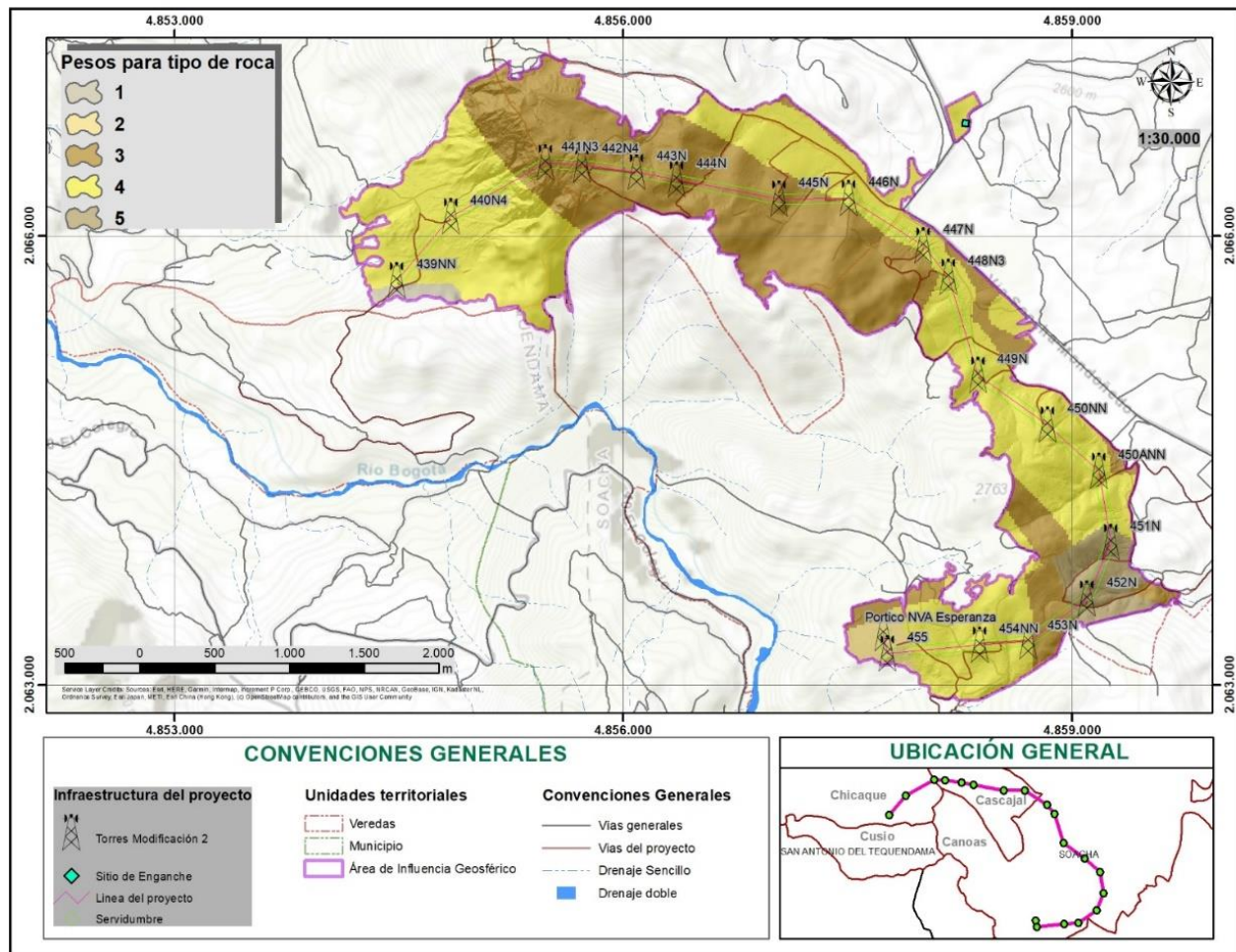
Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

Tabla 5-16 Tabla de ponderación de geología

Formación Geológica		Peso
Chía	Q2ch	2
Conejo	K2c	1
Depósito Aluvial	Q2al	4
Depósito Coluvial	Q2c	4
Arenisca Dura	K2d	4
Guaduas	K2E1g	3
Labor y Tierna	K2t	5
Plaeners	K2p	3
Tilatá	N2t	4
Río Tunjuelito	Q1tu	3

Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

Figura 5-19 Ponderación de tipo de roca para recarga potencial de acuíferos en el Área de Influencia



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

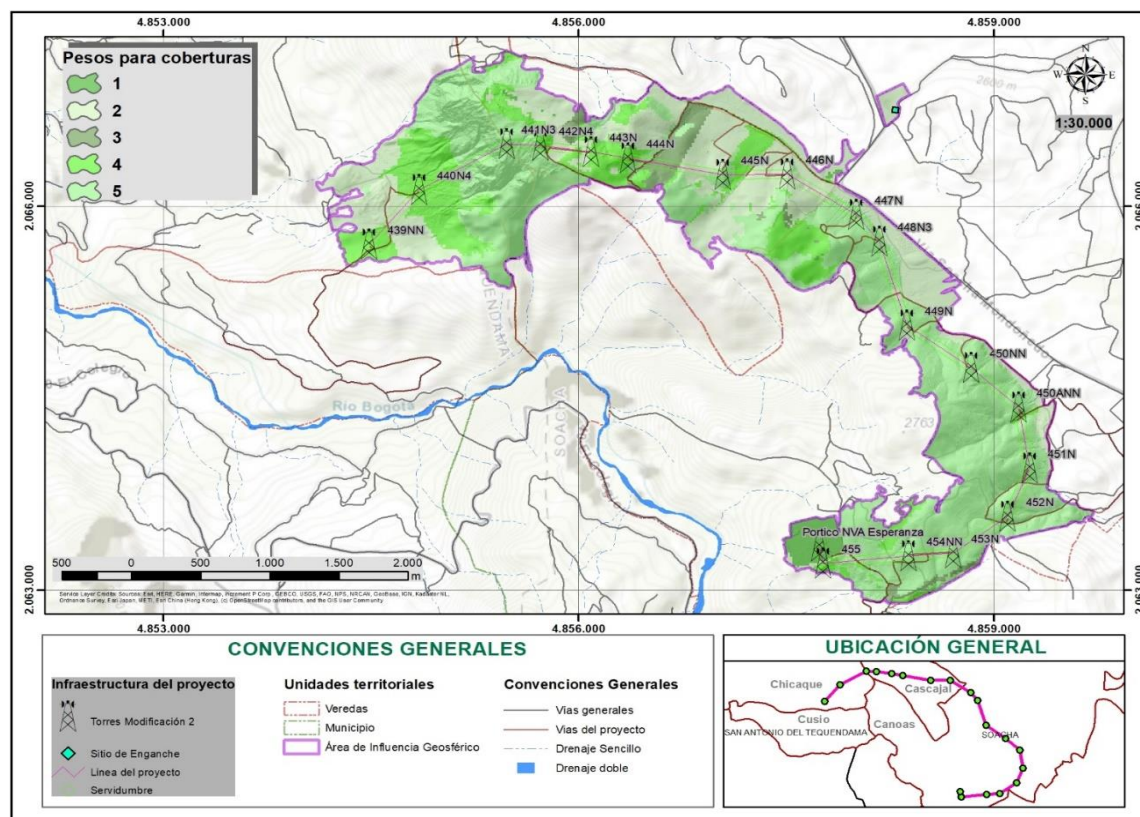
De acuerdo al ajuste realizado en la delimitación e interpretación de las coberturas de la tierra de acuerdo a lo solicitado por ANLA en el Requerimiento 10, del Acta 69 del 4 y 5 de agosto de 2022, se realiza el ajuste en este apartado.

Tabla 5-17 Tabla de ponderación coberturas

Coberturas	Peso
Bosque denso alto	5
Bosque denso bajo	5
Cuerpos de agua artificiales	1
Otros cultivos transitorios	3
Pastos arbolados	4
Pastos enmalezados	3
Pastos limpios	2
Plantación de latifoliadas	5
Red vial y terrenos asociados	1
Vegetación secundaria alta	4
Vegetación secundaria baja	4
Zonas industriales	1

Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

Figura 5-20 Ponderación de coberturas para recarga potencial de acuíferos en el Área de Influencia



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

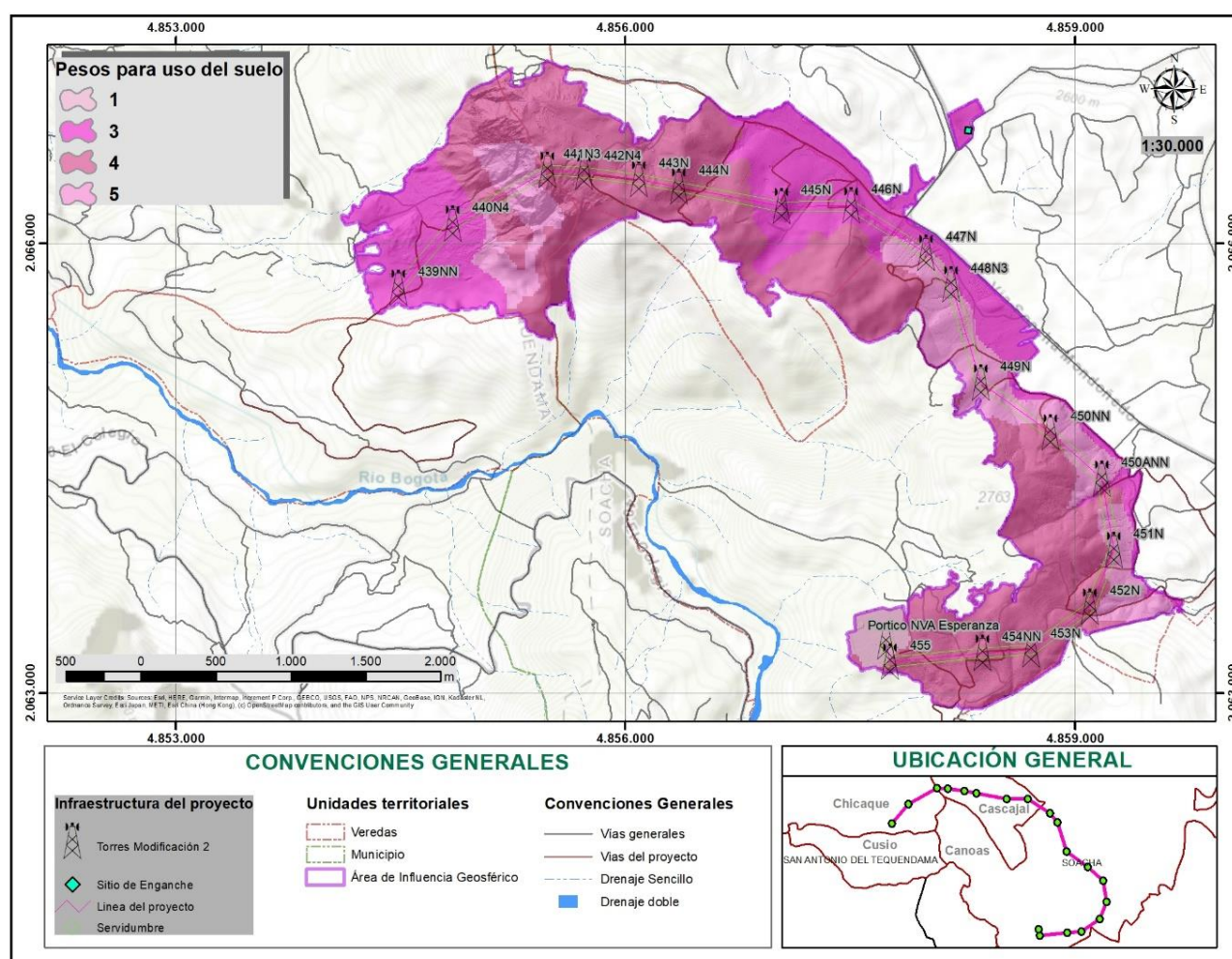
Segundo Refuerzo de Red en el Área Oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500kV - UPME 07-2016

Tabla 5-18 Tabla de ponderación de uso actual del suelo

Uso Suelos	Peso
Producción-protección (FPP)	4
Sistemas forestales protectores (FPR)	5
Pastoreo semi-intensivo (PSI)	3
Industrial (IND)	1

Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

Figura 5-21 Ponderación de uso actual del suelo para recarga potencial de acuíferos en el Área de Influencia



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

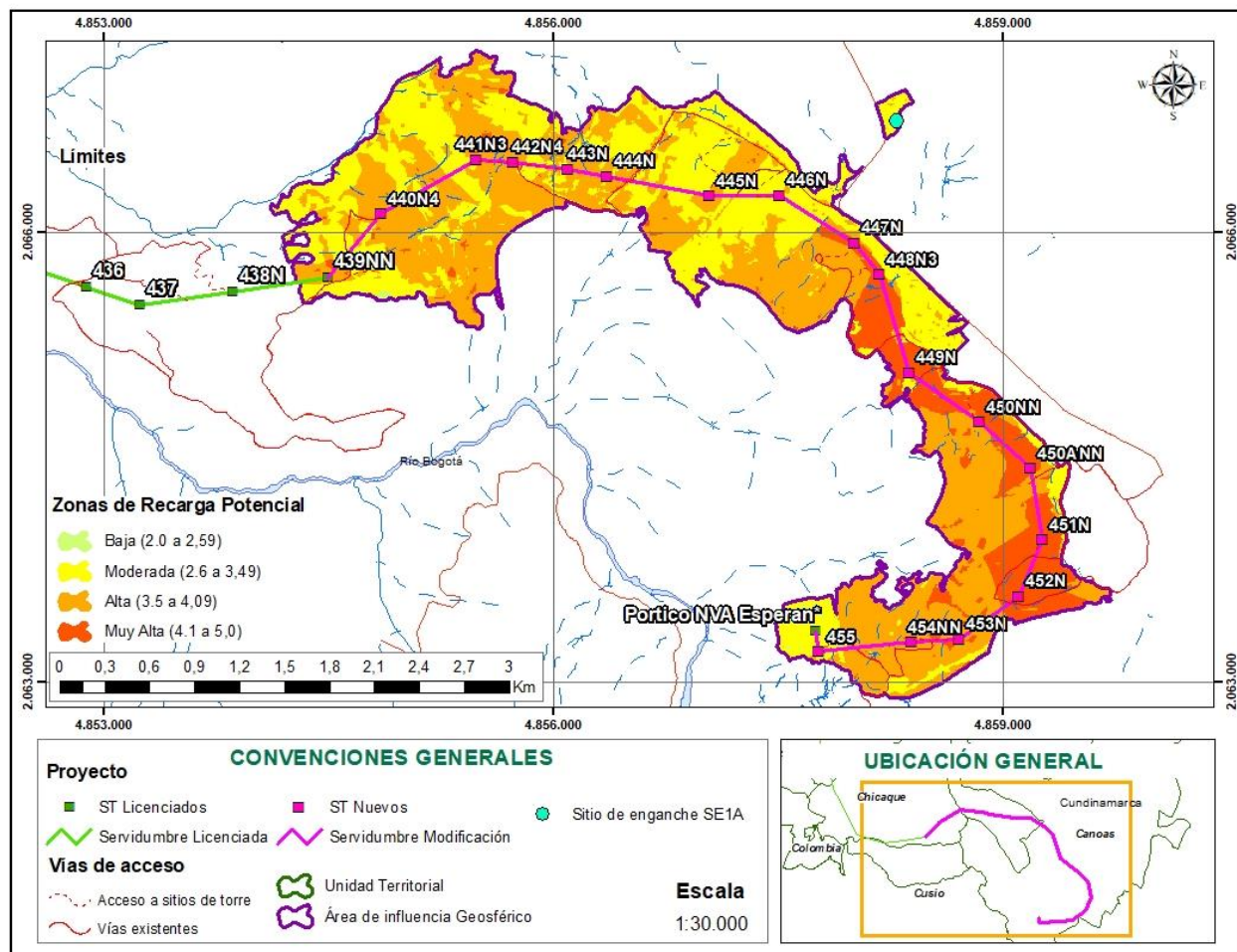
Una vez integrada esta información se ha obtenido el resultado (Tabla 5-19), donde la potencialidad de recarga Alta (Figura 5-22) ocupa el mayor porcentaje en el AI (49.16%), le sigue recarga potencial Moderada ocupando (36,78 %), luego Muy Alta (13,87 %) y finalmente baja con un porcentaje de (0,20 %).

Tabla 5-19 Tabla de áreas de recarga potencial para el Área de Influencia

RECARGA POTENCIAL	AI (ha)	PORCENTAJE %
<i>Baja</i>	<i>1,31</i>	<i>0,20</i>
<i>Moderada</i>	<i>240,56</i>	<i>36,78</i>
<i>Alta</i>	<i>321,51</i>	<i>49,16</i>
<i>Muy Alta</i>	<i>90,69</i>	<i>13,87</i>
Total	654,07	100

Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

Figura 5-22 Recarga potencial de acuíferos en el Área de Influencia



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

Debe tenerse en cuenta que en la época de lluvias el comportamiento para el área tiende a ser muy homogéneo en una zona donde posterior a la saturación del suelo se amplía la lámina de agua en superficie. La época del año en que hay mayor incidencia de recarga corresponde a los meses de mayor precipitación (de octubre a noviembre de acuerdo con información de estaciones meteorológicas).

5.1.9.5.2 Zonas de descarga

En lo que hace relación a las zonas de descarga, estas se definen como las que permiten que las aguas subterráneas salgan a superficie ya sea de modo natural (manantiales ya sean permanentes o efímeros que no se identifican en el área de estudio) y de modo artificial a través de pozos.

Para el área de influencia del proyecto, se destaca el dominio de los manantiales; también se tienen en cuenta como áreas de descarga los cuerpos de agua superficiales lenticos y lóticos.

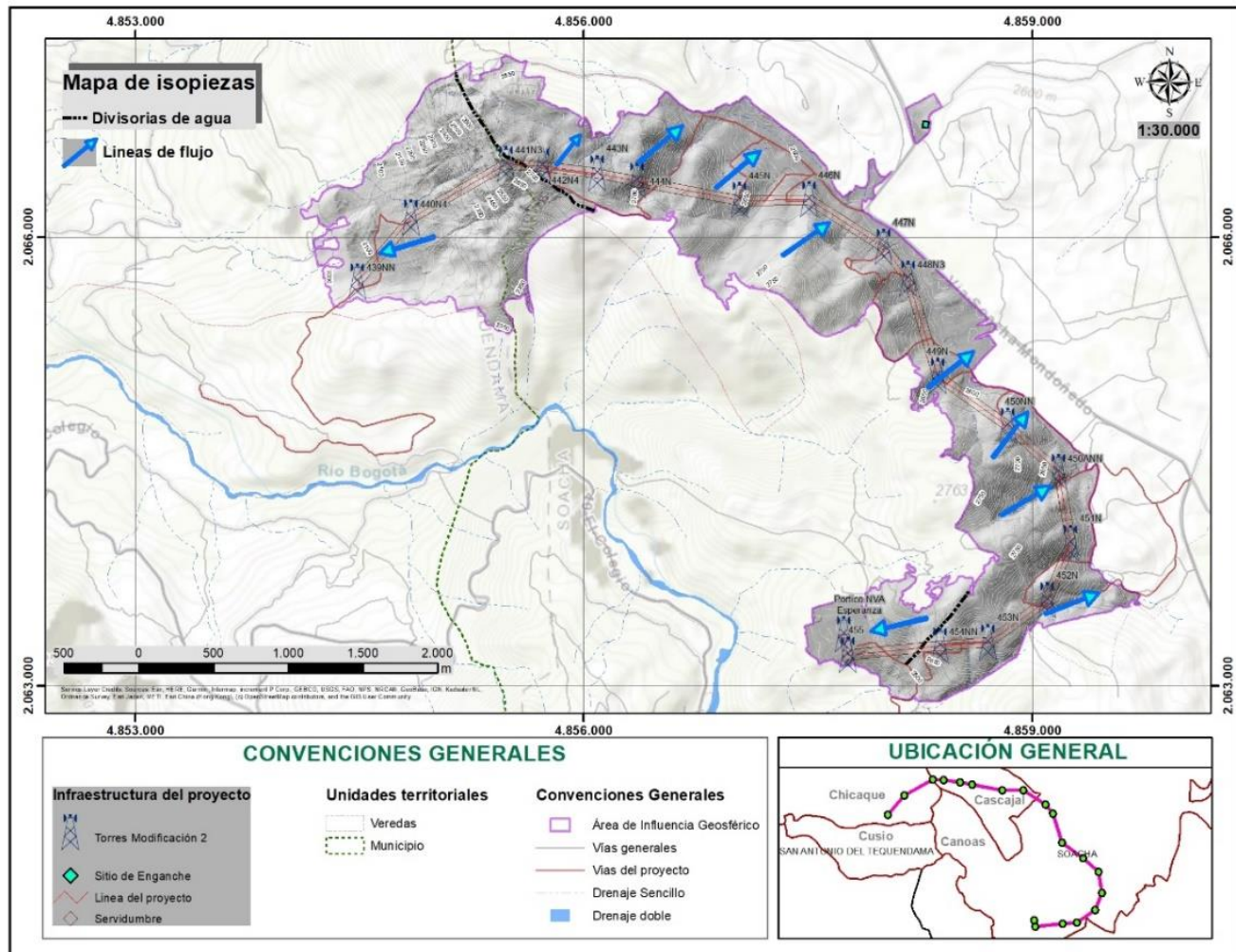
5.1.9.6 Dirección de flujo agua subterránea

El flujo de agua subterránea para el área de influencia del proyecto, de manera regional, se encuentra controlado por los grandes ríos de cada provincia hidrogeológica. Para la Provincia Hidrogeológica del Valle Medio del Magdalena, se encuentra controlada por la dirección del mismo río y en la Provincia de la Cordillera Oriental, para el área del proyecto, el flujo regional corresponde a la dirección del río Bogotá y posteriormente al río Magdalena.

Existen dos tipos principales de flujos de agua subterránea. Un flujo regional proveniente de la infiltración y la recarga de la zona de afloramiento de las formaciones Labor – Tierna y Arenisca Dura (zonas fracturadas) y otro flujo de agua originado de la recarga de la formación Sabana, proveniente principalmente del contacto entre las rocas fracturadas al oriente de la ciudad (J. Veloza Franco, 2012).

Localmente los flujos de agua subterránea van en sentido de la topografía del AI donde se observa un flujo en dirección Suroeste hacia el río Bogotá y otro en dirección Noreste (Figura 5-23).

Figura 5-23 Dirección Regional de flujo de Agua Subterránea



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

5.1.9.6.1 Modelo Hidrogeológico Conceptual

Un modelo conceptual se puede definir como una versión simplificada del mundo real (en este caso de un sistema de acuíferos), el cual representa de manera aproximada los aspectos más relevantes con respecto a las características hidrogeológicas del medio. Como el mundo real es complejo, se hace necesaria la simplificación haciendo planeación y toma de decisiones mediante el uso de las variables más relevantes obtenidas a partir de información primaria y secundaria. La simplificación es introducida como un grupo de suposiciones las cuales expresan el mundo real para obtener un análisis predictivo que sirva como herramienta de gestión para planificar el uso del recurso hídrico subterráneo. Las suposiciones que constituyen un modelo conceptual están relacionadas con temas como:

- La geometría del acuífero en el área de estudio. Las condiciones de frontera (zona de recarga, evapotranspiración)
- Características de la matriz que conforma el acuífero (homogeneidad, isotropía).
- Tipo de flujo en el acuífero.
- El régimen de flujo.
- Comportamiento de la tabla de agua.

La selección de un modelo conceptual apropiado y el grado de simplificación en cualquier caso en particular depende de:

- Los objetivos del problema.
- Los recursos disponibles.
- La información de campo disponible.
- Las características legales y regulatorias aplicadas al caso.

Para el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero del AI, se cuenta con información secundaria de geología e hidrología regional y primaria de calidad de agua subterránea y superficial. Esta información ha sido organizada y analizada, obteniendo las variables más relevantes que conformarán el modelo hidrogeológico conceptual de los acuíferos en la zona de estudio.

De acuerdo con el modelo hidrogeológico conceptual desarrollado por SDA (J. Veloza Franco, 2012), los acuíferos que no poseen continuidad lateral o conexión hidráulica (lentes) son acuíferos colgados y con poca o ninguna posibilidad de presentar recarga. La Formación Labor – Tierna es un acuífero de porosidad primaria de alta productividad y gran interés hidrogeológico, incrementando su almacenamiento debido a la presencia de las fallas de Torca y Boquerón del Carbón.

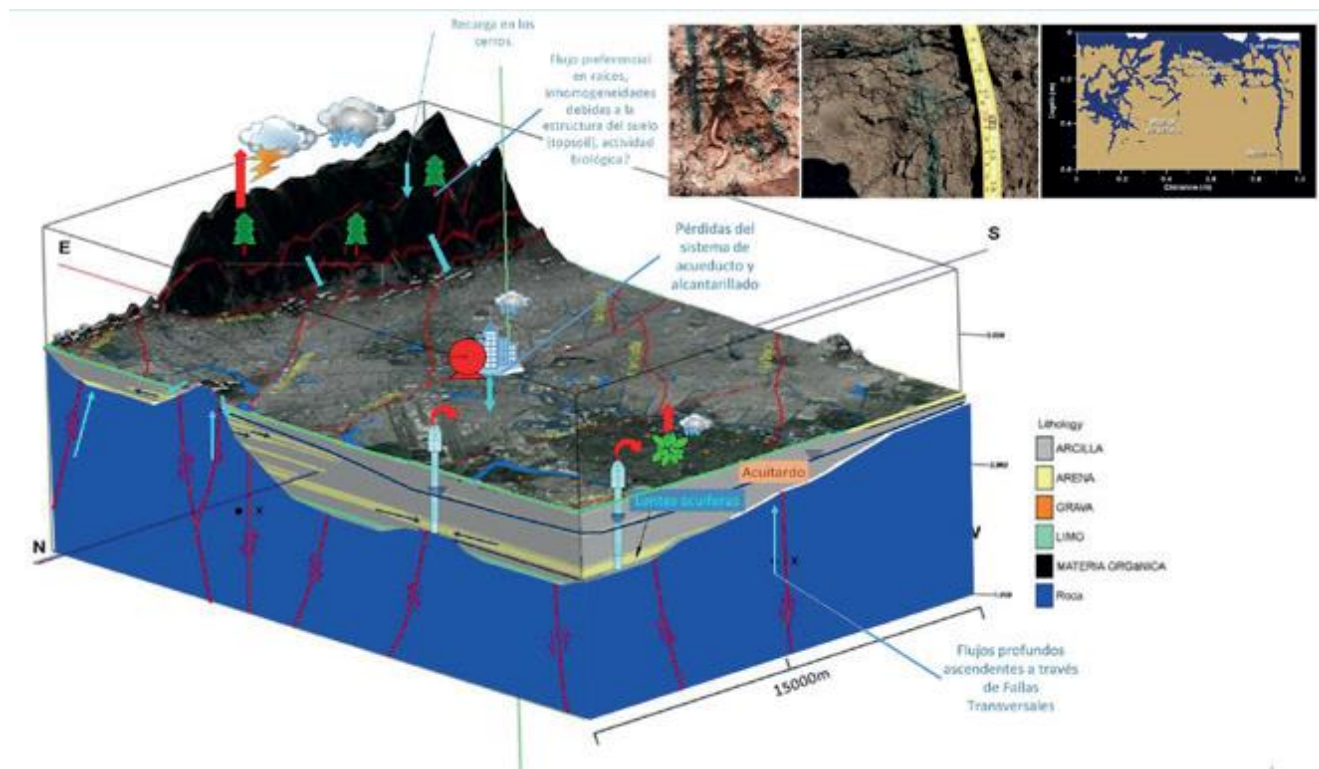
Por otro lado, la formación Guaduas en su conjunto medio presenta un acuífero de porosidad primaria con extensión lateral limitada y con recarga mínima. Por último, la Formación Arenisca Dura se halla fracturada a nivel regional, así que es de esperarse que tenga gran importancia hidrogeológica y se puede constituir en el acuífero de mayor importancia.

Existen dos tipos principales de flujos de agua subterránea. Un flujo regional proveniente de la infiltración y la recarga de la zona de afloramiento de las formaciones Labor – Tierna y Arenisca Dura (zonas fracturadas) y otro flujo de agua originado de la recarga de la formación Sabana, proveniente principalmente del contacto entre las rocas fracturadas al oriente de la ciudad (J. Veloza Franco, 2012).

Desde el eje hacia el flanco occidental del anticlinal de Bogotá se presenta una recarga favorable a la cuenca de la jurisdicción del Distrito Capital, donde el agua de escorrentía se percola a través de la Falla de Torca y fluye por los estratos permeables de la Formación Labor – Tierna hasta la Falla de Boquerón del Carbón.

En el flanco oriental de la loma la Conejera el agua fluye por la Formación Guaduas conjunto medio a través de sus niveles permeables y alimenta a la Formación Sabana con una extensión lateral limitada. De igual manera, en el flanco Occidental de la loma Conejera el agua se infiltra por los niveles arenosos de la Formación Sabana hacia el Oeste gracias a la pendiente topográfica (J. Veloza Franco, 2012).

Figura 5-24 Esquema modelo hidrogeológico conceptual



Fuente: SDA, 2018.

5.1.9.6.2 Vulnerabilidad de acuíferos

El término vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero, es una representación de las características intrínsecas que establecen su susceptibilidad a ser adversamente afectado por una carga contaminante que cause cambios químicos, físicos o biológicos que se encuentren por encima de las normas establecidas para la utilización del agua. Cabe resaltar que este análisis de vulnerabilidad se hace de manera general y no tiene en cuenta el tipo de contaminante que potencialmente lo pueda afectar.

Para el desarrollo de este, se tuvo en cuenta la metodología GOD, sugerida por el Banco Mundial (Mundial, 2007), en su documento “Protección de la Calidad del Agua Subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales”, enunciada originalmente por (Hirata, 1988). De igual forma, más específicamente se ha seguido lo contemplado en el documento “PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD INTRÍNSECA DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN” (MADS, 2010) publicada por el entonces Ministerio de Ambiente Vivienda Y Desarrollo Territorial.

De acuerdo con esta metodología, la vulnerabilidad se define esencialmente en función de (Figura 5-25).

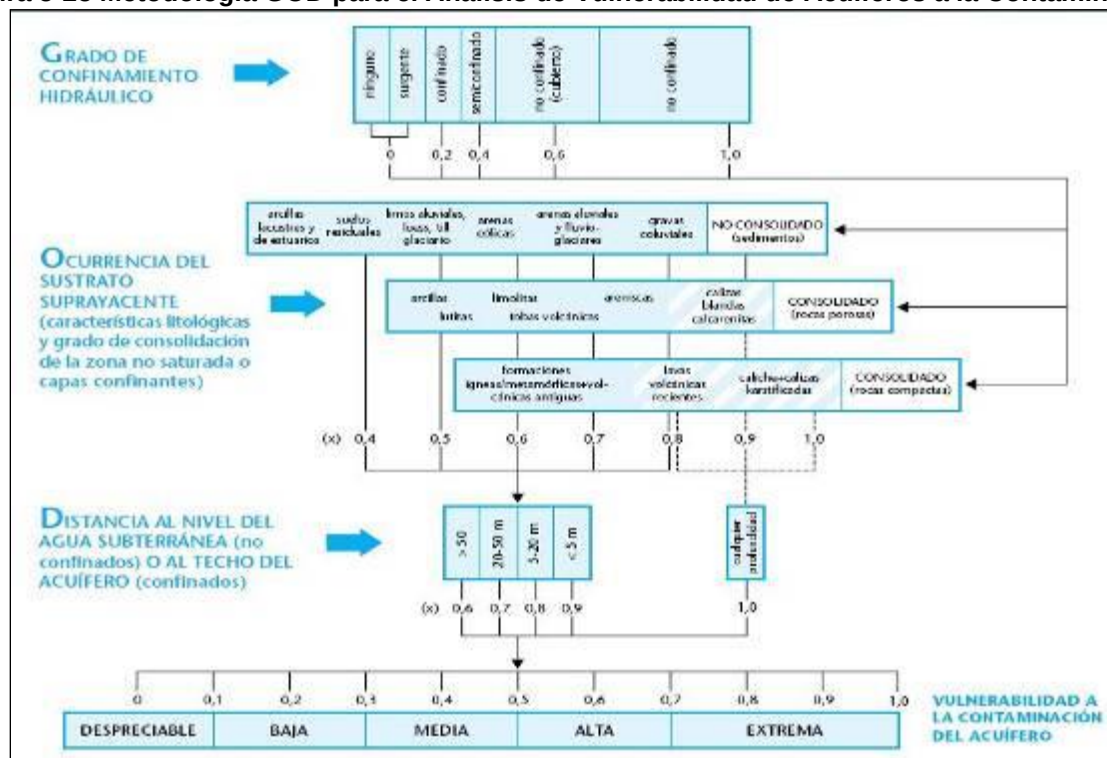
1. La capacidad de atenuación de los estratos encima de la zona saturada del acuífero, lo anterior se relaciona con los procesos que ocurren en el suelo y en la zona no saturada; como resultado de su retención física y reacción química con los contaminantes.
2. La resistencia al ingreso o inaccesibilidad de la zona saturada (en sentido hidráulico), a la penetración de contaminantes.
3. Factores externos que pueden facilitar o retardar el impacto de cargas contaminantes (por ejemplo, pendiente del terreno y aspectos de recarga de los acuíferos). Estos aspectos son un valor indicativo (cualitativo) y no cuantitativo, por tanto, los resultados que se obtienen de su evaluación son relativos y adimensionales (MADS, 2010).

La metodología GOD involucra tres (3) parámetros o factores principales:

1. G (Groundwater occurrence): Tipo o condición del acuífero.
2. O (Overall lithology of aquitard or vadose zone): Substrato litológico de la zona no saturada o acuitardo.
3. D (Depth to ground water): profundidad del nivel del agua.

En la se detallan los parámetros aportados por el GOD para el análisis de vulnerabilidad.

Figura 5-25 Metodología GOD para el Análisis de Vulnerabilidad de Acuíferos a la Contaminación



Fuente: Protección de la Calidad del Agua Subterránea - Banco Mundial, 2007.

- Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos para el área de influencia

Partiendo de la implementación de la metodología GOD para el análisis de vulnerabilidad a la contaminación, se pretende dar una valoración cualitativa a la susceptibilidad del acuífero a la infiltración de agua contaminada, abonos, lixiviados de la actividad ganadera y plaguicidas, a los diferentes niveles de este, para dar un estimativo a la capa que suprayace el nivel freático, siendo ésta la que posiblemente de paso a los fluidos contaminantes del acuífero en la zona de estudio.

De acuerdo con la información analizada y en base en el análisis de vulnerabilidad en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca hidrográfica del Río Bogotá (CAR, 2019) se determinó que las unidades poco consolidadas y correspondientes a acuíferos libres como el acuífero coluvial (A3), presenta una vulnerabilidad muy alta ya que está más expuesto a la contaminación por infiltración de lixiviados u otros contaminantes, al igual que el acuífero de composición arenosa y con buena permeabilidad de la Formación Labor y Tierna (A1). Así mismo se presenta un grado de vulnerabilidad alto en los acuíferos de las Formaciones Arenisca Dura y Tilatá (A2) al estar conformados por areniscas que presentan buena porosidad primaria y así mismo buena permeabilidad. Por otro lado, están los acuitardos Guaduas (A3), Plaeners (B2) y Río Tunjuelito (A3) que exhiben un grado moderado de vulnerabilidad ya que tienen una composición un poco más areno-limosa conformando acuíferos de moderada permeabilidad. El acuífero Aluvial (A3) y el acuitardo Chía (A4) representan una baja vulnerabilidad a la contaminación debido a su composición principalmente limo-arcillosa y a su baja permeabilidad. Por último, el acuitardo Conejo (B3), presenta muy baja vulnerabilidad a la contaminación debido a que tiene baja importancia hidrogeológica y está compuesto principalmente por lodolitas de baja permeabilidad. En la Tabla 5-20 se resume el análisis para las formaciones que albergan acuíferos y acuitardos en el área de estudio.

Tabla 5-20 Matriz resumen de análisis de la Vulnerabilidad de Acuíferos a la Contaminación bajo la metodología GOD para las unidades acuíferas aflorantes

SISTEMA ACUÍFERO	G	O	D	GOD	VULNERABILIDAD
Acuífero Aluvial (A3)	0,65 (No confinado)	0,55 (Gravas, arenas, limos, arcillas)	0,8 (5m a 20m)	0,28	BAJA
Acuífero Coluvial (A3)	0,9 (No Confinado)	0,9 (Conglomerados de arenitas y limolitas)	0,9 (5m a 20m)	0,729	MUY ALTA
Acuífero Arenisca Dura (A2)	0,65 (Confinado)	0,9 (Areniscas)	0,9 (<5m)	0,52	ALTA
Acuitardo Guaduas (A3)	0,5 (Confinado)	0,8 (Areniscas y arcillolitas)	0,8 (5m a 20m)	0,32	MODERADA
Acuífero Labor y Tierna (A1)	0,79 (Confinado - semiconfinado)	1,0 (Areniscas, limolitas y arcillolitas)	0,9 (<5m)	0,71	MUY ALTA
Acuitardo Plaeners (B2)	0,5 (Confinado)	0,8 (Areniscas)	0,8 (5m a 20m)	0,32	MODERADA
Acuífero Tilatá (A2)	0,65 (Confinado)	0,9 (Areniscas y conglomerados)	0,9 (<5m)	0,52	ALTA
Acuitardo Río Tunjuelito (A3)	0,5 (Confinado - Semiconfinado)	0,8 (Gravas, arenas y arcillas)	0,8 (5m a 20m)	0,32	MODERADA
Acuitardo Chía (A4)	0,4 (Confinado - Semiconfinado)	0,5 (Arcillolitas)	0,8 (5m a 20m)	0,16	BAJA
Acuitardo Conejo (B3)	0,3 (Confinado)	0,45 (Lodolitas)	0,7 (20m a 50m)	0,09	MUY BAJA

Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

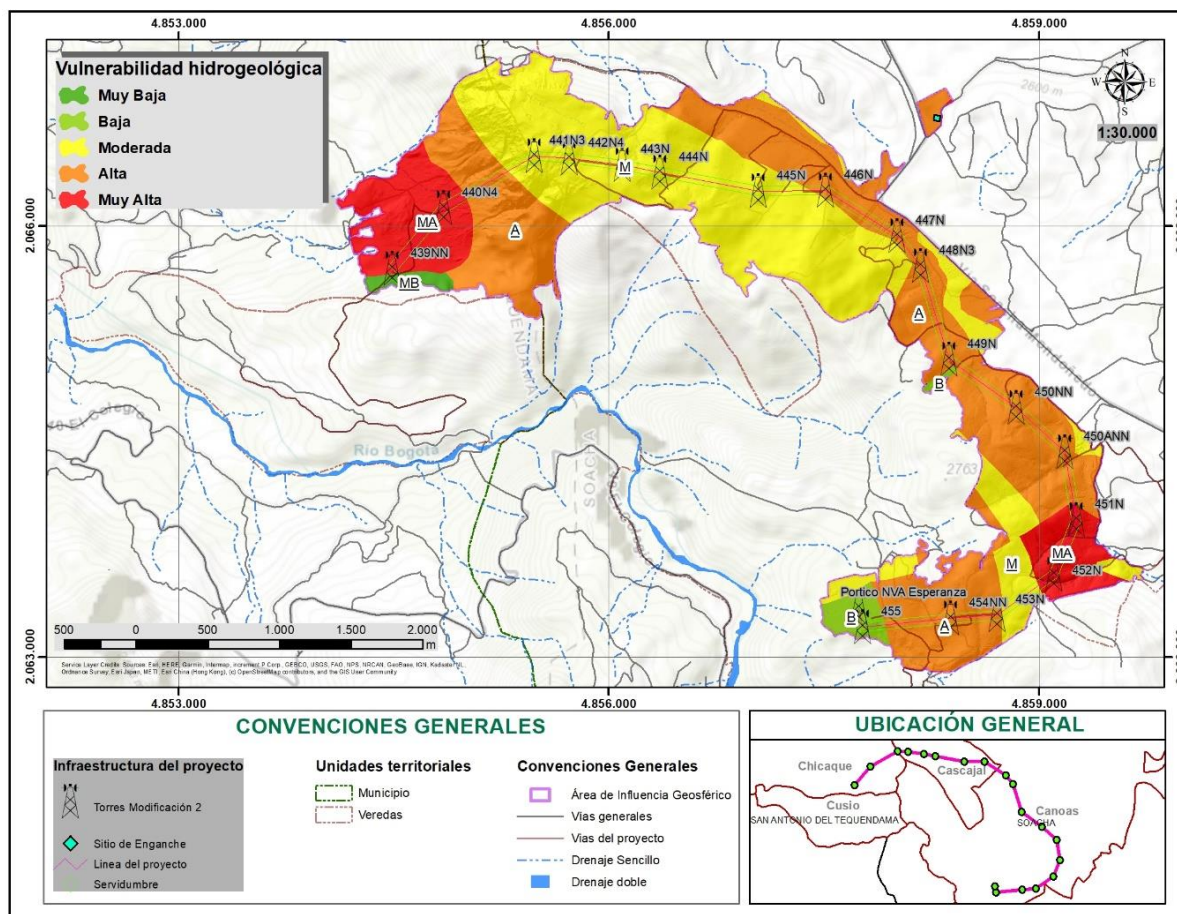
Tabla 5-21 Vulnerabilidad a los acuíferos en el área de estudio

Vulnerabilidad del acuífero	Área (ha)	% Área
Alta	284,09	43,84
Baja	13,30	2,05
Moderada	267,03	41,21
Muy Alta	83,59	12,90
Muy Baja	6,05	0,93
TOTAL	654,07	100

Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

A partir de los análisis y resultados expuestos, es preciso determinar que los acuíferos presentes en la zona de estudio exhiben en mayor porcentaje un grado de vulnerabilidad alto a la contaminación a lo largo del AI en un 43,84%, seguido por vulnerabilidad moderada (41,21%), muy alta (12,90%), baja (2,05%) y muy baja (0,93%).

Figura 5-26 Mapa de vulnerabilidad a los acuíferos



Fuente: SMAYD LTDA., 2022.

6. BIBLIOGRAFÍA

- CAR. (2019). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca hidrográfica del Río Bogotá. Bogotá.
- Custodio, E. y. (1993). Hidrología Subterránea.
- Custodio, R. L. (1999). El agua subterránea como factor de desarrollo sostenible. *Aguas subterráneas*.
- EIA - TCE. (2019). *Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Segundo refuerzo de red en el área oriental: Línea de transmisión La Virginia – Nueva Esperanza 500 kV, proyecto UPME 07-2016*. Colombia: GEOMA SAS.
- Hirata, F. &. (1988). *El concepto de vulnerabilidad a la contaminación acuífera*. Lima.
- IDEAM. (2007). En *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua*. Bogotá.
- IDEAM. (2007). Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua.
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*.
- J. Veloza Franco, 2. (2012). *Sistema de modelamiento hidrogeológico del distrito capital Bogotá*. Bogotá.
- MADS. (2010). *PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD INTRÍNSECA DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN*. Bogotá.
- McLaughlin & Arce, 1. (2015). Geología de la Plancha 228 Bogotá. Bogotá.
- Mundial, B. (2007). *Protección de la Calidad del Agua Subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales*.
- PUJ-SDA. (2018). Modelo hidrogeológico - Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá.
- REFOCOSTA. (2022). *Información adicional - Fauna. Caracterización del área de influencia*. Colombia: REFOCOSTA.
- Schwartz, D. &. (1990). *Physical and Chemical Hydrogeology*. New York.
- SGC. (2003). Atlas Hidrogeológico de Colombia. Bogotá.
- Silva, M. (2007). Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua.