ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
ÁREA DE DESARROLLO BUCARE

CAPÍTULO 4 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES
4.2 Aguas Subterráneas

S.G.I. S.A.S.
Consultoría e Ingeniería

CONTENIDO

4 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES 4
4.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS 4
4.2.1 Exploración de aguas subterráneas 4
4.2.2 Concesión de aguas subterráneas 5
4.2.2.1 Localización de los pozos captadores 7
4.2.2.2 Prospección geofísica 7
4.2.2.2.1 Tomografías eléctricas 8
4.2.2.2.2 Sondeos magnetotelúricos 19
4.2.2.2.3 Registros de pozos 38
4.2.2.3 Unidades hidrogeológicas 44
4.2.2.4 Inventario de puntos de agua subterránea 47
4.2.2.5 Caracterización fisico química y microbiológica de las aguas subterráneas 54
4.2.2.5.1 Ubicación de los puntos monitoreados 54
4.2.2.6 Caracterización fisico química y microbiológica de las aguas subterráneas con información secundaria 88
4.2.2.7 Caracterización hidráulica 3
4.2.2.7.1 Información primaria 3
4.2.2.7.2 Información secundaria 5
4.2.2.8 Conflictos de uso 9
4.2.2.9 Columna estratigráfica y registro de pozo 10
4.2.2.10 Diseño de los pozos 14
4.2.2.11 Obras de conducción 15
4.2.2.12 Elementos de medición 16
4.2.2.13 Medidas de protección 16
4.2.2.13.1 Medidas para el sellado 18
4.2.2.13.2 Medidas para el cierre 18
4.2.2.14 Descripción del sistema de perforación 19
4.2.2.15 Cronograma de obras 19
4.2.2.16 Caudal requerido 20
4.2.2.16.1 Pozo Chichimene 21
4.2.2.16.2 Pozo Acacías 22
4.2.2.16.3 Pozo Castilla I 24
4.2.2.16.4 Pozo Castilla III 26
4.2.2.16.5 Análisis final del caudal 27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.2-1 Solicitud concesión de aguas subterráneas 5
Tabla 4.2-2 Coordenadas de las tomografías eléctricas realizadas en campo 8
Tabla 4.2-3 Rangos de resistividad eléctrica y sus respectivas litologías asociadas 9
Tabla 4.2-4 Coordenadas sondeos magnetotelúricos realizados en el área de influencia fisicobiótica 19

Tabla 4.2-5 Perfiles magnetotelúricos realizados en el área de influencia fisicobiótica 21
Tabla 4.2-6 Rangos de resistividad eléctrica en los MT y sus respectivos materiales asociados ... 23
Tabla 4.2-7 Coordenadas de los registros de pozo 39
Tabla 4.2-8 Unidades geológicas aflorantes en el área de influencia fisicobiótica 45
Tabla 4.2-9 Unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio 46
Tabla 4.2-10 Áreas y porcentajes de las unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio 46
Tabla 4.2-11 Aljibes inventariados 49
Tabla 4.2-12 Manantiales inventariados 52
Tabla 4.2-13 Pozos inventariados 53
Tabla 4.2-14 Piezómetros inventariados 54
Tabla 4.2-15 Calidad de agua de los aljibes monitoreados 57
Tabla 4.2-16 Calidad de agua de los aljibes monitoreados 60
Tabla 4.2-17 Calidad de agua de los manantiales monitoreados 63
Tabla 4.2-18 Calidad de agua de los pozos monitoreados 66
Tabla 4.2-19 Calidad de agua de los piezómetros monitoreados 69
Tabla 4.2-20 Resultados calidad de agua información secundaria de cuatro (4) pozos de agua subterránea - febrero y marzo 2024 91
Tabla 4.2-21 Coordenadas de las pruebas de bombeo – Información primaria 4
Tabla 4.2-22 Parámetros hidráulicos estimados para los niveles acuíferos someros 5
Tabla 4.2-23 Características de los pozos profundos – Pruebas de bombeo información secundaria 6
Tabla 4.2-24 Características de las pruebas de bombeo en pozos profundos - Información secundaria 7
Tabla 4.2-25 Parámetros hidráulicos del Miembro Superior de la Formación Guayabo - Información secundaria 8
Tabla 4.2-26 Actividades de perforación y desarrollo del pozo 19
Tabla 4.2-27 Caudal de agua requerido para el desarrollo del proyecto por cada pozo 20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.2.1-1 Ubicación de los pozos profundos de proyectos aledaños 5
Figura 4.2.2-1 Área de desarrollo Bucare 7
Figura 4.2.2-2 Ubicación de las tomografías eléctricas 9
Figura 4.2.2-2 Tomografía eléctrica 1 10
Figura 4.2.2-2 Tomografía eléctrica 1 interpretada 12
Figura 4.2.2-2 Tomografía eléctrica 2 12
Figura 4.2.2-2 Tomografía eléctrica 2 interpretada 13
Figura 4.2.2-2 Tomografía eléctrica 3 14
Figura 4.2.2-2 Tomografía eléctrica 3 interpretada 15
Figura 4.2.2-2 Tomografía eléctrica 4 16
Figura 4.2.2-2 Tomografía eléctrica 4 interpretada 17
Figura 4.2.2-2 Tomografía eléctrica 5 18
Figura 4.2.2-2 Tomografía eléctrica 5 interpretada 19
Figura 4.2.2-13 Ubicación de los sondeos magnetotelúricos 21
Figura 4.2.2-14 Ubicación de los perfiles magnetotelúricos 23

Figura 4.2.2-15 Perfil MT 1 25
Figura 4.2.2-16 Perfil MT 2 26
Figura 4.2.2-17 Perfil MT 3 27
Figura 4.2.2-18 Perfil MT 4 29
Figura 4.2.2-19 Perfil MT 5 30
Figura 4.2.2-20 Perfil MT 6 32
Figura 4.2.2-21 Perfil MT 7 33
Figura 4.2.2-22 Perfil MT 8 35
Figura 4.2.2-23 Perfil MT 9 37
Figura 4.2.2-24 Localización de los registros de pozo 39
Figura 4.2.2-25 Distribución espacial de la correlación estratigráfica 1 40
Figura 4.2.2-26 Correlación estratigráfica 1 41
Figura 4.2.2-27 Distribución espacial de la correlación estratigráfica 2 43
Figura 4.2.2-28 Correlación Estratigráfica 2 44
Figura 4.2.2-29 Unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio 47
Figura 4.2.2-30 Ubicación de los puntos de agua inventariados 48
Figura 4.2.2-31 Tipos de puntos de agua subterránea identificados 49
Figura 4.2.2-32 Ubicación de los puntos de agua subterránea monitoreados 55
Figura 4.2.2-33 Diagramas de Stiff de los aljibes que captan la unidad A3 73
Figura 4.2.2-34 Diagramas de Stiff de los manantiales que captan la unidad A3 74
Figura 4.2.2-35 Diagramas de Stiff de los pozos que captan la unidad hidrogeológica A3 75
Figura 4.2.2-36 Diagramas de Stiff de los piezómetros que captan la unidad hidrogeológica A3 ... 76
Figura 4.2.2-37 Diagramas de Piper de aljibes – Unidad hidrogeológica A3 78
Figura 4.2.2-38 Diagramas de Piper – Manantiales que captan la unidad A3 79
Figura 4.2.2-39 Diagramas de Piper – Pozos que captan la unidad A3 80
Figura 4.2.2-40 Diagramas de Piper – Piezómetros que captan la unidad A3 81
Figura 4.2.2-41 Diagrama de Mifflin – Aljibes que captan la unidad A3 82
Figura 4.2.2-42 Diagrama de Mifflin – Manantiales que captan la unidad A3 83
Figura 4.2.2-43 Diagrama de Mifflin – Pozos que captan la unidad A3 84
Figura 4.2.2-44 Diagrama de Mifflin – Piezómetros que captan la unidad A3 85
Figura 4.2.2-45 Diagramas de Stiff - Aljibes que captan la unidad A4 86
Figura 4.2.2-46 Diagramas de Piper – Aljibes que captan la unidad A4 87
Figura 4.2.2-47 Diagrama de Mifflin – Aljibes unidad hidrogeológica A4 88
Figura 4.2.2-48 Ubicación pozos monitoreados – Información secundaria 89
Figura 4.2.2-49 Diagrama de Stiff pozos profundos – Información secundaria 1
Figura 4.2.2-50 Diagramas de Piper pozos profundos – Información secundaria 2
Figura 4.2.2-51 Diagrama de Mifflin pozos profundos – Información secundaria 3
Figura 4.2.2-52 Ubicación pruebas de bombeo información primaria 5
Figura 4.2.2-53 Ubicación pruebas de bombeo - Información secundaria 7
Figura 4.2.2-54 Diseño mecánico del pozo Acacías 11
Figura 4.2.2-55 Diseño mecánico del pozo Chichimene 12
Figura 4.2.2-56 Diseño mecánico del pozo Castilla I 13
Figura 4.2.2-57 Diseño mecánico del pozo Castilla III 14
Figura 4.2.2-58 Diseño esquemático propuesto para los pozos captadores de agua subterránea . 15
Figura 4.2.2-59 Equipo de perforación autotransportado 19

4 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES

4.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

En el marco del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el Área de Desarrollo (AD) Bucaré, se contempla la solicitud de concesión de aguas subterráneas por un caudal total máximo autorizado de 25,2 l/s, correspondiente a la operación simultánea de hasta cinco (5) pozos, cada uno con un caudal individual máximo de 5,04 l/s, sin que en ningún escenario se supere el caudal total concesionado. Estos pozos nuevos captaran los niveles acuíferos de la parte superior de la Formación Guayabo que se encuentren por debajo de los 70 metros de profundidad. Se propone esta profundidad de captación, buscando evitar los acuíferos de los depósitos cuaternarios que aprovecha la comunidad y de esta manera no generar conflictos por el uso del recurso hídrico subterráneo.

4.2.1 Exploración de aguas subterráneas

De acuerdo con lo dispuesto en el Artículo 158 del Decreto 1541 de 1978, que establece que "*si el pozo u obra para el aprovechamiento de agua subterránea se encuentra en una cuenca subterránea ya conocida, se podrá exonerar del permiso y proceso de exploración de aguas subterráneas*", para el presente proyecto se solicita a la autoridad ambiental la exoneración del permiso y el proceso de exploración de aguas subterráneas en vista de que la Formación Guayabo (unidad objeto de captación de los pozos solicitados) pertenece a la cuenca de los Llanos Orientales, estudiada y aprovechada desde hace más de 20 años por la industria petrolera; por lo que las características de esta unidad son ampliamente conocidas por las autoridades ambientales competentes y los operadores petroleros que desarrollan actividades en campos aledaños al Área de Desarrollo Bucare, tales como el Campo Castilla, Llanos 141 y Campo Chichimene (Figura 4.2.1-1), los cuales ya cuentan con la concesión de aguas subterráneas otorgada por la ANLA, gracias al amplio conocimiento de la cuenca y la capacidad hidráulica que la unidad hidrogeológica de la Formación Guayabo ha evidenciado en los diferentes estudios realizados anteriormente.

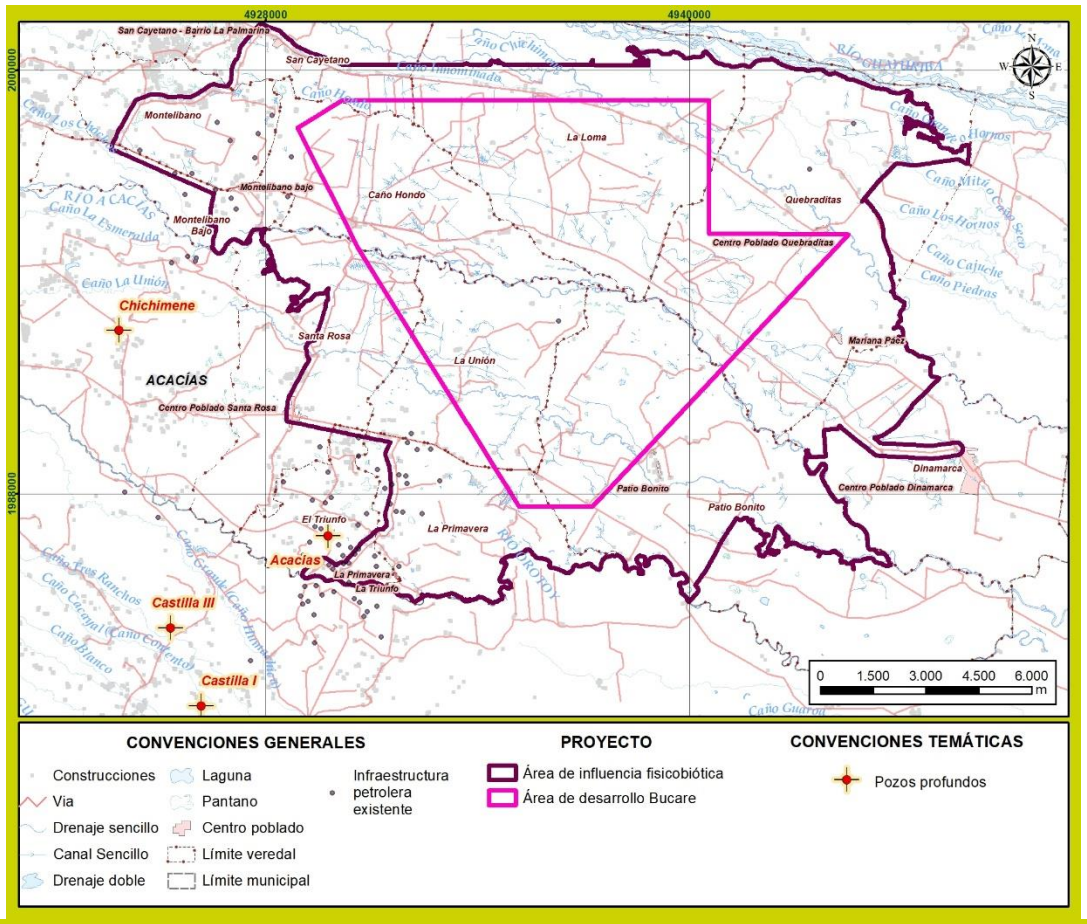


Figura 4.2.1-1 Ubicación de los pozos profundos de proyectos aledaños
Fuente: SGI S.A.S., 2025

4.2.2 Concesión de aguas subterráneas

Como se menciona al principio del capítulo, en el marco del EIA del Área de Desarrollo Bucare, se contempla la solicitud de concesión de aguas subterráneas para abastecer las necesidades operacionales del proyecto. La propuesta considera un caudal total de extracción de 25,2 l/s (equivalente a 907,2 m³/día), distribuido en cinco (5) pozos con una tasa máxima individual de 5,04 l/s (181,44 m³/día).

Esta configuración busca garantizar la disponibilidad del agua requerida, al mismo tiempo que permite gestionar espacialmente la captación de agua dentro del acuífero sin generar impactos por la superposición de los radios de influencia de la captación.

En la **Tabla 4.2-1** se presenta un resumen de la solicitud para la concesión de aguas subterráneas en el Área de Desarrollo de Bucare.

Tabla 4.2-1 Solicitud concesión de aguas subterráneas

DESCRIPCIÓN	SOLICITUD
Número de pozos captadores	Cinco (5) pozos

DESCRIPCIÓN	SOLICITUD
Profundidad propuesta de los pozos	120 m
Profundidad de captación (filtros del pozo)	70 – 120 m
Acuífero objetivo	Formación Guayabo
Caudal global solicitado	25,1 l/s
Caudal máximo por pozo	5,02 l/s
Ubicación de los pozos	Acorde a la zonificación de manejo ambiental

Fuente: SGI SAS, 2025

Como parte de la solicitud de concesión, se sintetiza la información de caracterización hidrogeológica presentada en el Capítulo 3.2.7 Hidrogeología del presente proyecto. Dentro de la información recopilada en el marco del EIA se cuenta con:

- ✓ Cinco (5) tomografías eléctricas distribuidas en toda el área de influencia con una profundidad de exploración aproximada de 150 metros.
- ✓ Treinta (30) sondeos magnetotelúricos, a partir de los cuales se construyeron nueve (9) perfiles magnetotelúricos con una profundidad de exploración aproximada de 2000 metros.
- ✓ Nueve (9) pozos con registros geofísicos analizados, los cuales fueron empleados para definir la continuidad lateral, el espesor y la profundidad de las formaciones geológicas presentes en el área de influencia a partir de dos (2) correlaciones estratigráficas
- ✓ Inventario de puntos de agua subterránea con un total de 155 puntos, de los cuales 100 puntos son aljibes, 27 corresponden a manantiales, 17 pozos a piezómetros y 11 a pozos.
- ✓ Cinco (5) pruebas de bombeo en pozos de la comunidad que permitieron caracterizar las propiedades hidráulicas de los depósitos cuaternarios del área de estudio, asociados a los primeros 50 – 70 metros del subsuelo.
- ✓ Nueve (9) pruebas de bombeo obtenidas de información secundaria en pozos profundos de la operación de Ecopetrol S.A en campos vecinos que permiten caracterizar las propiedades hidráulicas de la Formación Guayabo.
- ✓ La definición de las unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio.
- ✓ Las direcciones de flujo preferenciales para el acuífero somero (depósitos cuaternarios asociados al abanico aluvial y a depósitos aluviales de los drenajes).
- ✓ Las zonas potenciales de recarga del área de estudio acorde a Matus (2007).
- ✓ La caracterización fisicoquímica de los acuíferos someros a partir del monitoreo de 30 puntos de agua subterránea.
- ✓ La caracterización fisicoquímica de cuatro (4) pozos profundos captadores de la Formación Guayabo.

Teniendo en cuenta lo solicitado anteriormente, a continuación, se presenta un breve resumen de la caracterización geológica, geofísica, hidráulica, hidrogeológica e hidrogeoquímica y fisicoquímica del área de influencia del presente proyecto obtenida en el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare. Así mismo, toda la información requerida en el Decreto 1076 de 2015 para llevar a cabo la solicitud de concesión de aguas subterráneas, tales como ubicación de los pozos, diseños, sistema de perforación, entre otros.

4.2.2.1 Localización de los pozos captadores

Como se menciona al principio de este capítulo, la ubicación de los cinco (5) captadores de agua subterránea solicitados para la concesión del recurso hídrico dependerá de la zonificación ambiental de manejo obtenida a partir de este EIA. Sin embargo, la ubicación espacial final estará contenida dentro del área de desarrollo del proyecto la cual se presenta de color fucsia en la Figura 4.2.2-1.

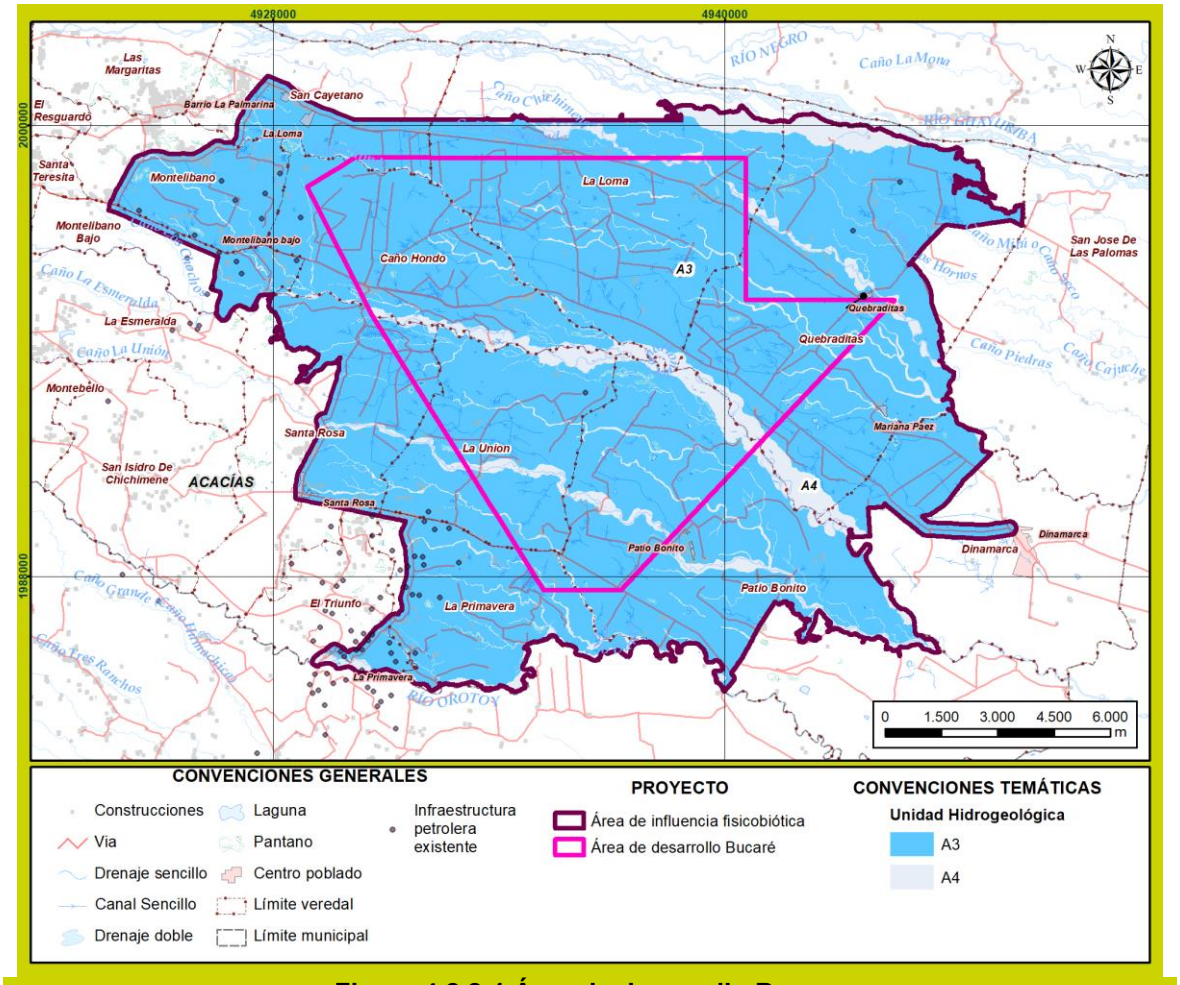


Figura 4.2.2-1 Área de desarrollo Bucare
Fuente: SGI S.A.S, 2025

4.2.2.2 Prospección geofísica

Para definir las profundidades del techo y base de las diferentes unidades hidrogeológicas identificadas, así como su espesor promedio, extensión lateral y las fronteras impermeables de la zona de estudio, se analizaron insumos provenientes de diferentes métodos geofísicos, entre los que

se incluyen tomografías eléctricas y sondeos magnetotelúricos A continuación, se describe cada uno de los métodos empleados y los resultados obtenidos. El análisis completo de los métodos geofísicos utilizados en la caracterización del AD Bucare puede consultarse en el Capítulo 3.2.7 Hidrogeología del presente proyecto.

4.2.2.2.1 Tomografías eléctricas

Para el presente estudio, se realizaron entre el 27 de marzo y el 10 de abril de 2025, cinco (5) tomografías eléctricas en lugares cercanos a donde se realizaron algunos de los sondeos magnetotelúricos, adicionalmente, se tomó en consideración la cercanía a lugares de interés para el proyecto, con el fin de que estas tomografías funcionaran como información de comparación y amarre; y de esta manera, complementar y robustecer el análisis de las características resistivas en la zona de estudio. Las tomografías eléctricas realizadas pueden ser consultadas a detalle en la siguiente ruta: **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.1_Tomografías_eléctricas.**

El objetivo de las tomografías era extender un arreglo geoeléctrico que permitiera asegurar la información resistiva en los primeros 150 metros de profundidad, con una resolución óptima para interpretar la presencia de niveles acuíferos (zonas permeables de alta resistividad) o sellos hidráulicos (zonas impermeables de bajas resistividades). De igual forma, estas tomografías eléctricas se utilizaron para verificar si se presentaba acumulación de cargas estáticas en superficie que pudieran afectar los sondeos magnetotelúricos y de ser el caso, corregirlas.

A continuación, se presenta la ubicación de las cinco (5) tomografías eléctricas realizadas dentro del área de influencia del presente proyecto. Estas tomografías se distribuyeron de manera que se pudiera obtener una caracterización del subsuelo a través de la identificación de las propiedades resistivas del terreno. Las coordenadas del punto inicial y final de las cinco (5) tomografías eléctricas realizadas en el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el área de Desarrollo Bucare se pueden observar en la **Tabla 4.2-2** mientras que en la **Figura 4.2.2-2** se presenta la ubicación y distribución espacial de las tomografías.

Tabla 4.2-2 Coordenadas de las tomografías eléctricas realizadas en campo

TOMOGRAFÍA	ID	PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
			ESTE (m)	NORTE (m)
Tomografía 1	TRE_1_PI	Inicio	4944635,09	1997754,79
	TRE_1_PF	Final	4944066,87	1997956,05
Tomografía 2	TRE_2_PI	Inicio	4937123,37	1996877,87
	TRE_2_PF	Final	4936855,56	1997415,25
Tomografía 3	TRE_3_PI	Inicio	4941669,99	1987981,99
	TRE_3_PF	Final	4941045,99	1988078,00
Tomografía 4	TRE_4_PI	Inicio	4932645,68	1994835,37
	TRE_4_PF	Final	4932098,00	1995082,00
Tomografía 5	TRE_5_PI	Inicial	4932982,34	1992342,86
	TRE_5_PF	Final	4933430,78	1991953,59

Fuente: S.G.I. SAS, 2025

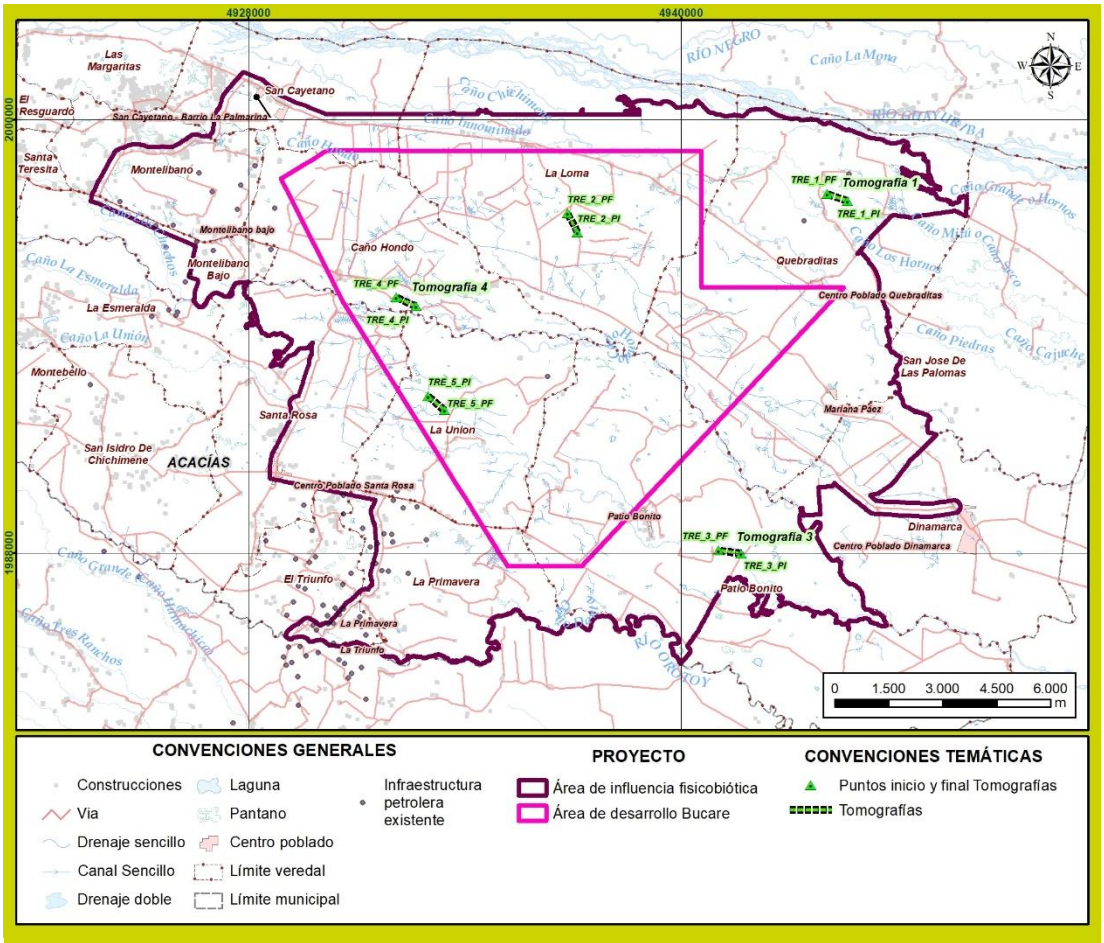


Figura 4.2.2-2 Ubicación de las tomografías eléctricas
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Para la interpretación de las tomografías eléctricas se definieron zonas o rangos de resistividad asociados a diferentes litologías y se identificaron en cada uno de los perfiles geoeléctricos. Se definieron rangos de resistividad eléctrica y se asociaron a determinados sedimentos presentes en el Área de Influencia, tal como se presenta en la Tabla 4.2-3.

Tabla 4.2-3 Rangos de resistividad eléctrica y sus respectivas litologías asociadas

ZONA	RANGO DE RESISTIVIDAD (OHM.m)	COLOR	MATERIALES GEOLÓGICOS	CARACTERISTICAS HIDROGEOLÓGICAS
A	> 3000	Tonalidades rojas a naranjas de intensidad alta	Compuesto por gravas y arenas gruesas, con muy bajo contenido de sedimentos finos (limos y arcillas).	Conforman acuíferos con muy buena permeabilidad y porosidad efectiva. Los cuales conforman acuíferos de alta productividad
B	1500- 3000	Tonalidades naranjas amarillentas (muy claras) a amarillo	Arenas gruesas a medias, con bajo contenido arcilloso (<10%)	Buena permeabilidad y porosidad, lo que les permite formar acuíferos de mediana productividad.
C	300 – 1500	Diferentes tonalidades de verde	Arenas medias a finas contenido moderado de	Presentan una permeabilidad baja a media y están altamente

ZONA	RANGO DE RESISTIVIDAD (OHM.m)	COLOR	MATERIALES GEOLÓGICOS	CARACTERISTICAS HIDROGEOLÓGICAS
			arcilla (10 – 30%), así como limos arenosos	saturados. Es un acuífero confinado a semiconfinado.
D	< 300	Diferentes tonalidades de cian y azul	Son arcillas saturadas, limos arcillosos y arenas muy finas con alto contenido de arcilla (>50%)	Presentan una alta capacidad de retención de humedad y una permeabilidad muy baja. Estos materiales actúan como barreras hidráulicas, conformando zonas confinantes o con baja capacidad de recarga.

Fuente: S.G.I. SAS, 2025

4.2.2.2.1.1 Tomografía 1

La tomografía 1 tiene una longitud superficial aproximada de 570 metros, está ubicada en dirección sureste-noroeste (SE-NW) y alcanza una profundidad de exploración aproximada de 130 metros. Esta tomografía se llevó a cabo en el sector noreste del área de influencia, en la vereda Quebraditas. En la Figura 4.2.2-3 se presenta la tomografía 1, junto con un perfil esquemático donde se observa la ubicación de esta tomografía dentro del área de influencia del presente proyecto.

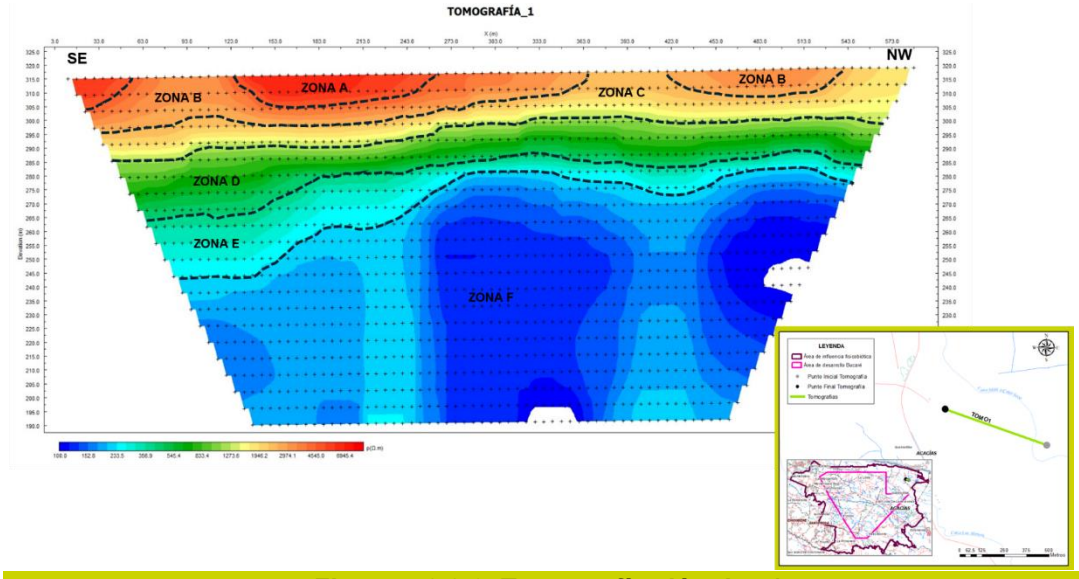


Figura 4.2.2-3 Tomografía eléctrica 1
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la parte superior de la Tomografía 1 se identifican pequeños lentos de una capa caracterizada por tonalidades rojas, asociadas a resistividades superiores a 4500 ohm*m, correspondiente a la denominada ZONA A. Esta zona está compuesta principalmente por gravas y arenas gruesas con un contenido muy bajo de sedimentos finos (limos y arcillas), lo cual favorece una alta permeabilidad y, por tanto, una buena movilidad de los fluidos. Estas características, conforman acuíferos de buena productividad, comúnmente aprovechados por la comunidad. Esta capa no es continua en el área de influencia, por el contrario, se evidencia únicamente hacia el SE del perfil en pequeños lentes, con espesores que alcanzan hasta los 15 metros.

Por debajo de la ZONA A se identifica la ZONA B, caracterizada por tonalidades naranjas, con valores de resistividad que oscilan entre 2500 a 4500 ohm*m. Esta zona presenta un espesor aproximado de 20 metros en el sector sureste (SE) y aflora en superficie hasta un poco más de la mitad de la tomografía, pero no llega hasta el extremo noroeste (NW) del perfil. Se asocia a sedimentos de granulometría media a gruesa con bajo contenido arcilloso y se relaciona comúnmente con la presencia de acuíferos de mediana productividad, con buena permeabilidad y porosidad efectiva.

Subyacente a la ZONA B, se observa un cambio en los valores de resistividad, correspondiente a la denominada ZONA C, caracterizada por colores amarillos y anaranjados claros y resistividades entre 1250 y 2500 ohm*m. Esta capa presenta un espesor de aproximadamente 12 metros en el sector sureste (SE) y 20 metros hacia el noroeste (NW), siendo en este sector donde aflora. Desde el punto de vista hidrogeológico, la ZONA C se asocia con la presencia de acuíferos compuestos por arenas medias a finas con contenido moderado de arcilla o materiales finos que disminuyen la conductividad hidráulica, lo que afecta su productividad. Es decir que, aunque en la ZONA C pueden encontrarse niveles acuíferos aprovechables, su rendimiento es menor en comparación con los acuíferos presentes en las zonas superiores.

Inmediatamente debajo, se identifica una capa denominada ZONA D, caracterizada por resistividades entre 400 a 1250 ohm*m y representada mediante tonalidades verdes. Esta unidad muestra una continuidad lateral y un engrosamiento hacia el SW, con espesores que alcanzan hasta los 22 metros. Esta zona se asocia con arenas muy finas a finas con contenido moderado de arcilla o arenas limosas, las cuales conforman acuíferos de muy baja productividad.

Infrayaciendo esta unidad se identifica una ZONA E, la cual se caracteriza por presentar resistividades entre 200 a 400 ohm*m, tonalidades cian con matices verdes, extensión continua en toda el área de la tomografía y evidencia un ligero aumento en el espesor hacia el SW, con valores de hasta 20 metros, mientras que hacia el NE el espesor máximo alcanzado por esta capa es de 7 metros. Las bajas resistividades observadas sugieren la presencia de materiales finos, como arenas muy finas con alto contenido de arcilla, las cuales dificultan el flujo de agua subterránea.

Finalmente, hacia la base de la tomografía 1 se observa una capa potente con diferentes tonalidades de color azul, correspondiente a la denominada ZONA F. Esta zona se extiende desde 242 metros de elevación en el SW y 280 metros de elevación en el NE hasta la base de la tomografía, alcanzando espesores de más de 50 metros que claramente aumentan hacia el NE. Esta zona se asocia a materiales muy finos, como limos y arcillas, los cuales dificultan o impiden el flujo de agua subterránea. Desde el punto de vista hidrogeológico, esta unidad puede interpretarse como un sello hidráulico o acuitardo, cuya función es confinar o aislar los acuíferos someros subyacentes, protegiéndolos de posibles contaminaciones o interferencias desde la superficie.

Teniendo en cuenta las descripciones litológicas y/o los materiales geológicos que fueron identificados en la tomografía 1 a partir de las resistividades reportadas, en la Figura 4.2.2-4 se presenta la interpretación litológica asignada a la tomografía 1.

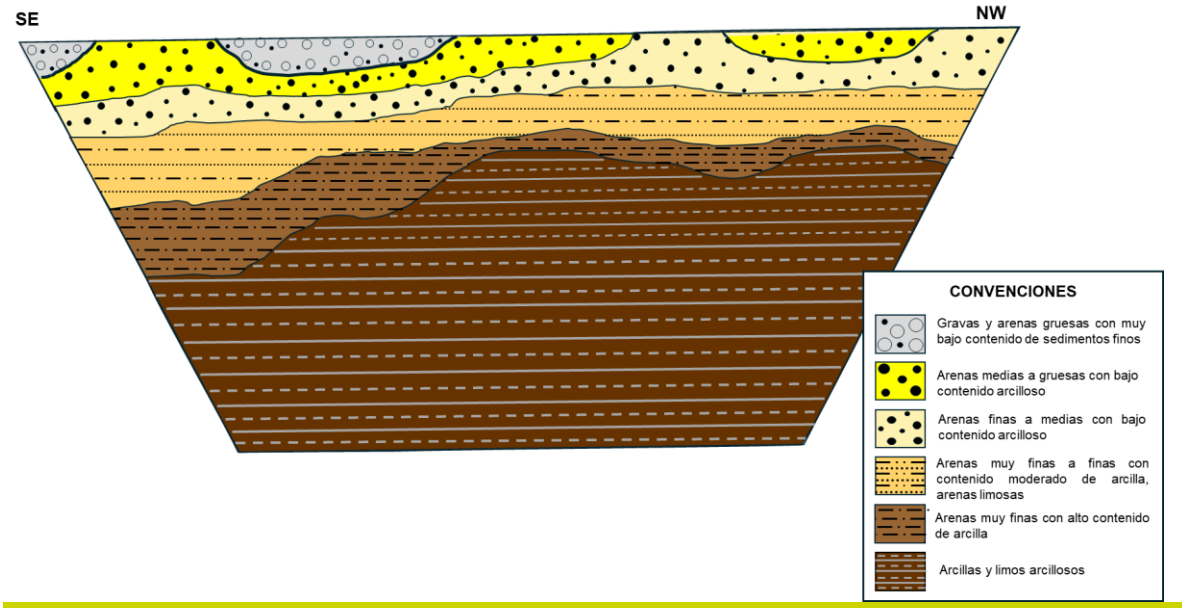


Figura 4.2.2-4 Tomografía eléctrica 1 interpretada
Fuente: SGI S.A.S., 2025

4.2.2.2.1.2 Tomografía 2

La tomografía 2 tiene en superficie una longitud aproximada de 570 metros, y se localiza en la zona centro-norte del área de influencia, específicamente en la vereda La Loma, dentro del predio Hacienda La Loma. Esta sección fue levantada en dirección sureste-noroeste (SE-NW) y alcanza una profundidad de exploración aproximada de 130 metros. En la Figura 4.2.2-5 se presenta la tomografía 2, junto con un perfil esquemático donde se observa la ubicación de esta tomografía dentro del área de influencia del presente proyecto.

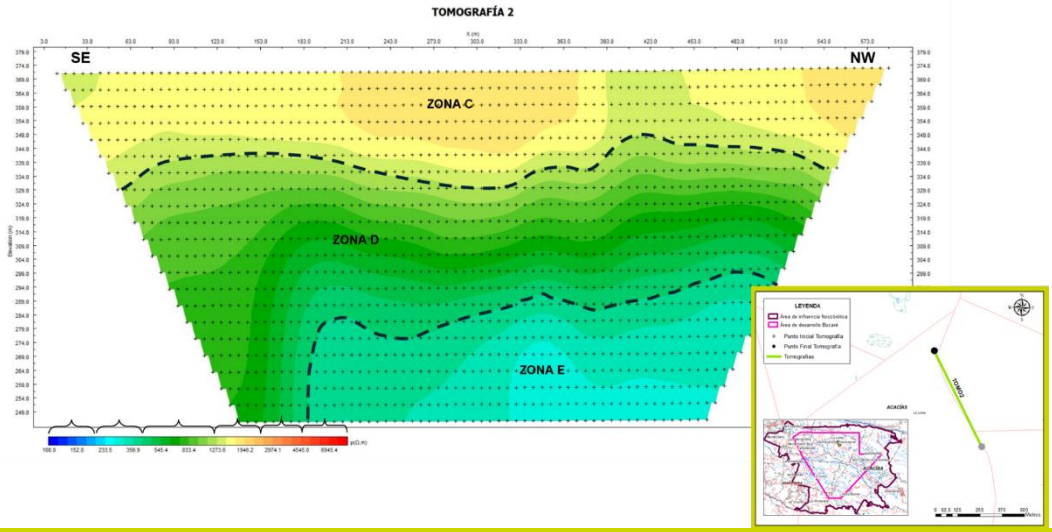


Figura 4.2.2-5 Tomografía eléctrica 2
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la Tomografía 2 se identifica en los primeros 40 metros de profundidad una zona con tonalidades de color amarillo y verde claro, asociada a resistividades que oscilan entre 1250 y 2500 ohm*m,

correspondiente a la denominada ZONA C. Este rango de resistividades sugiere la presencia de sedimentos compuestos principalmente por arenas finas a medias con contenido moderado de arcilla (10 – 30%). Hidrogeológicamente, esta unidad se asocia a acuíferos de baja a mediana productividad, con un potencial bajo a moderado para el aprovechamiento de aguas subterráneas.

Justo por debajo de la ZONA C, la tomografía 2 muestra un cambio en los valores de resistividad, correspondiente a la denominada ZONA D, la cual se representa con tonalidades verdes y presenta resistividades en el rango de 400 a 1250 ohm*m. Esta unidad tiene un espesor aproximado de 40 metros en el sector noroeste (NW), pero se engrosa progresivamente hacia el sureste (SE), extendiéndose hasta la base de la tomografía donde alcanza más de 90 metros de espesor. Desde el punto de vista hidrogeológico, la ZONA D se asocia con la presencia de arenas finas a muy finas con matriz arcillosa o de materiales con mayor proporción de finos, lo que se interpreta como una conductividad hidráulica reducida. Aunque en esta zona pueden existir niveles acuíferos aprovechables, su productividad es inferior a la de los acuíferos presentes en la zona superior (ZONA C), debido a las condiciones menos favorables para el flujo de agua subterránea.

Por último, en la esquina inferior derecha de la tomografía 2 se identifica una ZONA E, caracterizada por resistividades entre 200 a 400 ohm*m y representada mediante tonalidades cian y verdes con matices cian. Esta zona no se observa hacia el sector sureste (SE) del perfil, lo cual puede explicarse por el engrosamiento hacia el sureste (SE) de las capas superiores, limitando así su visibilidad y continuidad dentro del perfil. Hidrogeológicamente, esta unidad se interpreta como una zona de baja permeabilidad, cuya composición rica en materiales finos como arenas muy finas con alto contenido de arcilla, limita significativamente el flujo de agua subterránea. Este tipo de formaciones actúa como un acuitardo, es decir, capas semi-impermeables que limitan el flujo de agua y sirven como una capa protectora que confina los acuíferos más someros, evitando su contaminación o interacción con los acuíferos profundos.

Teniendo en cuenta las descripciones litológicas y/o los materiales geológicos que fueron identificados en la tomografía 2 a partir de las resistividades reportadas, en la Figura 4.2.2-6se presenta la interpretación litológica asignada a la tomografía eléctrica 2.

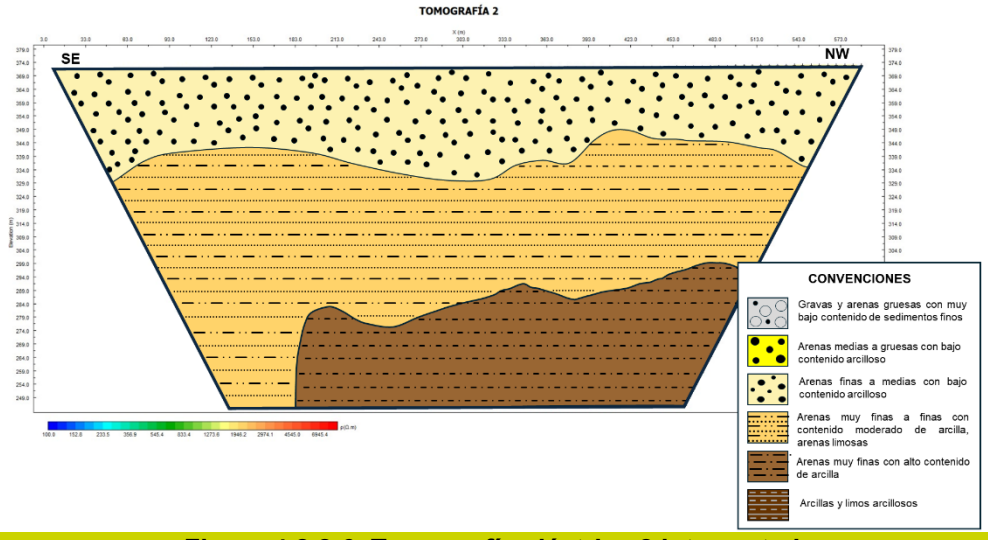


Figura 4.2.2-6 Tomografía eléctrica 2 interpretada
Fuente: SGI S.A.S., 2025

4.2.2.2.1.3 Tomografía 3

La tomografía 3 presenta una longitud superficial aproximada de 570 metros y se ubica hacia el sector sureste (SE) del área de influencia, específicamente en la vereda Patio Bonito, a un costado del Caño La Unión. Este levantamiento geofísico se orienta en dirección sureste-noroeste (SE-NW) y alcanza una profundidad de exploración aproximada de 100 metros. En la Figura 4.2.2-7 se muestra la tomografía 3, junto con un perfil esquemático donde se observa la ubicación de esta tomografía dentro del área de influencia del presente proyecto.

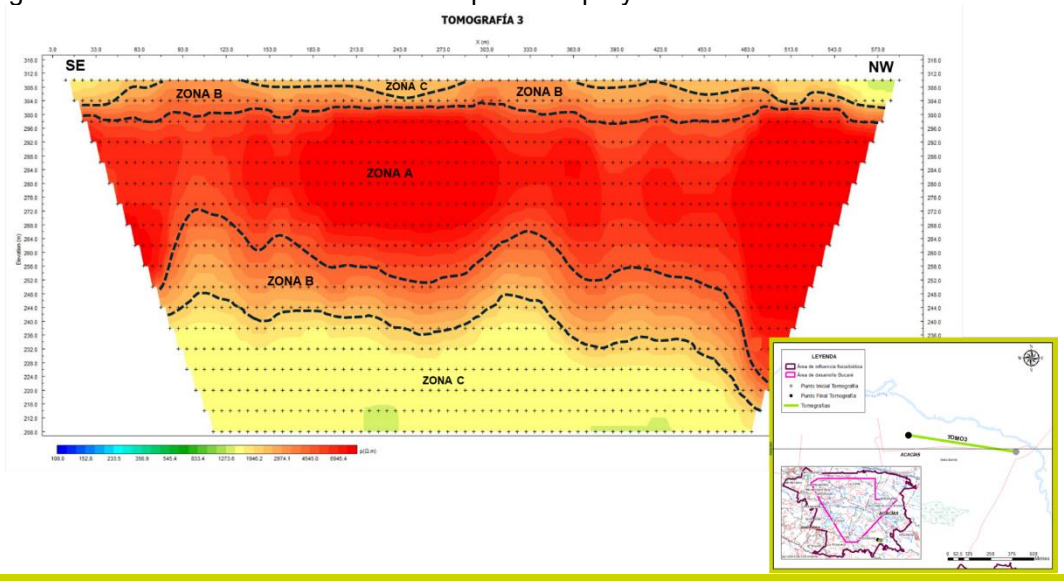


Figura 4.2.2-7 Tomografía eléctrica 3
Fuente: SGI S.A.S., 2025

La tomografía 3, ejecutada en las cercanías del Caño La Unión, revela un perfil geoeléctrico influenciado por la presencia de este cuerpo de agua superficial, lo que se refleja en las variaciones de resistividad del subsuelo.

En la parte superior de la tomografía 3, se identifican pequeños lentes delgados, con un espesor aproximado de 5 metros y de tonalidades amarillas a naranjas claras, asociados a resistividades en el rango de 1250 a los 2500 ohm*m correspondientes a la denominada ZONA C. Estos lentes se presentan en superficie en segmentos de 60, 150 y 220 metros de extensión, pero no de forma continua. Están relacionados con arenas medias con bajo contenido de materiales finos, condiciones que favorecen una buena movilidad de fluidos y, por ende, un moderado potencial hidrogeológico.

Justo debajo de los segmentos correspondientes a la ZONA C, se identifica una capa continua de colores naranjas claros, con resistividades entre 2500 a 4500 ohm*m, asociados a la denominada ZONA B. La profundidad de esta capa se mantiene constante pero el espesor varía ligeramente, especialmente en los segmentos en los que afloran las ZONA C, pues el espesor de esta unidad disminuye. Esta zona se asocia a arenas medias a gruesas con muy bajo contenido de sedimentos finos, lo cual le otorga buena porosidad y permeabilidad a esta capa, asignándole un alto potencial para el establecimiento de acuíferos de mediana productividad.

Infrayaciendo, se identifica una potente capa de tonalidades rojas denominada ZONA A, la cual se caracteriza por presentar resistividades superiores a 4500 ohm*m y un espesor aproximado de 50 metros hacia el SE y 76 metros hacia el NW, evidenciando un considerable engrosamiento en esta dirección. Esta zona está relacionada con gravas y arenas gruesas, con bajo contenido de sedimentos finos (limos y arcillas), lo cual favorece una alta movilidad de fluidos. Desde el punto de vista hidrogeológico, se considera que esta zona conforma acuíferos de alta productividad.

Inmediatamente debajo de esta capa, se evidencia nuevamente una ZONA B, la cual se evidencia a lo largo de toda la tomografía con un espesor variable que oscila entre 8 a 18 metros.

Finalmente, en la base de la tomografía se vuelve a identificar la ZONA C, representada por tonalidades amarillo claro y resistividades en el rango de 1250 a los 2500 ohm*m. Estos valores indican la presencia de sedimentos compuestos principalmente por arenas medias a finas, con bajo contenido de arcillas. Hidrogeológicamente, esta unidad corresponde a acuíferos de mediana productividad, con un potencial moderado para el aprovechamiento de aguas subterráneas.

Teniendo en cuenta las descripciones litológicas y/o los materiales geológicos que fueron identificados en la tomografía 3 a partir de las resistividades reportadas, en la Figura 4.2.2-8 se presenta la interpretación litológica asignada a la tomografía eléctrica 3.

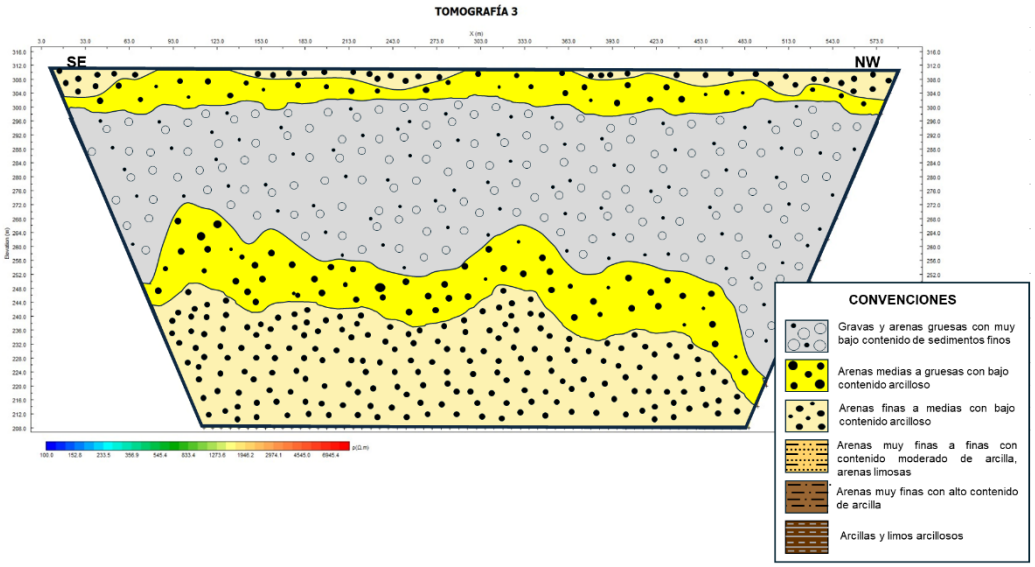


Figura 4.2.2-8 Tomografía eléctrica 3 interpretada
Fuente: SGI S.A.S., 2025

4.2.2.2.1.4 Tomografía 4

A diferencia de las tomografías anteriores, esta sección presenta una estratificación horizontal y La tomografía 4 presenta una longitud superficial aproximada de 570 metros y se ubica en el sector noroeste del área de influencia, en las cercanías del rio Acacias, dentro del predio Palmeras del Llano, en la Vereda Caño Hondo. La tomografía está en dirección sureste–noroeste (SE-NW) y alcanza una profundidad de exploración aproximada de 130 metros. En la Figura 4.2.2-9 se presenta la tomografía 4, junto con un perfil esquemático donde se observa la ubicación de esta tomografía dentro del área de influencia del presente proyecto.

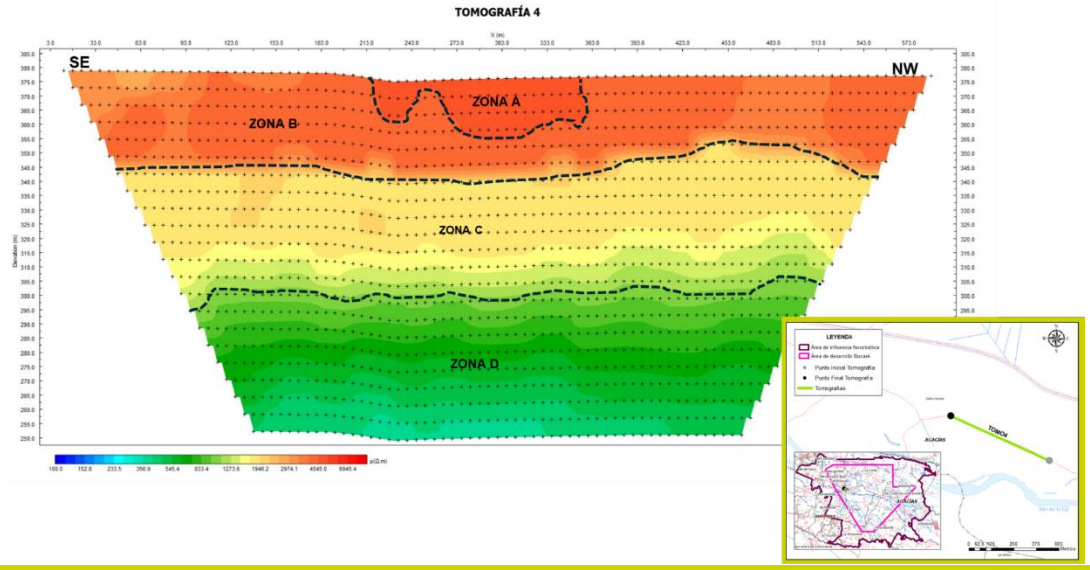


Figura 4.2.2-9 Tomografía eléctrica 4
Fuente: SGI S.A.S., 2025

A diferencia de las tomografías anteriores, esta sección presenta una estratificación horizontal y continua, lo que sugiere condiciones geológicas más homogéneas a lo largo del perfil. La tomografía 4 evidencia una estratigrafía típica de zonas aluviales en contacto con cuerpos de agua superficiales, como el río Acacías, con una transición vertical desde materiales gruesos saturados en superficie hasta materiales más finos en profundidad, es decir, una disminución progresiva del tamaño de grano de los sedimentos.

En los primeros 35 metros se identifican tonalidades anaranjadas asociadas a resistividades superiores a 2500 a 4500 ohm·m, correspondientes a la unidad definida inicialmente como ZONA B. Esta zona está compuesta por sedimentos de arena media a gruesa, con bajo contenido de materiales finos, lo que favorece una alta movilidad de fluidos y, en consecuencia, una excelente capacidad para transmitir agua. Por estas características, la ZONA B se considera un acuífero de muy buena productividad, actualmente aprovechado por la comunidad. Adicionalmente, dentro de esta ZONA B se evidencia un pequeño lente constituido por ZONA A, el cual se localiza hacia el centro de la tomografía con una extensión superficial de 140 metros y un espesor máximo de 25 metros. Esta zona se caracteriza por presentar mejores permeabilidades y porosidades, asociado a materiales más resistivos y permeables que se evidencian por tonalidades naranjas más intensas.

Inmediatamente por debajo de la ZONA B se reconoce la ZONA C, caracterizada por tonalidades amarillas y resistividades comprendidas entre 1250 y 2500 ohm·m, con un espesor aproximado de 50 metros. Esta unidad se asocia a sedimentos de arena medias a finas, los cuales, dependiendo del contenido de materiales finos presentes, pueden conformar acuíferos de mediana productividad.

En la base de la tomografía 4 se identifica la ZONA D, con resistividades entre 400 y 1250 ohm·m, extendiéndose hasta el final del perfil. Esta zona se vincula a sedimentos de arena fina con mayor proporción de materiales finos, como limos y arcillas, que dificultan o impiden el movimiento de fluidos. También podría corresponder a intercalaciones no diferenciables de arenas y sedimentos finos, predominando estos últimos. Por sus características, desde el punto de vista hidrogeológico, la ZONA D conforma acuíferos de muy baja productividad con permeabilidades y porosidades bajas a medias.

Teniendo en cuenta las descripciones litológicas y/o los materiales geológicos que fueron identificados en la tomografía 4 a partir de las resistividades reportadas, en la Figura 4.2.2-10 se presenta la interpretación litológica asignada a la tomografía eléctrica 4.

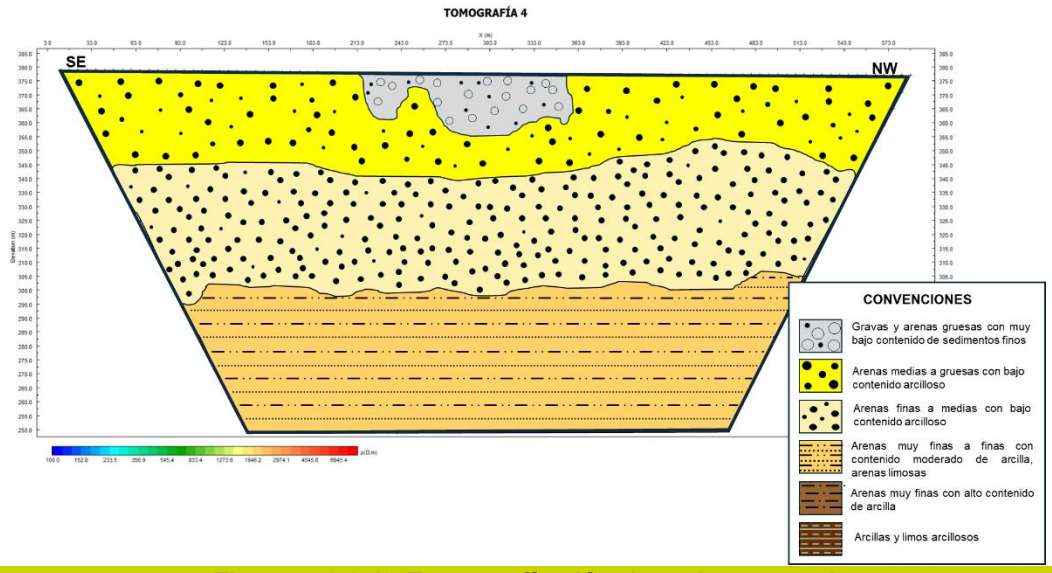


Figura 4.2.2-10 Tomografía eléctrica 4 interpretada
Fuente: SGI S.A.S., 2025

4.2.2.2.1.5 Tomografía 5

La tomografía 5 presenta una longitud superficial aproximada de 570 metros y se localiza en el sector centro-oeste del área de influencia, en la vereda La Unión. Su trazo se orienta en dirección NW-SE y alcanza una profundidad de exploración cercana a los 140 metros. En la Figura 4.2.2-11 se presenta la tomografía 5, junto con un perfil esquemático donde se observa la ubicación de esta tomografía dentro del área de influencia del presente proyecto.

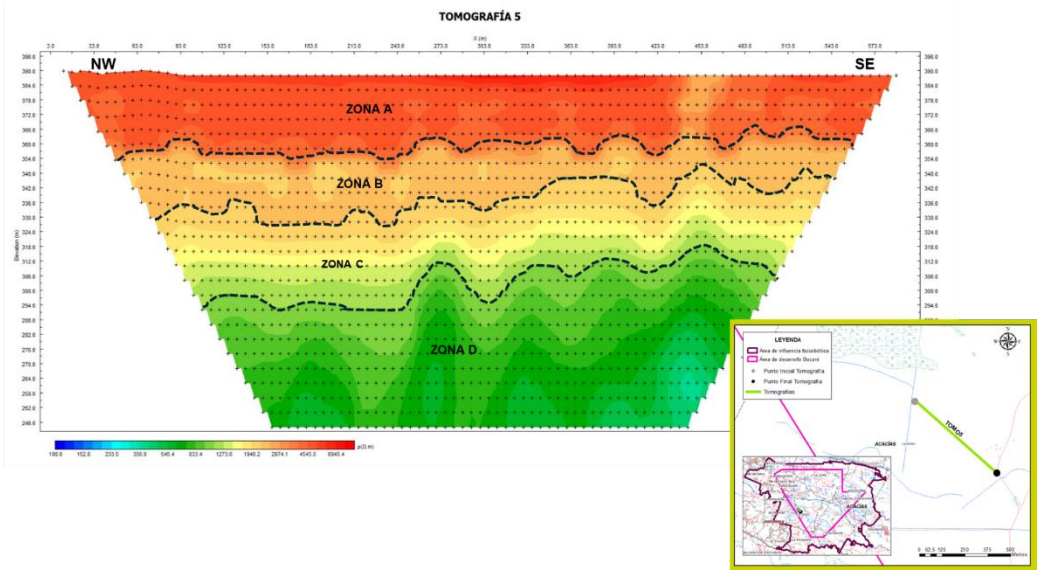


Figura 4.2.2-11 Tomografía eléctrica 5
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Al igual que la tomografía 4, esta sección presenta una estratificación horizontal y continua, lo que sugiere condiciones geológicas relativamente homogéneas a lo largo del perfil.

En los primeros 40 metros se distinguen tonalidades rojas y naranjas intensas asociadas a resistividades superiores a 4500 ohm·m, correspondientes a la denominada ZONA A. Esta unidad está conformada por sedimentos de grava y arena gruesa con bajo contenido de materiales finos, lo que facilita una alta movilidad de fluidos y, en consecuencia, una excelente capacidad para transmitir agua. Por estas condiciones, la ZONA A se considera un acuífero de muy buena productividad, actualmente aprovechado por la comunidad.

Inmediatamente por debajo se encuentra la ZONA B, con tonalidades amarillas y anaranjadas claras con resistividades que oscilan entre 2500 y 4500 ohm·m, alcanzando un espesor aproximado de 20 metros. Está compuesta por sedimentos de arena gruesa a media, que, en función del contenido de materiales finos, pueden conformar acuíferos de mediana productividad.

Infrayaciendo, se identifica una capa con tonalidades amarillas, naranjas y verdes con matices amarillos, la cual se asocia a resistividades entre 1250 a 2500 ohm*m y se identifica como ZONA C. Esta zona presenta un espesor de 60 metros que se mantiene prácticamente constante a lo largo de la tomografía. Está conformada por arenas finas a medias con un contenido de sedimentos finos moderado a bajo, lo cual le otorga unas permeabilidades y porosidades buenas, que se traduce en una productividad que varía entre moderada a baja, según el contenido de sedimentos finos presentes.

Finalmente, en la base de la tomografía 5 se identifica la ZONA D, con resistividades de 400 a 1250 ohm·m, extendiéndose hasta el límite inferior del perfil. Esta zona se asocia principalmente a sedimentos de arena fina con un contenido de limos y arcillas moderado, lo que reduce la circulación de fluidos. También podría corresponder a intercalaciones de arenas y sedimentos finos, predominando estos últimos. Desde el punto de vista hidrogeológico, la ZONA D presenta muy baja productividad.

Teniendo en cuenta las descripciones litológicas y/o los materiales geológicos que fueron identificados en la tomografía 5 a partir de las resistividades reportadas, en la Figura 4.2.2-12 se presenta la interpretación litológica asignada a la tomografía eléctrica 5.

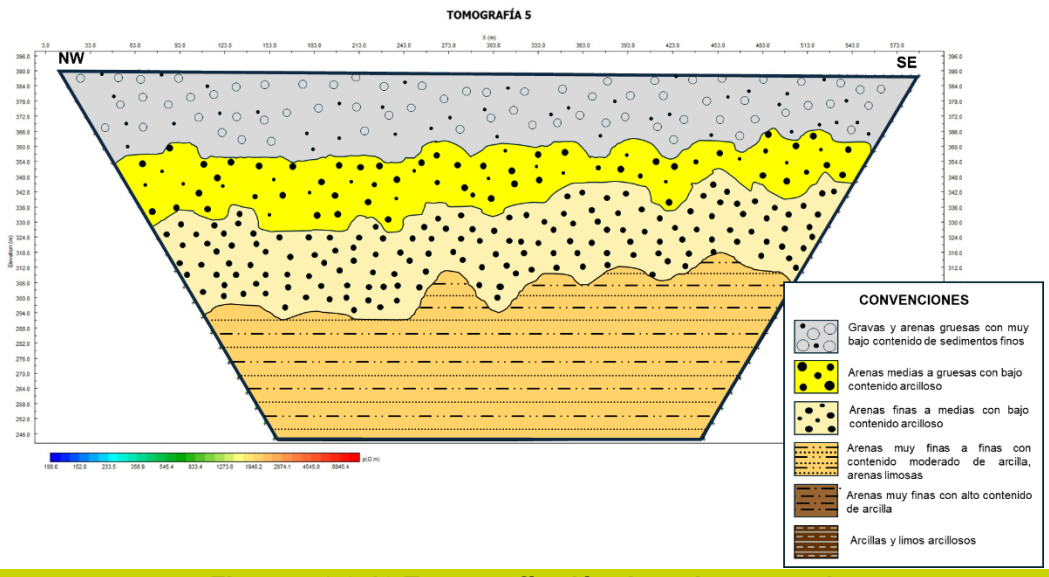


Figura 4.2.2-12 Tomografía eléctrica 5 interpretada
Fuente: SGI S.A.S, 2025

4.2.2.2.2 Sondeos magnetotelúricos

Para llevar a cabo la caracterización geológica – geofísica en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el área de Desarrollo Bucare, se llevaron a cabo entre el 27 de marzo y el 10 de abril de 2025, treinta (30) sondeos magnetotelúricos (MT). La ubicación de cada uno de los sondeos MT se seleccionó de manera que estos quedaran distribuidos de forma homogénea en toda el área de influencia, garantizando de esta manera, la mejor y más completa caracterización de esta. Los 9 perfiles MT pueden ser consultados a detalle en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.2_Perfiles_Magnetoteluricos.**

En la **Tabla 4.2-4** se presentan las coordenadas de cada uno de los treinta (30) sondeos magnetotelúricos realizados mientras que en la **Figura 4.2.2-13** se presenta la ubicación espacial de estos en el área de influencia físicobiótica del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare. El espaciamiento entre cada sondeo magnetotelúrico es de aproximadamente 1,2 a 6,0 km dependiendo de la zona.

Tabla 4.2-4 Coordenadas sondeos magnetotelúricos realizados en el área de influencia fisicobiótica

No.	ID SONDEO MT	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
		ESTE (m)	NORTE (m)
1	MTB01	4926207,75	1998372,39
2	MTB02	4930869,42	1999584,23
3	MTB03	4930645,98	1997595,44
4	MTB04	4930311,05	1994943,74
5	MTB05	4929642,69	1991629,31
6	MTB06	4933865,32	1999250,51
7	MTB07	4933642,02	1997372,22
8	MTB08	4933418,48	1995162,44

No.	ID SONDEO MT	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
		ESTE (m)	NORTE (m)
9	MTB09	4933415,94	1991626,53
10	MTB10	4932859,53	1989527,49
11	MTB11	4932412,91	1985770,91
12	MTB12	4936196,04	1999801,34
13	MTB13	4936416,28	1997370,26
14	MTB14	4936747,67	1995160,10
15	MTB15	4937744,19	1991844,53
16	MTB16	4936521,57	1989082,94
17	MTB17	4941735,89	1986317,15
18	MTB18	4935747,61	1993282,34
19	MTB19	4932418,43	1993395,21
20	MTB20	4942297,32	1996813,89
21	MTB21	4939634,40	1997368,08
22	MTB22	4940076,19	1994163,41
23	MTB23	4939962,43	1989854,14
24	MTB24	4939960,52	1986870,75
25	MTB25	4945735,94	1994380,90
26	MTB26	4945627,32	1998358,79
27	MTB27	4943183,98	1995045,41
28	MTB28	4942848,61	1991067,78
29	MTB29	4942292,16	1988526,72
30	MTB30	4934966,54	1987205,56

Fuente: SGI SAS, 2025

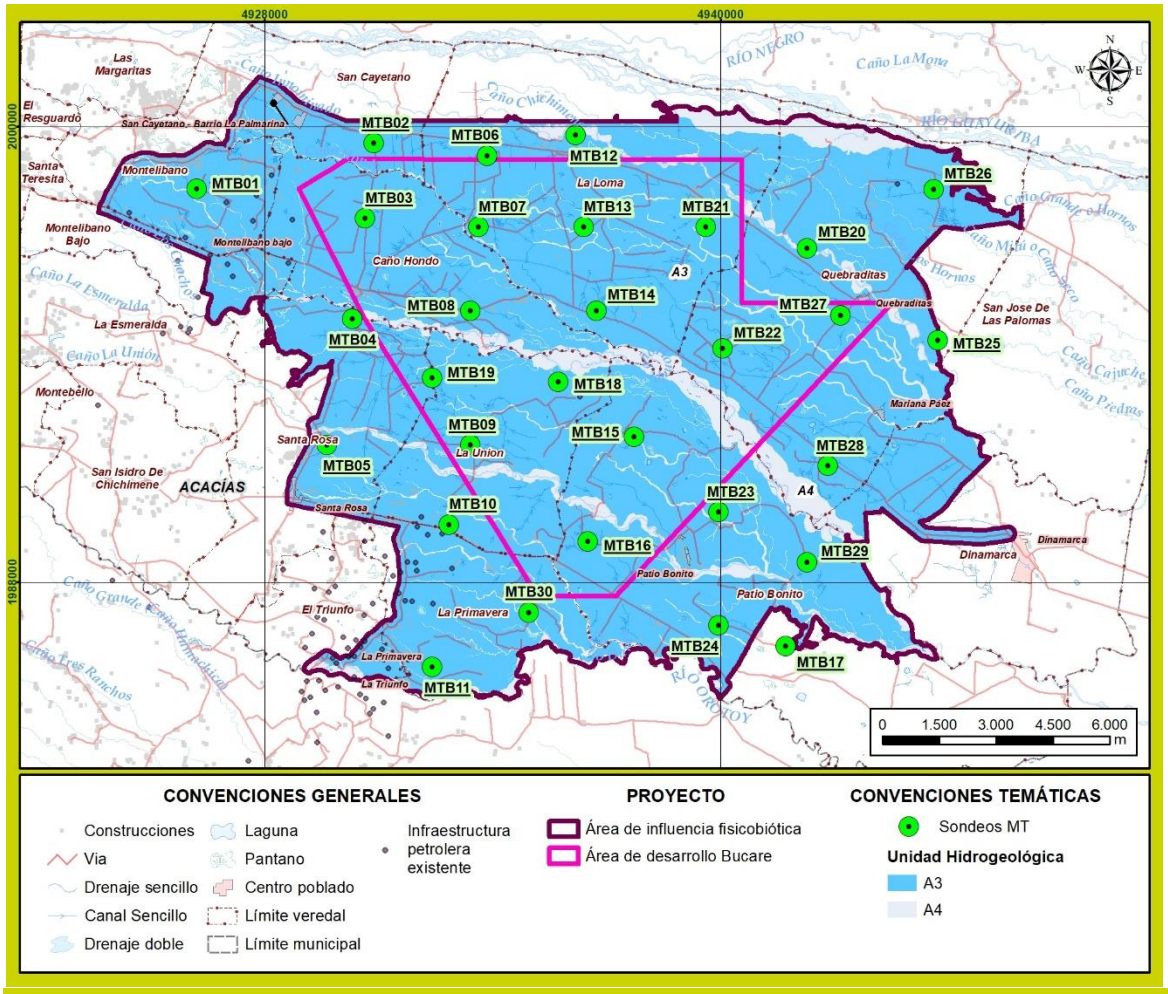


Figura 4.2.2-13 Ubicación de los sondeos magnetotelúricos
Fuente: S.G.I. SAS, 2025

A partir de los 30 sondeos magnetotelúricos se construyeron nueve (9) perfiles MT, con el objetivo de caracterizar las unidades geológicas profundas presentes en el área de influencia, los perfiles se construyeron en sentido oeste – este (W-E) y norte – sur (N-S). En la **T**abla **4.2-5** se presentan los perfiles magnetotelúricos construidos, los sondeos asociados a cada perfil y la dirección de estos. Así mismo, en la **Figura 4.2.2-14** se puede observar la ubicación de los 7 perfiles magnetotelúricos distribuidos en el área de influencia fisicobiótica del presente proyecto.

Tabla 4.2-5 Perfiles magnetotelúricos realizados en el área de influencia fisicobiótica

N° PERFIL	DIRECCIÓN	SONDEOS MT ASOCIADOS
1	Oeste - Este	MTB02
		MTB06
		MTB12
		MTB26
2	Oeste - Este	MTB01
		MTB03

N° PERFIL	DIRECCIÓN	SONDEOS MT ASOCIADOS
		MTB07
		MTB13
		MTB21
		MTB20
3	Oeste - Este	MTB04
		MTB08
		MTB14
		MTB22
		MTB27
		MTB25
4	Oeste - Este	MTB05
		MTB09
		MTB15
		MTB28
5	Oeste - Este	MTB10
		MTB16
		MTB23
		MTB29
6	Oeste - Este	MTB11
		MTB30
		MTB24
		MTB17
7	Norte - Sur	MTB02
		MTB03
		MTB04
		MTB05
8	Norte - Sur	MTB12
		MTB13
		MTB14
		MTB18
		MTB16
		MTB30
9	Norte - Sur	MTB26
		MTB27
		MTB28
		MTB29
		MTB17

Fuente: SGI SAS, 2025

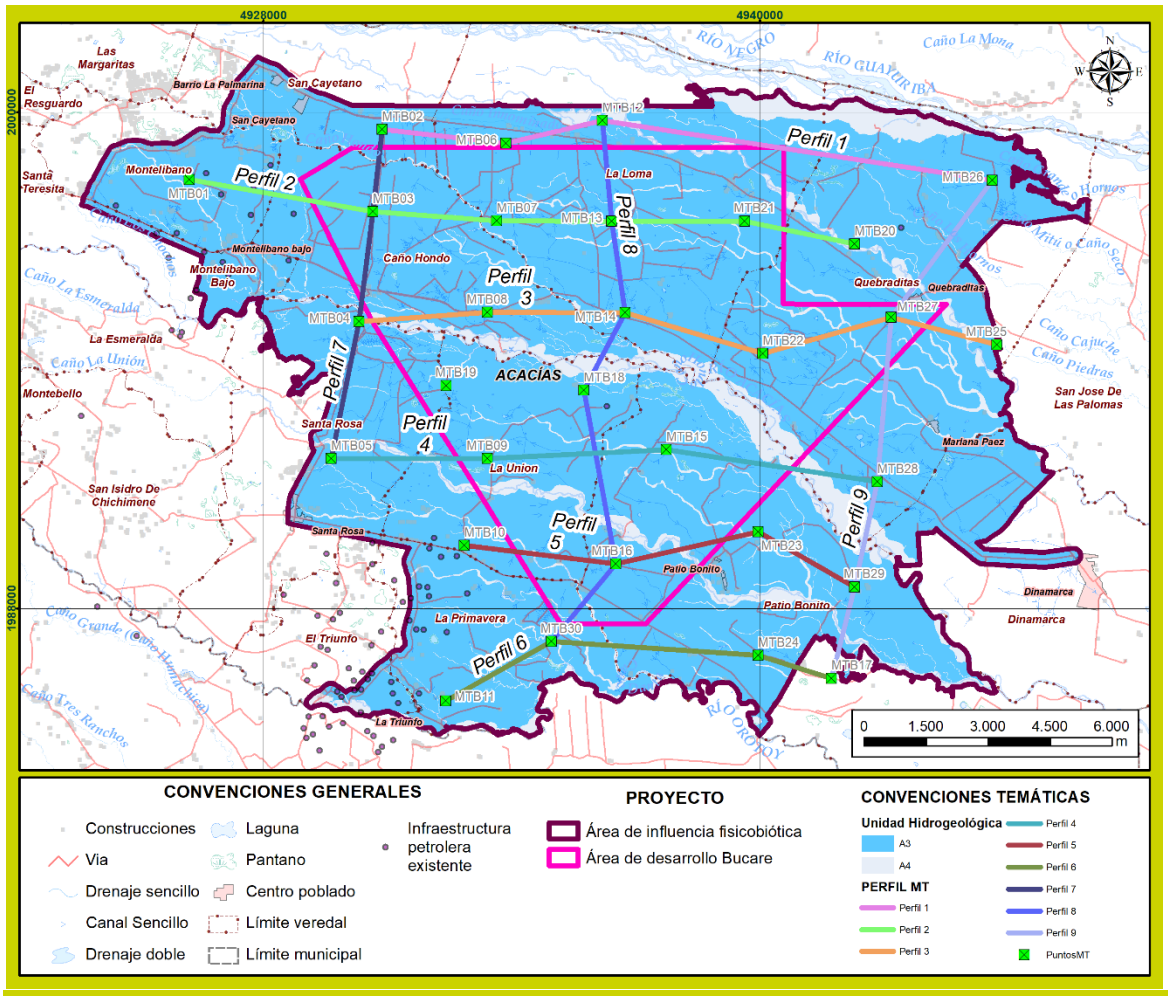


Figura 4.2.2-14 Ubicación de los perfiles magnetotelúricos
Fuente: S.G.I. SAS, 2025

Para la interpretación de los perfiles magnetotelúricos se definieron siete (7) zonas, cada una caracterizada por un rango de resistividad específico, asociado a distintos tipos de materiales y a diferentes grados de saturación. Estas zonas de resistividad fueron identificadas en los perfiles magnetotelúricos construidos, de manera que permitieran diferenciar los diferentes materiales o litologías presentes en el área de influencia. Los rangos de resistividad definidos para interpretar los perfiles magnetotelúricos se presentan en la T**abla** 4.2-6.

Tabla 4.2-6 Rangos de resistividad eléctrica en los MT y sus respectivos materiales asociados

ZONA	RANGO DE RESISTIVIDAD (OHM.m)	COLOR	MATERIALES GEOLÓGICOS	CARACTERISTICAS HIDROGEOLÓGICAS
1	<7	Colores azul oscuro	Asociadas a materiales de muy baja permeabilidad, constituidos predominantemente por sedimentos finos como arcillas y limos.	Estas unidades se interpretan como sellos hidráulicos.

ZONA	RANGO DE RESISTIVIDAD (OHM.m)	COLOR	MATERIALES GEOLÓGICOS	CARACTERISTICAS HIDROGEOLÓGICAS
2	7 - 15	Tonos azul a azul cian	Materiales de baja permeabilidad, compuestos por limos y arcillas con posibles intercalaciones delgadas de arenas finas.	Estas unidades presentan una capacidad limitada para el tránsito de fluidos y pueden comportarse como acuitardos o sellos regionales.
3	15 - 24	Colores cian	Asociadas a materiales finos, principalmente arenas finas con matrices limo-arcillosas.	Estas unidades pueden corresponder a acuitardos, donde la movilidad de fluidos es restringida por el alto contenido de sedimentos finos.
4	24 - 43	Colores verde a verde claro	Materiales moderadamente permeables, constituidos por arenas medias con proporciones variables de limos y arcillas.	Estas unidades pueden corresponder a acuíferos de potencial hidráulico bajo a moderado o a zonas de transición hidrogeológica.
5	43 - 80	Colores verde a amarillo	Materiales con mejor conectividad hidráulica, dominados por arenas gruesas con bajo contenido de matriz fina.	Estas unidades presentan una mayor capacidad para el almacenamiento y circulación de fluidos, aunque pueden mostrar variaciones faciales laterales.
6	80 – 140	Colores amarillo a naranja	Predominan litologías de gravas y arenas gruesas con muy bajo contenido de sedimentos finos.	Estas unidades pueden corresponder a acuíferos de potencial hidráulico alto.
7	>140	Colores naranja a rojo	Materiales de muy alta resistividad, asociados a litologías gruesas y de alta permeabilidad, como gravas y arenas limpias.	Estas unidades presentan las mejores condiciones para el flujo de fluidos.

Fuente: SGI S.A.S., 2025

A continuación, se presenta la interpretación de cada uno de los nueve (9) perfiles magnetotelúricos construidos a partir de los treinta (30) sondeos MT realizados dentro del área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare. Los 9 perfiles MT pueden ser consultados a detalle en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.2_Perfiles_Magnetoteluricos**

4.2.2.2.2.1 Perfil MT01

El perfil magnetotelúrico 1 está compuesto por cuatro (4) sondeos dispuestos en dirección oeste-este (W-E), con una profundidad de exploración aproximada de 2100 metros. Se ubica en el sector norte del área de influencia, abarcando las veredas San Cayetano, La Loma y Quebraditas. En la Figura 4.2.2-15 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 1.

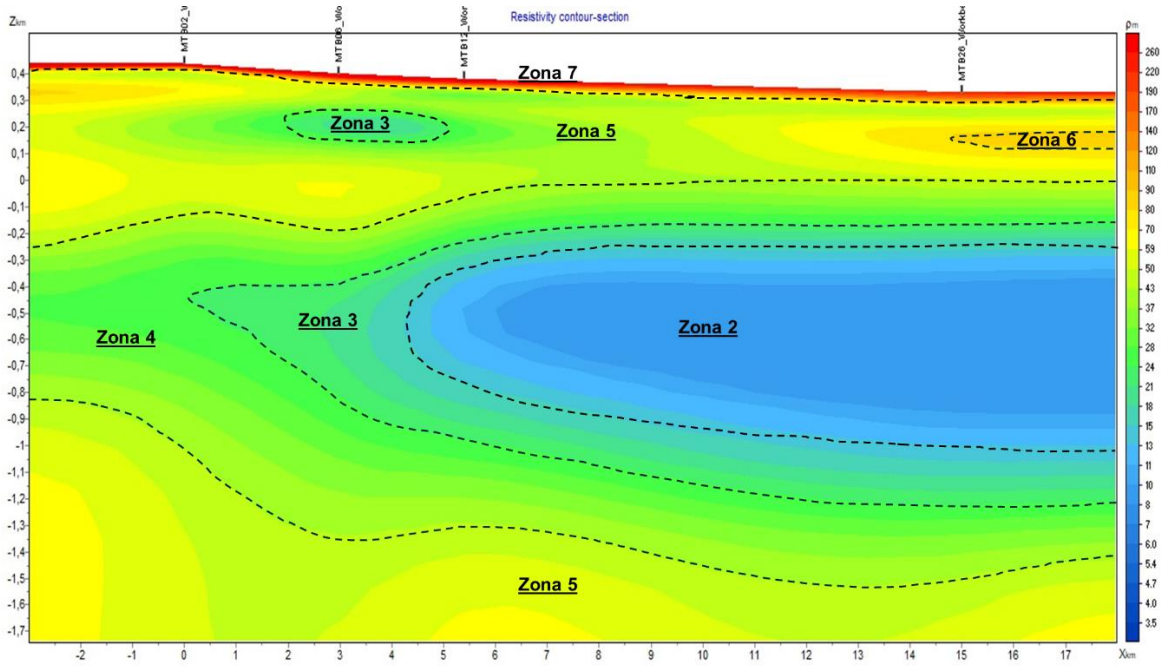


Figura 4.2.2-15 Perfil MT 1
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el perfil magnetotelúrico MT01 se reconocen varios dominios de resistividad, los cuales se asocian a las siete (7) zonas de resistividad definidas previamente para la interpretación.

En el tramo más somero se identifica la ZONA 7 (>140 Ω·m), con un espesor aproximado de 30 m, asociada a los depósitos cuaternarios recientes. Esta unidad presenta resistividades relativamente altas compatibles con materiales poco consolidados de granulometrías predominantemente gruesas (gravas y arenas) con bajo contenido de sedimentos finos (limos y arcillas). Esta zona conforma el acuífero somero aprovechable por las comunidades locales. Este tramo se mantiene constante a lo largo del perfil, tanto en su espesor como en su respuesta resistiva.

Por debajo de estos depósitos se reconoce un paquete continúo dominado por la ZONA 5 (resistividades entre 43-80 Ω·m), el cual presenta variaciones laterales en su respuesta resistiva. Estas variaciones reflejan cambios faciales, donde materiales más gruesos pueden pasar lateralmente a sedimentos con mayor contenido de fracción fina. Este tramo alcanza espesores aproximados de 650 m en el sector occidental, disminuyendo hasta cerca de 300 m hacia el sector oriental. Desde el punto de vista hidrogeológico, estas resistividades intermedias a altas indican la presencia de acuíferos de moderado potencial hidráulico. Dentro de esta zona, se evidencian 2 lentes, uno de ZONA 3 con resistividades más bajas y otro constituido por ZONA 6, siendo este más permeable y, por ende, resistivo. Estos lentes evidencian una variación litológica dentro de esta unidad, la cual puede asociarse al Miembro Superior de la Formación Guayabo.

Subyaciente a este paquete, el perfil evidencia la presencia de una ZONA 4, la cual se caracteriza por tonalidades verdes con resistividades que oscilan entre 24 a 43 Ω·m. Esta zona presenta un aumento en el espesor hacia el oeste (W), donde alcanza un espesor hasta alrededor de 1400 m. El aumento en el espesor hacia el W está asociado a la presencia de ZONA 2 y ZONA 3 (resistividades entre 7-15 Ω·m y 15-24 Ω·m), las cuales no se evidencian continuas dentro del perfil, sino que empiezan hacia el W con un espesor conjunto de 1050 metros y se van acuñando hacia el E, desapareciendo del perfil a la altura del sondeo MTB02. Este dominio de bajas resistividades se correlaciona con el Miembro Inferior de la Formación Guayabo y la Formación León, constituidas

ambas por secuencias con alta proporción de sedimentos finos, principalmente limos y arcillas, que actúan como niveles de baja permeabilidad o sellos hidráulicos regionales. Si bien no están presentes en todo el perfil MT, si corresponden a unidades de extensión regional y continuas dentro del área de influencia.

En profundidad, se reconoce nuevamente un intervalo caracterizado por ZONA 5 (resistividades entre 43-80 Ω·m), cuyo espesor varía entre aproximadamente 950 m en el sector occidental y 400 m en el sector oriental, hasta alcanzar la base del perfil MT 01. Este dominio se correlaciona con la parte superior de la Formación Carbonera, y estaría conformado por alternancias de arenas y arcillolitas.

4.2.2.2.2.2 Perfil MT02

El perfil magnetotelúrico 2 está conformado por seis (6) sondeos y se encuentra ubicado en el sector norte del área de influencia, atravesándola en sentido oeste-este (W-E). Presenta una profundidad de exploración aproximada de 2000 metros y abarca las veredas Montelíbano, Caño Hondo, el sector sur de La Loma y Quebraditas. En la Figura 4.2.2-16 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 2.

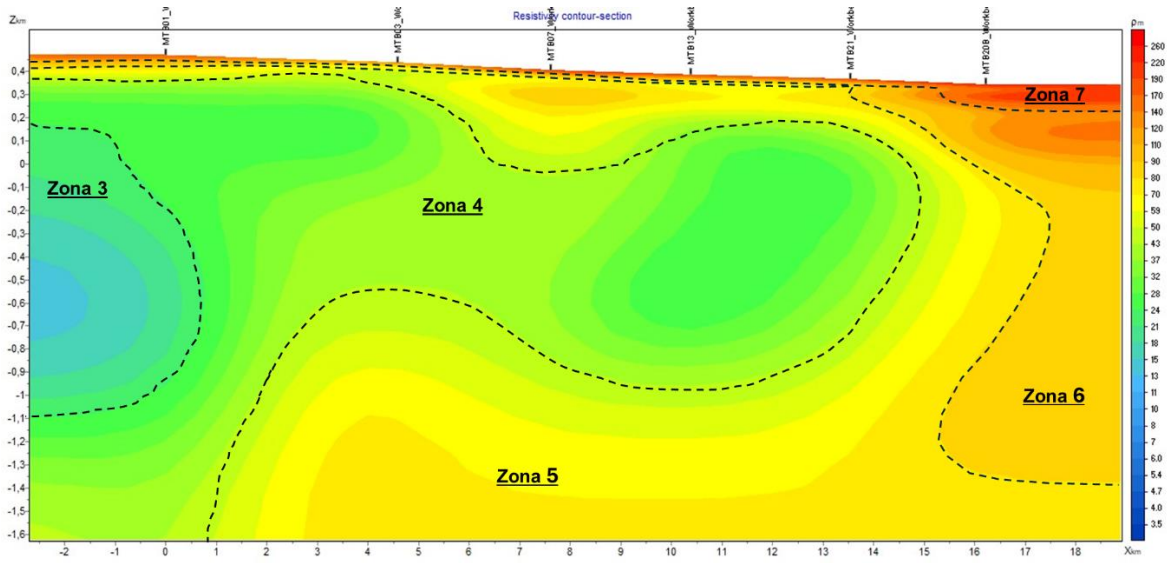


Figura 4.2.2-16 Perfil MT 2
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el perfil magnetotelúrico MT02 se reconocen varios dominios de resistividad. En el tramo más somero del perfil se identifica la ZONA 7, caracterizada por resistividades mayores a 140 Ω·m, la cual se asocia a depósitos cuaternarios recientes constituidos por materiales poco consolidados, de granulometría predominantemente gruesa, como gravas y arenas, con un contenido bajo a moderado de sedimentos finos (limos y arcillas). Esta ZONA 7 representa el acuífero somero aprovechable presente en el área de influencia.

A lo largo del perfil, esta unidad presenta un espesor relativamente constante del orden de 20 m; sin embargo, hacia el sector oriental se observa un marcado engrosamiento del paquete resistivo, acompañado por un incremento de los valores de resistividad, alcanzando espesores de hasta 110 m. Este aumento significativo del espesor de la ZONA 7 hacia el este del perfil se relaciona con la cercanía al Caño Chichimene, donde se evidencia un mayor desarrollo de depósitos aluviales recientes, caracterizados por la acumulación de materiales más gruesos, producto de una mayor dinámica de depositación asociada al drenaje.

Subyacente a estos depósitos superficiales se identifica la ZONA 6, representada por tonalidades naranja intenso y resistividades entre 80 y 140 Ω·m. Inicialmente, esta zona presenta un espesor relativamente constante, cercano a 20 m a lo largo del perfil; no obstante, a partir del sondeo MTB-21, su espesor aparente aumenta de manera significativa, alcanzando casi la base del perfil. Este incremento en el espesor y en los valores de resistividad de la ZONA 6 se asocia igualmente a la influencia del Caño Chichimene, el cual incrementa el grado de saturación de las litologías presentes. Esta condición hidráulica genera una respuesta resistiva elevada en el método magnetotelúrico, sin que ello implique que los depósitos cuaternarios alcancen dichas profundidades, sino que corresponde a una alteración en la respuesta del método asociada a efectos de saturación.

Un comportamiento similar se observa en la ZONA 5, ubicada inmediatamente por debajo de la ZONA 6. Como consecuencia, la unidad subyacente correspondiente a la ZONA 4, representada por tonalidades verdes y resistividades entre 24 a 43 Ω·m. presenta un acuñamiento progresivo hacia el sector oriental del perfil, disminuyendo su espesor hasta desaparecer aproximadamente a la altura del sondeo MTB-21. Esta ZONA 4 se asocia a arenas y gravas con proporciones variables de limos y arcillas, pero dentro de esta zona, hacia el Oeste (W) del perfil se evidencia una pequeña ZONA 3 que no se extiende más allá del sondeo MTB-01, es decir, de extensión muy limitado.

4.2.2.2.2.3 Perfil MT03

El perfil magnetotelúrico 3 está conformado por seis (6) sondeos, trazados en dirección oeste-este (W-E), con una profundidad de exploración aproximada de 2200 metros. Se localiza en el sector central del área de influencia, sobre la vía Acacias-Dinamarca, abarcando las veredas Caño Hondo y la parte sur de las veredas La Loma y Quebraditas. En la Figura 4.2.2-17 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 3.

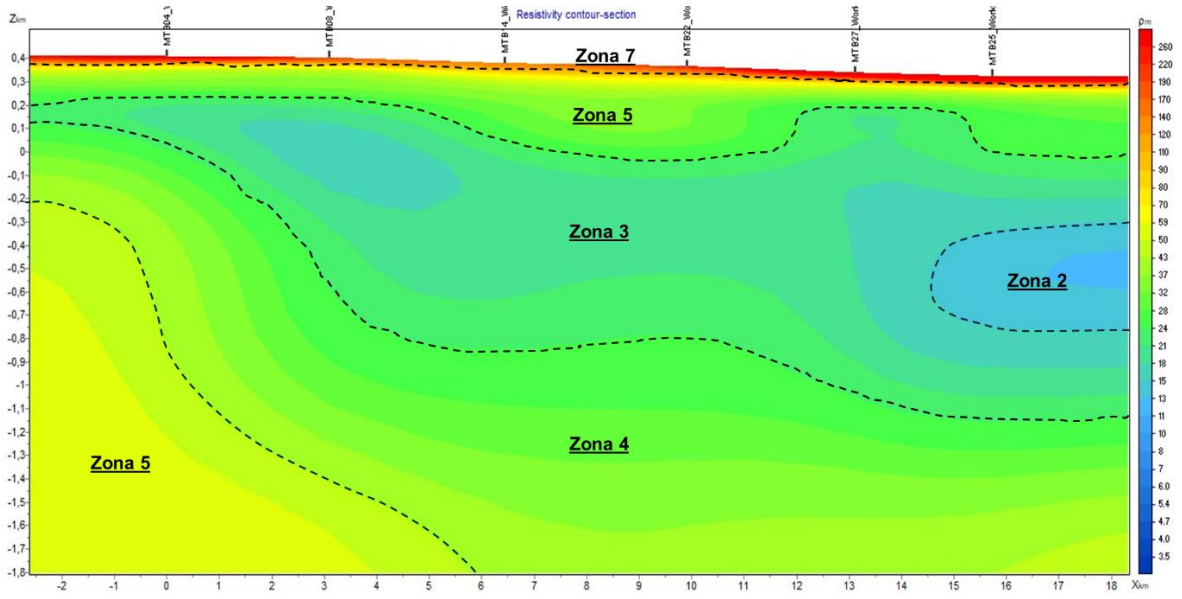


Figura 4.2.2-17 Perfil MT 3
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el tramo más somero del perfil se identifica la ZONA 7 (resistividades >140 Ω·m), con un espesor aproximado de 50 metros, el cual se mantiene prácticamente constante a lo largo de todo el perfil MT. Esta zona se asocia a depósitos cuaternarios recientes, constituidos por materiales poco consolidados de granulometría predominantemente gruesa, los cuales constituyen el acuífero libre más superficial y aprovechable del área de influencia. La geometría de esta zona se mantiene de

forma continua a lo largo del perfil, sin evidenciar cambios significativos en su comportamiento resistivo ni espesor.

Subyacente a estos depósitos se reconoce una capa extensa caracterizada por la presencia de una capa con tonalidades verdes y resistividades entre 43 a 80 Ω·m, la cual corresponde a la denominada ZONA 5. Esta capa se manifiesta de W a E, siendo mayor el espesor hacia el este (E) donde alcanza los 300 metros mientras que hacia el W el espesor es de 170 metros. Esta zona se puede correlacionar con el Miembro Superior de la Formación Guayabo.

Debajo de esta, se presenta una ZONA 3, la cual se asocia a tonalidades verdes y azules verdosas con resistividades que oscilan entre 15 a 24 Ω·m, que son correlacionables con materiales finos a medios. El espesor de esta zona hacia el Oeste (W) es de 100 metros, pero aumenta significativamente hacia el Este (E), alcanzando los 1100 metros. Asimismo, hacia el E se evidencia un pequeño lente de ZONA 2 (resistividades entre 7-15 Ω·m y colores azules de baja intensidad), la cual se asocia a materiales predominantemente finos, donde la permeabilidad es baja. Esta ZONA 2 alcanza un espesor de 500 metros, pero su extensión lateral si es limitada. Estas zonas de baja resistividad (ZONA 2 y ZONA 3) se pueden asociar al Miembro Inferior de la Formación Guayabo y la Formación León, las cuales son consideradas unidades sello de extensión regional.

Infrayaciendo se identifica la ZONA 4, caracterizada por presentar resistividades entre 24 a 43 Ω·m, colores verdes intensos y asociada a materiales moderadamente permeables, como las arenas medias con proporciones variables de sedimentos finos. Este intervalo presenta espesores que oscilan entre aproximadamente 350 m y 700 m, siendo más grueso hacia el sector oriental del perfil. Finalmente, hacia la base del perfil se evidencia una capa de ZONA 5, la cual se identifica con tonalidades amarillas, resistividades entre 43 a 80 Ω·m y materiales con mediana a alta permeabilidad. Esta ZONA 5 se identifica únicamente hacia el W, donde se extiende hasta la base del perfil, pero se acuña lateralmente antes de llegar al sondeo MTB-14.
.

4.2.2.2.2.4 Perfil MT04

El perfil magnetotelúrico 4 está conformado por cuatro (4) sondeos: MTB05, MTB09, MTB15 y MTB28, dispuestos en dirección oeste-este (W-E), con una profundidad de exploración aproximada de 2000 metros. Se localiza en el sector sur del área de influencia, cruzando el Caño La Unión hacia el suroeste y al río Acacías hacia el sureste, abarcando las veredas Santa Rosa, La Unión y Patio Bonito. En la Figura 4.2.2-18 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 4.

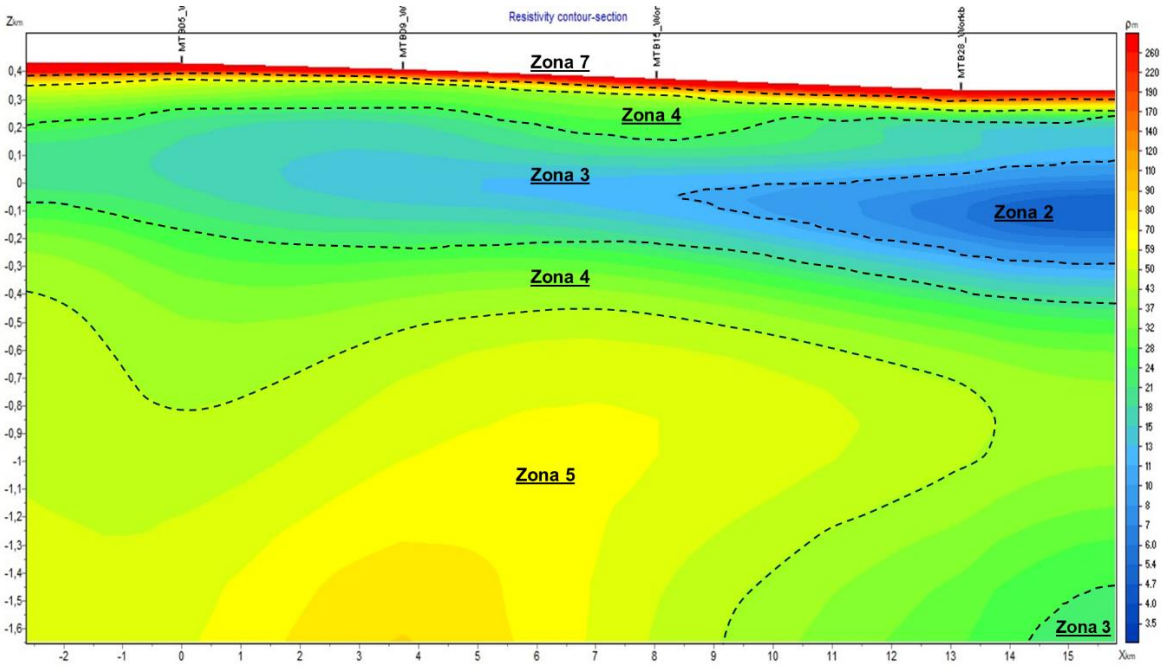


Figura 4.2.2-18 Perfil MT 4
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el tramo más somero del perfil se reconoce la ZONA 7 (resistividades >140 Ω·m), con un espesor aproximado entre 40 y 60 m, asociada a depósitos cuaternarios recientes. Esta unidad presenta resistividades elevadas, compatibles con materiales poco consolidados de granulometría predominantemente gruesas, que conforman el acuífero libre más superficial. La geometría de esta zona se mantiene de forma continua a lo largo del perfil, sin variaciones significativas en su espesor ni en su respuesta resistiva, lo que sugiere condiciones relativamente homogéneas en los depósitos cuaternarios a lo largo del trazado.

Infrayaciendo la ZONA 7 se identifica otra capa continúa denominada ZONA 5, caracterizada por colores amarillos, resistividades que oscilan entre 43 a 80 Ω·m. Esta zona presenta un espesor de 20 metros aproximadamente, el cual se mantiene prácticamente constante a lo largo del perfil. Debajo de esta, se identifica una ZONA 4, identificada con tonalidades verdes, resistividades entre 24 a 43 Ω·m y un espesor variable que oscila entre 140 metros al oeste (W) y 20 metros al este (E). Esta ZONA 4 se correlaciona con el Miembro Superior de la Formación Guayabo.

Subyacente se reconoce una ZONA 3 (resistividades entre 15-24 Ω·m). Este intervalo presenta un espesor que varía aproximadamente entre 300 m en el sector occidental y más de 850 m en el sector oriental. Las resistividades bajas a medias se interpretan como materiales de baja permeabilidad, dominados por matrices finas a medias, principalmente arenas finas con limos y arcillas. Hacia el E se evidencia un lente de ZONA 2 dentro de la ZONA 3, caracterizado por colores azules más fuertes que reflejan resistividades más bajas y, por ende, permeabilidades más bajas también. Esta ZONA 2 se extiende desde el límite E del perfil MT hasta el MTB-15, donde se acuña. Estas zonas de baja resistividad (ZONA 2 y ZONA 3) se pueden asociar al Miembro Inferior de la Formación Guayabo y la Formación León, las cuales son consideradas unidades sello de extensión regional.

En mayores profundidades se identifica un rango dominado por las ZONAS 4 y 5 (resistividades entre 24-43 Ω·m y 43-80 Ω·m), el cual aparece a partir de profundidades cercanas a 100 metros respecto al nivel del mar y más de 500 metros respecto a la superficie y se extiende hasta el límite inferior del perfil. Este intervalo alcanza espesores aproximados de 1600 m en el sector occidental y 1300 m en

el sector oriental, y presenta resistividades intermedias asociadas a secuencias más arenosas y relativamente más consolidadas. A estas profundidades, la respuesta resistiva de la Formación León, caracterizada por una alta proporción de sedimentos finos, no se distingue de manera clara, debido a la disminución de la capacidad de resolución del método magnetotelúrico, lo que puede enmascarar su firma resistiva y hacer que se mezcle con el comportamiento eléctrico de unidades suprayacentes más arenosas. Las areniscas presentes dentro de este intervalo pueden constituir acuíferos confinados, intercalados con niveles finos que controlan el flujo vertical. En las porciones más profundas del perfil, este dominio podría correlacionarse con las unidades superiores de la Formación Carbonera, caracterizadas por alternancias de areniscas y lutitas con mayor grado de consolidación.

4.2.2.2.2.5 Perfil MT05

El perfil magnetotelúrico 5 está conformado por cuatro (4) sondeos: MTB10, MTB16, MTB23 y MTB29, trazados en dirección oeste-este (W-E), con una profundidad de exploración aproximada de 2000 metros. Se ubica hacia la zona sur del área de influencia, abarcando las veredas La Unión y Patio Bonito. En la Figura 4.2.2-19 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 5.

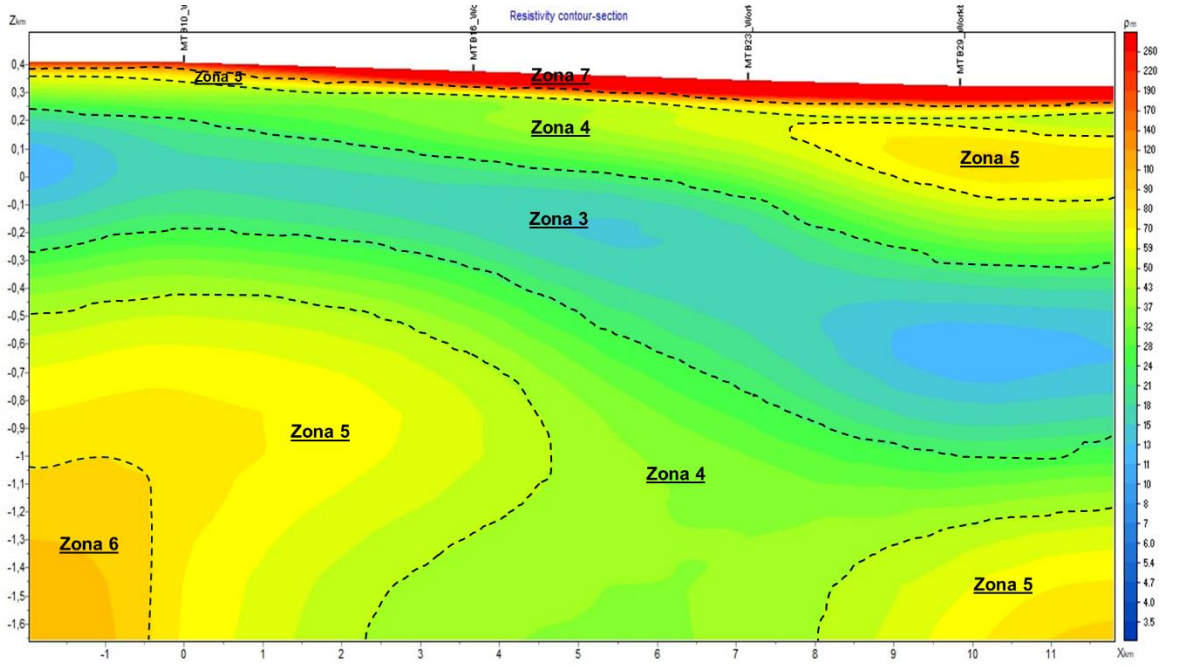


Figura 4.2.2-19 Perfil MT 5
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el tramo más somero del perfil se identifica la ZONA 7 (resistividades >140 Ω·m), con un espesor aproximado entre 40 y 70 m, asociada a depósitos cuaternarios recientes. Esta unidad presenta resistividades elevadas, compatibles con materiales poco consolidados de granulometría predominantemente gruesa, que conforma el acuífero más somero y aprovechable del área de estudio. Este tramo se mantiene relativamente constante a lo largo del perfil, sin evidenciar variaciones significativas en su continuidad lateral ni en su respuesta resistiva. Asimismo, debajo de la ZONA 7 se evidencia una capa continua y constante de la denominada ZONA 5, la cual se identifica con tonalidades amarillas, resistividades que oscilan entre 43 a 80 Ω·m. Esta capa presenta un espesor constante de 40 metros a lo largo de todo el perfil.

Subyacente a estas zonas se reconoce una ZONA 4 (resistividades entre 24-43 Ω·m), dentro de la que se evidencia un pequeño lente de ZONA 5 (43-80 Ω·m). Este intervalo presenta variaciones laterales suaves, donde materiales más gruesos pasan progresivamente a sedimentos con mayor contenido de sedimentos finos, generando cambios locales en la respuesta resistiva. El espesor de este dominio varía desde aproximadamente 100 m en el sector occidental hasta cerca de 500 m hacia el sector oriental. Este paquete se interpreta como parte del Miembro Superior de la Formación Guayabo, caracterizada por un comportamiento heterogéneo, con niveles arenosos intercalados con fracciones limosas y arcillosas, que favorecen la presencia de acuíferos de bajo a moderado potencial hidráulico.

Por debajo de este paquete se identifica un intervalo dominado por la ZONA 3, caracterizada por resistividades bajas entre 15 y 24 Ω·m y tonalidades azules. Esta zona presenta un espesor que aumenta de manera progresiva desde aproximadamente 500 m en el sector occidental hasta cerca de 600 m hacia el sector oriental del perfil. La geometría y el comportamiento lateral de este tramo sugieren un incremento en la proporción de sedimentos finos hacia el sector oriental del área de influencia. Los valores de resistividad registrados se correlacionan con las unidades más finas del Miembro Superior de la Formación Guayabo y con la Formación León, las cuales están constituidas predominantemente por secuencias arcillosas y limosas, que actúan como niveles de baja permeabilidad o sellos hidráulicos de carácter regional.

A mayores profundidades, se vuelve a identificar la ZONA 4, dentro de la cual se reconocen dos lentes no continuos correspondientes a la ZONA 5, caracterizada por resistividades intermedias entre 43 y 80 Ω·m y tonalidades amarillas. Dada la disposición y geometría de estos cuerpos, se interpreta que ambos lentes podrían corresponder en profundidad a una unidad geológica continua, cuya representación fragmentada en el perfil MT02 respondería a las limitaciones de resolución del método magnetotelúrico a grandes profundidades. Bajo esta interpretación, la ZONA 4 presentaría un espesor aproximado de 230 m, mientras que la ZONA 5 alcanzaría espesores del orden de 1.100 m en el sector occidental y cerca de 450 m hacia el sector oriental del perfil.

Estos intervalos profundos pueden correlacionarse con las unidades superiores de la Formación Carbonera, caracterizadas por una alternancia de areniscas y arcillolitas, lo que explica la variabilidad resistiva observada y su

4.2.2.2.2.6 Perfil MT06

El perfil magnetotelúrico 6 está conformado por cuatro (4) sondeos: MTB11, MTB30, MTB24 y MTB17, trazados en dirección oeste-este (W-E), con una profundidad de exploración aproximada de 2000 metros. Se ubica en el extremo sur del área de influencia, abarcando las veredas La Primavera y Patio Bonito. En la Figura 4.2.2-20 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 6.

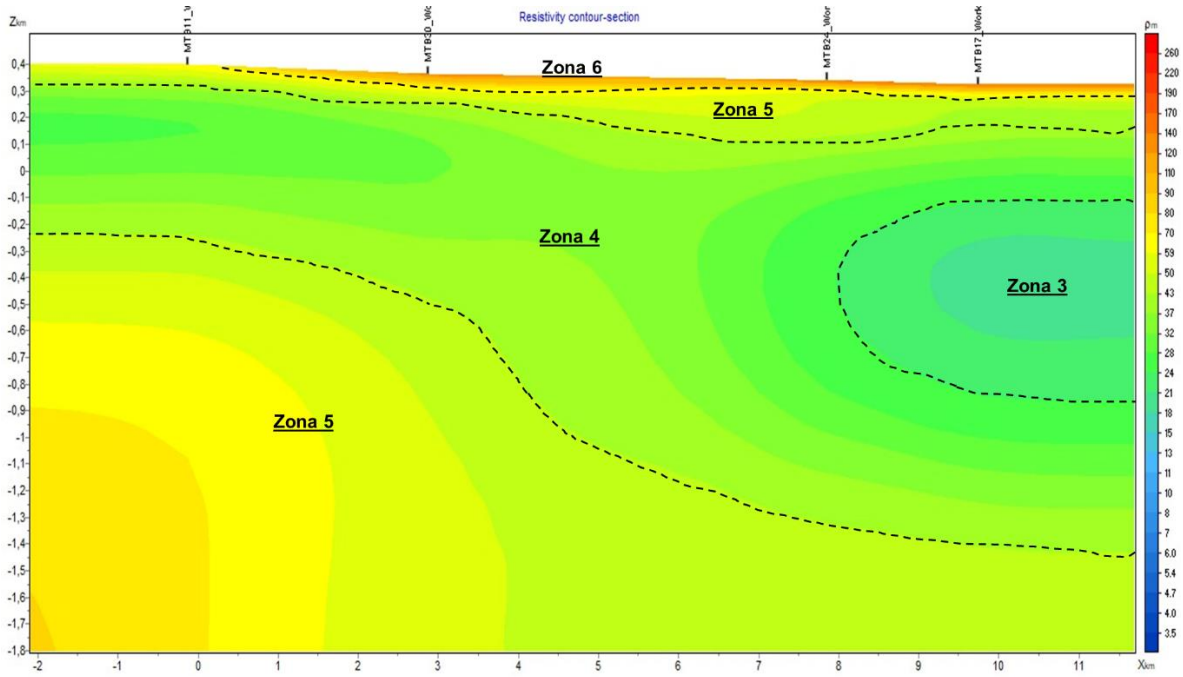


Figura 4.2.2-20 Perfil MT 6
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el tramo más somero del perfil MT06 se identifica la ZONA 6, caracterizada por resistividades entre 80 y 140 Ω·m, litológicamente asociadas a sedimentos poco consolidados a no consolidados, compuestos por gravas y arenas gruesas con muy bajo contenido de sedimentos finos. Esta unidad muestra un adelgazamiento hacia el sector occidental del perfil, mientras que en los sectores central y oriental mantiene espesores relativamente constantes, del orden de 40 m, así como una respuesta resistiva homogénea.

Subyacente a esta unidad se reconoce la ZONA 5, representada por tonalidades amarillas y resistividades entre 43 y 80 Ω·m, la cual es continua a lo largo de todo el perfil. Esta zona presenta variaciones leves en su espesor, con valores cercanos a 70 m en el sector occidental (W) y hasta 100 m hacia el sector oriental (E), evidenciando un ligero engrosamiento en esta dirección.

Por debajo, se identifica un intervalo dominado por la ZONA 4, caracterizada por tonalidades verdosas y resistividades intermedias entre 24 y 43 Ω·m. Este tramo presenta una respuesta resistiva relativamente homogénea, con variaciones laterales suaves y sin contrastes marcados, lo que dificulta la diferenciación precisa de unidades geológicas individuales en profundidad. Las resistividades observadas sugieren un medio compuesto por alternancias de materiales arenosos y sedimentos finos, correlacionables con la Formación Guayabo y niveles más finos que podrían corresponder a la Formación León. No obstante, la continuidad lateral de la respuesta resistiva, sumada a la disminución de la resolución del método magnetotelúrico con la profundidad, limita la definición precisa de los contactos estratigráficos. El espesor de la ZONA 4 varía significativamente, oscilando entre 570 m en el sector occidental y hasta 1.600 m en el sector oriental.

Dentro de este intervalo se reconoce un lente de la ZONA 3, identificado únicamente hacia el sector oriental del perfil, extendiéndose desde el límite este hasta el sondeo MTB24. Esta zona presenta resistividades bajas, entre 15 y 24 Ω·m, y un espesor aproximado de 750 m, lo que sugiere una mayor proporción de sedimentos finos y un incremento en las condiciones de confinamiento en este sector.

Finalmente, hacia la base del perfil MT06, se observa un incremento gradual de las resistividades, correspondiente nuevamente a la ZONA 5 (43–80 Ω·m), siendo este comportamiento más marcado en el sector occidental. Este dominio resistivo podría asociarse a los estratos superiores de la Formación Carbonera, caracterizados por secuencias más consolidadas y/o con una mayor proporción de litologías gruesas. Sin embargo, no se descarta que este aumento resistivo responda, en parte, a efectos propios del método, asociados a la profundidad de investigación y a las limitaciones inherentes a la resolución magnetotelúrica en niveles profundos.

4.2.2.2.2.7 Perfil MT07

El perfil magnetotelúrico 7 está conformado por cuatro (4) sondeos: MTB02, MTB03, MTB04 y MTB05, trazados en dirección norte-sur (N-S), con una profundidad de exploración aproximada de 2100 metros. Se desarrolla en el extremo oeste del área de influencia, extendiéndose desde el sector norte hasta el Caño La Unión. Atraviesa parcialmente el área, abarcando las veredas San Cayetano, Caño Hondo y Santa Rosa, y cruzando el Río Acacias. En la Figura 4.2.2-21 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 7.

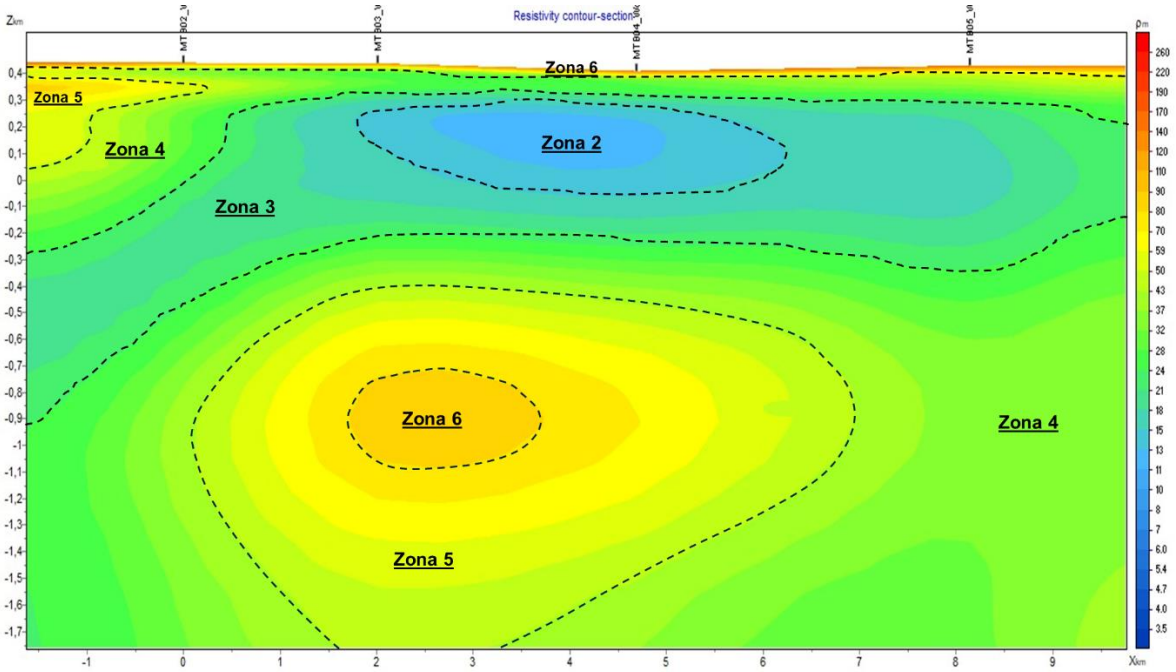


Figura 4.2.2-21 Perfil MT 7
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Hacia el tope del perfil MT07 se identifica la ZONA 6, caracterizada por resistividades entre 80 y 140 Ω·m, con un espesor aproximado de 30 m. Esta unidad presenta valores de resistividad altos, acordes con materiales poco consolidados de granulometría predominantemente gruesa, tales como arenas y gravas, los cuales conforman acuíferos de buen potencial para la captación de agua subterránea. De hecho, esta unidad constituye el acuífero actualmente aprovechado por las comunidades locales. La geometría de la ZONA 6 es continua y homogénea a lo largo de todo el perfil, sin variaciones significativas en su espesor ni en su respuesta resistiva. Esta zona se correlaciona con los depósitos cuaternarios aflorantes en el área de influencia, en particular aquellos asociados al abanico aluvial.

Subyacente a estos depósitos se reconoce una capa continua correspondiente a la ZONA 4, caracterizada por resistividades entre 24 y 43 Ω·m, identificable por sus tonalidades verdosas. El

espesor de esta zona varía desde aproximadamente 650 m en el sector occidental, donde predominan resistividades relativamente más altas y se identifica incluso un pequeño lente de ZONA 5, hasta cerca de 160 m en el sector oriental del perfil. Este intervalo se asocia al Miembro Superior de la Formación Guayabo, el cual se caracteriza por un comportamiento litológico heterogéneo, con predominancia de niveles arenosos intercalados con sedimentos finos.

Por debajo de este intervalo se identifica la ZONA 3, con resistividades entre 15 y 24 Ω·m, cuyos espesores varían aproximadamente entre 350 m en el sector oriental y 650 m en el sector occidental. Esta zona presenta resistividades bajas a intermedias, interpretadas como materiales de baja permeabilidad, dominados principalmente por matrices finas. Dentro de la ZONA 3 se identifica un lente de ZONA 2, el cual presenta resistividades aún más bajas, indicando la presencia de materiales con permeabilidad muy reducida. En conjunto, estas zonas pueden correlacionarse con el Miembro Inferior de la Formación Guayabo y, posiblemente, con la Formación León. Su continuidad lateral y la homogeneidad de su respuesta resistiva sugieren la presencia de niveles finos persistentes, que actúan como acuitardos o sellos hidráulicos de carácter regional.

A mayores profundidades se reconoce nuevamente un dominio caracterizado por la ZONA 4, dentro de la cual se evidencian lentes de ZONA 5 y ZONA 6 (resistividades entre 43–80 Ω·m y 80–140 Ω·m, respectivamente). Esta configuración refleja una variabilidad litológica dentro del intervalo, que abarca desde resistividades intermedias hasta relativamente altas, indicando cambios en la granulometría y en el grado de consolidación de los sedimentos. El espesor combinado de estas zonas oscila aproximadamente entre 770 m y 1600 m. Este intervalo podría asociarse a secuencias arenosas más consolidadas, relacionadas con unidades someras de la Formación Carbonera. No obstante, el contraste geométrico y la distribución irregular de las resistividades observadas en este tramo del perfil sugieren que este comportamiento no responde exclusivamente a variaciones litológicas, sino que también podría estar influenciado por efectos asociados a la profundidad de investigación y a las limitaciones inherentes a la resolución del método magnetotelúrico.

4.2.2.2.2.8 Perfil MT08

El perfil magnetotelúrico 8 está conformado por seis (6) sondeos dispuestos en dirección norte – sur (N-S), con una profundidad de exploración aproximada de 2100 metros. Atraviesa de manera continua la parte central del área de influencia, abarcando las veredas La Loma, La Unión, Patio Bonito y La Primavera. Inicia en cercanías del Caño Chichimene, cruza el Río Acacias y el Caño La Unión, y se extiende hasta proximidades del Río Orotoy. En la Figura 4.2.2-22 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 8.

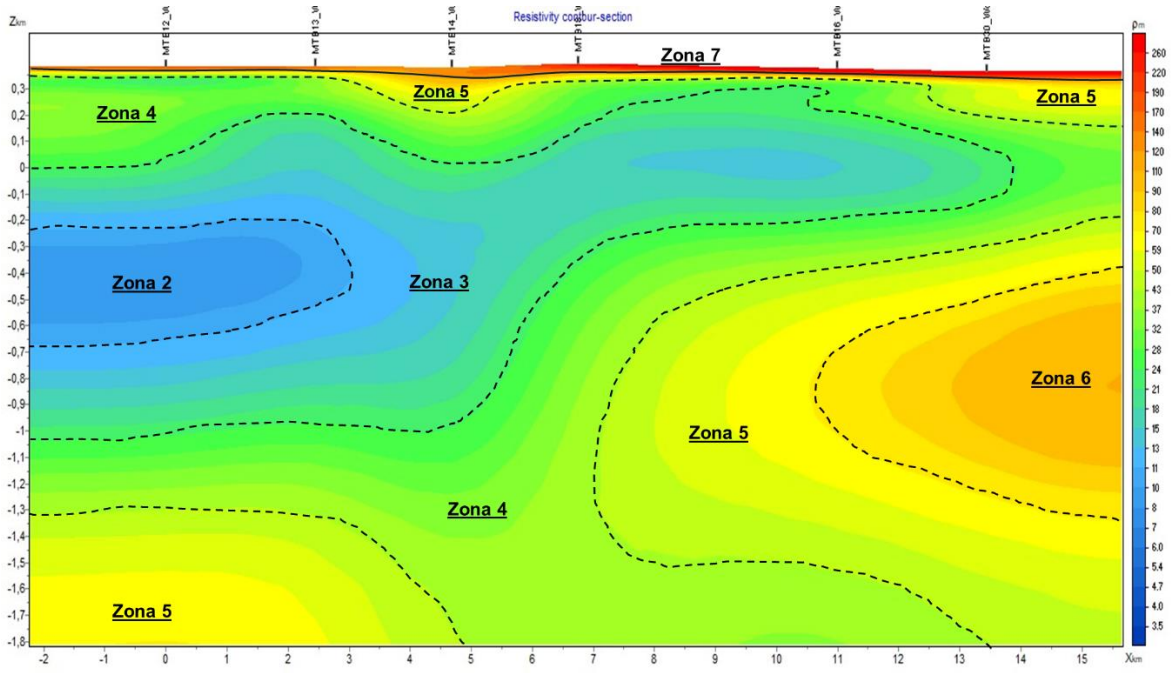


Figura 4.2.2-22 Perfil MT 8
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el tramo más somero del perfil MT se identifica la ZONA 7, caracterizada por resistividades mayores a 140 Ω·m y un espesor aproximado de 30 metros. Esta unidad presenta resistividades elevadas, compatibles con materiales poco consolidados de granulometría predominantemente gruesa, tales como gravas y arenas, las cuales se correlacionan con los depósitos cuaternarios, especialmente los asociados al abanico aluvial, el cual constituye el acuífero principal para la extracción de agua subterránea por parte de la comunidad local. La geometría de esta zona es continua y relativamente homogénea a lo largo del perfil, con un leve engrosamiento hacia el sector sur, sin variaciones significativas en su comportamiento resistivo, lo que indica condiciones hidráulicas y litológicas uniformes en los depósitos cuaternarios someros.

Subyacente a estos depósitos se reconoce una capa dominada principalmente por la ZONA 5, con resistividades entre 43 y 80 Ω·m, cuyo espesor varía desde aproximadamente 50 m en el sector norte hasta cerca de 200 m hacia el sector sur, evidenciando un engrosamiento progresivo en esta dirección. Por debajo de esta unidad se identifica la ZONA 4, caracterizada por resistividades intermedias entre 24 y 43 Ω·m, la cual presenta variaciones laterales importantes en su espesor, reflejando cambios en la proporción relativa de materiales arenosos y finos.

Los intervalos correspondientes a las ZONAS 5 y 4 se correlacionan con el Miembro Superior de la Formación Guayabo, el cual se caracteriza por un comportamiento litológico heterogéneo, conformado por niveles arenosos intercalados con fracciones finas. Esta alternancia favorece el desarrollo de acuíferos de moderado a buen potencial hidráulico, así como la presencia de niveles con comportamiento de acuitardo, que controlan parcialmente la circulación vertical del flujo subterráneo.

Por debajo de este paquete se identifica un dominio correspondiente a la ZONA 3, caracterizado por resistividades entre 15 y 24 Ω·m, cuyo espesor varía desde aproximadamente 1.050 m en el sector norte hasta cerca de 150 m hacia el sector sur, donde esta unidad se acuña y desaparece a la altura del sondeo MTB30, sin alcanzar el límite meridional del perfil. Este intervalo presenta resistividades bajas, interpretadas como materiales de baja permeabilidad, dominados por matrices finas,

principalmente arenas finas, limos y arcillas. Aunque la ZONA 3 no muestra continuidad a lo largo de todo el perfil MT, esta discontinuidad se atribuye a limitaciones del método magnetotelúrico en profundidad, dado que en otros métodos geofísicos realizados en el área se evidencia una continuidad lateral de estos niveles arcillosos.

Dentro de la ZONA 3 se identifica un lente de la ZONA 2, caracterizado por resistividades aún más bajas, lo cual sugiere la presencia de litologías menos permeables. Este dominio se correlaciona con el Miembro Inferior de la Formación Guayabo y con la Formación León. La homogeneidad resistiva de este intervalo indica la presencia de niveles arcillosos persistentes en profundidad, que actúan como acuitardos regionales o sellos hidráulicos, controlando de manera efectiva la circulación vertical del flujo subterráneo.

En mayores profundidades se reconoce nuevamente un dominio caracterizado por las ZONAS 4 y 5 (resistividades entre 24–43 Ω·m y 43–80 Ω·m, respectivamente), el cual se desarrolla a partir de profundidades cercanas a –0,2 km y se extiende hasta el límite inferior del perfil. Este intervalo alcanza espesores aproximados de 1.600 m en el sector oriental y 1.000 m en el sector occidental, y presenta resistividades intermedias asociadas a secuencias más arenosas y con mayor grado de consolidación. Hacia la base de este dominio, estas unidades podrían correlacionarse con las porciones superiores de la Formación Carbonera, caracterizadas por alternancias de areniscas y lutitas, que configuran potenciales acuíferos confinados, intercalados con niveles finos que regulan el flujo vertical en profundidad. No se descarta la influencia de controles estructurales locales en este intervalo profundo, particularmente en los sectores donde se registran los mayores contrastes resistivos, los cuales podrían estar afectando la respuesta del método magnetotelúrico.

4.2.2.2.2.9 Perfil MT09

El perfil magnetotelúrico 9 está conformado por cinco (5) sondeos dispuestos en dirección norte – sur (N-S), con una profundidad de exploración aproximada de 2000 metros. Atraviesa de manera continua la parte este del área de influencia, abarcando las veredas Quebraditas y Patio Bonito. Inicia en las cercanías del Rio Guayuriba, cruza el Caño Chichimene, el Río Acacias y el Caño La Unión. En la Figura 4.2.2-23 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 9.

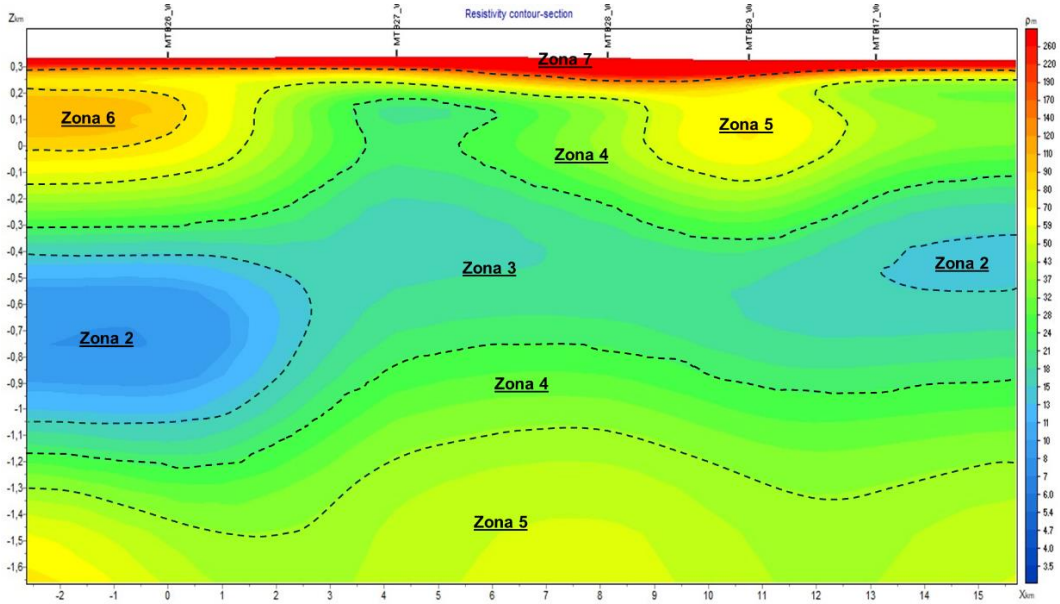


Figura 4.2.2-23 Perfil MT 9
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la parte superior del perfil MT 9 se identifica de manera continua la ZONA 7, caracterizada por resistividades mayores a 140 Ω·m y un espesor aproximado entre 25 y 35 m. Esta unidad presenta una geometría prácticamente horizontal y homogénea a lo largo de todo el perfil, con variaciones muy leves en su espesor. Las resistividades elevadas son compatibles con materiales poco consolidados y de granulometría predominantemente gruesa, tales como arenas y gravas, por lo que esta zona se correlaciona con los depósitos cuaternarios aflorantes en el área de influencia, constituyendo el acuífero libre más superficial.

Subyacente a estos depósitos se observa la ZONA 5, caracterizada por resistividades entre 43 y 80 Ω·m, las cuales localmente transicionan a valores más elevados, dando lugar a la presencia de un lente de ZONA 6 hacia el sector norte del perfil. La ZONA 6 se presenta de manera localizada, mientras que la ZONA 5 muestra una mayor continuidad lateral hacia los sectores central y oriental. Este comportamiento sugiere variaciones laterales en la proporción de materiales arenosos y niveles finos, asociadas a cambios en las condiciones deposicionales. La ZONA 5 alcanza profundidades cercanas a 450 m hacia el norte, mientras que hacia el sur presenta espesores del orden de 50 m. Este intervalo exhibe resistividades medias a altas, asociadas a secuencias más consolidadas con predominio de arenas gruesas y bajo contenido de sedimentos finos, y se correlaciona con el Miembro Superior de la Formación Guayabo, donde estos niveles pueden constituir acuíferos de moderado a alto potencial hidráulico, condicionados localmente por la presencia de fracciones finas.

Inmediatamente por debajo, se identifica una capa continua correspondiente a la ZONA 4, caracterizada por resistividades entre 24 y 43 Ω·m, la cual se extiende de forma relativamente homogénea a lo largo del perfil. El espesor de esta unidad presenta variaciones laterales importantes, alcanzando valores aproximados de 150 m hacia el norte y hasta 370 m hacia el sur. Esta zona representa un medio litológicamente heterogéneo, conformado por alternancias de areniscas y sedimentos finos, lo que permite también correlacionarla con el Miembro Superior de la Formación Guayabo, donde coexisten intervalos con potencial acuífero moderado a alto y niveles finos con muy bajo potencial hidráulico.

Por debajo de la ZONA 4 se desarrolla una amplia ZONA 3, caracterizada por resistividades entre 15 y 24 Ω·m, la cual presenta una continuidad lateral significativa a lo largo del perfil MT9. Esta unidad alcanza espesores aproximados entre 400 y 800 m, con un ligero engrosamiento hacia el sector central. Las resistividades bajas a intermedias son indicativas de materiales de baja permeabilidad, dominados por litologías finas, tales como limos, arcillas y arenas finas con matriz arcillosa.

Dentro de este dominio se identifican lentes de la ZONA 2, con resistividades inferiores a 15 Ω·m, principalmente hacia los sectores occidental y oriental del perfil. Estos lentes sugieren la presencia de niveles arcillosos más desarrollados, los cuales actúan como acuitardos o sellos hidráulicos. En conjunto, las ZONAS 3 y 2 se correlacionan con el Miembro Inferior de la Formación Guayabo y con la Formación León, caracterizadas por su baja permeabilidad y continuidad lateral, desempeñando un papel fundamental en el control de la circulación vertical del flujo subterráneo en profundidad.

En los niveles más profundos del perfil se reconoce nuevamente un incremento progresivo de las resistividades, con la aparición de una ZONA 4, cuyos valores oscilan entre 24 y 43 Ω·m, y que presenta un espesor aproximado de 140 m hacia el norte y 300 m hacia el sur. Subyacente a esta unidad, las resistividades continúan aumentando hasta valores cercanos a 80 Ω·m, correspondientes a la ZONA 5, la cual se extiende hasta el límite inferior del perfil. Este intervalo se asocia a secuencias más consolidadas y con mayor proporción de materiales arenosos, permitiendo su correlación con la Formación Carbonera, interpretada como un sistema estratificado compuesto por unidades potencialmente acuíferas confinadas, intercaladas con niveles lutíticos que actúan como sellos,

favoreciendo el confinamiento hidráulico en profundidad.En conjunto, el perfil MT9 evidencia una clara estratificación vertical, en la cual los acuíferos someros se concentran en los depósitos cuaternarios y en algunos intervalos del Miembro Superior de la Formación Guayabo, mientras que las unidades de baja permeabilidad correspondientes al Miembro Inferior de la Formación Guayabo y a la Formación León actúan como sellos regionales, separando hidráulicamente los sistemas someros de las unidades más profundas asociadas a la Formación Carbonera.

En mayor profundidad se reconoce nuevamente un incremento de resistividad, con valores comprendidos principalmente entre 24 y 80 Ω·m, extendiéndose hasta el límite inferior del modelo. Este dominio refleja secuencias más arenosas y consolidadas, interpretadas como las unidades superiores de la Formación Carbonera, caracterizadas por alternancias de areniscas y lutitas. Dentro de este intervalo, las areniscas presentan potencial para configurar acuíferos confinados, intercalados con niveles finos que regulan la conectividad hidráulica vertical.

4.2.2.2.3 Registros de pozos

En este apartado se presentan los resultados del análisis y las correlaciones estratigráficas realizadas a partir de los registros de pozo disponibles en el área de influencia, los cuales, en el marco del presente proyecto, constituyen información secundaria de gran relevancia para la definición de los topes y la caracterización de las principales formaciones geológicas presentes en el área de estudio.

Estos registros aportan información detallada sobre las propiedades físicas de las unidades geológicas, lo que permite establecer correlaciones estratigráficas más precisas y construir modelos que representen la continuidad lateral y el espesor de dichas formaciones. En este sentido, los registros de pozo permitieron validar y complementar la interpretación obtenida a partir de los métodos geofísicos superficiales desarrollados como parte de información primaria en el Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Bucare, así como caracterizar unidades geológicas profundas de interés para el proyecto, las cuales no son identificables mediante tomografías eléctricas ni sondeos magnetotelúricos debido a la gran profundidad a la que se encuentran.

Si bien los registros de pozo corresponden a mediciones puntuales de resistividad, Gamma Ray y potencial espontáneo, su alta resolución vertical supera la de los métodos geofísicos de superficie y, mediante la correlación de varios registros, es posible refinar la delimitación de los espesores asignados a cada unidad geológica y mejorar la identificación de los contactos litológicos. En este sentido, este insumo resultó fundamental para la diferenciación y caracterización de las unidades acuíferas, las unidades sello, las formaciones productoras y las formaciones receptoras, estas últimas destinadas a la inyección de agua industrial tratada, ya sea para sostenimiento de presión o para disposición.

El análisis incluyó los registros de los pozos CASN-10, CASN-42, Meta 1, Kimera 1, Leyenda 1, Pachaquiaro 1, Pachaquiaro Norte 1, Yacare y Aquila-1, los cuales se localizan dentro del área de influencia e incluso, algunos al interior del área del proyecto. Estos registros de pozo pueden ser consultados a detalle en los anexos del presente Estudio de Impacto Ambiental, los cuales se presentan en la ruta: **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.3_Registros_de_pozos**. En la T**abla** 4.2-7 se presentan las coordenadas de los nueve (9) pozos con registros geofísicos analizados, los cuales fueron empleados para definir la continuidad lateral, el espesor y la profundidad de las formaciones geológicas presentes en el área de influencia. En la Figura 4.2.2-24 se presenta la ubicación y distribución de los registros de pozos analizados.

Tabla 4.2-7 Coordenadas de los registros de pozo

NOMBRE DEL POZO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		ALTURA (msnm)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
Meta 1	4935283,27	1992840,25	384,04
Kimera 1	4936352,53	1992918,81	371,80
Leyenda 1	4936361,52	1992919,79	371,95
Pachaquiaro 1	4943412,47	1997216,21	323,87
Yacare	4938284,65	1995734,07	359,70
CASN-10	4931104,11	1986275,73	386,98
CASN-42	4931658,26	1987510,06	410,52
Pachaquiaro Norte 1	4944681,24	1998500,1	320,76
Aquila 1	4944696,3	1998500,24	320,54

Fuente: SGI S.A.S., 2025

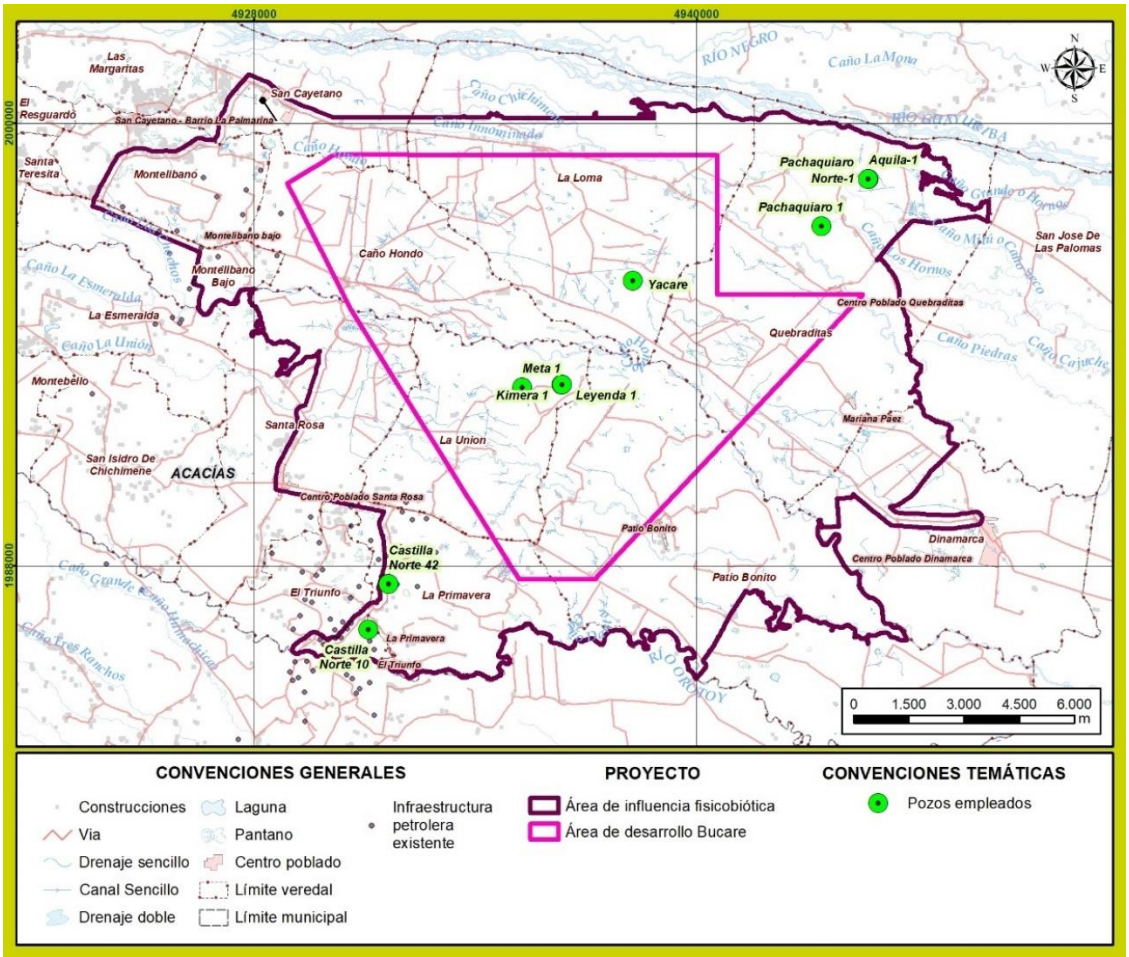


Figura 4.2.2-24 Localización de los registros de pozo
Fuente: SGI S.A.S., 2025

4.2.2.2.3.1 Correlación estratigráfica 1

La correlación estratigráfica 1 se extiende desde la parte central del área de influencia hacia el noreste (NE) y está conformada por los registros de los pozos Meta 1, Leyenda 1, Kimera 1, Yacaré y Pachaquiaro 1, con un trazado en dirección WSW–ENE (Figura 4.2.2-25).

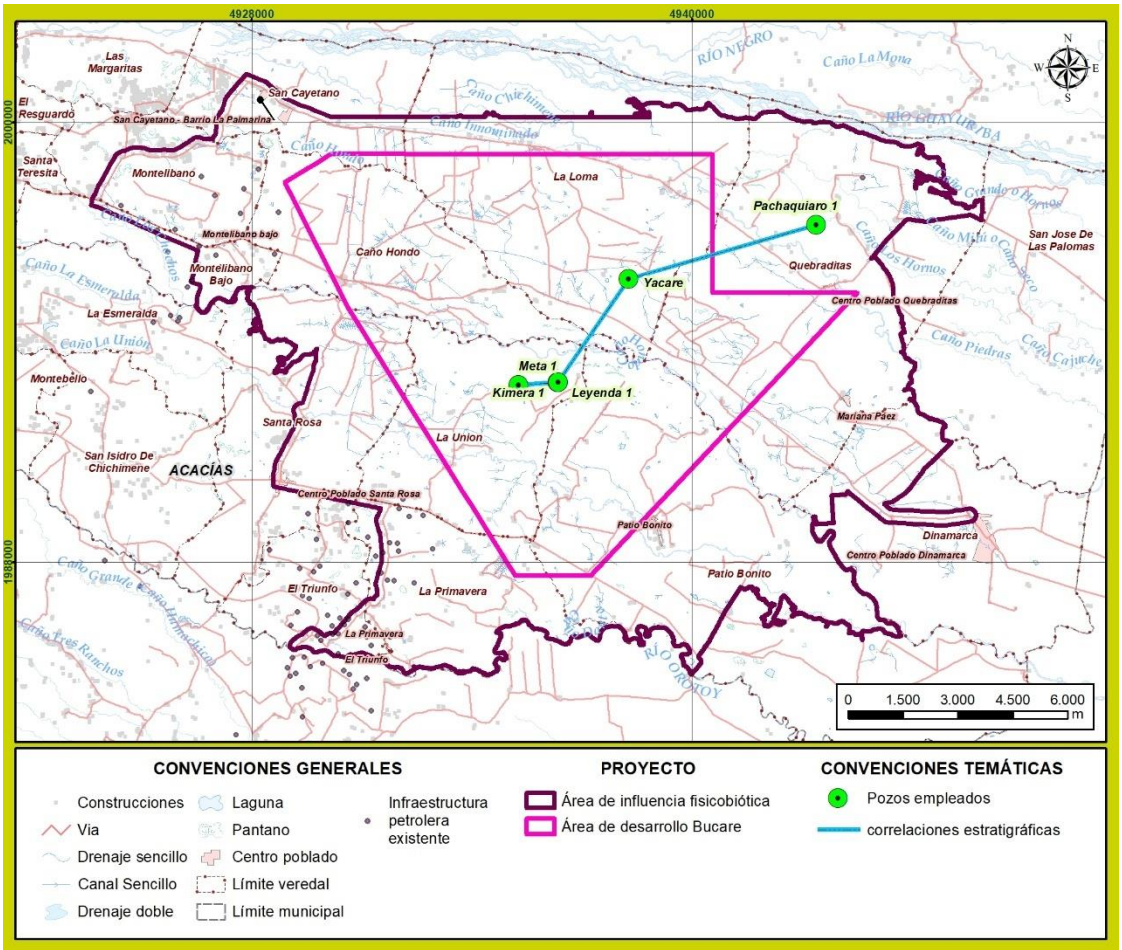


Figura 4.2.2-25 Distribución espacial de la correlación estratigráfica 1
Fuente: SGI S.A.S., 2025

El propósito de esta correlación es delimitar las unidades geológicas de interés tanto hidrogeológico como de hidrocarburos, abarcando desde la Formación Guayabo, correspondiente a la unidad más somera identificada en estos registros geofísicos. Para este fin, se emplearon exclusivamente los registros de los pozos mencionados, dado que, entre la información disponible, son los únicos que presentan la secuencia estratigráfica completa, lo que permitió una caracterización integral de las unidades geológicas tanto someras como profundas presentes en el área de influencia.

En la Figura 4.2.2-26 se presenta la correlación estratigráfica 1. En general, la sección muestra una disposición subhorizontal de las unidades, con un suave buzamiento regional hacia la dirección ENE, coherente con el marco estructural de la cuenca. Además, a partir de esta correlación se identificaron las siguientes unidades geológicas, ordenadas de tope a base: Formación Guayabo, Formación León, Formación Carbonera y sus miembros o unidades operativas que abarcan desde Areniscas Superiores de Carbonera hasta la unidad operativa denominada T1, así como la Formación Mirador (unidad operativa T2), la Formación Guadalupe y Formación Gachetá que conforman la unidad operativa identificada como K1 y parte de la Formación Une (unidad K2).

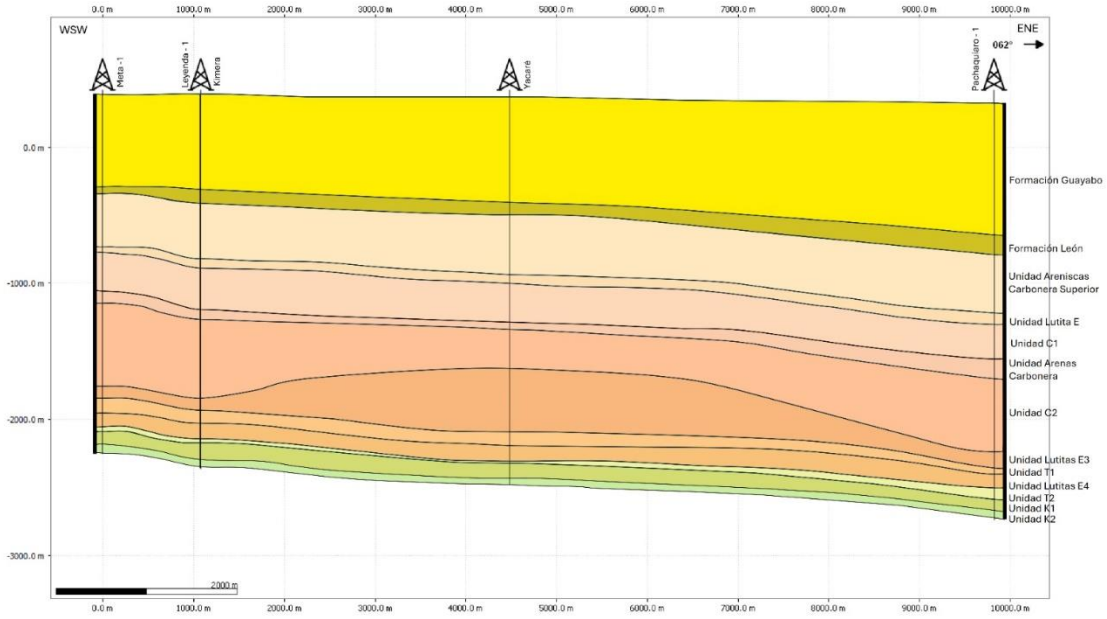


Figura 4.2.2-26 Correlación estratigráfica 1
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la parte superior de la sección se reconoce la Formación Guayabo, caracterizada por su continuidad lateral y un espesor considerable que aumenta progresivamente a lo largo del perfil en dirección este-noreste (ENE). Si bien esta unidad es identificable en la correlación estratigráfica 1, las limitaciones propias de los registros de pozo, los cuales no incluyen información desde superficie, impiden estimar su espesor total, dado que únicamente caracterizan una porción de esta formación. Por ello, para caracterizar esta unidad somera o no tan profunda se recurrió a los otros métodos geofísicos realizados (tomografías y sondeos magnetotelúricos), ya que ellos permiten la caracterización desde superficie hasta algunos cuántos metros de profundidad, brindando mayor detalle, pero poca profundidad de exploración. Por esta misma razón, no fue posible diferenciar los dos miembros que la conforman. No obstante, de manera general, la Formación Guayabo se caracteriza por la intercalación de niveles arenosos con materiales más finos, principalmente arcillolitas, donde el Miembro Superior presenta predominio de arenas y el Miembro Inferior una composición mayoritariamente arcillosa.

Subyacente a esta unidad se identifica la Formación León, que se caracteriza por ser una unidad continua, predominantemente arcillosa y con un espesor promedio de 120 metros, el cual aumenta en dirección ENE, alcanzando valores de hasta 150 metros. Debido a su baja permeabilidad, esta formación se considera una unidad sello regional, que restringe la circulación vertical de fluidos entre los acuíferos superficiales aprovechables y las unidades más profundas, dentro de las que se encuentran las unidades de interés petrolero.

Por debajo se identifica la Formación Carbonera, la cual exhibe una marcada heterogeneidad litológica, evidenciada por la alternancia de unidades arenosas con niveles lutíticos. Esta alternancia sugiere un sistema multicapa, donde las unidades arenosas presentan un potencial acuífero medio a alto, mientras que las lutitas actúan como niveles confinantes o sellos, favoreciendo el desarrollo de acuíferos confinados y unidades sello de extensión regional.

Dentro de la Formación Carbonera se identifican varias unidades arenosas. En el tope se identificó la Unidad Areniscas Superiores de Carbonera, uno de los miembros más potentes de esta formación, junto con la unidad C2, ambas de carácter predominantemente arenoso. Por su parte, la Unidad

Arenas Carbonera y la unidad T1 también presentan litología arenosa, aunque con espesores más limitados, siendo la unidad T1 la de menor desarrollo, con un espesor promedio de 75 metros. Estas unidades arenosas se encuentran intercaladas con niveles lutíticos, identificados como Lutita E, C1, Lutita E3 y Lutita E4, esta última ubicada hacia la base de la formación y cuyo espesor alcanza los 110 metros aproximadamente. Debido a su baja permeabilidad y características litológicas, estas unidades se consideran sellos, de gran relevancia para el proyecto, ya que constituyen el sello inmediatamente superior de la unidad operativa T2 (Formación Mirador).

En la correlación estratigráfica se evidencia una marcada continuidad lateral de las unidades que conforman la Formación Carbonera, las cuales presentan un aumento progresivo tanto de la profundidad como del espesor hacia el ENE y, en conjunto, alcanzan un espesor aproximado de 1700 metros, de los cuales 550 metros corresponden a unidades lutíticas, lo que resalta la presencia de sellos potentes y continuos que favorecen las condiciones para la inyección de agua en profundidad.

Subyacente a estos sellos se encuentra la unidad operativa T2, la cual es de gran interés en el marco del EIA Área de Desarrollo Bucare, ya que constituye la principal unidad para la producción de hidrocarburos y también es objeto de inyección para sostenimiento de presión. Esta unidad presenta una significativa continuidad lateral y un aumento progresivo tanto en profundidad como en espesor hacia el ENE. Litológicamente, está compuesta predominantemente por areniscas de buena permeabilidad, lo que la hace apta tanto como reservorio de hidrocarburos como unidad objetivo de inyección.

Finalmente, en los niveles más profundos de la sección se identifican las unidades K1 y K2. La unidad K1 corresponde a la Formación Guadalupe en su porción superior, de carácter más arenoso, y a la Formación Gachetá hacia la base, de composición más arcillosa. Por su parte, la unidad K2 es considerada en el presente proyecto como unidad objeto de inyección para disposición (disposal), con un espesor que oscila entre 50 y 60 m. Esta unidad está conformada predominantemente por materiales permeables, principalmente areniscas, lo que la hace adecuada como formación receptora de fluidos de disposición.

En conjunto, la correlación estratigráfica 1 evidencia un sistema geológico estratificado, en el cual los acuíferos se concentran principalmente en las unidades arenosas de la Formación Guayabo y en algunas subunidades de la Formación Carbonera (Unidad Areniscas Superiores de Carbonera, C2, Unidad Arenas Carbonera y T1). En contraste, las unidades de interés hidrocarburífero (T2 y K2) se localizan a más de 2,6 km de profundidad y están adecuadamente confinadas por unidades sello regionales y locales, destacándose la Formación León, las lutitas profundas de la Formación Carbonera (Lutita E, C1, Lutita E3 y Lutita E4) y la base inferior arcillosa de la unidad K1. Esta configuración respalda un modelo conceptual en el que existe una clara separación estratigráfica y funcional entre los sistemas hidrogeológicos someros y los objetivos petroleros profundos.

4.2.2.2.3.2 Correlación estratigráfica 2

La correlación estratigráfica 2 se extiende desde la parte SW del área de influencia hacia el noreste (NE) de la misma y está conformada por los registros de los pozos CASN-10, CASN-42, Meta 1, Leyenda 1, Kimera 1, Yacaré, Pachaquiaro 1, Pachaquiaro Norte 1 y Aquila 1 con un trazado en dirección SW–NE. En la Figura 4.2.2-27, se presenta la correlación estratigráfica 2, entregada por Ecopetrol S.A, en la cual se realiza énfasis en la continuidad de las unidades profundas objeto de producción e inyección, las cuales son la unidad T2 y K2.

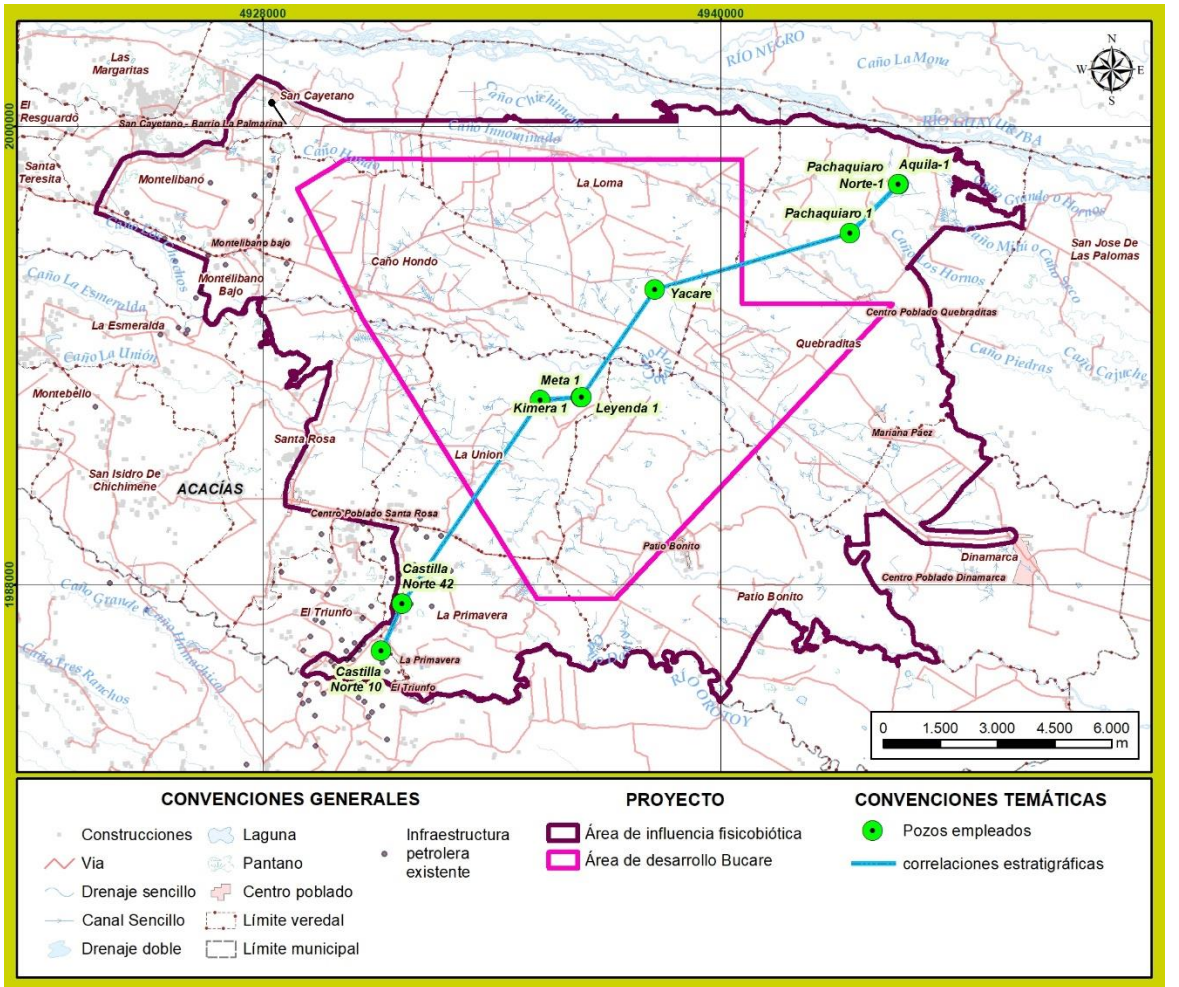


Figura 4.2.2-27 Distribución espacial de la correlación estratigráfica 2
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la Figura 4.2.2-28 se presenta la correlación estratigráfica 2, en la cual, en términos generales se evidencia una continuidad lateral de las formaciones geológicas objeto de inyección, tanto para disposal (K2) como para sostenimiento de presión (T2), siendo esta última también la principal unidad productora considerada en el Área de Desarrollo Bucare.

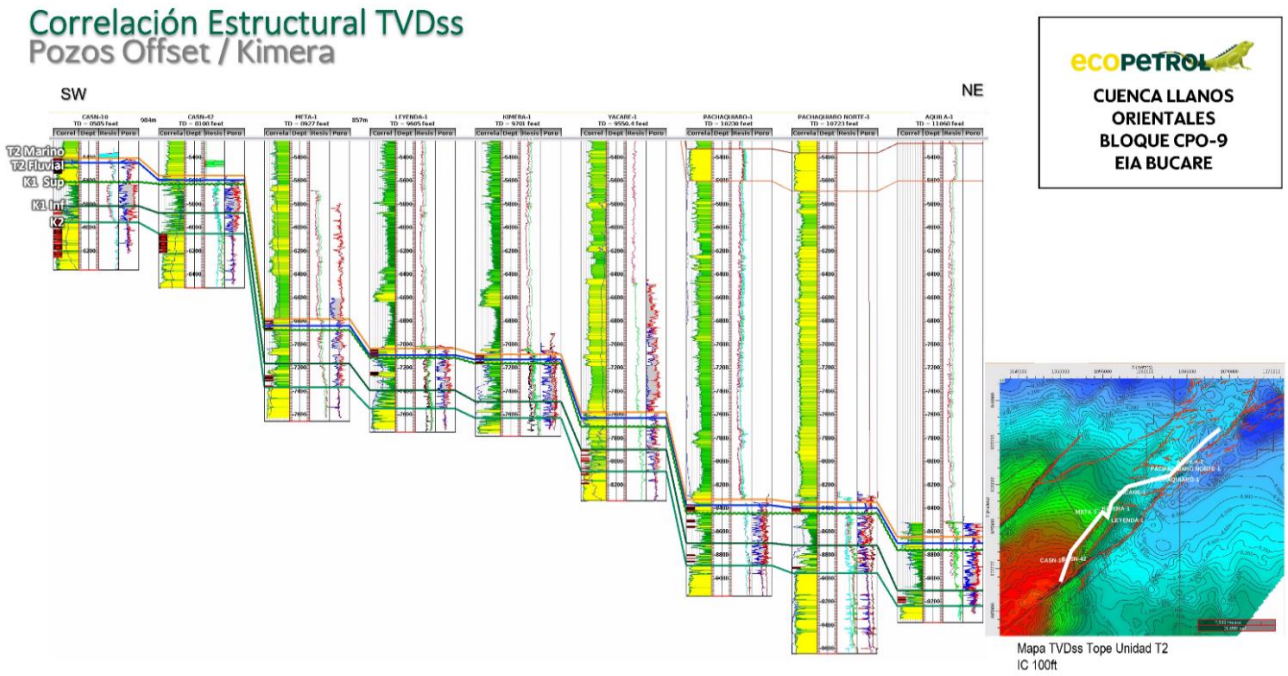


Figura 4.2.2-28 Correlación Estratigráfica 2
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la correlación anterior, al igual que en la correlación 1, se observa la continuidad de las unidades de interés y un buzamiento marcado en dirección noreste. De igual forma, se reafirma la naturaleza arenosa de la unidad K2, la cual será el objetivo de inyección para disposición en el Área de Desarrollo Bucare.

4.2.2.3 Unidades hidrogeológicas

Para la elaboración de la cartografía hidrogeológica y la clasificación de las unidades aflorantes en el área de estudio, se tomaron como base los lineamientos internacionales para categorizar las unidades hidrogeológicas, adoptando los estándares de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH) propuestos en la “Leyenda Internacional de los Mapas Hidrogeológicos” (1983). Dicha nomenclatura se basa en la asignación de categorías hidrogeológicas con base en el potencial de las rocas y sedimentos para almacenar y transmitir agua subterránea, en función de la composición, permeabilidad y capacidad específica de cada unidad geológica evaluada.

De acuerdo con lo anterior, las unidades hidrogeológicas aflorantes se clasifican teniendo en cuenta el tipo de porosidad dominante en los sedimentos y rocas (Primaria o intergranular y secundaria o por fracturas) y a su potencialidad acuífera, reflejada ésta última en función de la capacidad específica, extensión y continuidad de los acuíferos y calidad de las aguas subterráneas.

A partir de las descripciones litológicas y texturales realizadas en campo para cada una de las unidades geológicas aflorantes en el área de influencia, se define el tipo de unidad hidrogeológica asociada.

Tabla 4.2-8 Unidades geológicas aflorantes en el área de influencia fisicobiótica

UNIDAD GEOLÓGICA	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Depósitos de Abanico Aluvial	Q1ca	Están compuestos principalmente por gravas, gravas arenosas y arenas gravosas, semiconsolidados a no consolidados y con mala selección granulométrica. Esta unidad presenta una composición dominantemente gruesa, acompañadas por una matriz de lodos arenosos con arenas finas a muy finas.
Depósitos de Terraza Alta	Qt1	Está compuesta por sedimentos no consolidados, de grado de meteorización avanzado, conformados por gravas y gravas arenosas con matriz predominantemente arenosa.
Depósitos de Terraza Media	Qt2	Materiales no consolidados compuestos predominantemente por gravas arenosas, con matriz de arenas finas a muy finas y una fracción arcillosa, haciendo de esta matriz moderadamente plástica.
Depósitos de Terraza Baja	Q2t3	Está conformada principalmente por depósitos no consolidados de gravas arenosas, gravas y arenas gravosas. Sin embargo, también es posible identificar intercalaciones de depósitos con texturas más finas (arenas limosas y lodos arenosos). Estos depósitos finos suprayacen a los depósitos gruesos.
Depósitos de planos de inundación de drenajes mayores	Q2pi	Están constituidos principalmente por sedimentos no consolidados de arenas, arenas gravosas y gravas arenosas, con variaciones granulométricas según el nivel estratigráfico observado. En términos generales, el perfil de estos depósitos muestra en su base niveles de granulometría gruesa (gravas arenosas o arenas gravosas), en algunos casos clastosoportados, que yacen por debajo de capas compuestas por sedimentos más finos, como arenas, arenas limosas o limos arenosos. La deposición de estos sedimentos presenta una distribución areal limitada, con escasa extensión lateral, debido a que los cauces se encuentran confinados por terrazas bajas.
Depósitos aluviales de drenajes mayores	Q2al1	Corresponden a sedimentos no consolidados, principalmente clasto-soportados, caracterizados por una alta proporción de gravas. La mayoría presenta contenidos de grava superiores al 65%, alcanzando valores de hasta el 95%. En general, las arenas mal seleccionadas, con tamaños de muy fina a muy gruesa, constituyen el segundo componente más abundante, con porcentajes que oscilan entre el 5% y el 75%, aunque en la mayoría no superan el 35%. Por otro lado, el contenido de lodo es escaso o nulo, con valores máximos de hasta el 10%.
Depósitos aluviales de drenajes menores	Q2al2	Están conformados por materiales no consolidados, mal seleccionados, en su mayoría matriz soportados. Texturalmente, estos depósitos pueden clasificarse principalmente como arenas gravosas, ya que las arenas constituyen entre el 80% y el 85% del material, mientras que las gravas representan entre el 15% y el 20%, a excepción de algunos sectores donde la proporción de gravas puede alcanzar hasta un 40%.

Fuente: SGI S.A.S., 2025

A las siete (7) unidades geológicas aflorantes en el área de estudio, descritas en la T**abla** 4.2-8, se les asignó su unidad hidrogeológica correspondiente, teniendo en cuenta las descripciones litológicas, la extensión de cada unidad, la porosidad predominante y los parámetros hidráulicos estimados a partir de las pruebas de bombeo realizadas. Si bien, según la metodología adaptada en la Guía Metodológica elaborada por el Ministerio de Ambiente, el IDEAM y el INGEOMINAS (2002), la capacidad específica es uno de los parámetros clave para la definición de unidades hidrogeológicas, este parámetro está orientado principalmente a evaluar la productividad relativa de una captación, y no a describir de manera directa las propiedades hidráulicas o las características intrínsecas de dichas unidades.

Por lo anterior, para la clasificación de las unidades hidrogeológicas en el marco del Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Bucare, se consideraron parámetros adicionales como la conductividad hidráulica, indicadora del tipo y grado de porosidad del medio acuífero, y la transmisividad, que ofrece una aproximación más representativa del potencial productivo de una unidad hidrogeológica. Estas variables permiten integrar tanto las características del medio poroso

como su comportamiento hidráulico, logrando así una clasificación más integra y acorde con las condiciones hidrogeológicas locales.

De acuerdo con esto, a partir de las descripciones litológicas (T**abla** 4.2-8), así como de los parámetros hidráulicos consignados en la Tabla 4.2-22, se definió la unidad hidrogeológica asociada a cada unidad geológica aflorante, obteniéndose como resultado las unidades presentadas, donde se describen las unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio, incluyendo su comportamiento hidrogeológico y las unidades geológicas que las conforman.

Tabla 4.2-9 Unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio

LEYENDA UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS AFLORANTES				
SISTEMA ACUÍFERO	**CARACTERISTICAS HIDROGEOLÓGICAS**	**CAPACIDAD ESPECIFICA**	**UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS**	
SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO INTERGRANULAR				
A3	Acuíferos de extensión regional que se caracterizan por presentar altas permeabilidades, transmisividades bajas a medias y productividades medianas a altas. Litológicamente están constituidos por sedimentos no consolidados a semiconsolidados de granulometría predominantemente gruesa (gravas, gravas arenosas y arenas gravosas) con matriz fina. Debido a la heterogeneidad evidenciada en los parámetros hidráulicos estimados y las descripciones litológicas realizadas en campo, se considera en conjunto como unidad hidrogeológica A3, con sectores de mayor y menor productividad. En el Al conforman acuíferos de carácter libre y constituye la unidad hidrogeológica principal para el abastecimiento de agua subterránea por parte de la comunidad local.	Oscila entre 1,47 l/s/m a 3,97 l/s/m	Q1ca	Depósitos de Abanico Aluvial
		2 l/s/m(+)	Qt1	Depósitos de Terraza Alta
		2,3 l/s/m(+)	Qt2	Depósitos de Terraza Media
		Hasta 2,73 l/s/m	Q2t3	Depósitos de Terraza Baja
A4	Acuíferos discontinuos de extensión local, de baja productividad debido a su limitada extensión y espesor. Que se caracterizan por presentar una distribución areal limitada, con escasa extensión lateral. corresponden a sedimentos no consolidados	Entre 0,05 y 1,0*	Q2pi	Depósitos de planos de inundación de drenajes mayores
			Q2al1	Depósitos aluviales de drenajes mayores
			Q2al2	Depósitos aluviales de drenajes menores

** Valor teórico*

(+) Información secundaria

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Teniendo en cuenta la clasificación de las unidades hidrogeológicas presentada previamente, en la T**abla** 4.2-10 se presentan las áreas y porcentajes que ocupan cada una de las unidades hidrogeológicas que afloran en el área de influencia y en el área de intervención del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare mientras que en la Figura 4.2.2-29 se presenta el mapa hidrogeológico del área de estudio donde se puede observar la distribución espacial de las unidades hidrogeológicas anteriormente mencionadas.

Tabla 4.2-10 Áreas y porcentajes de las unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	ÁREA DE INFLUENCIA FISICOBIÓTICA		ÁREA DE INTERVENCIÓN	
	ÁREA (ha)	ÁREA (%)	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
A3	22421,31	89,67	9397,65	90,25

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	ÁREA DE INFLUENCIA FISICOBIÓTICA		ÁREA DE INTERVENCIÓN	
	ÁREA (ha)	ÁREA (%)	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
A4	2583,73	10,33	1014,79	9,75
TOTAL	**25005,03**	**100**	**10412,44**	**100**

Fuente: SGI S.A.S., 2025

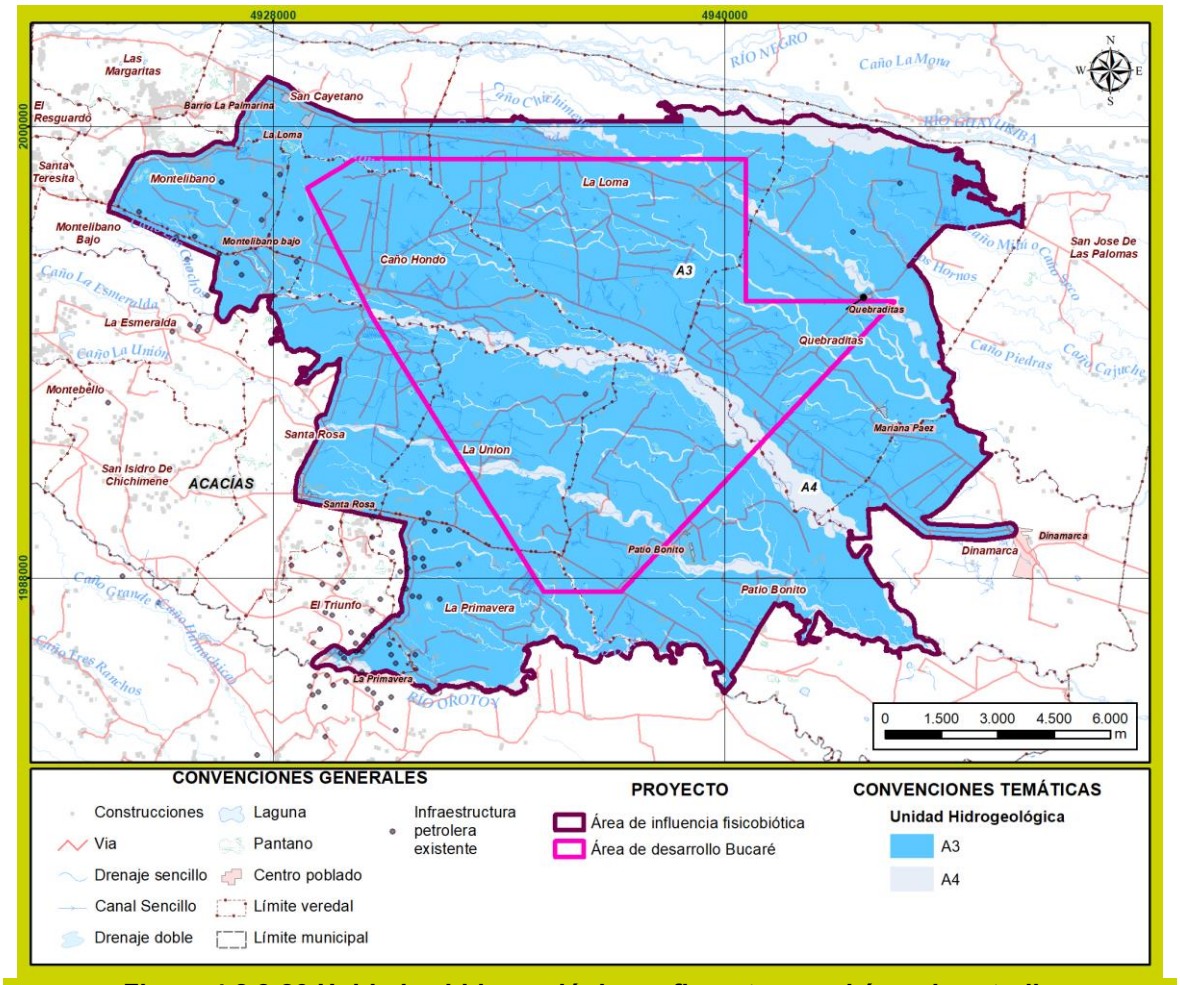


Figura 4.2.2-29 Unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Como se puede observar en la Figura 4.2.2-29, en la mayor parte del área de influencia y el área de intervención del Estudio de Impacto Ambiental Área de Desarrollo Bucare aflora la unidad hidrogeológica tipo A3, abarcando el 89,67% del área de influencia fisicobiótica y el 90,25% del área de intervención, mientras que la unidad A4 aflora únicamente en el 10,33% del área de influencia.

4.2.2.4 Inventario de puntos de agua subterránea

Los puntos de agua subterránea pueden ser clasificados según el tipo de punto, es decir, pueden ser aljibes, manantiales, pozos y/o piezómetros. Para facilitar su identificación, cada tipo de punto ha sido codificado con una letra asignada a su ID consecutivo. Así, los manantiales se identifican con la letra “M”, los pozos con la letra “P”, los aljibes con la secuencia “AL” y los piezómetros con la

secuencia “Pz”. De los 155 puntos de agua subterránea inventariados en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, 100 puntos son aljibes, 27 corresponden a manantiales; 11 puntos fueron clasificados como pozos; y finalmente, 17 puntos a piezómetros (ver **Figura 4.2.2-30**).

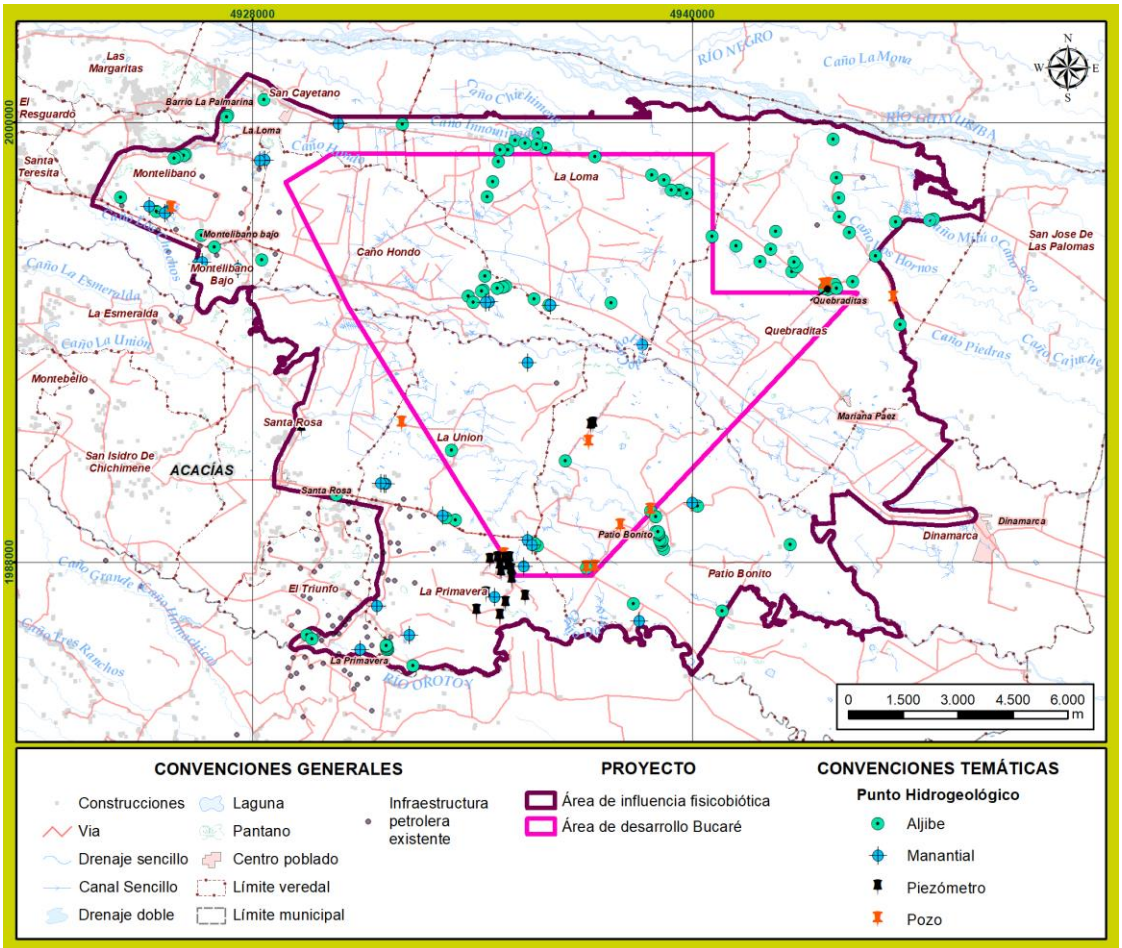


Figura 4.2.2-30 Ubicación de los puntos de agua inventariados
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Tal como se puede observar en la **Figura 4.2.2-31** a mayor proporción de puntos hidrogeológicos identificados en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare corresponde a aljibes, los cuales representan el 64,5 % del inventario total. Estos puntos corresponden a estructuras de aprovechamiento de agua subterránea excavadas manualmente y se encuentran ampliamente distribuidos en el área de influencia.

En segundo lugar, se identifican los manantiales, que corresponden a afloramientos naturales de agua subterránea y representan el 17,4 % del total de puntos inventariados. Posteriormente, se encuentran los piezómetros, los cuales abarcan el 11,0 % del inventario y son utilizados principalmente para el monitoreo de los niveles y la dinámica del agua subterránea. Finalmente, los pozos representan el 7,1 % del total de puntos hidrogeológicos identificados en el área de estudio.

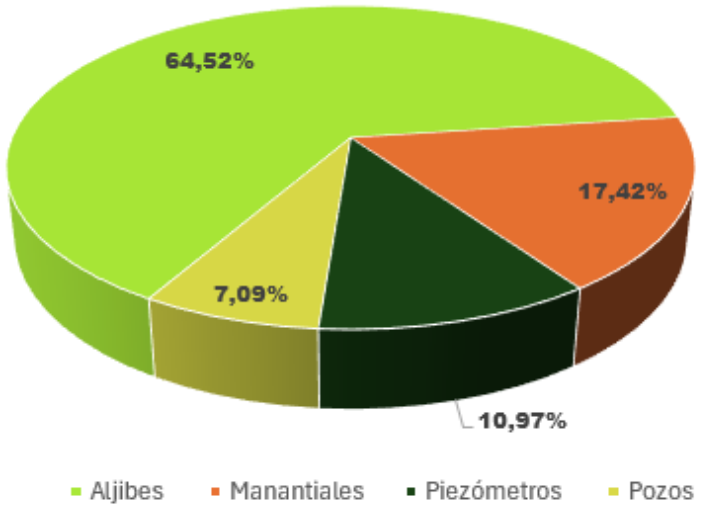


Figura 4.2.2-31 Tipos de puntos de agua subterránea identificados
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En la **Tabla** 4.2-11,**Tabla** 4.2-12, **Tabla** 4.2-13 y **Tabla** 4.2-14 se presenta un resumen de las principales características de los aljibes, manantiales, pozos y piezómetros, respectivamente, inventariados en el marco del presente estudio.

Tabla 4.2-11 Aljibes inventariados

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO	PROFUNDIDAD (m)	ABP	NIVEL ESTATICO (m)
		Este (m)	Norte (m)	GEOLOGICA		(m)	
AL01	Aljibe	4944304,47	1997001,75	A3	4.68	0.5	1
AL02	Aljibe	4943866,48	1999548,99	A4	1,52	0	
AL03	Aljibe	4943951,42	1998504,32	A3	3.39	0.6	0.7
AL04	Aljibe	4944020,21	1997946,96	A3	3.13	0.45	0.62
AL05	Aljibe	4944037,42	1997429,55	A3	4.92	1.03	1.39
AL06	Aljibe	4945568,64	1997300,67	A3	6.83	0.53	0.88
AL07	Aljibe	4928251,43	1996252,24	A4	7.72	0.71	1.01
AL08	Aljibe	4926601,39	1996925,84	A3	2.2	0	0.96
AL09	Aljibe	4946607,88	1997371,03	A3	2.77	0.14	1.66
AL10	Aljibe	4946496,93	1997347,32	A3	3.1	0	1.55
AL11	Aljibe	4945695,67	1994486,26	A3	5.01	0.12	3.27
AL12	Aljibe	4944393,37	1995665,6	A3	2.5	0	1.95
AL13	Aljibe	4943722,01	1995457,27	A3	4.9	0.1	2.48
AL14	Aljibe	4943929,8	1995556,33	A3	2.53	0	1.51
AL15	Aljibe	4943636,45	1995485,36	A3	6.86	0.95	3.26

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)
		Este (m)	Norte (m)				
AL16	Aljibe	4943741,3	1995562,41	A3	5.58	0.52	2.96
AL17	Aljibe	4943905,29	1995593,24	A3	3,36	0,35	
AL18	Aljibe	4926959,72	1996613,88	A3	4.86	0.475	1.945
AL19	Aljibe	4942744,58	1995938,07	A3	9.74	0.45	5.49
AL20	Aljibe	4942880,51	1996073,89	A3	3.52	0.36	0.78
AL21	Aljibe	4942163,52	1996553,05	A3	10	0.39	6.12
AL22	Aljibe	4942290,13	1997029,23	A3	2.63	0.5	0.59
AL23	Aljibe	4939657,76	1998169,06	A3	4.04	0.22	1.45
AL24	Aljibe	4939243,69	1998432,34	A3	5.02	0.3	2.08
AL25	Aljibe	4939866,59	1998067,44	A3	4.02	0.17	2.04
AL26	Aljibe	4938904,29	1998570,25	A3	6.96	0.08	1.92
AL27	Aljibe	4935793,81	1999715,04	A4	2.94	0.06	1.93
AL28	Aljibe	4936008,06	1999314,83	A3	8.81	0.64	6.38
AL29	Aljibe	4935179,2	1999517,46	A3	2.5	0.07	0.81
AL30	Aljibe	4932095,55	1999960,71	A3	5.37	0.35	1.93
AL31	Aljibe	4935766,4	1999419,67	A3	12.2	0.88	2.49
AL32	Aljibe	4935457,14	1999452,35	A3	Sin información	Sin información	Sin información
AL33	Aljibe	4934978,7	1999255,84	A3	5.24	0.15	3.22
AL34	Aljibe	4945028,46	1996358,51	A3	6.19	0.32	3.04
AL35	Aljibe	4939445,2	1998163,07	A3	9.82	0	7
AL36	Aljibe	4934762,34	1999264,19	A3	6.22	0.17	2.42
AL37	Aljibe	4934572,77	1998390,96	A3	5.9	0.13	2.08
AL38	Aljibe	4934411,75	1997976,63	A3	8.13	0.12	5.29
AL39	Aljibe	4934718,09	1998941,77	A3	5.63	0.17	2.69
AL40	Aljibe	4928322,52	2000638,28	A3	9.6	0.25	5.04
AL41	Aljibe	4939234,3	1988356	A3	2	0	0.95
AL42	Aljibe	4939112,75	1988707,59	A3	13.08	0.47	10.19
AL43	Aljibe	4936553,59	1990763,25	A3	4.99	0.48	4.32
AL44	Aljibe	4938888,23	1989401,22	A3	12.75	0.17	11.43
AL45	Aljibe	4940163,24	1989541,14	A3	2.45	0.7	1.36
AL46	Aljibe	4939024,91	1989251,88	A3	14.13	0.2	11.51
AL47	Aljibe	4943950,05	1995477,04	A3	4.39	0.07	2.09
AL48	Aljibe	4937128,9	1987839,89	A3	9.72	0.57	5.71
AL49	Aljibe	4937797,82	1995089,95	A3	5.6	0.38	2.5
AL50	Aljibe	4934919,1	1995540,33	A3	3.16	0	1.7

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)
		Este (m)	Norte (m)				
AL51	Aljibe	4934813,32	1995516,97	A3	5	0	3.4
AL52	Aljibe	4934838,42	1995517,48	A3	6.1	0.775	3.655
AL53	Aljibe	4935695,66	1995189,66	A3	3.9	0.6	0.66
AL54	Aljibe	4934685,94	1995474,15	A3	4.8	0.29	2.84
AL55	Aljibe	4934312,76	1995435,3	A3	9.2	0.35	3.55
AL56	Aljibe	4934358,26	1995823,47	A3	7	0.29	2.91
AL57	Aljibe	4933901,52	1995260,92	A3	8.43	0.87	5.21
AL58	Aljibe	4934033,88	1995099,88	A3	6.34	0.11	4.09
AL59	Aljibe	4934260,98	1995402,88	A3	6.7	0.15	2.23
AL60	Aljibe	4925366,97	1997584,05	A3	10.82	0.56	6.66
AL61	Aljibe	4924398,76	1997961,35	A3	7.26	0.39	4.49
AL62	Aljibe	4935789,26	1988456,61	A3	6.9	0	5.34
AL63	Aljibe	4936101,36	1995026,06	A3	5.72	0.7	0.67
AL64	Aljibe	4927323,76	2000208,61	A3	4.43	0.27	1.26
AL65	Aljibe	4927290,35	2000160,74	A3	3.13	0.39	0.49
AL66	Aljibe	4926160,22	1999143,59	A3	7	0	
AL67	Aljibe	4926114,5	1999113,08	A3	6	0.07	3.13
AL68	Aljibe	4925937,18	1999066,41	A3	6.8	0	2.34
AL69	Aljibe	4925856,64	1999038,25	A3	6.28	0.6	2.73
AL70	Aljibe	4942687,82	1988483,86	A3	4.37	0.14	2.66
AL71	Aljibe	4940825,21	1986662,57	A3	7.4	1.5	4.5
AL72	Aljibe	4935710,08	1988518,35	A3	9.74	0.52	5.94
AL73	Aljibe	4933551	1989158,18	A3	6.74	1.1	2.7
AL74	Aljibe	4933284,69	1989212,81	A3	6	0.53	
AL75	Aljibe	4942804,77	1996193,84	A3	5.4	0.68	1.66
AL76	Aljibe	4941208,02	1996638,37	A3	7.3	0.76	3.74
AL77	Aljibe	4941872,92	1996217,46	A3	7	0	3.8
AL78	Aljibe	4937355,73	1999071,99	A3	3.4	0.09	2.01
AL79	Aljibe	4933436,32	1991061,01	A3	3.9	0.18	1.9
AL80	Aljibe	4931694,18	1985617,83	A3	5.15	0	3.23
AL81	Aljibe	4931674,15	1985622,87	A3	5.45	0.6	2.9
AL82	Aljibe	4931676,36	1985657,7	A3	4.95	0.12	2.99
AL83	Aljibe	4931661,71	1985702,35	A3	Sin información	Sin información	Sin información
AL84	Aljibe	4931663,34	1985731,8	A3	4.3	0.35	Sin información
AL85	Aljibe	4931647,09	1985726,3	A3	6.34	0.16	3.74

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)
		Este (m)	Norte (m)				
AL86	Aljibe	4932386,83	1985171,14	A3	2.56	1.06	0.06
AL87	Aljibe	4938410,9	1986864,25	A3	5.25	0.08	3.29
AL88	Aljibe	4939011,66	1988838,49	A3	12	0.17	Sin información
AL89	Aljibe	4940555,37	1996903,66	A3	6.14	0.44	2.33
AL90	Aljibe	4939181,33	1988460,61	A3	9.8	0.56	7.3
AL91	Aljibe	4939148,59	1988547,73	A3	10.58	0.58	8.06
AL92	Aljibe	4939179,17	1988590,24	A3	10.46	0.28	8.28
AL93	Aljibe	4939205,16	1988605,72	A3	10.88	0.31	8.35
AL94	Aljibe	4939129,9	1988604,85	A3	10.87	0.7	9.08
AL95	Aljibe	4939113,29	1988777,18	A3	12.49	0.63	10.3
AL96	Aljibe	4939090,47	1988795,93	A3	12.1	0.2	10.24
AL97	Aljibe	4939077,13	1988832,62	A3	14.87	0.1	11.52
AL98	Aljibe	4929494,99	1986015	A3	5,4	0,53	1,91
AL99	Aljibe	4930302,99	1989832,99	A3	10,34	0,79	5,93
AL100	Aljibe	4929625,99	1985903	A3	8,42	0,37	3,63

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 4.2-12 Manantiales inventariados

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	TIPO DE MANANTIAL	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTATICO (m)
		Este (m)	Norte (m)				
M01	Manantial	4930339,32	1999979,64	A3	Por filtración	1.22	1.18
M02	Manantial	4934611,84	1987049,74	A3	Por filtración	0.1	0
M03	Manantial	4940007,61	1989627,36	A4	Por filtración	0.25	0
M04	Manantial	4935507,8	1993456,66	A3	Por filtración	0	0
M05	Manantial	4926484,49	1996143,97	A3	Por filtración	0.15	0
M06	Manantial	4926618,13	1996203,32	A3	Por filtración	1.1	0.4
M07	Manantial	4938651,01	1993940,36	A4	Por filtración	0.01	0
M08	Manantial	4934456,62	1995114,5	A3	Por filtración	0.3	0
M09	Manantial	4934368,02	1995104,86	A4	Por filtración	0.01	0
M10	Manantial	4925667,98	1997580,95	A3	Por filtración	0.02	0
M11	Manantial	4925603,73	1997542,93	A3	Por filtración	0.01	0
M12	Manantial	4925174,18	1997716,09	A3	Por filtración	0.25	0
M13	Manantial	4938566,64	1986400,29	A4	Por filtración	0.17	0
M14	Manantial	4935516,49	1988598,07	A3	Por filtración	0.62	0

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	TIPO DE MANANTIAL	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTATICO (m)
		Este (m)	Norte (m)				
M15	Manantial	4935404,04	1987894,33	A3	Sin información	Sin información	Sin información
M16	Manantial	4936143,88	1995017,93	A3	Por filtración	6.15	0
M17	Manantial	4933193,98	1989271,56	A3	Por filtración	0.08	0
M18	Manantial	4927595,66	1996019,65	A3	Por filtración	0.11	0
M19	Manantial	4935630,66	1988468,35	A3	Por filtración	0.1	0
M20	Manantial	4928331,36	1998989,82	A3	Por filtración	0.01	0
M21	Manantial	4928197,08	1998978,3	A3	Por filtración	0.15	0
M22	Manantial	4931645,64	1990141,54	A3	Por filtración	0.1	0
M23	Manantial	4931586,77	1990145,6	A3	Por filtración	0.15	0
M24	Manantial	4931501,27	1990155,31	A3	Por filtración	2.21	0
M25	Manantial	4932280,15	1986013,89	A3	Por filtración	0.02	0
M26	Manantial	4930941,51	1985624,11	A3	Por goteo	Sin información	Sin información
M27	Manantial	4931392,07	1986801,58	A3	Por filtración	0.01	0

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 4.2-13 Pozos inventariados

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)
		Este (m)	Norte (m)				
P01	Pozo	4943610,49	1995538,77	A3	70	0.38	Sin información
P02	Pozo	4945517,24	1995189,02	A3	18	Sin información	Sin información
P03	Pozo	4943735,75	1995559,27	A3	6.95	0.07	3.11
P04	Pozo	4934872,74	1988184,67	A3	32.69	0.5	2.23
P05	Pozo	4937184,06	1991265,64	A3	70	0.48	Sin información
P06	Pozo	4932081,67	1991778,97	A3	Sin información	80	0.23
P07	Pozo	4938886,9	1989391,33	A3	38	Sin información	Sin información
P08	Pozo	4938059,36	1988978,7	A3	Sin información	Sin información	Sin información
P09	Pozo	4925776,95	1997639,1	A3	100	0.15	Sin información
P10	Pozo	4937352,31	1987844,12	A3	105	0.2	Sin información
P11	Pozo	4937133,39	1987835,44	A3	100	6.19	Sin información

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 4.2-14 Piezómetros inventariados

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP	NIVEL ESTÁTICO
		Este (m)	Norte (m)			(m)	(m)
Pz01	Piezómetro	4934121,14	1986641,1	A3	12.46	0.15	Sin información
Pz02	Piezómetro	4934762,31	1986498,47	A3	12.12	0.25	2.04
Pz03	Piezómetro	4934377,19	1987115,24	A3	11.63	0.24	9.82
Pz04	Piezómetro	4934910,29	1986848,61	A3	10.37	0.24	2.38
Pz05	Piezómetro	4935445,53	1987026,91	A3	11.92	0.19	4.02
Pz06	Piezómetro	4935089,27	1987485,47	A3	12.37	0.17	2.98
Pz07	Piezómetro	4935072,87	1987744,23	A3	12.04	0.12	2.38
Pz08	Piezómetro	4934902,81	1988054,31	A3	7.99	0.57	3.9
Pz09	Piezómetro	4935018,09	1988065,09	A3	10.26	0.495	1.855
Pz10	Piezómetro	4934492,64	1988019,22	A3	10.22	0.62	8.123
Pz11	Piezómetro	4934801,32	1987686,96	A3	0.56	8.93	4.66
Pz12	Piezómetro	4934757,62	1987873,34	A3	7.92	0.21	4.92
Pz13	Piezómetro	4934709,38	1988071,6	A3	8.38	0.26	2.24
Pz14	Piezómetro	4934989,75	1987843,6	A3	8.7	0.2	5.865
Pz15	Piezómetro	4937251,94	1991706,99	A3	10.98	0.57	1.345
Pz16	Piezómetro	4937312,98	1991752,06	A3	12.08	0.46	2.21
Pz17	Piezómetro	4929331,44	1991636,16	A3	8,42	0,37	2,92

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

4.2.2.5 Caracterización fisico química y microbiológica de las aguas subterráneas

A continuación, se incluyen los resultados generales de la caracterización fisicoquímica del componente de aguas subterráneas la campaña de caracterización para las unidades hidrogeológicas del área de influencia del área de Desarrollo Bucare.

4.2.2.5.1 Ubicación de los puntos monitoreados

En la Figura 4.2.2-32 se presenta la ubicación y distribución espacial de los treinta (30) puntos de agua subterránea seleccionados para realizar el monitoreo fisicoquímico, microbiológico y determinar la calidad del agua subterránea. Como se mencionó anteriormente, estos puntos fueron seleccionados de manera tal que cubrieran la mayor parte del área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el área de Desarrollo Bucare y que permitieran la caracterización de las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de influencia del proyecto.

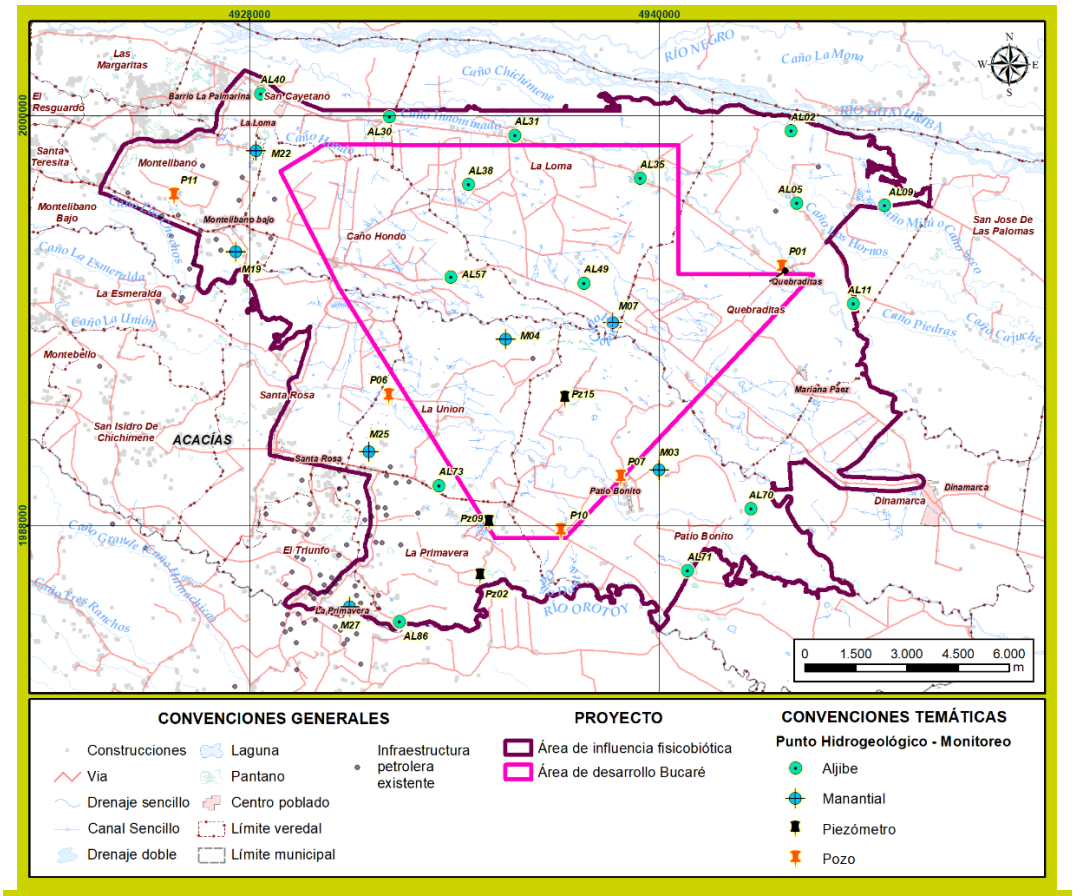


Figura 4.2.2-32 Ubicación de los puntos de agua subterránea monitoreados
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Para establecer la calidad del agua subterránea en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, se seleccionaron los mismos treinta (30) puntos de agua subterránea en los cuales se realizó la caracterización hidrogeoquímica (Ver Tabla a la Tabla 4.2-19). De estos puntos, quince (15) son aljibes, siete (7) corresponden a manantiales, cinco (5) son pozos y tres (3) son piezómetros.

A continuación, se presentan las concentraciones registradas en los parámetros monitoreados en las 30 muestras de agua subterránea recolectadas, comparando dichos resultados con los límites permisibles presentados en los diferentes artículos del Decreto 1076 de 2015. Al igual que en la caracterización hidrogeoquímica, estos resultados se agruparon y analizaron teniendo en cuenta el tipo de punto.

Dicho lo anterior, en la T**abla** 4.2-15 y T**abla** 4.2-16 se presentan los resultados de las muestras de agua subterránea recolectadas en los quince (15) aljibes seleccionados para llevar a cabo la caracterización de la calidad del agua subterránea en el área de influencia. Por otra parte, en la T**abla** 4.2-17 se presenta la calidad de las muestras de agua recolectadas en los siete (7) manantiales; mientras que la T**abla** 4.2-13 expone los resultados de los cinco (5) pozos monitoreados y la T**abla** 4.2-19 presenta la calidad de agua de las muestras recolectadas en los tres (3) piezómetros analizados

Los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico, de calidad de agua en las treinta (30) muestras de agua subterránea analizadas en el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de

Desarrollo Bucare pueden ser consultados a detalle en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.7_Reporte_resultados**.

.

Tabla 4.2-15 Calidad de agua de los aljibes monitoreados

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)								LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL02	AL05	AL09	AL11	AL30	AL31	AL35	AL38				
		M37223	M37253	M37224	M37225	M37343	M37344	M37254	M37673	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
Aceites y grasas	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Acidez	mg CaCO3/L	15,19	25,34	22,75	25,44	26,89	27,2	16,58	26,58	N.E	N.E	N.E	N.E
Alcalinidad	mg CaCO3/L	20,7	15,18	<10,00	69,97	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Aluminio en agua	mg /L	0,418	0,61	0,503	0,524	0,825	0,607	0,704	0,201	N.E	N.E	5	5
Amonio	mgN-NH4+/L	1,61	1,72	<1,06	1,07	<1,06	1,19	1,66	2,26	N.E	N.E	N.E	N.E
Arsénico en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario en agua	mg /L	0,074	0,07	0,117	0,152	0,158	0,079	0,059	<0,050	1,0	1,0	N.E	N.E
Berilio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Bicarbonatos	mg CaCO3/L	20,7	15,18	<10,00	69,97	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Boro en agua	mg /L	0,108	0,065	0,057	0,11	0,105	0,103	0,064	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Cadmio en agua	mg /L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio en agua	mg /L	9,652	2,349	4,554	21,836	3,032	2,905	1,191	2,355	N.E	N.E	N.E	N.E
Carbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Cloruros	mg Cl -/L	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	250	250	N.E	N.E
Cobalto en agua	mg /L	0,051	0,064	0,052	0,055	<0,050	<0,050	0,063	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Coliformes Termotolerantes (Fecales)	NMP/100 mL	164,3	313	110	287,8	95,8	105,3	396,8	65,7	2000	N.E	1000	N.E
Coliformes Totales (NMP)	NMP/100 mL	250	436	360,9	410,6	287,8	319,9	456,9	206,4	20000	1000	5000	N.E
Conductividad	µS/cm	106	67	56	241	78	50	28	57	N.E	N.E	N.E	N.E
Cromo en agua	mg /L	0,055	0,066	0,054	0,057	0,056	0,056	0,073	<0,050	0,05	0,05	0,1	1

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)								LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL02	AL05	AL09	AL11	AL30	AL31	AL35	AL38	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37223	M37253	M37224	M37225	M37343	M37344	M37254	M37673				
Demanda Bioquimica de Oxígeno (DBO)	mg /L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Demanda Quimica de Oxigeno (DQO)	mg O2/L	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Dureza Total	mg CaCO3 /L	35,26	13,65	18,88	87,76	15,75	11,81	<7,00	9,11	N.E	N.E	N.E	N.E
Escherichia Coli (NMP)	NMP/100mL	12,2	25	66,3	122,2	<1,00	<1,00	32	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	N.E	N.E	N.E	N.E
Fósforo Ácido Hidrolizable Total	mg P-PO4/L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Hidrocarburos	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Hierro en agua	mg /L	0,176	0,248	0,212	0,152	0,169	0,256	0,287	0,121	N.E	N.E	5,0	N.E
Huevos de Helmintos	N° org/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Litio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Magnesio en agua	mg /L	2,71	1,891	1,824	8,072	1,986	1,106	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Manganeso en agua	mg /L	0,306	0,273	0,313	0,463	<0,050	<0,050	0,185	0,151	N.E	N.E	0,2	N.E
Material flotante	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	N.E	N.E	N.E	N.E
Molibdeno en agua	mg /L	<0,010	<0,010	0,017	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	N.E	N.E	N.E	N.E
Niquel en agua	mg /L	0,072	0,085	0,076	0,074	0,068	0,067	0,086	0,041	N.E	N.E	N.E	N.E
Nitrato	mg N-NO3/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	10	10	N.E	N.E
Nitritos	mg N-NO2/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,0	1,0	N.E	10
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH3/L	1,52	1,63	<1,00	1,01	<1,00	1,12	1,57	2,13	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)								LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL02	AL05	AL09	AL11	AL30	AL31	AL35	AL38	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37223	M37253	M37224	M37225	M37343	M37344	M37254	M37673				
Oxígeno Disuelto	mg/L - O2	1,13	1,24	2,46	1,8	3,65	2,64	2,13	3,49	N.E	N.E	N.E	N.E
pH	Unidades de pH	5,71	5,66	5,92	6,15	5,1	5,75	5,52	5,04	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0	N.E
Plomo en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	5	0,1
Porcentaje de sodio intercambiable	%	0,32	0,65	0,35	0,71	0,31	0,19	0,03	0,92	N.E	N.E	N.E	N.E
Potasio en agua	mg /L	2,694	6,496	1,403	4,498	3,607	1,592	<1,00	1,313	N.E	N.E	N.E	N.E
RAS	-	0,22	0,42	0,27	0,4	0,25	0,17	0,27	0,16	N.E	N.E	N.E	N.E
Selenio en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	0,01	0,02	N.E
Sodio en agua	mg /L	2,925	3,738	2,351	10,368	1,914	1,035	<1,00	4,378	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	68	40	33	147	44	30	16	34	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Suspendidos Totales	mg /L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	11	10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Totales	mg /L	73	46	40	153	55	40	24	36	N.E	N.E	N.E	N.E
Sulfato	mg/L	12,77	<10,00	<10,00	27,43	<10,00	10,02	10,93	<10,00	400	400	N.E	N.E
Temperatura	°C	26,78	28,03	28,4	26,98	26,66	26,12	28,27	26,22	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	NTU	<2,00	2,8	3,1	<2,00	3,2	2,5	<2,00	<2,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	JTU	<0,105	0,15	0,16	<0,105	0,17	0,13	<0,105	<0,105	N.E	10	N.E	N.E
Vanadio en agua	mg /L	0,059	0,065	<0,050	0,054	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Zinc en agua	mg /L	0,074	0,048	0,064	0,061	0,063	0,048	0,062	0,034	15,0	15,0	2,0	25

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 4.2-16 Calidad de agua de los aljibes monitoreados

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)							LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL40	AL49	AL57	AL70	AL71	AL73	AL86	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37345	M37340	M37341	M37632	M37630	M37617	M37615				
Aceites y grasas	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Acidez	mg CaCO3/L	23,52	26,83	30,27	26,17	12,33	18,65	29,69	N.E	N.E	N.E	N.E
Alcalinidad	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Aluminio en agua	mg /L	0,64	0,654	0,792	0,163	0,176	0,179	0,261	N.E	N.E	5	5
Amonio	mgN-NH4+/L	<1,06	6,93	1,1	2,97	<1,06	2,17	1,19	N.E	N.E	N.E	N.E
Arsénico en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario en agua	mg /L	<0,050	0,053	0,083	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	1,0	1,0	N.E	N.E
Berilio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Bicarbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Boro en agua	mg /L	0,076	0,074	0,096	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Cadmio en agua	mg /L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio en agua	mg /L	1,957	<1,00	1,033	1,275	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Carbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Cloruros	mg Cl -/L	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	250	250	N.E	N.E
Cobalto en agua	mg /L	0,051	0,06	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Coliformes Termotolerantes (Fecales)	NMP/100 mL	75,9	190,3	91,2	61,7	75,9	46,9	91,2	2000	N.E	1000	N.E
Coliformes Totales (NMP)	NMP/100 mL	258,9	529,8	235,2	436,6	225,4	210,5	313	20000	1000	5000	N.E
Conductividad	µS/cm	31	69	45,7	74	64	65	71	N.E	N.E	N.E	N.E
Cromo en agua	mg /L	0,057	0,073	0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	0,05	0,1	1

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)							LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL40	AL49	AL57	AL70	AL71	AL73	AL86	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37345	M37340	M37341	M37632	M37630	M37617	M37615				
Demanda Bioquimica de Oxígeno (DBO)	mg /L	<10,00	<10,00	<10,00	49	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Demanda Quimica de Oxigeno (DQO)	mg O2/L	<36,00	<36,00	<36,00	78,55	<36,00	<36,00	<36,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Dureza Total	mg CaCO3 /L	8,02	<7,00	7,46	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Escherichia Coli (NMP)	NMP/100mL	23,8	<1,00	<1,00	18,7	4,1	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	N.E	N.E	N.E	N.E
Fósforo Ácido Hidrolizable Total	mg P-PO4/L	<0,050	1,92	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,72	N.E	N.E	N.E	N.E
Hidrocarburos	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Hierro en agua	mg /L	0,311	0,272	0,172	0,13	0,142	0,089	0,251	N.E	N.E	5,0	N.E
Huevos de Helmintos	N° org/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Litio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Magnesio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	1,185	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Manganeso en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	0,086	0,097	0,123	0,127	N.E	N.E	0,2	N.E
Material flotante	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Ausente	Presente	N.E	N.E	N.E	N.E
Molibdeno en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	N.E	N.E	N.E	N.E
Niquel en agua	mg /L	0,07	0,085	0,06	0,032	0,032	0,036	0,032	N.E	N.E	N.E	N.E
Nitrato	mg N-NO3/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	10	10	N.E	N.E
Nitritos	mg N-NO2/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,0	1,0	N.E	10
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH3/L	<1,00	6,54	1,04	2,81	<1,00	2,05	1,12	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)							LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL40	AL49	AL57	AL70	AL71	AL73	AL86	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37345	M37340	M37341	M37632	M37630	M37617	M37615				
Oxígeno Disuelto	mg/L - O2	3,07	3,04	4,34	2,09	3,82	3,03	1,96	N.E	N.E	N.E	N.E
pH	Unidades de pH	5,43	5,91	5,31	5,38	4,86	5,67	4,97	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0	N.E
Plomo en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	5	0,1
Porcentaje de sodio intercambiable	%	0,1	0,31	0,14	1,76	1,89	2,75	2,78	N.E	N.E	N.E	N.E
Potasio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	2,221	4,214	1,487	1,307	2,951	N.E	N.E	N.E	N.E
RAS	-	0,3	0,2	0,17	0,46	0,28	0,33	0,4	N.E	N.E	N.E	N.E
Selenio en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	0,01	0,02	N.E
Sodio en agua	mg /L	<1,00	1,075	<1,00	7,182	6,141	8,64	9,543	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	21	43	27	44	39	41	43	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Suspendidos Totales	mg /L	11	<10,00	<10,00	<10,00	17	<10,00	10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Totales	mg /L	32	46	33	46	56	43	53	N.E	N.E	N.E	N.E
Sulfato	mg/L	<10,00	<10,00	<10,00	24,58	<10,00	<10,00	15,41	400	400	N.E	N.E
Temperatura	°C	27,12	26,18	26,65	26,94	28,14	27,63	26,24	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	NTU	3,4	3,4	4,5	6	3,3	<2,00	27	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	JTU	3,4	0,18	0,24	0,32	0,17	<0,105	1,44	N.E	10	N.E	N.E
Vanadio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	0,367	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Zinc en agua	mg /L	0,048	0,047	0,046	0,03	0,031	0,041	0,031	15,0	15,0	2,0	25

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 4.2-17 Calidad de agua de los manantiales monitoreados

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)							LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		M03	M04	M07	M19	M22	M25	M27	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37629	M37671	M37342	M37378	M37379	M37621	M37618				
Aceites y grasas	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Acidez	mg CaCO3/L	14,5	7,77	17,98	22,44	143,18	34,4	33,63	N.E	N.E	N.E	N.E
Alcalinidad	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Aluminio en agua	mg /L	0,173	0,297	0,741	0,177	0,204	0,221	0,198	N.E	N.E	5	5
Amonio	mgN-NH4+/L	2,08	2,44	2,2	1,25	1,52	3,78	1,99	N.E	N.E	N.E	N.E
Arsénico en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	1,0	1,0	N.E	N.E
Berilio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Bicarbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Boro en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Cadmio en agua	mg /L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Carbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Cloruros	mg Cl -/L	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	10,07	<8,00	250	250	N.E	N.E
Cobalto en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Coliformes Termotolerantes (Fecales)	NMP/100 mL	343,6	80,1	40,8	31,5	45,2	98,1	225,4	2000	N.E	1000	N.E
Coliformes Totales (NMP)	NMP/100 mL	387,7	270	152,9	372,5	316,9	233,3	422,5	20000	1000	5000	N.E
Conductividad	µS/cm	60	58	31	66	51	77	73	N.E	N.E	N.E	N.E
Cromo en agua	mg /L	<0,050	<0,050	0,054	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	0,05	0,1	1

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)							LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		M03	M04	M07	M19	M22	M25	M27	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37629	M37671	M37342	M37378	M37379	M37621	M37618				
Demanda Bioquimica de Oxígeno (DBO)	mg /L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Demanda Quimica de Oxigeno (DQO)	mg O2/L	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Dureza Total	mg CaCO3 /L	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Escherichia Coli (NMP)	NMP/100 mL	28,7	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	6,3	26,2	N.E	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	N.E	N.E	N.E	N.E
Fósforo Ácido Hidrolizable Total	mg P-PO4/L	<0,050	<0,050	<0,050	1,87	1,35	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Hidrocarburos	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Hierro en agua	mg /L	0,088	0,106	0,316	0,127	0,736	0,256	0,096	N.E	N.E	5,0	N.E
Huevos de Helmintos	N° org/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Litio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Magnesio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Manganeso en agua	mg /L	0,12	0,143	<0,050	0,113	0,137	0,098	0,133	N.E	N.E	0,2	N.E
Material flotante	Presente/ Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	N.E	N.E	N.E	N.E
Molibdeno en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	0,011	<0,010	<0,010	<0,010	N.E	N.E	N.E	N.E
Niquel en agua	mg /L	0,037	0,042	0,064	0,032	0,038	0,034	0,041	N.E	N.E	N.E	N.E
Nitrato	mg N-NO3/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	10	10	N.E	N.E
Nitritos	mg N-NO2/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,0	1,0	N.E	10
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH3/L	1,96	2,3	2,08	1,18	1,43	3,56	1,88	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)							LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		M03	M04	M07	M19	M22	M25	M27	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37629	M37671	M37342	M37378	M37379	M37621	M37618				
Oxígeno Disuelto	mg/L - O2	2,19	3,57	3,63	4,05	1,06	2,13	2,73	N.E	N.E	N.E	N.E
pH	Unidades de pH	5,84	5,27	5,76	5,73	4,89	4,69	4,58	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0	N.E
Plomo en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	5	0,1
Porcentaje de sodio intercambiable	%	2,21	1,75	0,08	2,17	0,68	2,5	2,29	N.E	N.E	N.E	N.E
Potasio en agua	mg /L	1,294	1,361	<1,00	<1,00	1,401	1,693	1,461	N.E	N.E	N.E	N.E
RAS	-	0,25	0,26	0,26	0,32	0,29	0,53	0,32	N.E	N.E	N.E	N.E
Selenio en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	0,01	0,02	N.E
Sodio en agua	mg /L	6,545	4,903	<1,00	7,291	2,232	7,952	7,732	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	38	36	19	40	32	46	44	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Suspendidos Totales	mg /L	<10,00	<10,00	155	<10,00	13	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Totales	mg /L	40	40	174	46	45	48	46	N.E	N.E	N.E	N.E
Sulfato	mg/L	<10,00	<10,00	13,48	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	400	400	N.E	N.E
Temperatura	°C	25,69	25,62	27,03	26,34	26,41	25,64	28,05	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	NTU	<2,00	<2,00	120	<2,00	6,5	14	<2,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	JTU	<0,105	<0,105	6,1	<0,105	0,34	0,75	<0,105	N.E	10	N.E	N.E
Vanadio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Zinc en agua	mg /L	0,033	0,038	0,04	0,031	0,04	0,036	0,038	15,0	15,0	2,0	25

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 4.2-18 Calidad de agua de los pozos monitoreados

PARÁMETRO	UNIDAD	POZOS MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)					LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		P01	P06	P07	P10	P11	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37255	M37616	M37614	M37631	M37796				
Aceites y grasas	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Acidez	mg CaCO3/L	24,51	23,78	29,01	21,92	46,06	N.E	N.E	N.E	N.E
Alcalinidad	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	11,83	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Aluminio en agua	mg /L	0,621	0,147	0,224	0,19	<0,010	N.E	N.E	5	5
Amonio	mgN-NH4+/L	<1,06	1,58	1,9	2,08	3,57	N.E	N.E	N.E	N.E
Arsénico en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,135	1,0	1,0	N.E	N.E
Berilio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Bicarbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	11,83	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Boro en agua	mg /L	0,066	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Cadmio en agua	mg /L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	2,933	N.E	N.E	N.E	N.E
Carbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Cloruros	mg Cl -/L	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	250	250	N.E	N.E
Cobalto en agua	mg /L	0,071	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Coliformes Termotolerantes (Fecales)	NMP/100 mL	11	9	4,1	8	4	2000	N.E	1000	N.E
Coliformes Totales (NMP)	NMP/100 mL	25,9	21,3	11	31,5	18,7	20000	1000	5000	N.E
Conductividad	µS/cm	19	72	86	76	65	N.E	N.E	N.E	N.E
Cromo en agua	mg /L	0,072	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	0,05	0,1	1
Demanda Bioquimica de Oxígeno (DBO)	mg /L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDAD	POZOS MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)					LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		P01	P06	P07	P10	P11	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37255	M37616	M37614	M37631	M37796				
Demanda Quimica de Oxigeno (DQO)	mg O2/L	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Dureza Total	mg CaCO3 /L	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	9,78	N.E	N.E	N.E	N.E
Escherichia Coli (NMP)	NMP/100mL	3	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,04	N.E	N.E	N.E	N.E
Fósforo Ácido Hidrolizable Total	mg P-PO4/L	<0,050	<0,050	0,96	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Hidrocarburos	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Hierro en agua	mg /L	0,57	0,174	0,105	0,093	0,499	N.E	N.E	5,0	N.E
Huevos de Helmintos	N° org/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Litio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Magnesio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Manganeso en agua	mg /L	0,147	0,083	0,127	0,079	0,071	N.E	N.E	0,2	N.E
Material flotante	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	N.E	N.E	N.E	N.E
Molibdeno en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,022	N.E	N.E	N.E	N.E
Niquel en agua	mg /L	<0,010	0,036	0,035	0,032	<0,010	N.E	N.E	N.E	N.E
Nitrato	mg N-NO3/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	10	10	N.E	N.E
Nitritos	mg N- NO2/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,0	1,0	N.E	10
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH3/L	<1,00	1,49	1,8	1,96	3,37	N.E	N.E	N.E	N.E
Oxígeno Disuelto	mg/L - O2	2,12	3,83	4,06	3,33	5,7	N.E	N.E	N.E	N.E
pH	Unidades de pH	5,77	5,22	5,16	5,36	5,23	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0	N.E
Plomo en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	5	0,1

PARÁMETRO	UNIDAD	POZOS MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)					LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		P01	P06	P07	P10	P11	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37255	M37616	M37614	M37631	M37796				
Porcentaje de sodio intercambiable	%	0,07	2,35	3,17	1,41	0,24	N.E	N.E	N.E	N.E
Potasio en agua	mg /L	<1,00	1,872	1,639	4,595	3,678	N.E	N.E	N.E	N.E
RAS	-	0,14	0,23	0,43	0,23	0	N.E	N.E	N.E	N.E
Selenio en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	0,01	0,02	N.E
Sodio en agua	mg /L	<1,00	8,712	9,931	4,843	1,177	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	12	45	52	46	41	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Suspendidos Totales	mg /L	<10,00	<10,00	12	42	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Totales	mg /L	15	46	64	88	46	N.E	N.E	N.E	N.E
Sulfato	mg/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	400	400	N.E	N.E
Temperatura	°C	26,14	25,96	26,56	26,69	27,66	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	NTU	2,3	<2,00	5,4	80	<2,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	JTU	0,12	<0,105	0,28	4,27	<0,105	N.E	10	N.E	N.E
Vanadio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Zinc en agua	mg /L	0,085	0,043	0,037	0,033	<0,010	15,0	15,0	2,0	25

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 4.2-19 Calidad de agua de los piezómetros monitoreados

PARÁMETRO	UNIDAD	PIEZÓMETROS MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)			LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		Pz02	Pz09	Pz15	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37620	M37672	M37619				
Aceites y grasas	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Acidez	mg CaCO3/L	23,89	33,32	24,72	N.E	N.E	N.E	N.E
Alcalinidad	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Aluminio en agua	mg /L	0,326	0,275	0,231	N.E	N.E	5	5
Amonio	mgN-NH4+/L	1,61	2,32	1,66	N.E	N.E	N.E	N.E
Arsénico en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	1,0	1,0	N.E	N.E
Berilio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Bicarbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Boro en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Cadmio en agua	mg /L	<0,003	<0,003	<0,003	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Carbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Cloruros	mg Cl -/L	27,69	<8,00	<8,00	250	250	N.E	N.E
Cobalto en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Coliformes Termotolerantes (Fecales)	NMP/100 mL	9,8	31,2	18,7	2000	N.E	1000	N.E
Coliformes Totales (NMP)	NMP/100 mL	28	52	31,2	20000	1000	5000	N.E
Conductividad	µS/cm	121	55	67	N.E	N.E	N.E	N.E
Cromo en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	0,05	0,1	1
Demanda Bioquimica de Oxígeno (DBO)	mg /L	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Demanda Quimica de Oxigeno (DQO)	mg O2/L	<36,00	<36,00	<36,00	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDAD	PIEZÓMETROS MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)			LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		Pz02	Pz09	Pz15	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37620	M37672	M37619				
Dureza Total	mg CaCO3 /L	<7,00	<7,00	<7,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Escherichia Coli (NMP)	NMP/100mL	4	11	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	N.E	N.E	N.E	N.E
Fósforo Ácido Hidrolizable Total	mg P-PO4/L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Hidrocarburos	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Hierro en agua	mg /L	0,632	0,553	0,118	N.E	N.E	5,0	N.E
Huevos de Helmintos	N° org/L	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Litio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Magnesio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Manganeso en agua	mg /L	0,115	0,165	0,135	N.E	N.E	0,2	N.E
Material flotante	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	N.E	N.E	N.E	N.E
Molibdeno en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	N.E	N.E	N.E	N.E
Niquel en agua	mg /L	0,034	0,041	0,041	N.E	N.E	N.E	N.E
Nitrato	mg N-NO3/L	<1,00	<1,00	<1,00	10	10	N.E	N.E
Nitritos	mg N- NO2/L	<0,01	<0,01	<0,01	1,0	1,0	N.E	10
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH3/L	1,52	2,19	1,57	N.E	N.E	N.E	N.E
Oxígeno Disuelto	mg/L - O2	2,51	3,16	3,22	N.E	N.E	N.E	N.E
pH	Unidades de pH	5,23	5,87	5,37	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0	N.E
Plomo en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	5	0,1
Porcentaje de sodio intercambiable	%	6,6	1,64	2,26	N.E	N.E	N.E	N.E
Potasio en agua	mg /L	1,408	1,221	1,411	N.E	N.E	N.E	N.E
RAS	-	3,98	0,45	0,41	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDAD	PIEZÓMETROS MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)			LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		Pz02	Pz09	Pz15	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37620	M37672	M37619				
Selenio en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	0,01	0,02	N.E
Sodio en agua	mg /L	22,958	5,273	7,591	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	84	33	40	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Suspendidos Totales	mg /L	107	39	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Totales	mg /L	191	72	44	N.E	N.E	N.E	N.E
Sulfato	mg/L	10,73	<10,00	<10,00	400	400	N.E	N.E
Temperatura	°C	27,08	26,09	27,07	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	NTU	140	31	2,3	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	JTU	7,2	1,65	0,12	N.E	10	N.E	N.E
Vanadio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Zinc en agua	mg /L	0,033	<0,010	0,046	15,0	15,0	2,0	25

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

A continuación, se presenta la caracterización hidrogeoquímica de los veintisiete (27) puntos de agua subterránea que captan la unidad hidrogeológica A3, para la cual se graficaron los resultados obtenidos en dichas muestras en los diagramas de Stiff, Piper y Mifflin, separados según el tipo de punto al que corresponde cada muestra, de manera que se pueda diferenciar si existen patrones diferentes entre ellos que evidencien un comportamiento característico según la profundidad de captación.

- **Diagramas de Stiff**

A continuación, se presentan los diagramas de Stiff en los cuales se agruparon las muestras de agua subterránea analizadas según el tipo de punto hidrogeológico en el que fueron recolectadas: aljibes (12), manantiales (7), pozos (4) y piezómetros (3).

Para la construcción de los diagramas de Stiff, las concentraciones iónicas que reportaron ser inferiores al límite mínimo de detección de los métodos analíticos empleados por el laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor de dicho límite, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002).

- ✓ Aljibes

Dentro de los 30 puntos de agua subterránea monitoreados para llevar a cabo la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea en el área de influencia, catorce (14) corresponden a aljibes que permiten caracterizar los niveles acuíferos someros de la unidad hidrogeológica A3 ubicados entre la superficie y los 12 metros de profundidad, ya que en este rango de profundidad están perforados los aljibes analizados. En la Figura 4.2.2-33 se presentan los diagramas de Stiff realizados a partir de las concentraciones iónicas registradas en los 14 aljibes monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A3.

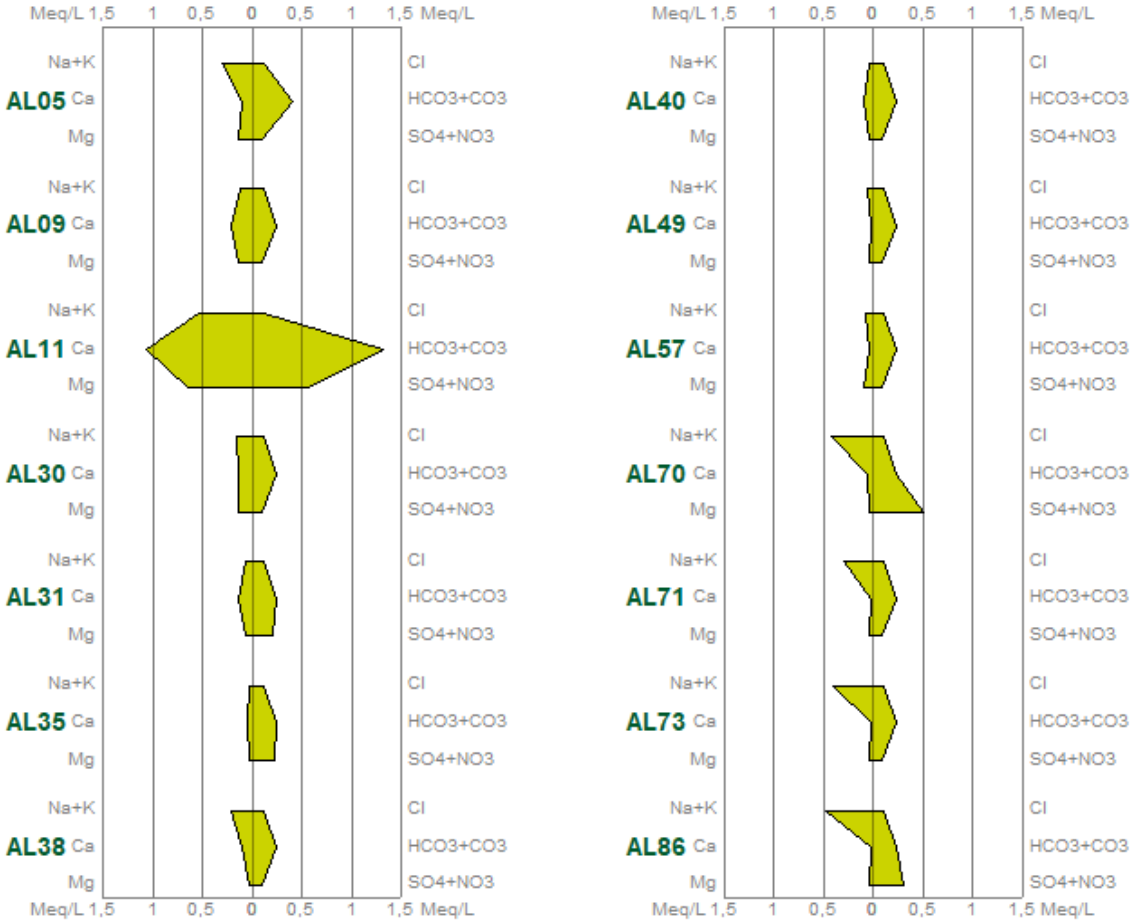


Figura 4.2.2-33 Diagramas de Stiff de los aljibes que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En la Figura 4.2.2-33 se observa que la mayoría de las muestras de agua subterránea recolectadas en los aljibes que captan la unidad hidrogeológica A3 presentan un ligero enriquecimiento en bicarbonatos y carbonatos, a excepción del aljibe AL86, cuyo enriquecimiento lo presenta en sulfatos, potasio y especialmente sodio.

La representación en los diagramas de Stiff de los iones mayoritarios reportados en los (14) aljibes monitoreados permite identificar distintos patrones químicos entre las aguas subterráneas almacenadas en estos aljibes, destacándose el aljibe AL70 que presenta un patrón químico diferente a los demás aljibes monitoreados, con predominio de los iones de sulfato y sodio y el aljibe AL11 que presenta un evidente enriquecimiento en bicarbonatos y calcio. Un patrón similar lo presentan los aljibes AL09, AL31 y AL40, con enriquecimiento en los iones de bicarbonato y calcio, pero con concentraciones notablemente menores a las reportadas en el aljibe AL11. Por otra parte, aljibes como AL49 y AL57 presentan un diagrama tipo flecha, con enriquecimiento en los iones de bicarbonatos, mientras que los AL05, AL38, AL71 y AL73 presentan una forma denominada “visto bueno hacia atrás”, el cual se caracteriza por presentar mayores concentraciones en los iones de sodio y/o potasio y en bicarbonatos, dándole esta forma característica de aguas jóvenes o de rápida recarga, con escasa interacción agua–roca.

En conjunto, los resultados muestran que, los aljibes analizados que captan la unidad hidrogeológica A3 presentan aguas de muy baja mineralización, de reciente infiltración o que reciben constantemente aporte de agua lluvia y, por esta razón, el contenido iónico es muy bajo, la mayoría por debajo del límite mínimo de detección del laboratorio, a excepción del aljibe AL11. Sin embargo, estos comportamientos no son homogéneos en toda el área de estudio, sino que varían según el aljibe evaluado, lo que sugiere variaciones locales en los procesos de interacción agua–roca, en el tiempo de residencia o en aportes puntuales de iones provenientes de las actividades antrópicas que se desarrollen en los alrededores de estos aljibes.

✓ Manantiales

Para llevar a cabo la caracterización hidrogeoquímica del nivel acuífero más somero que hace parte de la unidad hidrogeológica A3, se recolectaron muestras de agua subterránea en cinco (5) manantiales asociados a dicha unidad. En la Figura 4.2.2-34 se presentan los resultados obtenidos en los cinco (5) manantiales seleccionados para realizar el monitoreo hidrogeoquímico del agua subterránea almacenada en la unidad hidrogeológica A3.

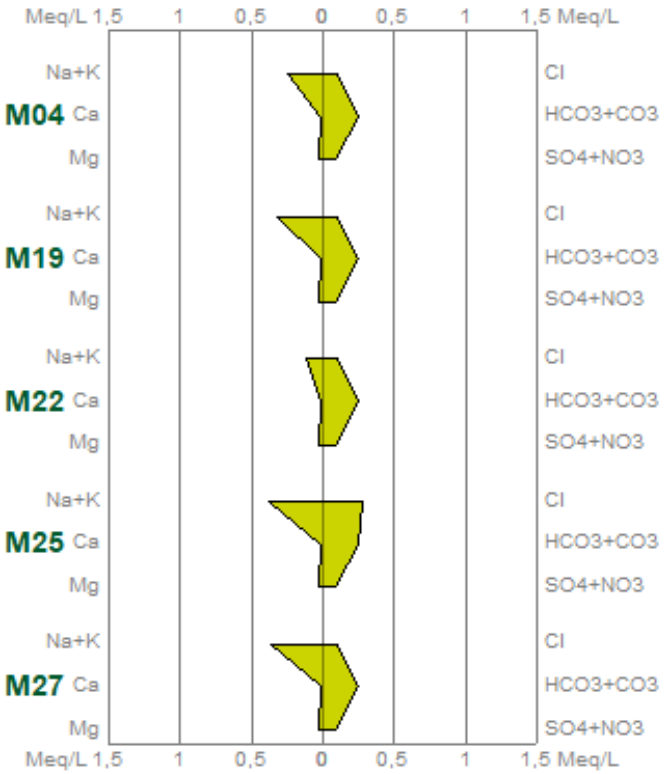


Figura 4.2.2-34 Diagramas de Stiff de los manantiales que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Tal como se presenta en la Figura 4.2.2-34, la mayoría de las muestras de agua subterránea recolectadas en los manantiales presentan un patrón hidroquímico tipo “visto bueno hacia atrás”, característico de aguas jóvenes con muy baja mineralización, donde predominan los iones de bicarbonato y sodio/potasio, pero con concentraciones inferiores a 0,5 meq/L.

Sin embargo, el manantial M25 presenta enriquecimiento en los iones de sodio y cloruros, en vez de bicarbonatos como se evidencia en los demás aljibes. Este comportamiento refleja una composición iónica diferente, probablemente asociada al aporte de cloruros provenientes de actividades

antrópicas que se desarrollen alrededor de este aljibe o a las técnicas de desinfección de aguas usadas, en las cuales algunos habitantes de la zona agregan pastillas o gotas de cloro directamente al aljibe con el fin de “desinfectar” el agua allí almacenada. Sin embargo, las concentraciones totales siguen siendo bajas, inferiores a 0,5 meq/L, lo que indica un grado de mineralización muy bajo.

✓ Pozos

En el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare se seleccionaron cinco (5) pozos captadores para realizar la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea. Entre estos pozos se tuvieron en cuenta tanto pozos profundos como someros, esto con el fin de caracterizar el agua subterránea almacenada a diferentes profundidades en la unidad hidrogeológica A3. En la Figura 4.2.2-35 se presentan los diagramas de Stiff construidos a partir de los resultados obtenidos en dichos pozos monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A3.

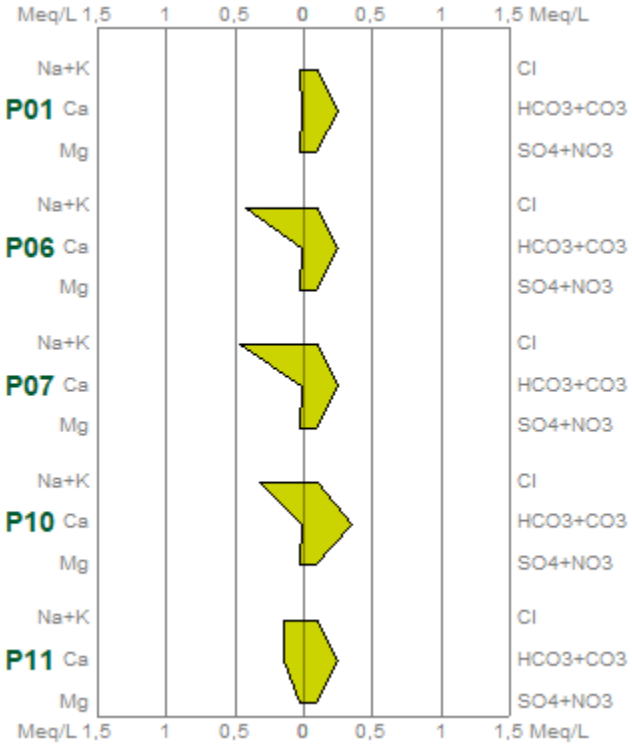


Figura 4.2.2-35 Diagramas de Stiff de los pozos que captan la unidad hidrogeológica A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Tal como se presenta en la Figura 4.2.2-35, todos los diagramas de Stiff correspondientes a los cinco (5) pozos monitoreados evidencian un predominio de bicarbonatos y carbonatos.

El pozo P01 presenta un patrón muy reducido, donde predominan los iones de bicarbonatos y carbonatos, con todos los iones mayoritarios graficados con concentraciones muy bajas, incluso inferiores al límite mínimo de detección del laboratorio. Esto indica aguas muy poco mineralizadas, posiblemente asociadas a recarga directa y una limitada interacción agua–roca. Por otro lado, el pozo P11 presenta un enriquecimiento en cationes como el calcio, sodio y potasio mientras que los aniones se mantuvieron todos por debajo del límite mínimo de detección del laboratorio. Finalmente, los pozos P06, P07 y P10 muestran un enriquecimiento en sodio y potasio, con un patrón tipo “visto

bueno hacia atrás", lo que sugiere la ocurrencia de procesos incipientes de intercambio iónico, aunque con baja mineralización.

En general, todos los pozos mantienen concentraciones menores a 0,5 meq/L, lo que confirma que se trata de aguas jóvenes, de rápida recarga y con limitada disolución de minerales. Estos presentan aguas dominadas por bicarbonatos, especialmente el pozo P10, típicas de sistemas de recarga reciente o con aporte constante de agua lluvia, lo que indica aguas de baja mineralización.

✓ Piezómetros

De los 30 puntos de agua subterránea seleccionados para realizar la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea en el área de influencia, tres (3) puntos corresponden a piezómetros o pozos de monitoreo, cuyas profundidades varían entre 10 a 12 metros aproximadamente. En la Figura 4.2.2-36 se presentan los diagramas de Stiff realizados para los tres (3) piezómetros monitoreados en el marco del presente Estudio de Impacto Ambiental.

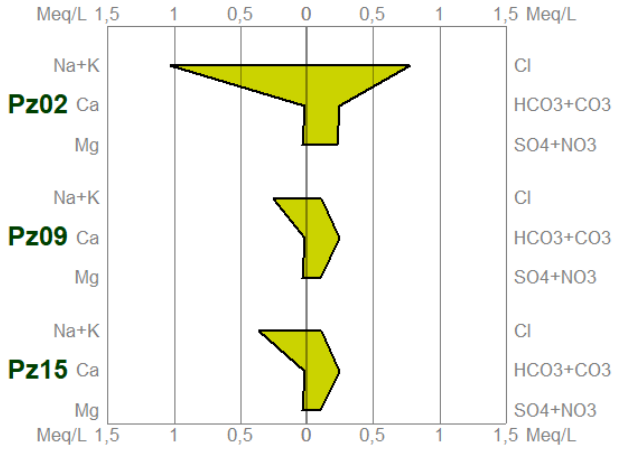


Figura 4.2.2-36 Diagramas de Stiff de los piezómetros que captan la unidad hidrogeológica A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

De acuerdo con lo presentado en la Figura 4.2.2-36, en los tres piezómetros analizados (Pz02, Pz09 y Pz15) se observa un ligero enriquecimiento en iones de bicarbonatos y carbonatos.

El piezómetro Pz02, muestra un fuerte enriquecimiento en sodio y potasio, y en menor proporción, en cloruros. Este patrón sugiere la presencia de procesos de intercambio iónico, donde el calcio y magnesio de la matriz rocosa son reemplazados por sodio. Por otra parte, los piezómetros Pz09 y Pz15 presentan también predominio de sodio y potasio, aunque con concentraciones inferiores a las reportadas en el piezómetro Pz02; y respecto a los aniones, el enriquecimiento en estos piezómetros se presenta en los carbonatos y bicarbonatos. Esto refuerza la idea de aguas de baja mineralización, con una ligera tendencia hacia procesos de intercambio catiónico.

Las concentraciones totales de iones son muy bajas menores 0,5 meq/L, lo cual refleja que estas aguas son jóvenes, de rápida recarga y con limitada interacción agua–roca, destacándose el piezómetro Pz02 al presentar las concentraciones más altas.

En conclusión, a partir de los diagramas de Stiff realizados para los puntos hidrogeológicos que captan la unidad hidrogeológica A3 (manantiales, piezómetros, pozos y aljibes) se puede observar

un predominio de facies cálcico-bicarbonatadas, donde el calcio (Ca) y los bicarbonatos (HCO_3 + CO_3) constituyen los iones mayoritarios con concentraciones más altas, lo que sugiere aguas de recarga meteórica reciente, con baja mineralización y limitada interacción agua-roca. En general, los diagramas son angostos, reflejando aguas jóvenes y de circulación rápida; sin embargo, en algunos puntos específicos, como el piezómetro Pz02 y ciertos pozos, se observa una mayor amplitud y ligeros enriquecimientos en sodio y potasio ($Na^+ + K^+$), lo cual indica procesos locales de intercambio iónico y una mayor evolución hidroquímica. En conjunto, los resultados permiten concluir que el sistema subterráneo presenta una composición química homogénea y de baja salinidad, con variaciones puntuales que reflejan algún aporte proveniente de actividades antrópicas que se desarrollan alrededor de determinados puntos de agua subterránea.

- **Diagramas de Piper**

Para la construcción de los diagramas de Piper, al igual que en los Diagramas de Stiff, se agruparon los puntos monitoreados según el tipo de punto hidrogeológico al que pertenecen (Pozos, aljibes, manantiales y/o piezómetros) y las concentraciones iónicas que reportaron ser inferiores al límite mínimo de detección del laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor de dicho límite, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002).

✓ Aljibes

En la Figura 4.2.2-37 se presenta el diagrama de Piper con las concentraciones iónicas registradas en los catorce (14) aljibes monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A3.

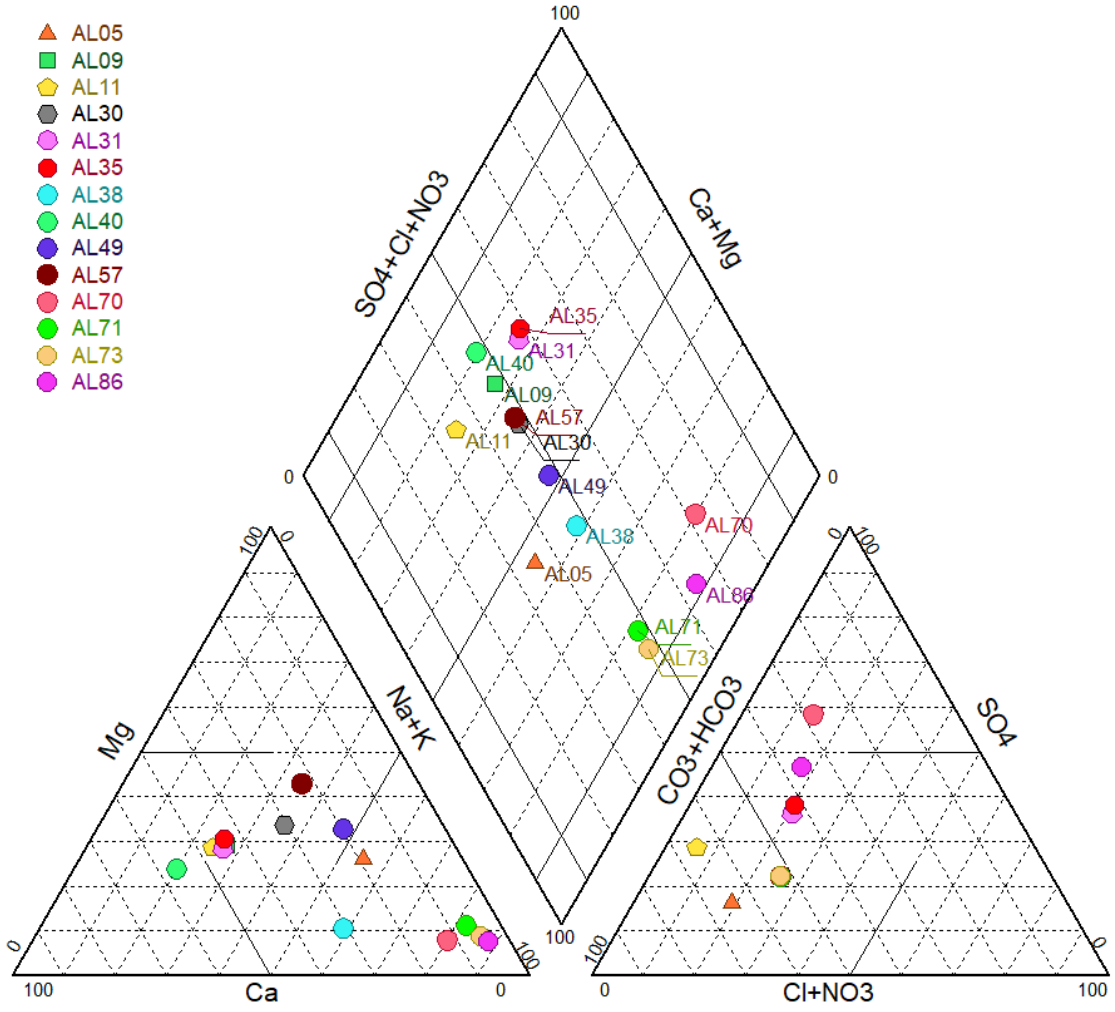


Figura 4.2.2-37 Diagramas de Piper de aljibes – Unidad hidrogeológica A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

La representación de los iones mayoritarios reportados para los aljibes monitoreados en el Diagrama de Piper permite evidenciar que las aguas subterráneas asociadas a la unidad hidrogeológica A3 presenta variaciones iónicas entre sí, las cuales están principalmente controladas por el aporte antrópico y actividades que se lleven a cabo en cercanías a estos aljibes. Sin embargo, en términos generales, se evidencian aguas con bajo contenido iónico que indican aguas de muy baja mineralización, (Figura 4.2.2-37) permitió diferenciar tres grupos hidroquímicos:

El aljibe AL11 es un agua bicarbonatada cálcica, mientras que el aljibe AL05 presenta aguas bicarbonatada potásica, mientras que los aljibes AL38, AL71 y AL73 ligero enriquecimiento sódico. Los aljibes AL70 y AL86, clasificados como sulfatados sódicos, con enriquecimiento relativo en sulfatos y sodio.

El otro grupo, compuesto por los aljibes AL05, AL38, AL71 y AL73, correspondientes a aguas bicarbonatadas sódico-potásicas. Mientras que el grupo 3, conformado por la mayoría de los aljibes muestreados, caracterizados como bicarbonatados cálcico-magnésicos, lo que sugiere una influencia dominante de procesos de disolución de carbonatos y aporte de materiales terrígenos.

En términos generales, la facies hidroquímica predominante en el área de estudio corresponde a aguas bicarbonatadas cálcico-magnésicas, mientras que las facies sulfatadas sódicas y bicarbonatadas sódico-potásicas se presentan de manera localizada, posiblemente asociadas a condiciones litológicas particulares o a procesos de recarga y circulación diferenciados.

✓ Manantiales

En la Figura 4.2.2-38 se presenta el diagrama de Piper con los resultados obtenidos en los cinco (5) manantiales seleccionados para realizar el monitoreo hidrogeoquímico del agua subterránea almacenada en la unidad hidrogeológica A3 dentro del marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

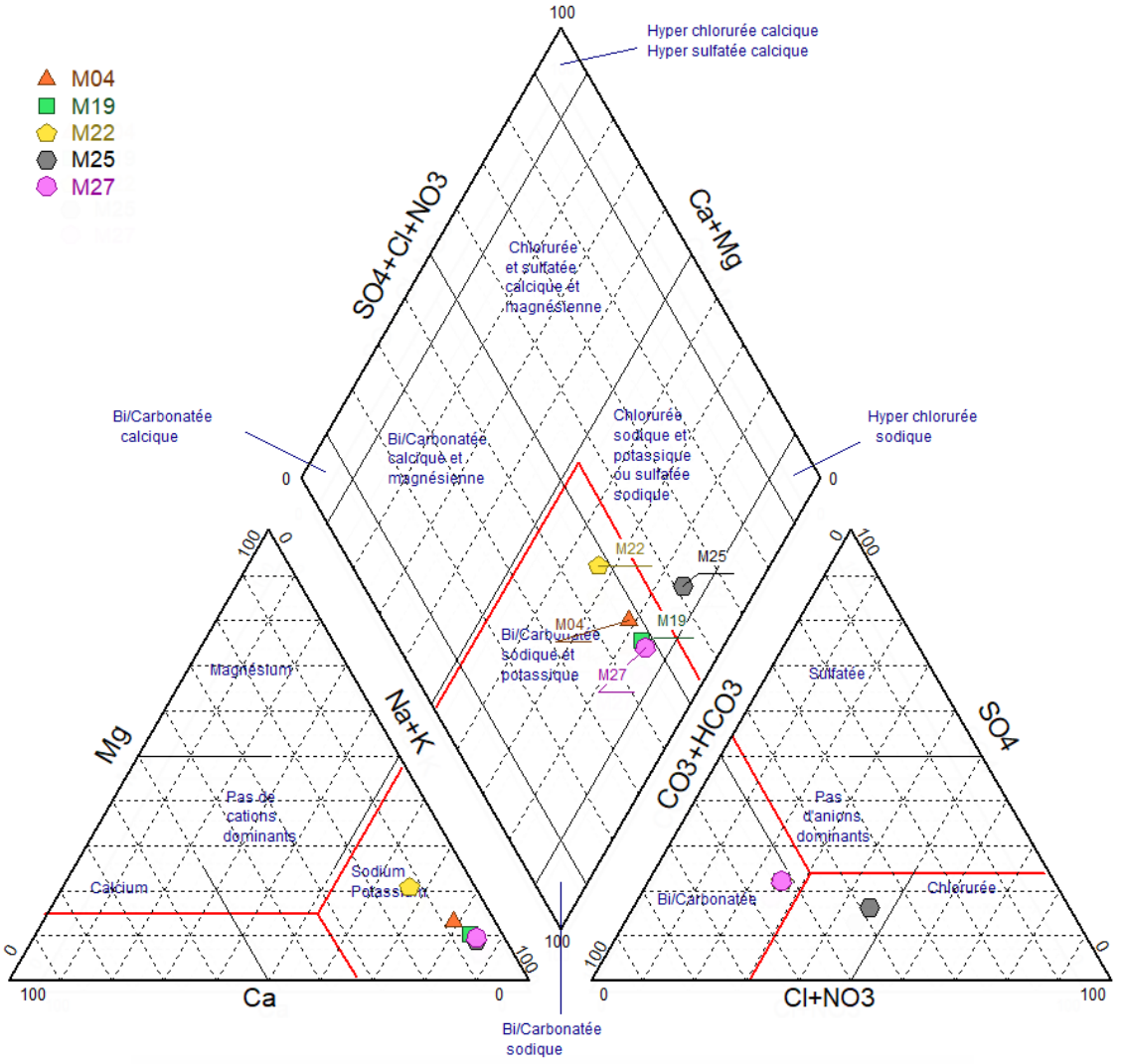


Figura 4.2.2-38 Diagramas de Piper – Manantiales que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Tras graficar en el Diagrama de Piper los resultados obtenidos en los manantiales (Figura 4.2.2-38), se puede observar que todos los manantiales analizados que captan la unidad hidrogeológica A3 presentan aguas de tipo bicarbonatadas sódico-potásicas, caracterizadas por un leve enriquecimiento en bicarbonatos, sodio y potasio.

✓ Pozos

En el diagrama de Piper se graficaron los resultados obtenidos en los cinco (5) pozos tanto profundos como someros distribuidos en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el área de Desarrollo Bucare (Figura 4.2.2-39).

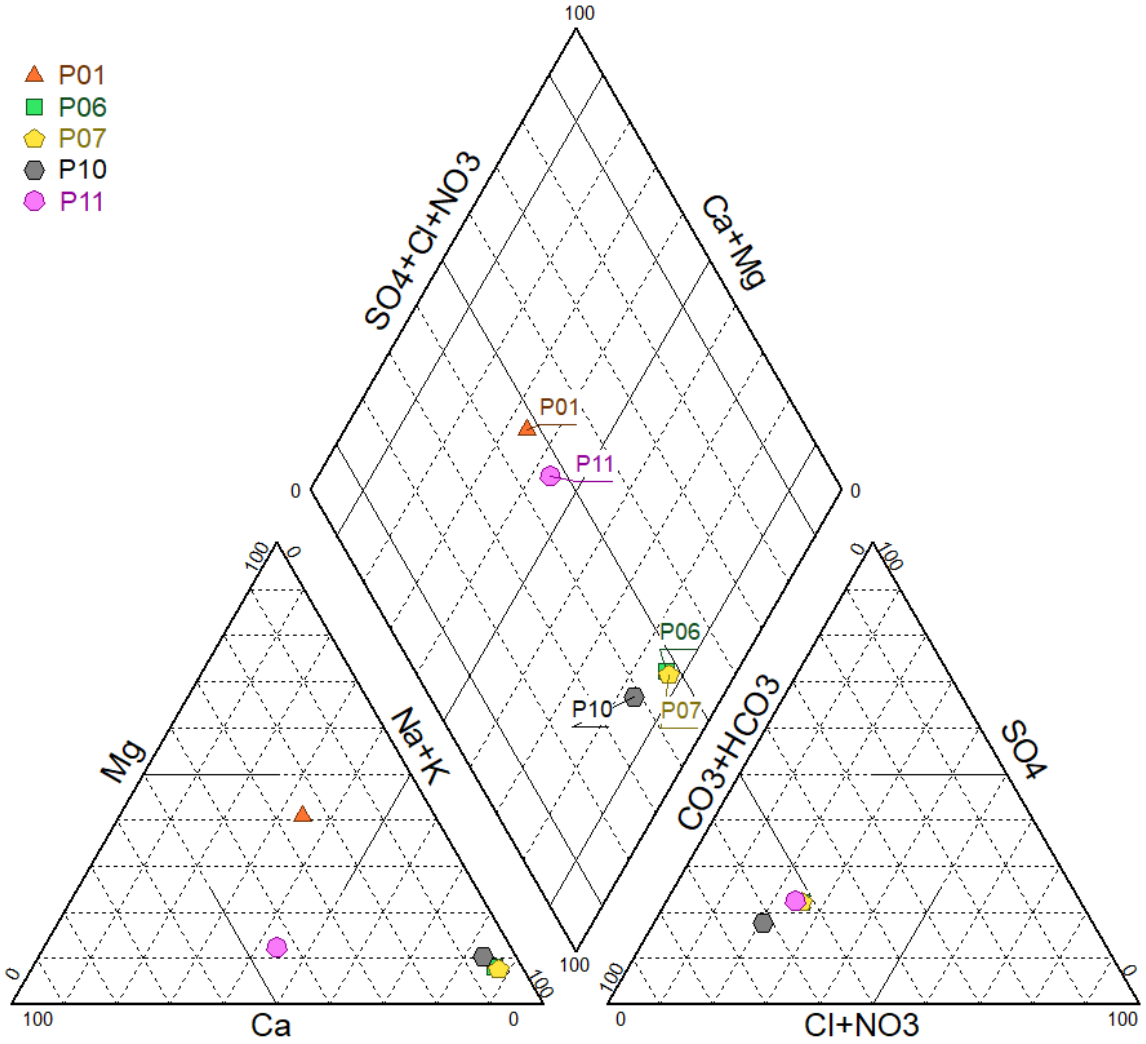


Figura 4.2.2-39 Diagramas de Piper – Pozos que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En la Figura 4.2.2-39 se pueden observar los resultados obtenidos en el Diagrama Piper para los cinco (5) pozos monitoreados, se evidencia que existen dos grupos: En el primer grupo se encuentran el pozo P01 y P11, los cuales presentan aguas Bicarbonatadas cálcico-magnésicas. Por otra parte, el segundo grupo presenta aguas que se caracterizan como aguas de tipo bicarbonatadas sódico-potásicas, lo que refleja un mayor intercambio iónico entre el calcio/magnesio y el sodio/potasio en el medio acuífero, probablemente vinculado a procesos de evolución hidroquímica más avanzada o a interacción con minerales arcillosos y feldespáticos.

En términos generales, los pozos presentan una predominancia de facies bicarbonatadas, con una diferenciación entre dominios cálcico-magnésicos y sódico-potásicos, lo que sugiere variaciones en

las condiciones de recarga, litología y grado de evolución de las aguas subterráneas dentro del área de estudio.

✓ Piezómetros

En la Figura 4.2.2-40 se presenta el diagrama de Piper construido a partir de las concentraciones iónicas registradas en los tres (3) piezómetros seleccionados para llevar a cabo la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea en el área de influencia.

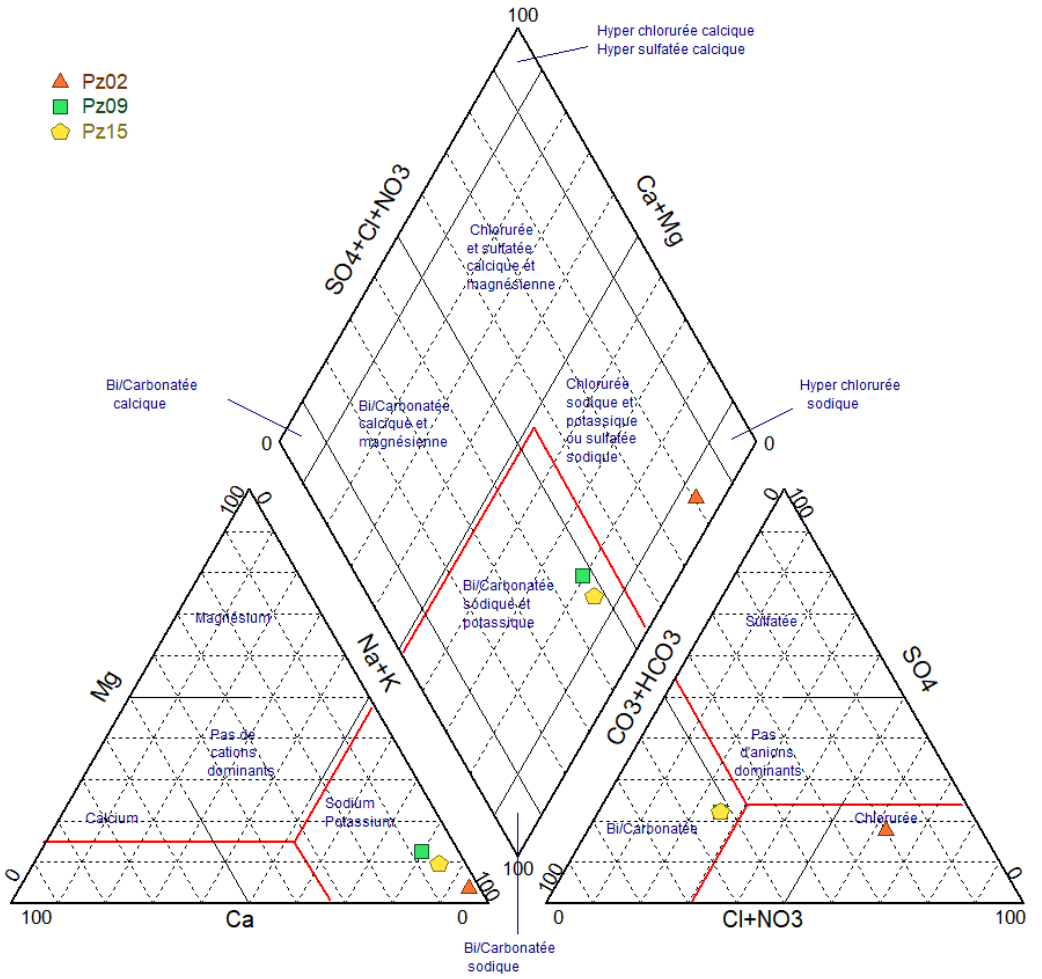


Figura 4.2.2-40 Diagramas de Piper – Piezómetros que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En la Figura 4.2.2-40 se presentan los resultados del Diagrama de Piper para los tres (3) piezómetros analizados. En todos los casos, las aguas se clasifican como bicarbonatadas sódico-potásicas, caracterizadas por un ligero enriquecimiento en sodio y potasio. Esta tendencia hidroquímica sugiere procesos de intercambio iónico entre cationes alcalinos (Na^+/K^+) y cationes alcalinotérreos (Ca^{2+}/Mg^{2+}), probablemente asociados a la interacción del agua con materiales arcillosos o feldespáticos en el acuífero.

En conclusión, en conjunto los Diagramas de Piper para aljibes, manantiales, pozos y piezómetros muestra que la facies hidroquímica predominante en el área corresponde a aguas bicarbonatadas, con dos tendencias principales: bicarbonatadas cálcico-magnésicas, asociadas a aljibes y algunos

pozos, representativas de aguas de recarga reciente y menor evolución hidroquímica; y bicarbonatadas sódico-potásicas, identificadas en manantiales, piezómetros y parte de los pozos, lo que indica un mayor grado de evolución e intercambio iónico con materiales arcillosos y feldespáticos. De manera puntual, se reconocen facies sulfatadas sódicas en algunos aljibes y cloruradas cálcicas en un manantial, evidenciando condiciones locales particulares de interacción agua-roca. En conjunto, los resultados reflejan una dominancia de procesos de disolución de carbonatos y evolución hacia facies sódico-potásicas, controlados por la litología y las condiciones de circulación subterránea en el área de estudio.

- **Diagramas de Mifflin**

Al igual que para la construcción de los diagramas anteriores, los valores de concentración que son inferiores al límite de detección del laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor del límite de detección, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002). Así mismo, la suma de cationes ($Na^+ + K^+$) y aniones ($Cl^- + SO_4$) se presenta en unidades de meq/L, en escala logarítmica.

- ✓ Aljibes

En la Figura 4.2.2-41 se presenta en el diagrama de Mifflin los resultados obtenidos en los quince (15) aljibes seleccionados para realizar el monitoreo hidrogeoquímico del agua subterránea en el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

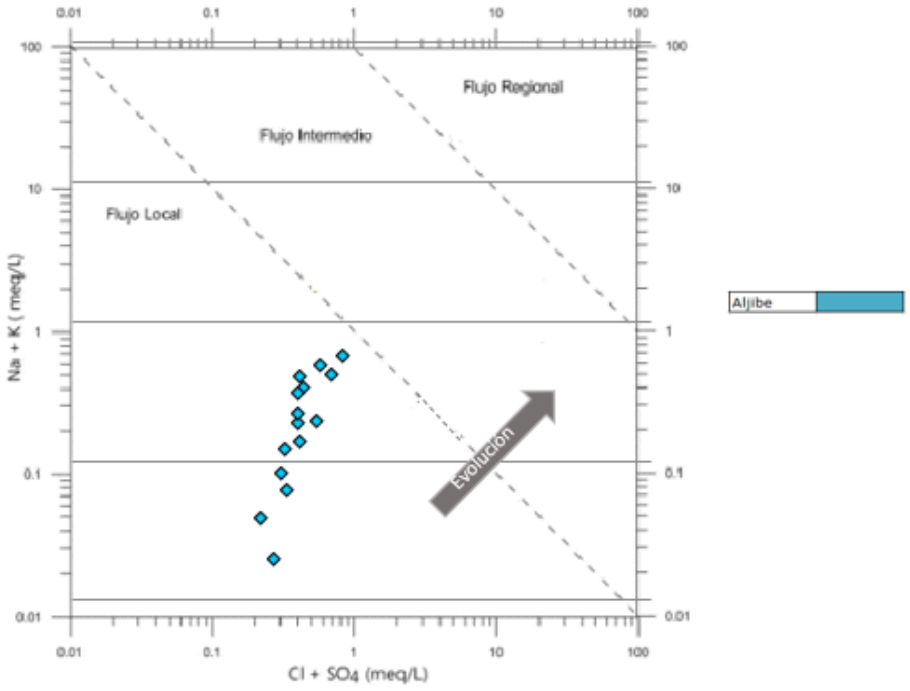


Figura 4.2.2-41 Diagrama de Mifflin – Aljibes que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En la Figura 4.2.2-41 se presentan los resultados del Diagrama de Mifflin para las muestras de agua subterránea recolectadas en los 15 aljibes monitoreados. Todas las muestras se ubican dentro del dominio de flujo local, aunque con una tendencia hacia el límite con el flujo intermedio, lo que indica la presencia de un ligero proceso de mineralización. Esta condición sugiere que las aguas han experimentado un tiempo de tránsito subterráneo relativamente mayor en comparación con aguas estrictamente locales, sin que ello implique que correspondan a aguas antiguas. Teniendo en cuenta

lo anterior, si bien presentan un grado de mineralización más elevado, este no resulta lo suficientemente significativo para asociarlo a tiempos de residencia prolongados, sino más bien a procesos de interacción agua-roca en trayectorias cortas a medias dentro del sistema acuífero.

✓ Manantiales

En la Figura 4.2.2-42 se presenta el diagrama de Mifflin con los resultados obtenidos en los siete (7) manantiales seleccionados para realizar el monitoreo hidrogeoquímico del agua subterránea en el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

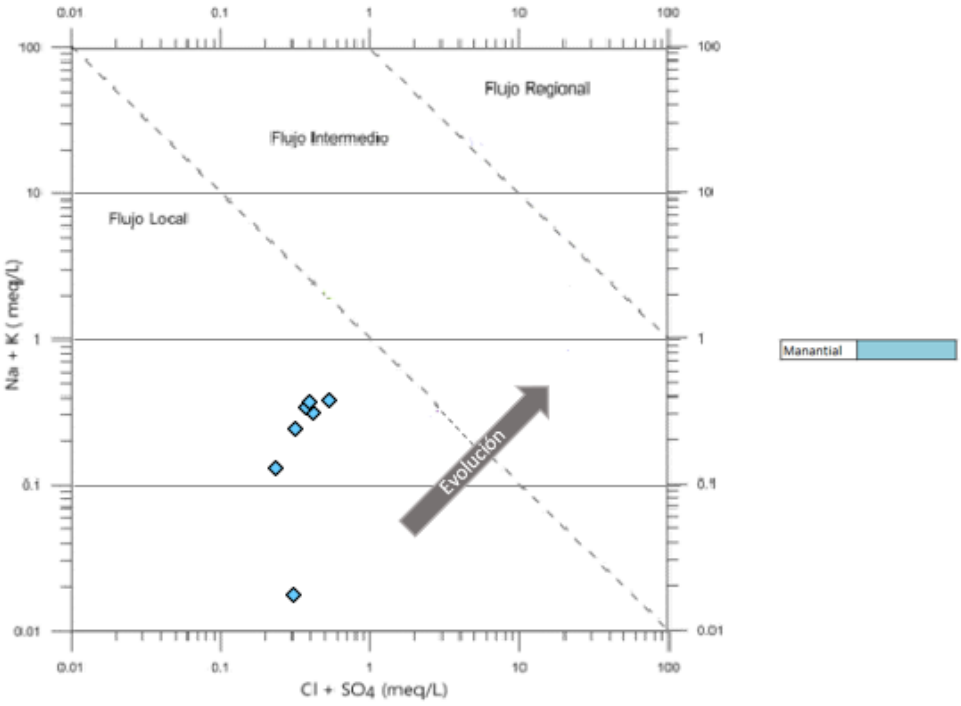


Figura 4.2.2-42 Diagrama de Mifflin – Manantiales que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En la Figura 4.2.2-42 se observa que todas las muestras de agua subterránea recolectadas en los manantiales se ubican en el dominio de flujo local, con ligera tendencia hacia el límite con el flujo intermedio. Esta distribución indica que se trata de aguas poco evolucionadas, asociadas a procesos de recarga reciente y tiempos de tránsito cortos en el subsuelo. A partir de lo anterior, se afirma que los manantiales muestreados presentan una constante renovación del recurso, producto de la interacción directa con aportes de agua lluvia y de escorrentía superficial. A diferencia de aljibes y pozos, los manantiales carecen de tapa, sello sanitario u otras barreras de protección, lo que facilita el ingreso directo de aguas superficiales. En consecuencia, estas muestras exhiben una menor mineralización y corresponden a aguas almacenadas en los niveles más someros del acuífero, lo cual explica su corta trayectoria y limitado grado de evolución hidrogeoquímica.

✓ Pozos

En la Figura 4.2.2-43 se presenta las concentraciones registradas para los iones (Cl + SO_4 y Na + K) en los cinco (5) pozos hidrogeológicos seleccionados para llevar a cabo la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea presente en el área de influencia.

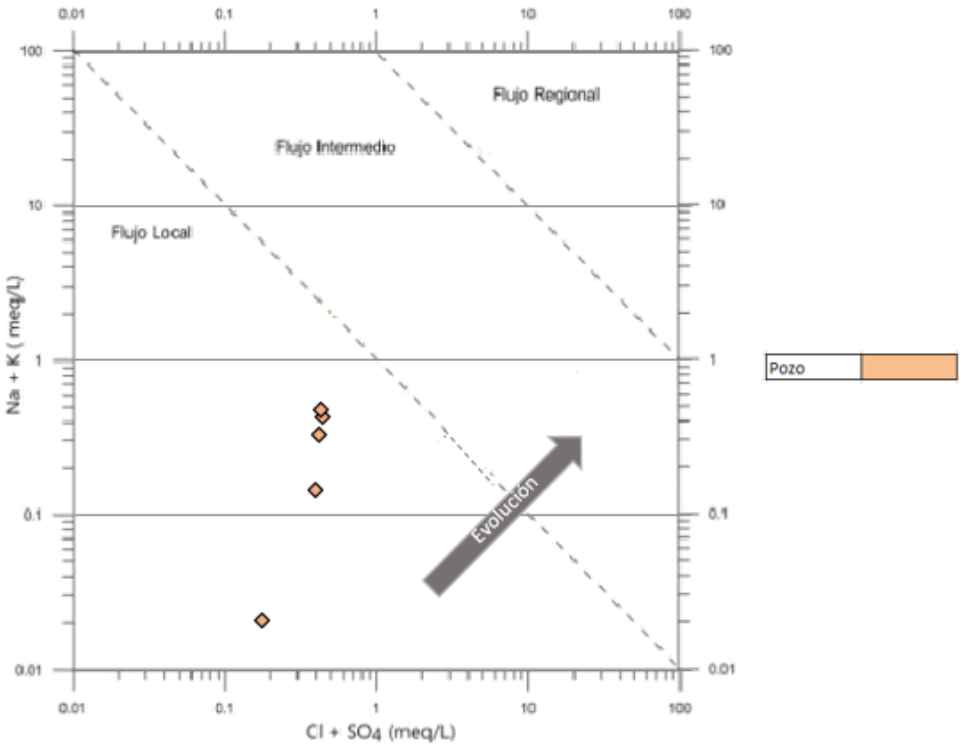


Figura 4.2.2-43 Diagrama de Mifflin – Pozos que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Como se puede observar en la Figura 4.2.2-43, las muestras de agua recolectadas en los cinco (5) pozos se ubican dentro del dominio de flujo local, aunque con indicios de un ligero proceso de mineralización. Esta condición refleja que se trata de aguas con un mayor tiempo de tránsito subterráneo en comparación con aquellas de recarga inmediata, lo que implica una interacción más prolongada con el medio acuífero sin que ello signifique necesariamente tiempos de residencia antiguos o una evolución hidrogeoquímica avanzada.

- ✓ Piezómetros

En la Figura 4.2.2-44 se presenta el diagrama de Mifflin con los resultados obtenidos en los tres (3) piezómetros seleccionados para llevar a cabo la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea presente en el área de influencia.

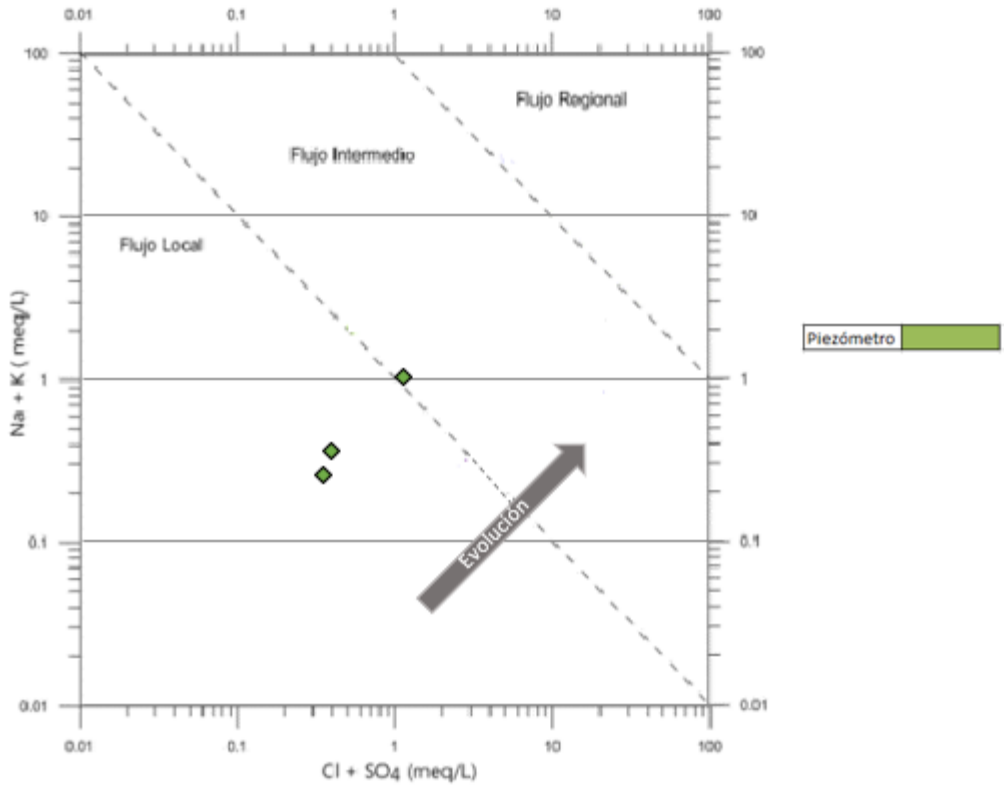


Figura 4.2.2-44 Diagrama de Mifflin – Piezómetros que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025.

En la Figura 4.2.2-44se observa que dos (2) de las muestras de agua subterránea analizadas se ubican en el dominio de flujo local, lo que indica que corresponden a aguas jóvenes, de reciente infiltración, asociadas a tiempos de tránsito cortos y a una constante renovación del acuífero. En contraste, la muestra correspondiente al piezómetro Pz02 se localiza en el dominio de flujo intermedio, lo cual sugiere un mayor tiempo de residencia subterránea y una composición química más evolucionada, producto de una interacción más prolongada con el medio geológico.

A continuación, se presentan los diagramas de Stiff de las muestras de agua subterránea recolectadas en la unidad hidrogeológica A4.

Para la construcción de los diagramas hidroquímicos, las concentraciones iónicas que reportaron las unidades A4 al ser inferiores al límite mínimo de detección de los métodos analíticos empleados por el laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor de dicho límite, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002).

- **Diagramas de Stiff**

Dentro de los 30 puntos de agua subterránea monitoreados para llevar a cabo la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea en el área de influencia, se seleccionaron tres (3) aljibes, los cuales permiten caracterizar los niveles acuíferos someros de la unidad hidrogeológica A4, los cuales captan desde la superficie hasta los 8 metros de profundidad. En la Figura 4.2.2-45 se presentan los diagramas de Stiff realizados a partir de las concentraciones iónicas registradas en los 3 aljibes monitoreados en el presente proyecto.

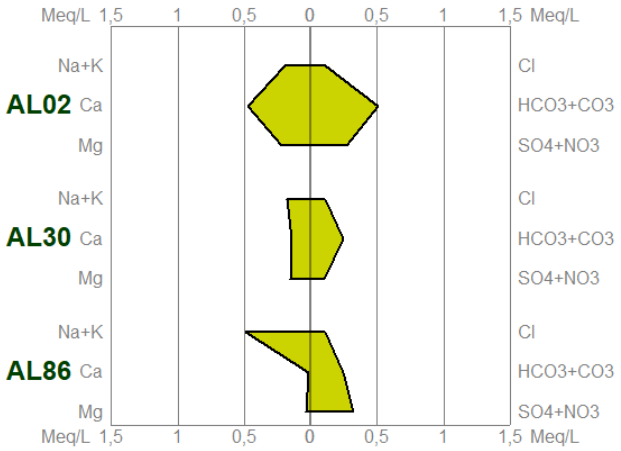


Figura 4.2.2-45 Diagramas de Stiff - Aljibes que captan la unidad A4
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Se observa que la mayoría de las muestras de agua subterránea recolectadas en los aljibes que captan la unidad hidrogeológica A4 permite identificar distintos patrones químicos. Estos patrones se diferencian por el enriquecimiento relativo en determinados iones, aunque en casi todos los casos las concentraciones iónicas totales son bajas, con valores que no superan los 0,5 meq/L, lo que refleja un bajo grado de mineralización del agua subterránea en la zona de estudio.

- **Diagramas de Piper**

En la Figura 4.2.2-46 se presenta el diagrama de Piper con las concentraciones iónicas registradas en los tres (3) aljibes monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A4.

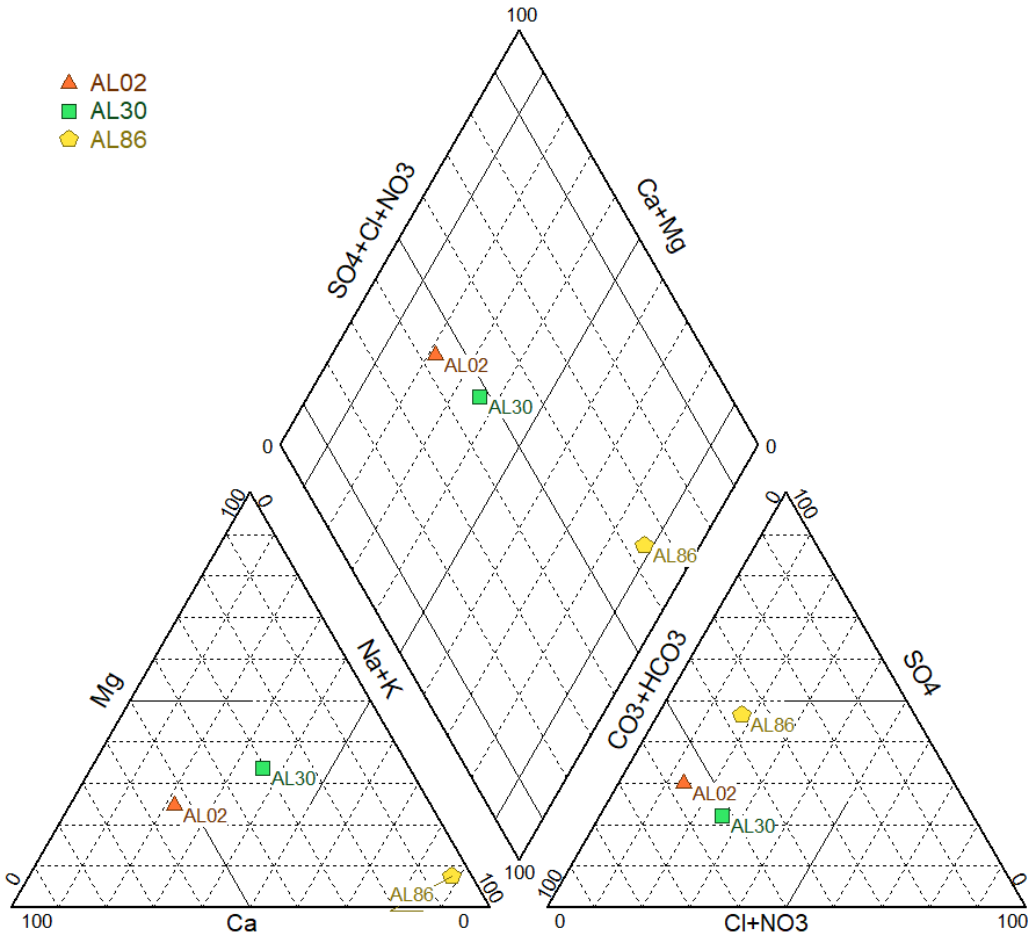


Figura 4.2.2-46 Diagramas de Piper – Aljibes que captan la unidad A4
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Como se evidencia en la Figura 4.2.2-46, los aljibes monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A4 presentan aguas bicarbonatadas cálcicas para los aljibes AL02 y AL30 mientras que el aljibe AL86 presenta aguas sulfatadas sódicas. Sin embargo, es importante mencionar que todas las aguas de los aljibes analizados son aguas consideradas jóvenes, de reciente infiltración al subsuelo y, por ende, con muy bajo contenido iónico.

- **Diagramas de Mifflin**

Al igual que para la construcción de los diagramas anteriores, los valores de concentración que son inferiores al límite de detección del laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor del límite de detección, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002). Así mismo, la suma de cationes (Na^++ K^+) y aniones (Cl^- + SO_4) se presenta en unidades de meq/L, en escala logarítmica.

En la Figura 4.2.2-47 se presenta el diagrama de Mifflin con las concentraciones iónicas registradas en los tres aljibes monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A4.

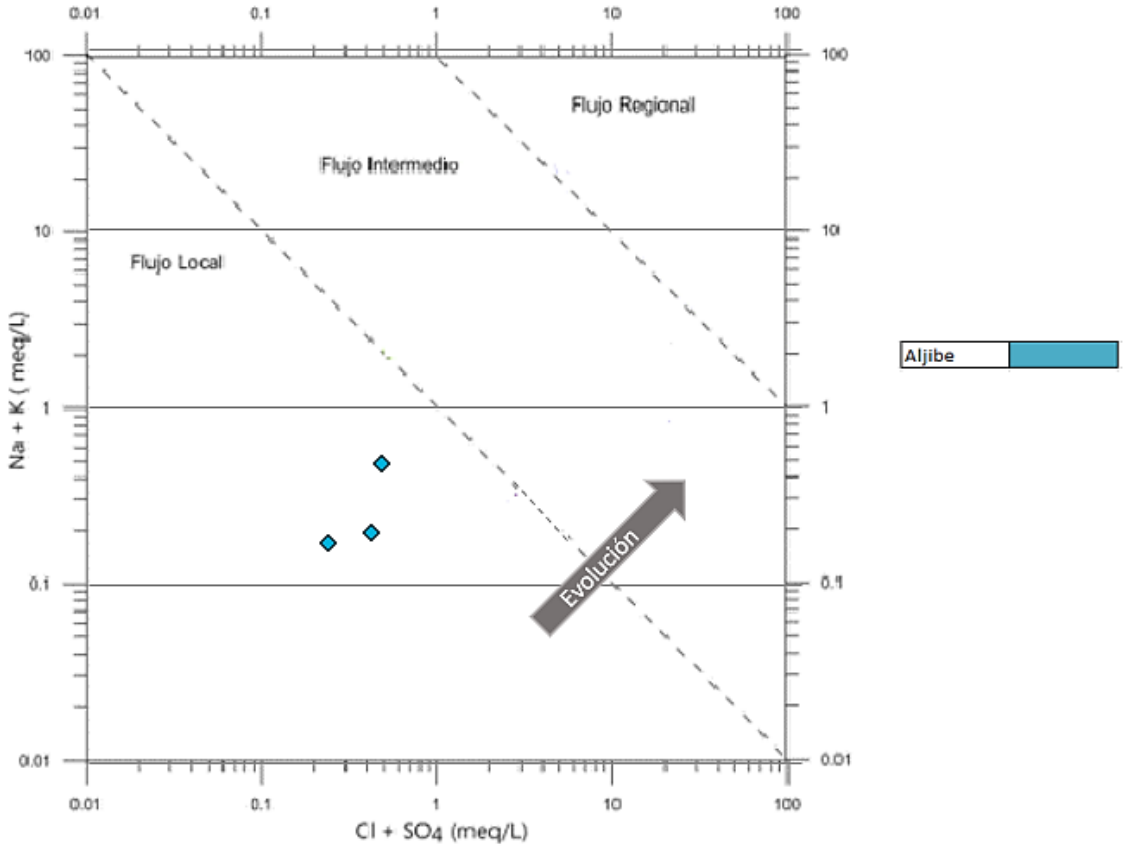


Figura 4.2.2-47 Diagrama de Mifflin – Aljibes unidad hidrogeológica A4
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Como se evidencia en laFigura 4.2.2-47, los tres (3) aljibes monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A4 se ubican dentro del dominio correspondiente al flujo local, lo cual indica que el agua subterránea almacenada en esta unidad corresponde a aguas jóvenes, asociadas a procesos de recarga reciente a partir de la infiltración directa desde superficie. Esta condición explica la baja mineralización observada en las muestras analizadas, característica típica de aguas con tiempos de residencia cortos y escasa interacción agua–roca.

Dentro de esta unidad hidrogeológica, el aljibe AL86 se localiza ligeramente más próximo a la línea de flujo intermedio, lo que sugiere una mayor evolución hidrogeoquímica en comparación con las demás muestras. No obstante, este comportamiento no necesariamente implica un mayor tiempo de tránsito subterráneo, sino que parece estar asociado a un leve enriquecimiento en los iones sodio (Na^+) y sulfato (SO_4^{2-}) respecto a los otros aljibes evaluados. Dicho enriquecimiento podría relacionarse con aportes externos de origen antrópico presentes en el entorno, tales como actividades agrícolas, uso de insumos químicos o modificaciones en el uso del suelo, más que a procesos naturales de evolución hidrogeoquímica en profundidad.

4.2.2.6 Caracterización fisico química y microbiológica de las aguas subterráneas con información secundaria

Para complementar la información primaria disponible respecto a la calidad del agua subterránea, al igual que para la caracterización hidrogeoquímica, se tomaron como referencia los resultados de los monitoreos realizados en los meses de febrero y marzo en cuatro (4) pozos profundos para captación

de agua subterránea adjudicados a Ecopetrol S.A. Estos pozos captan el Miembro Superior de la Formación Guayabo, permitiendo su caracterización y la determinación de la calidad del agua subterránea almacenada en estos niveles acuíferos

En la Figura 4.2.2-48 se puede observar la ubicación y distribución espacial de los cuatro (4) pozos de agua subterránea monitoreados y que conforman la información secundaria del año 2024 para la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

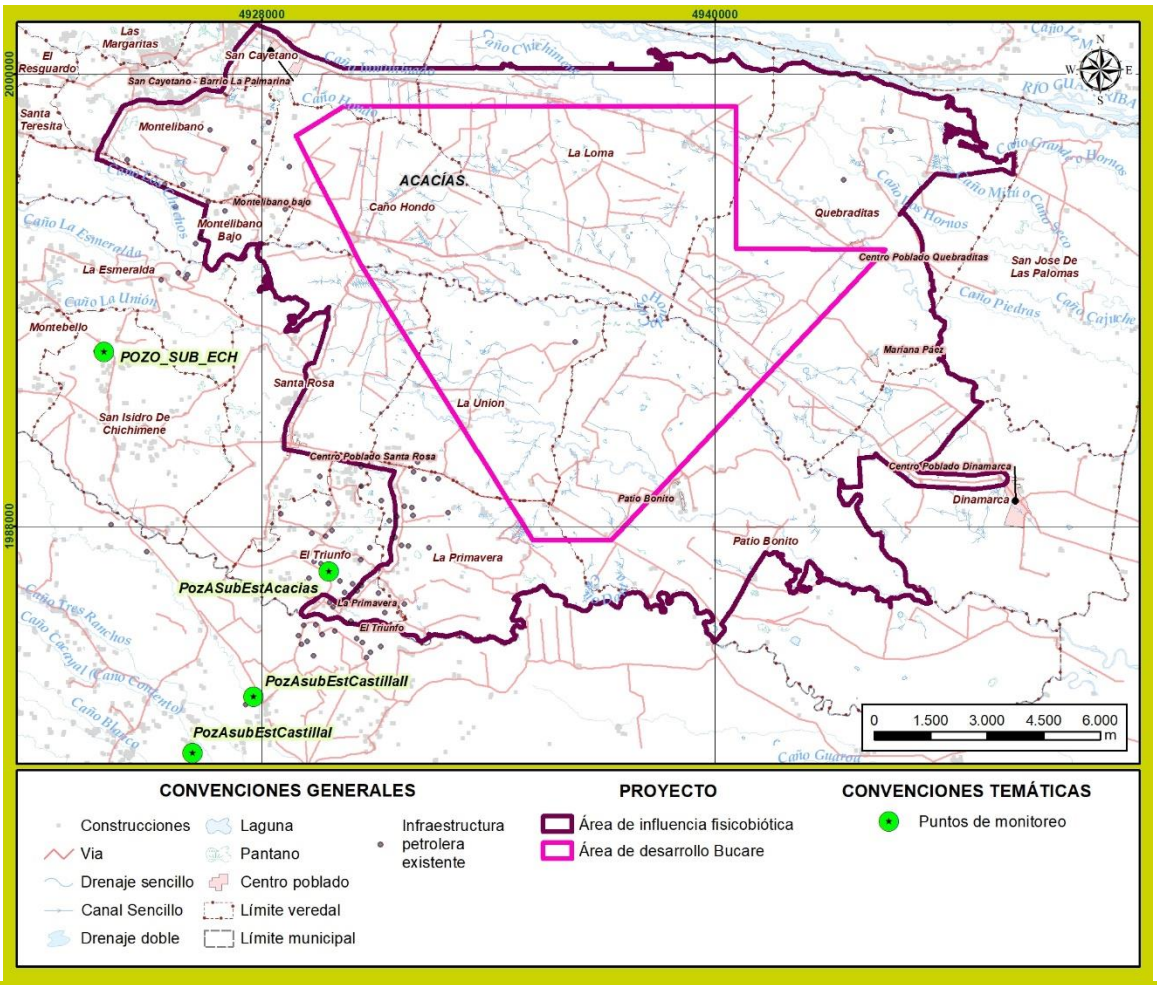


Figura 4.2.2-48 Ubicación pozos monitoreados – Información secundaria
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En cada uno de estos puntos se realizó un análisis de los resultados obtenidos y se compararon con respecto a los usos establecidos por los Artículos 2.2.3.3.9.3 (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo), Art. 2.2.3.3.9.4 (desinfección y criterios de calidad consumo humano y domestico), Art. 2.2.3.3.9.5 (Uso Agrícola) y Art. 2.2.3.3.9.6 (Pecuario) del Decreto único reglamentario 1076 de 2015, que especifica los límites normativos del agua según sus usos. La toma de las muestras y los ensayos analíticos fueron llevados a cabo por el laboratorio Chemilab en los meses de febrero y marzo de 2024.

En la T**abla** 4.2-20 se muestran los resultados del monitoreo de los meses de febrero y marzo realizado en los cuatro (4) pozos, así como su análisis con los límites establecidos en los Artículos

2.2.3.3.9.3 (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo), Art. 2.2.3.3.9.4 (desinfección y criterios de calidad consumo humano y domestico), Art. 2.2.3.3.9.5 (Uso Agrícola) y Art. 2.2.3.3.9.6 (Pecuario) del Decreto único reglamentario 1076 de 2015.

Tabla 4.2-20 Resultados calidad de agua información secundaria de cuatro (4) pozos de agua subterránea - febrero y marzo 2024

PARÁMETRO	UNIDADES	PUNTOS DE MONITOREO				DECRETO 1076 DE 2015			
		Pozo Subestación Castilla I	Pozo Subestación Castilla II	Pozo Subestación Acacias	Pozo Subestación Chichimene				
		22/03/2024	23/03/2024	7/03/2024	5/02/2024				
		MN434886	MN435085	MN431457	MN424358	Artículo 2.2.3.3.9.3.	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5.	Artículo 2.2.3.3.9.6
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO3	79,6	68,8	-	80,3	N.E	N.E	N.E	N.E
ALUMINIO	mg Al/L	<1	<1	-	<1	N.E	N.E	5	5
ANTIMONIO	mg Sb/L	<0,0025	<0,0025	-	<0,0025	N.E	N.E	N.E	N.E
ARSÉNICO	mg As/L	<0,0025	<0,0025	-	<0,0025	0,05	0,05	0,1	0,2
BARIO	mg Ba/L	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1	1	N.E	N.E
BICARBONATO	mg/L CaCO3	79,6	68,8	96,8	80,3	N.E	N.E	N.E	N.E
CADMIO	mg Cd/L	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	0,01	0,01	0,01	0,05
CALCIO	mg Ca/L	8,7	5,59	10,2	8,07	N.E	N.E	N.E	N.E
CARBONATO	mg CO_3^{2-}/L	<6,04	<6,04	<6,04	<6,04	N.E	N.E	N.E	N.E
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	mg/L	<0,5	<0,5	<0,5	1,61	N.E	N.E	N.E	N.E
CIANURO DISUELTO	mg CN/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	N.E	0,2	N.E	N.E
CIANURO LIBRE	mg CN/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	N.E	N.E	N.E	N.E
CLORUROS	mg/L	<9,9	<9,9	<9,9	<9,9	250	250	N.E	N.E
COBRE	mg Cu/L	0,309	<0,001	<0,001	<0,001	1	1	0,2	0,5
COLIFORMES FECALES	NMP/100mL	<1	<1	<1	<1	2000	N.E	1000	N.E
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	22,8	8,6	11	16	20000	1000	5000	N.E
COLOR	UPC	5	50	10	20	75	20	N.E	N.E
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	159	148	72,8	156	N.E	N.E	N.E	N.E
CROMO HEXAVALANTE	mg Cr/L	<0,04	<0,04	-		N.E	N.E	N.E	N.E
CROMO	mg Cr/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,05	0,05	0,1	1
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXÍGENO	mg/L	-	-	-	<2	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDADES	PUNTOS DE MONITOREO				DECRETO 1076 DE 2015			
		Pozo Subestación Castilla I	Pozo Subestación Castilla II	Pozo Subestación Acacias	Pozo Subestación Chichimene				
		22/03/2024	23/03/2024	7/03/2024	5/02/2024				
		MN434886	MN435085	MN431457	MN424358	Artículo 2.2.3.3.9.3.	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5.	Artículo 2.2.3.3.9.6
DUREZA TOTAL DE LA DESCARGA	mg/L	-	-	-	63,3	N.E	N.E	N.E	N.E
E. COLI	NMP/100 mL	<1	<1	<1	<1	N.E	N.E	N.E	N.E
FENOLES	mg/L	-	-	<0,1	_	N.E	N.E	N.E	N.E
ORTOFOSFATOS	mg/L	<0,07	0,107	<0,07	<0,07	N.E	N.E	N.E	N.E
ACEITES Y GRASAS	mg/L	<2	<2	<2	<2	S.P.V	S.P.V	N.E	N.E
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/L	<2	<2	<2	-	N.E	N.E	N.E	N.E
HIERRO	mg Fe/L	0,926	1,83	0,325	1,09	N.E	N.E	5	N.E
MAGNESIO	mg/L	3,99	3,19	6,38	8,13	N.E	N.E	N.E	N.E
MANGANESO	mg Mg/L	<0,1	0,124	<0,1	<0,1	N.E	N.E	0,2	N.E
MERCURIO	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	N.E	0,01
MOLIBDENO	mg Mo/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	N.E	N.E	0,01	N.E
NÍQUEL	mg Ni/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	N.E	N.E	0,2	N.E
NITRATO	mg/L	<1	<1	<1	<1	10	10	N.E	N.E
NITRITO	mg/L	<0,00608	0,228	<0,00608	0,0134	1	1	N.E	10
NITROGENO AMONIACAL	mg NH3-N/L	<1	<1	<1	<1	N.E	N.E	N.E	N.E
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	3,05	4,11	3,7	4,92	N.E	N.E	N.E	N.E
PH	Und pH	7,19	7,56	6,28	7,77	5,0-9,0	6,5-8,5	4,5-9,0	N.E
PLATA	mg Ag/L	<0,05	<0,05	-	-	0,05	0,05	N.E	N.E
PLOMO	mg Pb/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,05	0,05	5	0,1
POTASIO	mg K/L	3,71	3,86	4,88	3,48	N.E	N.E	N.E	N.E
SALINIDAD EQUIVALENTE	PSU	-	-	-	0,066	N.E	N.E	N.E	N.E
SELENIO	mg Se/L	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	0,01	0,01	0,02	N.E

PARÁMETRO	UNIDADES	PUNTOS DE MONITOREO				DECRETO 1076 DE 2015			
		Pozo Subestación Castilla I	Pozo Subestación Castilla II	Pozo Subestación Acacias	Pozo Subestación Chichimene				
		22/03/2024	23/03/2024	7/03/2024	5/02/2024				
		MN434886	MN435085	MN431457	MN424358	Artículo 2.2.3.3.9.3.	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5.	Artículo 2.2.3.3.9.6
SILICE DISUELTO	mg SiO_2/L	4,1	4,69	3,34	3,38	N.E	N.E	N.E	N.E
SODIO	mg Na/L	13	14,4	11,3	5,72	N.E	N.E	N.E	N.E
SÓLIDOS DISUELTOS	mg/L	70	70	100	70	N.E	N.E	N.E	N.E
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	-	-	-	<10	N.E	N.E	N.E	N.E
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	78	74	104	76	N.E	N.E	N.E	N.E
SULFATOS	mg/L	<5	<5	<5	<5	400	400	N.E	N.E
SURFACTANTES: ANIONICOS COMO SAAM	mg/L	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	N.E	N.E	N.E	N.E
TEMPERATURA	°C	27,2	27,7	28,2	26,3	N.E	N.E	N.E	N.E
TURBIDEZ	NTU	11	9	1,2	6,3	N.E	●190	N.E	N.E
ZINC	mg Zn/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	15	15	2	25

ART. 2.2.3.3.9.3: Consumo humano y doméstico cuando para su potabilización se requiere tratamiento convencional.

ART. 2.2.3.3.9.4: Consumo humano y doméstico cuando para su potabilización se requiere solo desinfección.

ART. 2.2.3.3.9.5: Criterios de calidad para uso agrícola.

ART. 2.2.3.3.9.6: Criterios de calidad para uso pecuario.

N.E: No Especificado en la normatividad en mención.

S.P.V: Sin película visible.

190 NTU= 10 UJT

Fuente: Chemilab S.A.S., 2024

A continuación, se presentan los resultados del análisis hidrogeoquimico obtenidos en los monitoreos realizados en los cuatro (4) pozos para captación de agua subterránea mencionados, los cuales son empleados como información secundaria en el presente proyecto.

Es importante aclarar que para realizar los diagramas de análisis hidrogeoquímico, los resultados que reportaron concentraciones inferiores al límite de detección del laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor del límite de detección, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002).

- **Diagrama de Stiff – Información secundaria**

A partir del monitoreo llevado a cabo durante el año 2024 por parte de Ecopetrol S.A., se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en los cuatro (4) pozos profundos monitoreados para establecer la línea base en cuanto a la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea.

En la Figura 4.2.2-49 se presenta el comportamiento hidrogeoquímico de los cuatro (4) pozos profundos para captación de agua subterránea de Ecopetrol S.A. los cuales fueron muestreados durante el mes febrero y marzo del 2024.

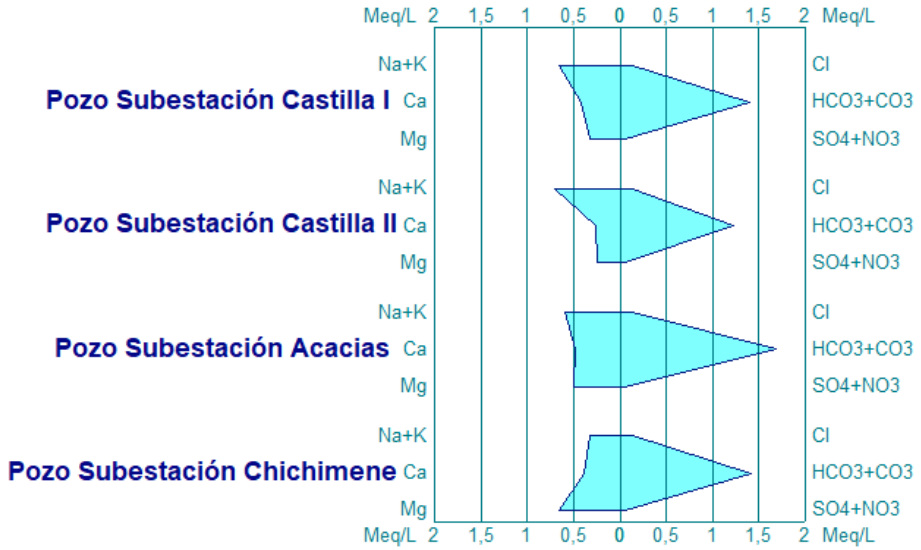


Figura 4.2.2-49 Diagrama de Stiff pozos profundos – Información secundaria
Fuente: SGI S.A.S, 2025

De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 4.2.2-49 , se evidencia que los cuatro (4) pozos profundos para captación de agua subterránea adjudicados a Ecopetrol S.A. que fueron analizados presentan un patrón “tipo flecha” donde predomina la concentración de bicarbonatos (HCO_3 + CO_3) y sodio-potasio (Na + K), a excepción del pozo Subestación Chichimene en el que en lugar de prevalecer la relación sodio-potasio (Na + K) presenta mayores mineralizaciones en los iones de magnesio. El comportamiento anterior es característico de aguas jóvenes almacenadas en el Miembro Inferior de la Formación Guayabo.

- **Diagrama de Piper – Información secundaria**

En la Figura 4.2.2-50Figura 4.2.2-50 se presenta el comportamiento hidrogeoquímico de las muestras de agua subterránea recolectadas en los cuatro (4) pozos profundos de Ecopetrol S.A., las cuales fueron monitoreadas en los meses de febrero y marzo de 2024.

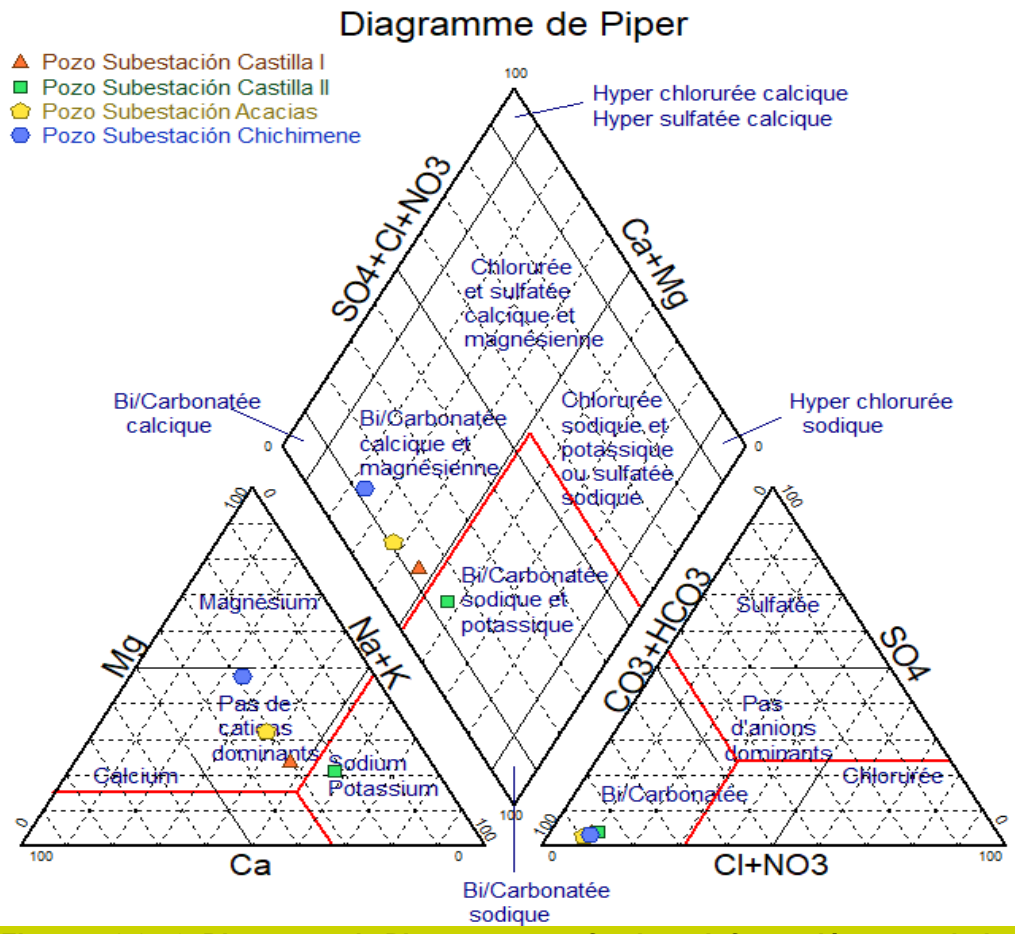


Figura 4.2.2-50 Diagramas de Piper pozos profundos – Información secundaria
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En laFigura 4.2.2-50 se evidencia que la muestra de agua tomada en el pozo de la subestación Chichimene presenta aguas bicarbonatadas sódico-potásicas, mientras que las demás muestras presentan aguas bicarbonatadas cálcico-magnésicas, características de aguas jóvenes.

- **Diagrama de Mifflin – Información secundaria**

Al igual que para la construcción de los diagramas anteriores, los valores de concentración que son inferiores al límite de detección del laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor del límite de detección, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002). Asimismo, la suma de cationes (Na^++ K^+) y aniones (Cl^- + SO_4) se presenta en unidades de meq/L, en escala logarítmica.

En la Figura 4.2.2-51 se representa el diagrama de Mifflin resultado del monitoreo realizado en los meses de febrero y marzo de 2024 a cuatro (4) pozos profundos.

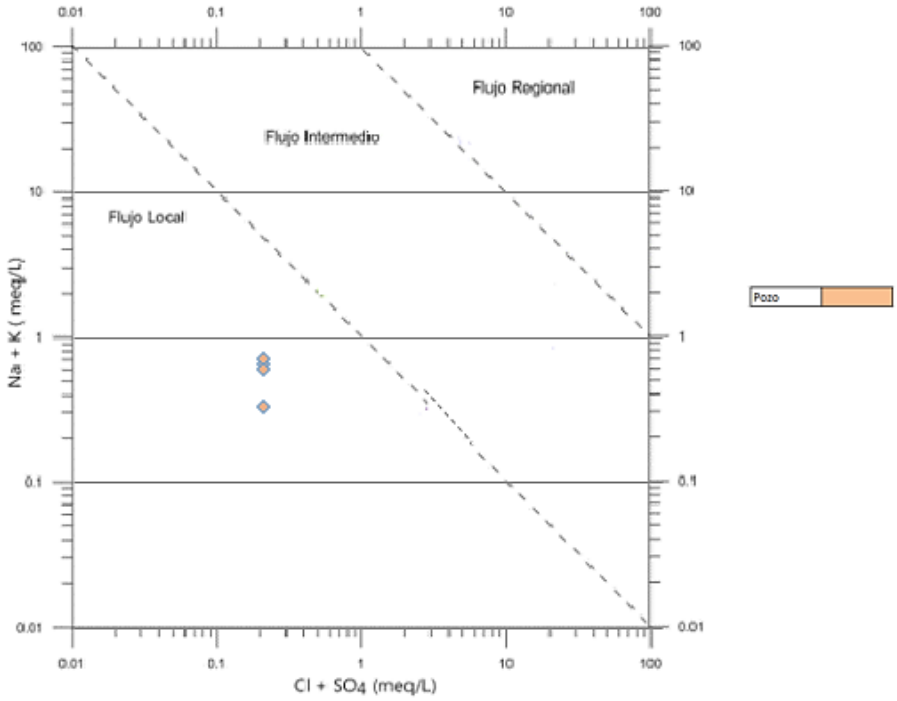


Figura 4.2.2-51 Diagrama de Mifflin pozos profundos – Información secundaria
Fuente: SGI S.A.S, 2025

4.2.2.7 Caracterización hidráulica

4.2.2.7.1 Información primaria

En el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, para llevar a cabo la caracterización hidráulica de los diferentes niveles acuíferos presentes en el área de influencia, durante la salida de campo se realizaron cinco (5) pruebas de bombeo realizadas entre el 29 de marzo de 2025 y el 26 de junio de 2025. La información detallada de cada prueba, incluyendo hora de inicio y finalización se encuentra en el capítulo 3.2.7 Hidrogeología.

Estas pruebas de bombeo se desarrollaron en pozos y aljibes de la comunidad, los cuales se seleccionaron de forma estratégica procurando que estuvieran distribuidos de forma homogénea dentro del área de influencia y que captaran diferentes profundidades, esto con el fin de determinar los parámetros hidráulicos de las diversas unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia, principalmente las someras. Durante la ejecución de las pruebas de bombeo no fue posible disponer de pozos observadores. En campo se realizó la verificación de la existencia de puntos cercanos que captaran el mismo nivel acuífero; sin embargo, en la mayoría de los casos no se identificaron pozos hidráulicamente comparables. En los pocos casos donde se reconocieron posibles puntos, no fue factible contar con su apoyo operativo, dado que los propietarios manifestaron limitaciones para suspender su uso durante el tiempo requerido para la prueba. Adicionalmente, no fue posible validar de manera continua el estado operativo de dichos pozos durante el ensayo, por lo cual no se garantizaban las condiciones necesarias para su uso como pozos observadores.

Las coordenadas de los pozos y aljibes en los cuales se realizaron las pruebas de bombeo en pozos y aljibes para caracterizar los niveles acuíferos someros, así como el predio donde están ubicados,

profundidad y unidad hidrogeológica captada se presenta en la **Tabla 4.2-21**, mientras que en la **Figura 4.2.2-52** se puede observar la distribución espacial de dichos puntos en el área de influencia.

Tabla 4.2-21 Coordenadas de las pruebas de bombeo – Información primaria

ID PUNTO	TIPO DE PUNTO	LUGAR	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PROFUNDIDAD (m)	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA CAPTADA
			ESTE (m)	NORTE (m)		
P01	Pozo	Acueducto Quebraditas	4943610,49	1995538,77	70	Depósitos de Abanico aluvial y Miembro Superior Fm Guayabo
P04	Pozo	Ecoreserva ASA	4934872,74	1988184,67	32,69	Depósitos de Abanico aluvial
P10	Pozo	Escuela Patio Bonito	4925776,95	1997639,10	100 - 120	Depósitos de Abanico aluvial y Miembro Superior Fm Guayabo
AL47	Aljibe	El Progreso	4943950,05	1995477,04	4,39	Depósitos de Abanico aluvial
AL86	Aljibe	La Palmera	4932386,83	1985171,14	2,47	Depósitos de Terraza baja

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

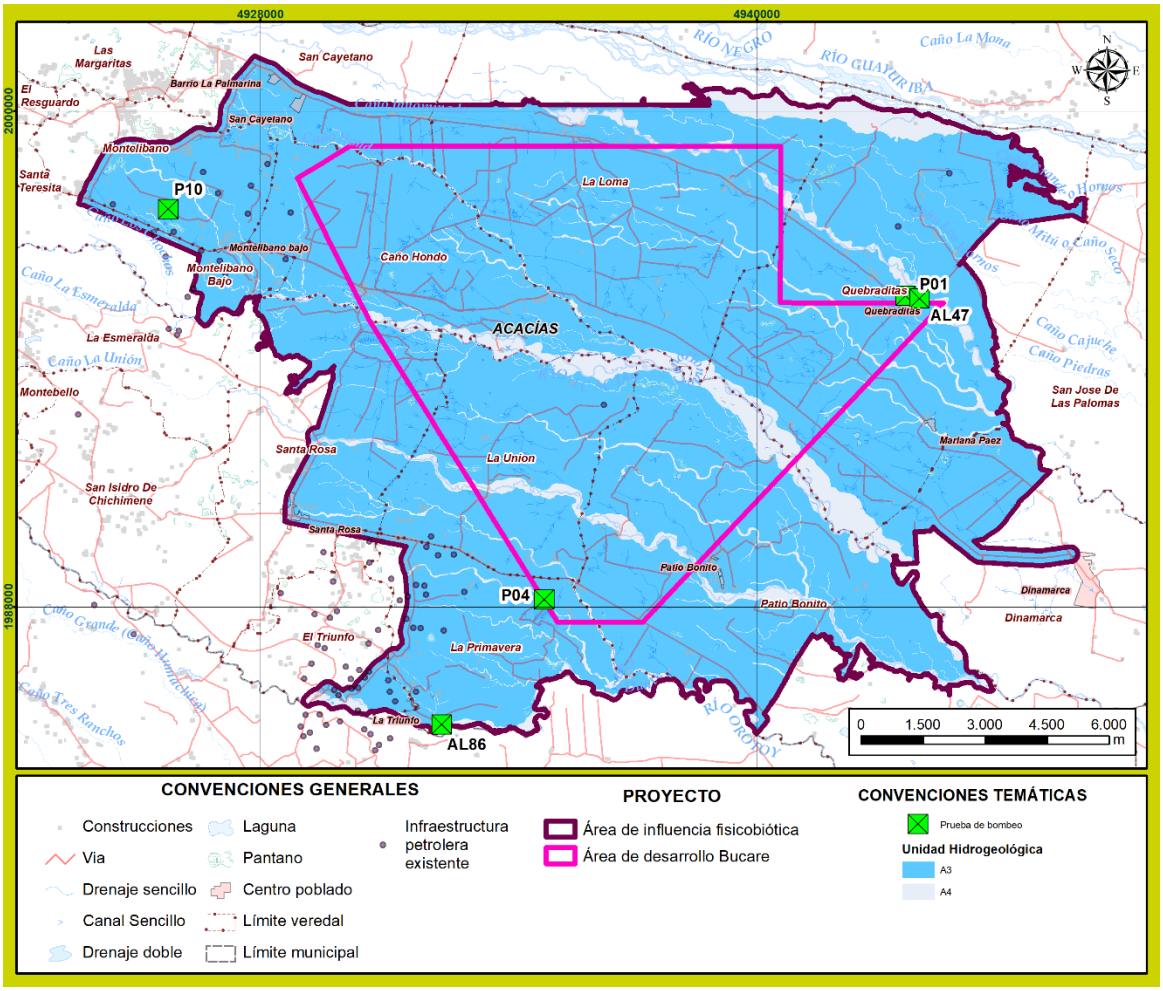


Figura 4.2.2-52 Ubicación pruebas de bombeo información primaria
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

A partir de la integración de las cinco (5) pruebas de bombeo que hacen parte de la información primaria levantada en el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, se definieron los parámetros hidráulicos de los niveles acuíferos someros asociados a los depósitos de abanico aluvial (Q1ca) y los depósitos de terraza baja (Q2t3), tales como transmisividad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, capacidad específica y radio de influencia.

Estos parámetros son fundamentales para la caracterización hidráulica de estos niveles acuíferos, los cuales constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua subterránea por parte de la comunidad. En la **Tabla 4.2-22** se presenta el resumen de los parámetros hidráulicos estimados a partir de las cinco (5) pruebas de bombeo realizadas en pozos y aljibes comunitarios ubicados dentro del área de influencia del presente proyecto

Tabla 4.2-22 Parámetros hidráulicos estimados para los niveles acuíferos someros

MEZCLA ENTRE DEPÓSITOS DE ABANICO ALUVIAL Y MIEMBRO SUPERIOR DE LA FORMACIÓN GUAYABO										
ID INVENTARIO	PROFUNDIDAD (m)	CAUDAL DE EXTRACCIÓN (l/s)	ABATIMIENTO (m)	TRASMISIVIDAD (m^2/día)		CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/día)		COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	CAPACIDAD ESPECIFICA (l/s/m)	RADIO DE INFLUENCIA (m)
				BOMBEO	RECUPERACIÓN	BOMBEO	RECUPERACIÓN			
P01	70	1,5	3,35	23	26,4	0,767	0,88	$3,60 \times 10^{-2}$	0,45	19,06
P10	100 - 120	1,25	14,81	38,3	15,5	0,576	0,233	$1,00 \times 10^{-7}$	0,08	14361,41
PROMEDIO				**30,65**	**20,95**	**0,6715**	**0,5565**	**$1,80 \times 10^{-2}$**	**0,265**	**7190,235**
DEPÓSITOS DE ABANICO ALUVIAL										
P04	32,69	1,55	0,39	445	392	49,4	43,5	$4,67 \times 10^{-2}$	3,97	128,55
AL47	4,39	1,09	0,63	45	84,3	18	33,7	$1,00 \times 10^{-2}$	1,47	55,28
PROMEDIO				**245**	**238,15**	**33,7**	**38,6**	**$2,8 \times 10^{-2}$**	**2,72**	**91,915**
DEPÓSITOS DE TERRAZA BAJA										
AL86	2,47	1,2	0,44	92	58,5	65,7	41,8	$3,4 \times 10^{-1}$	2,73	8,38

Fuente: SGI S.A.S., 2025

4.2.2.7.2 Información secundaria

Para la caracterización de los niveles acuíferos del Miembro Superior de la Formación Guayabo, unidad objetivo de captación de agua subterránea para el presente proyecto, se recurrió a información secundaria, dado que, si bien en la información primaria se realizaron pruebas de bombeo en pozos profundos cuyas profundidades oscilan entre 70 y 120 metros (P01 y P10), no se cuenta con la ubicación exacta de los filtros en dichos pozos y se presume que estos interceptan tanto niveles acuíferos asociados a los depósitos de abanico aluvial como al Miembro Superior de la Formación Guayabo. Por esta razón, no es posible caracterizar de manera exclusiva esta unidad a partir de los mencionados pozos, ya que estos captan más de una unidad hidrogeológica.

La relevancia de caracterizar el Miembro Superior de la Formación Guayabo, aun cuando no aflora en el área de estudio, radica en que constituye la unidad hidrogeológica objetivo de captación para los cinco (5) pozos profundos solicitados en la concesión de aguas subterráneas del presente proyecto. En este sentido, su adecuada caracterización resulta fundamental para garantizar un

aprovechamiento sostenible del recurso hídrico subterráneo, evitando afectaciones que puedan comprometer la integridad y funcionalidad del sistema acuífero.

La información secundaria considerada corresponde a nueve (9) pruebas de bombeo ejecutadas en cuatro (4) pozos profundos ubicados en zonas aledañas al área de influencia del Área de Desarrollo Bucare. Estos pozos fueron seleccionados con base en criterios de proximidad al área de estudio, correspondencia con los niveles acuíferos objetivo, disponibilidad de datos en crudo y duración suficiente de las pruebas para permitir una evaluación confiable de los parámetros hidráulicos. La información completa de las pruebas hidráulicas tomadas de información secundaria puede consultarse en el **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.6_Pruebas_de_bombeo/2.InformaciónSecundaria.**

En la **Tabla 4.2-23** se presentan las coordenadas y características de los pozos profundos donde se ejecutaron las pruebas de bombeo empleadas como fuente de información secundaria para caracterizar el Miembro Superior de la Formación Guayabo, mientras que en la **Figura 4.2.2-53** se presenta la ubicación de estos pozos en relación con el área de influencia y el área de intervención del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

Tabla 4.2-23 Características de los pozos profundos – Pruebas de bombeo información secundaria

POZO	FECHA DE EJECUCIÓN	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PROFUNDIDAD (m)	ACUÍFERO CAPTADO
		ESTE (m)	NORTE (m)		
Chichimene	20/06/2021 23/12/2022 28/12/2023 02/12/2024 21/06/2025	4923823,00	1992642,00	304	Miembro Superior de la Formación Guayabo
Castilla I	22/02/2020 03/08/2022	4926166,31	1982006,27	124	Miembro Superior de la Formación Guayabo
Castilla III	05/08/2022	4925292,00	1984212,00	100	Miembro Superior de la Formación Guayabo
Acacias	04/08/2022	4929763,67	1986816,01	122	Miembro Superior de la Formación Guayabo

Fuente: SGI S.A.S., 2025

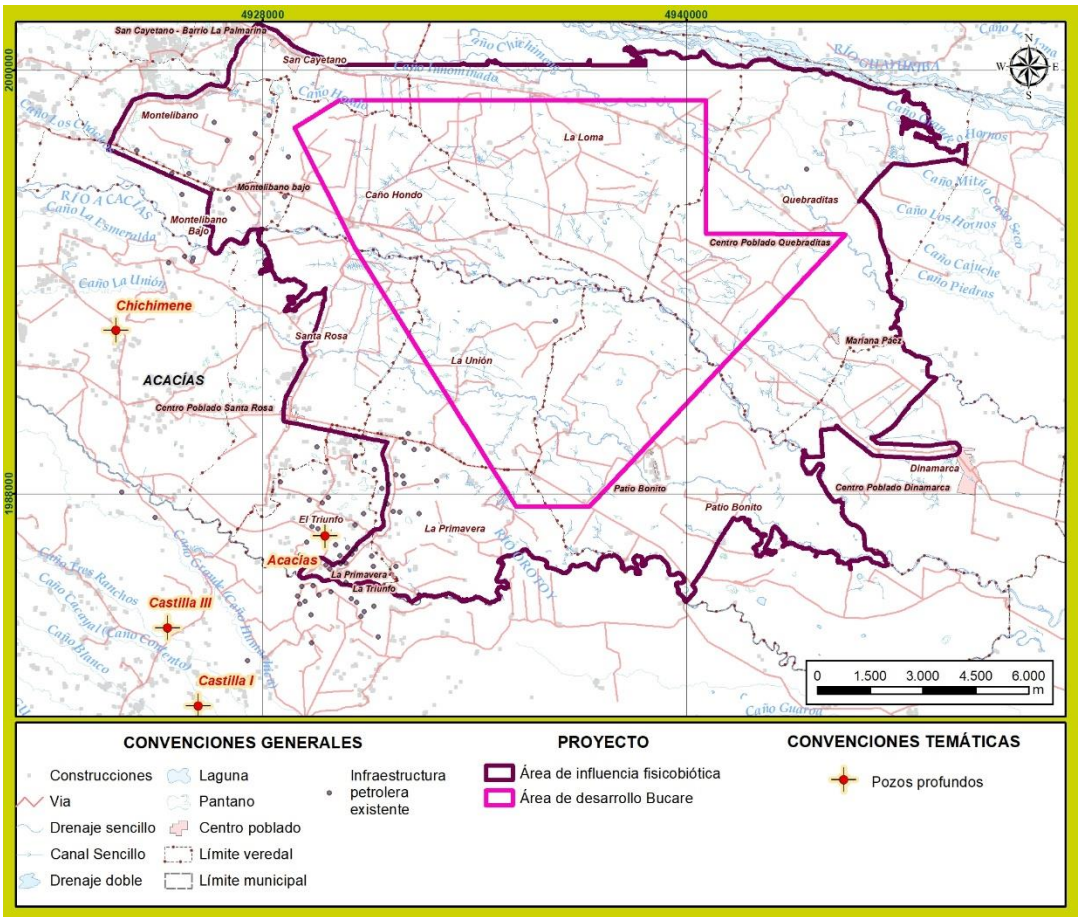


Figura 4.2.2-53 Ubicación pruebas de bombeo - Información secundaria
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En los cuatro (4) pozos mencionados anteriormente se han realizado, a lo largo de los últimos años, pruebas de bombeo que han servido como base para la caracterización hidráulica del acuífero captado por estos pozos. En la **Tabla 4.2-24** se presentan las principales características de dichas pruebas, las cuales fueron empleadas para la determinación de los parámetros hidráulicos de los niveles acuíferos del Miembro Superior de la Formación Guayabo, unidad que será objeto de captación por los pozos profundos solicitados en el marco de la concesión de aguas subterráneas del presente proyecto.

Tabla 4.2-24 Características de las pruebas de bombeo en pozos profundos - Información secundaria

POZO	FECHA DE EJECUCIÓN	TIPO DE PRUEBA	NIVEL ESTÁTICO (m)	DURACIÓN ETAPA DE BOMBEO (min)	CAUDAL (l/s)	DURACIÓN ETAPA DE RECUP (min)	% DE RECUP
Castilla I	22/02/2020	Caudal constante	2,13	1440	5,75	1440	91,48
	3/08/2022	Caudal constante	1,1	240	6,22	80	98,25
Acacias	4/08/2022	Caudal constante	-0,37*	180	4,074	16	100,00
Castilla III	5/08/2022	Caudal constante	3,43	169,5	7,801	124,5	99,61

POZO	FECHA DE EJECUCIÓN	TIPO DE PRUEBA	NIVEL ESTÁTICO (m)	DURACIÓN ETAPA DE BOMBEO (min)	CAUDAL (l/s)	DURACIÓN ETAPA DE RECUP (min)	% DE RECUP
Chichimene	20/06/2021	Caudal constante	11,36	1440	2,8	1440	95,32
	23/12/2022	Caudal constante	10,2	1440	4,71	370	98,13
	28/12/2023	Caudal constante	10,77	420,5	10	800	99,04
	2/12/2024	Caudal constante	10,8	368	10	998	92,13
	21/06/2025	Caudal constante	12,69	493,5	10,4	331	97,22

** Pozo saltante, el nivel freático está por encima de la superficie.*

Fuente: SGI S.A.S., 2025

A partir de estas nueve (9) pruebas de bombeo realizadas en los cuatro (4) pozos mencionados, se determinaron los parámetros hidráulicos característicos de los niveles acuíferos del Miembro Superior de la Formación Guayabo, entre los cuales se incluyen la transmisividad (T), la conductividad hidráulica (K), el coeficiente de almacenamiento (S) y la capacidad específica (Ce). Los valores estimados para estos parámetros hidráulicos se presentan en la **Tabla 4.2-25**.

Tabla 4.2-25 Parámetros hidráulicos del Miembro Superior de la Formación Guayabo - Información secundaria

POZO	FECHA DE EJECUCIÓN	CAUDAL (l/s)	TRANSMISIVIDAD (m^2/día)			CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/día)			COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	CAPACIDAD ESPECIFICA (l/s/m)
			BOMBEO	RECUPERACIÓN	PROMEDIO	BOMBEO	RECUPERACION	PROMEDIO		
Castilla I	22/02/2020	5,75	37,9	57,2	47,55	0,972	1,47	1,221	$2,79 \times 10^{-2}$	0,66
	3/08/2022	6,22	89,9	76	82,95	2,31	1,95	2,13	$5,58 \times 10^{-4}$	1,09
Acacias	4/08/2022	4,074	220	107	163,5	6,29	3,05	4,67	$1,49 \times 10^{-2}$	4,33
Castilla III	5/08/2022	7,801	66	58,8	62,4	2,44	2,18	2,31	1×10^{-4}	0,77
Chichimene	20/06/2021	2,8	43,9	81,9	62,9	0,175	0,326	0,251	$5,06 \times 10^{-2}$	1,007
	23/12/2022	4,71	82,7	75	78,85	1,38	1,25	1,315	$3,24 \times 10^{-2}$	0,88
	28/12/2023	10	28,5	69	48,75	0,115	0,278	0,1965	$8,45 \times 10^{-5}$	0,96
	2/12/2024	10	85,2	81,7	83,45	0,352	0,338	0,345	$2,28 \times 10^{-3}$	0,90
	21/06/2025	10,4	100	70,2	85,1	0,409	0,287	0,348	$6,52 \times 10^{-4}$	0,995
PROMEDIO			**83,79**	**75,20**	**79,49**	**1,60**	**1,24**	**1,42**	**$1,4 \times 10^{-2}$**	**1,29**

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Los parámetros hidráulicos estimados a partir de las nueve (9) pruebas de bombeo realizadas en pozos profundos que captan el Miembro Superior de la Formación Guayabo evidencian un acuífero con capacidad adecuada para transmitir y almacenar agua subterránea, reflejada en valores promedio de transmisividad del orden de 79,49 m²/día, conductividades hidráulicas cercanas a 1,42

m/día y capacidades específicas promedio de 1,29 l/s/m. Estos valores son consistentes con un sistema acuífero de productividad media a alta, capaz de sostener caudales de extracción similares o superiores a los propuestos sin generar grandes abatimientos ni comprometer su funcionamiento hidráulico. En este contexto, y considerando que la captación solicitada se concentra exclusivamente en esta unidad hidrogeológica profunda, la información analizada soporta técnicamente la viabilidad de la solicitud de concesión de aguas subterráneas, siempre que se mantengan los caudales máximos solicitados y se implementen las medidas de seguimiento y control definidas en el proyecto.

4.2.2.8 Conflictos de uso

Con el fin de evaluar la posible generación de conflictos por el uso del recurso hídrico subterráneo asociados a la perforación y operación de los pozos requeridos para la concesión de aguas subterráneas en el Área de Desarrollo Bucare, se analizaron de manera integrada los resultados del inventario de puntos de agua subterránea, la caracterización hidrogeológica y los parámetros hidráulicos presentados en el Capítulo 3.2.7 Hidrogeología. A partir de dicho análisis, se obtuvieron las siguientes consideraciones técnicas:

- En primer lugar, la profundidad de captación propuesta para los pozos del proyecto, ubicada por debajo de los 70 m y hasta aproximadamente 120 m, permite interceptar niveles acuíferos profundos del Miembro Superior de la Formación Guayabo, los cuales son hidrogeológicamente distintos de los acuíferos someros aprovechados por la comunidad. Esta diferenciación vertical constituye el principal criterio para evitar competencia directa por el recurso hídrico subterráneo.
- El inventario de puntos de agua subterránea evidencia que la captación comunitaria se concentra predominantemente en acuíferos someros asociados a depósitos cuaternarios. En particular, el 65,52 % de los puntos corresponde a aljibes, los cuales son excavaciones manuales de gran diámetro y baja profundidad, cuyos valores registrados en el inventario oscilan entre 1,52 m y 14,87 m, con una clara concentración en los primeros metros del subsuelo. Estos aljibes captan exclusivamente el nivel acuífero más superficial. De manera consistente con esta condición, los manantiales identificados corresponden a descargas naturales de los mismos niveles someros, lo que confirma que el aprovechamiento comunitario del recurso hídrico subterráneo se desarrolla en los horizontes más superficiales del sistema acuífero.
- Adicionalmente, los piezómetros, que representan el 10,97 % del inventario, no constituyen puntos de aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo, dado que su función es exclusivamente el monitoreo de niveles y calidad del agua subterránea. Los piezómetros inventariados presentan profundidades comprendidas entre 0,56 m y 12,46 m, lo cual indica un carácter somero, acorde con su finalidad técnica que es de observación. En consecuencia, estos puntos no generan presión adicional sobre el acuífero ni configuran escenarios de competencia por el recurso hídrico subterráneo.
- En cuanto a los pozos inventariados, estos representan el 7,10 % del total de puntos identificados en el área de influencia. Del total de pozos registrados, únicamente seis (6) superan profundidades del orden de 60 m, con un rango de profundidad comprendido entre 6,95 y 105 m. Esta distribución indica que la extracción de agua subterránea a mayores profundidades es poco frecuente en el área de estudio, lo cual se asocia principalmente a los mayores costos de perforación y a la necesidad de sistemas de bombeo especializados, como bombas electrosumergibles. En contraste, los sistemas de bombeo comúnmente utilizados por la comunidad (motobombas) no resultan técnicamente viables para la extracción desde niveles acuíferos profundos.
- Desde el punto de vista hidrogeológico, la diferenciación de los niveles acuíferos profundos del Miembro Superior de la Formación Guayabo se sustenta en la información geofísica obtenida en el área de influencia, incluyendo tomografías eléctricas y sondeos magnetotelúricos. Estos estudios evidencian que dicha unidad corresponde a un acuífero multicapa, en el cual los niveles acuíferos aprovechables se encuentran intercalados con

capas de sedimentos finos, que le confieren un carácter semiconfinado a confinado a los niveles profundos, favoreciendo su aislamiento hidráulico respecto de los acuíferos someros.

Con base en lo anterior, no se prevé la generación de conflictos por el uso del recurso hídrico subterráneo asociados a la operación de los pozos solicitados para el Área de Desarrollo Bucare. La captación proyectada se realizará en intervalos acuíferos profundos del Miembro Superior de la Formación Guayabo, ubicados por debajo de los 70 m de profundidad, mientras que el aprovechamiento comunitario se concentra en acuíferos someros asociados a depósitos cuaternarios, generalmente a profundidades menores a 50 m. Adicionalmente, la localización definitiva de los pozos del proyecto se definirá considerando los radios de influencia estimados, de manera que no se superpongan con las zonas de captación de los usuarios existentes, asegurando así la compatibilidad del aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo.
.

4.2.2.9 Columna estratigráfica y registro de pozo

Teniendo en cuenta de que todos los pozos solicitados para la concesión de agua subterránea del Área de Desarrollo Bucare no han sido construidos, no se cuenta con la información correspondiente a la columna estratigráfica ni el registro de pozo de cada perforación. Esta información será entregada a la autoridad en el ICA correspondiente una vez sea construido cada pozo captador de agua subterránea.

Si bien a la fecha no se dispone de columnas estratigráficas ni registros de pozo individuales, debido a que los pozos solicitados aún no han sido perforados, el Estudio de Impacto Ambiental cuenta con un marco de caracterización geológica y geofísica, construido, en parte, a partir de tomografías eléctricas y sondeos magnetotelúricos distribuidos en el área de influencia. Estos insumos permiten esquematizar de manera conceptual la disposición vertical de las unidades hidrogeológicas, evidenciando que los depósitos cuaternarios presentan un espesor promedio del orden de 50,5 m, con variaciones locales en el área de estudio, y que por debajo de estos se desarrollan los niveles acuíferos asociados al Miembro Superior de la Formación Guayabo. De forma complementaria, el inventario de puntos de agua subterránea registra pozos con profundidades de hasta 105 m. Con base en esta información, se define que la captación de agua subterránea del proyecto se realizará a profundidades mayores a las utilizadas por la comunidad, evitando la interceptación de los acuíferos someros y reduciendo la probabilidad de interferencia hidráulica. La información detallada de columna estratigráfica y registros de pozo será entregada a la autoridad ambiental en los ICA correspondientes, una vez se ejecute la perforación de cada pozo.

Adicionalmente, con el fin de fortalecer la interpretación estratigráfica y reducir la incertidumbre asociada a la ausencia de registros directos en los pozos proyectados, se incorporarán los diseños mecánicos de pozos provenientes de campos vecinos al área de influencia que ya cuentan con pozos profundos construidos y que captan el mismo acuífero objetivo (Figura 4.2.2-54, Figura 4.2.2-55, Figura 4.2.2-56 y Figura 4.2.2-57). Esta información permite complementar la esquematización vertical de las unidades geológicas y respaldar técnicamente la definición de las profundidades de captación propuestas.

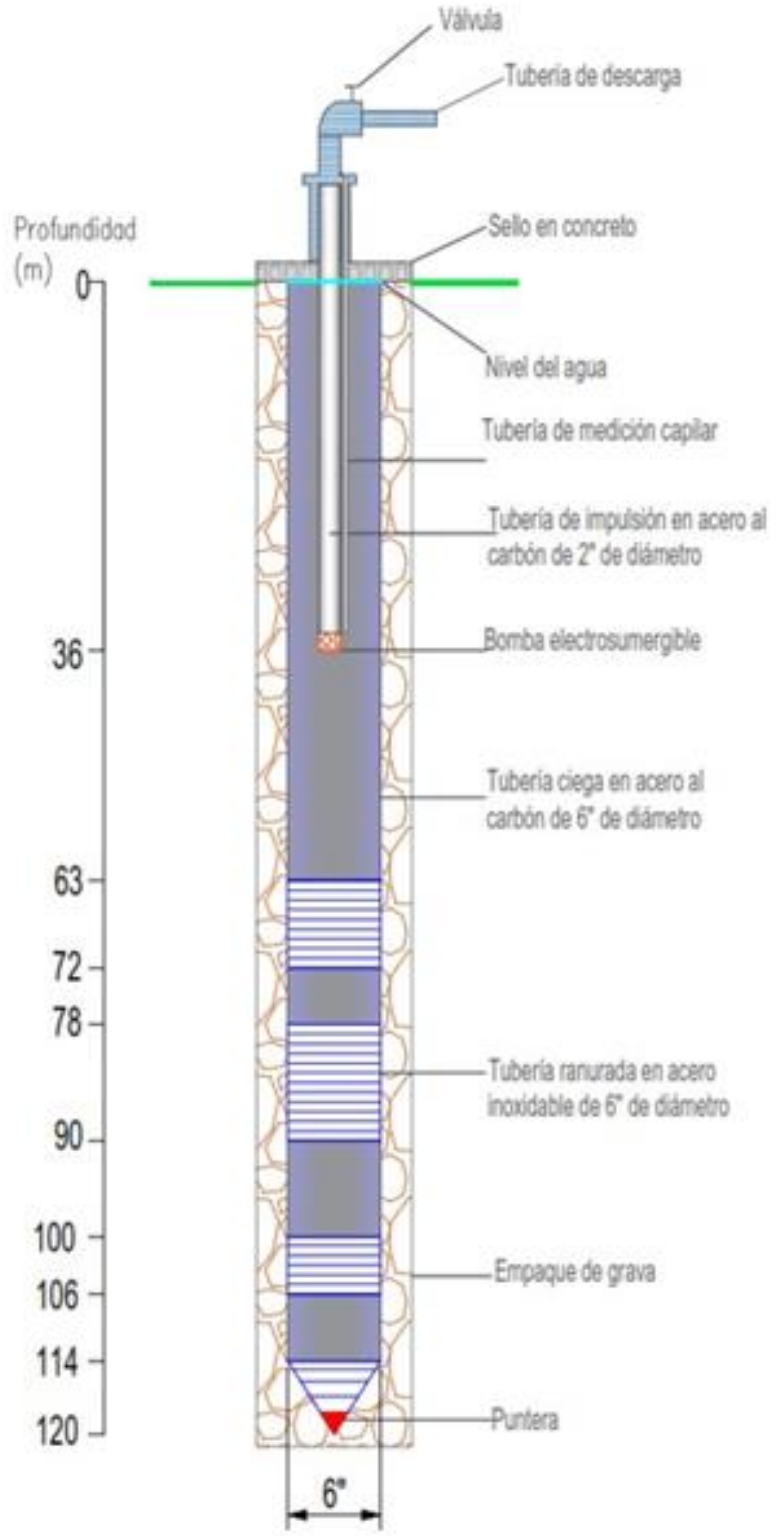


Figura 4.2.2-54 Diseño mecánico del pozo Acacías
Fuente: SGI S.A.S., 2025

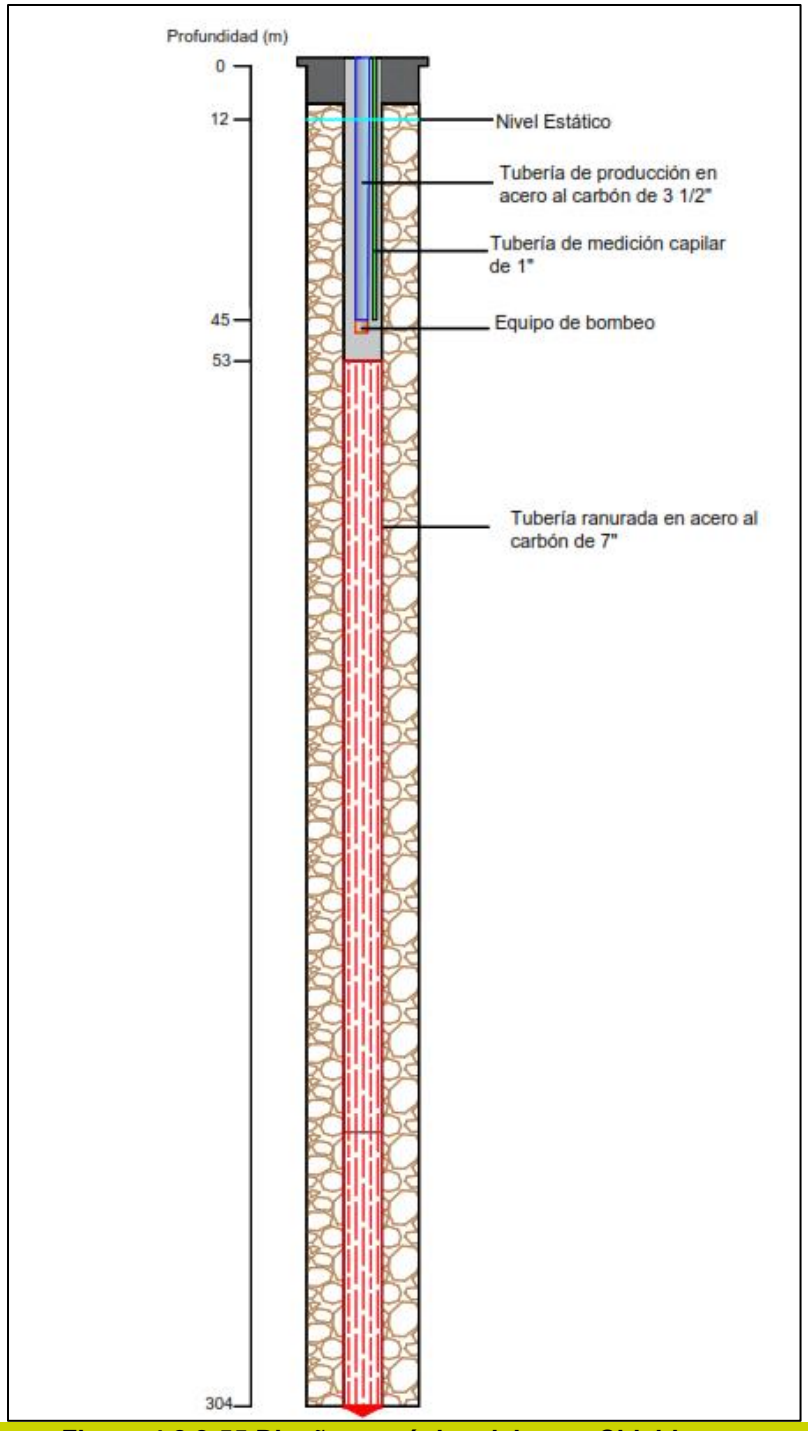


Figura 4.2.2-55 Diseño mecánico del pozo Chichimene
Fuente: SGI S.A.S., 2025

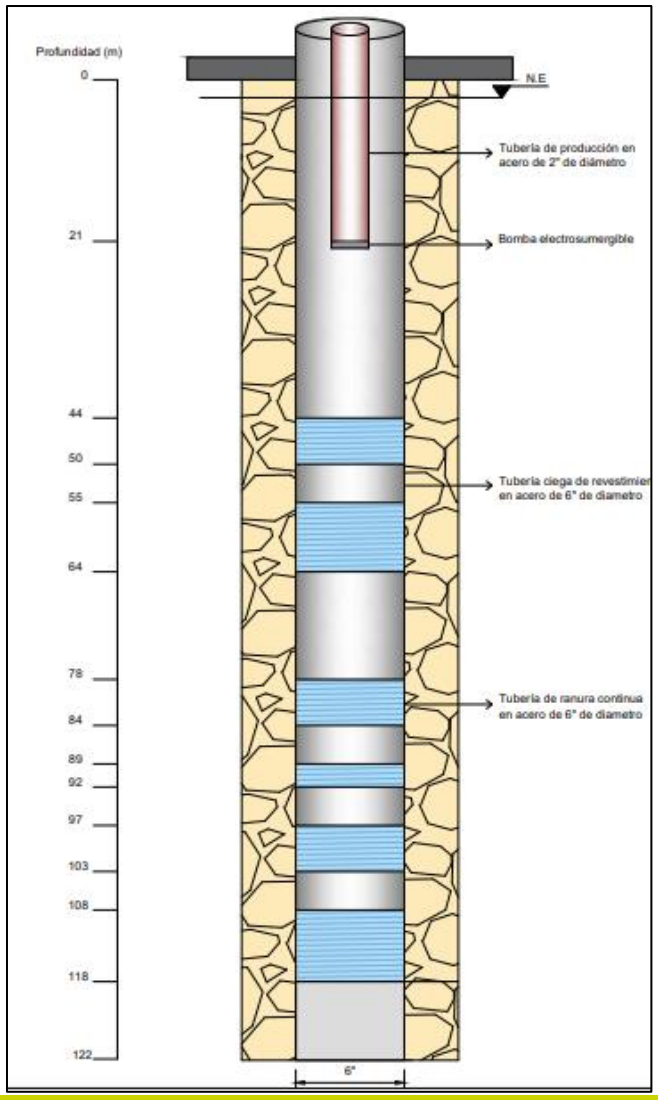


Figura 4.2.2-56 Diseño mecánico del pozo Castilla I
Fuente: SGI S.A.S., 2025

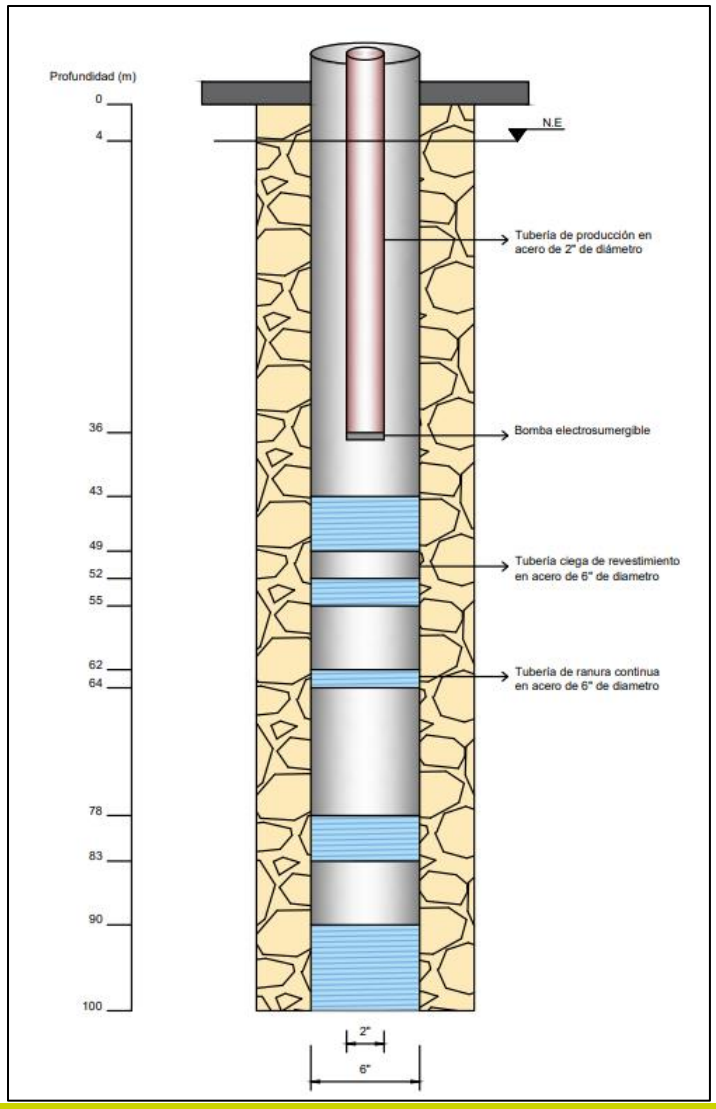


Figura 4.2.2-57 Diseño mecánico del pozo Castilla III
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Dado que no se dispone de columnas litológicas individuales para los pozos proyectados, se recurrió al análisis de la información de pozos ya construidos en campos aledaños al área de influencia. De acuerdo con lo ilustrado en la Figura 4.2.2-54, Figura 4.2.2-55, Figura 4.2.2-56 y Figura 4.2.2-57, se observa que, en estos campos, los intervalos de tubería ranurada, indicativos de los niveles arenosos utilizados para la captación de agua subterránea en el Miembro Superior de la Formación Guayabo, se disponen generalmente a profundidades comprendidas entre aproximadamente 43 m y 63 m. Estos rangos son consistentes con los intervalos acuíferos profundos identificados para el área de estudio a partir de la información geofísica y el análisis hidrogeológico. En este sentido, la captación propuesta para los pozos del proyecto se orienta a intervalos más profundos que los aprovechados por la comunidad, lo que permite reducir la probabilidad de interferencia hidráulica y evitar conflictos por el uso del recurso hídrico subterráneo.

4.2.2.10 Diseño de los pozos

A partir de la información geofísica y geológica recolectada en el estudio, se propone una perforación aproximada de 120 m de profundidad para los pozos captadores de agua subterránea, con tubería ranurada o filtros ubicados a partir de los 70 metros buscando captar la Formación Guayabo. En la Figura 4.2.2-58 se presenta el diseño tipo propuesto para los cinco pozos captadores de agua subterránea incluidos en la solicitud de concesión.

Es importante mencionar que el diseño de estos pozos puede variar, especialmente la ubicación de los filtros, según lo evidenciado durante la perforación de cada pozo y el registro eléctrico realizado, garantizando siempre que los filtros se ubiquen por debajo de los 70 metros, de manera que no se capten los niveles acuíferos de los depósitos cuaternarios que aprovecha la comunidad.

De igual manera, el diseño final se ajustará de acuerdo con lo que se encuentre en la perforación, este diseño es preliminar. La ubicación final de los pozos deberá respetar una distancia de dos (2) veces el radio de influencia con respecto a los pozos profundos de la comunidad.

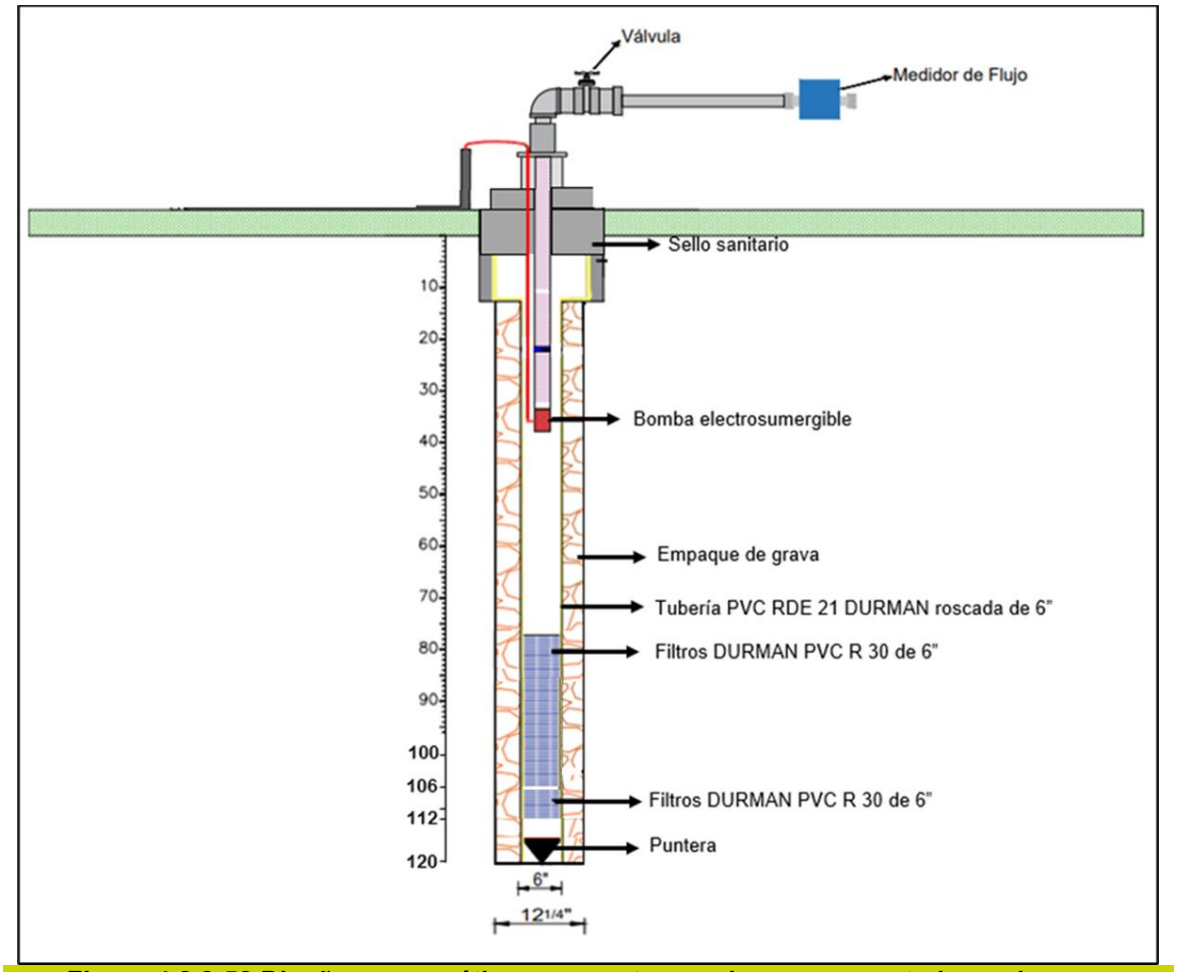


Figura 4.2.2-58 Diseño esquemático propuesto para los pozos captadores de agua subterránea
Fuente: SGI S.A.S, 2025

4.2.2.11 Obras de conducción

El diseño y puesta en marcha de las obras de conducción y almacenamiento propias de cada pozo captador nuevo que se perfore y que esté incluido dentro de la solicitud para la concesión de aguas

subterráneas para el Área de Desarrollo Bucare, al igual que el sistema de regulación y medición serán adjuntadas como soporte en los Plan de Manejo Específico de cada plataforma y en los ICA correspondientes.

4.2.2.12 Elementos de medición

Como elementos de medición y de control de los pozos se tienen las siguientes acciones:

- Garantizar que la construcción del pozo corresponda a un diseño basado en prospección geofísica y registros de pozo (SP, GR, Resistividad), de tal manera que la tubería ranurada esté bien ubicada con respecto a la columna estratigráfica, que la bomba de extracción sea acorde al caudal concesionado y a la geohidráulica del pozo. De esta manera se permite programar mantenimientos preventivos y control del pozo para alargar la vida útil del mismo, sin deteriorar el pozo y el acuífero.

    - Instalar un medidor de flujo debidamente calibrado en el sistema de captación en cada uno de los pozos a construir, con el fin de registrar diariamente los volúmenes de agua captados, en el marco del aprovechamiento racional del recurso. Tales reportes de consumo se incluirán en los Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA) que sean entregados a la Autoridad Ambiental, los reportes de caudales diarios extraídos servirán de insumo para el histórico de caudales reportado en la hoja de vida de cada uno de los pozos captadores dentro del AD Bucare, con dichos históricos se procederá a hacer análisis estadísticos de series de tiempo para la variable caudal.

- Realizar mantenimiento y/o calibración constante de los medidores de flujo en la tubería de aducción de cada uno de los pozos captadores de agua subterránea, de tal manera que se registren con una frecuencia diaria y precisa los volúmenes de agua captados.

- Periódicamente (al menos una vez al año) realizar pruebas de bombeo las cuales evalúan un acuífero, estimulándolo por medio de un bombeo continuo, y observando su respuesta (descenso de niveles) en pozo(s) de observación si es posible. Una vez obtenidos los valores hidráulicos se recalcula el régimen de bombeo óptimo para la explotación del pozo, además se determina la necesidad de planificación del mantenimiento del pozo a partir del análisis de las curvas de abatimiento – recuperación.

- Realizar inspecciones periódicas (al menos una vez al año) de mantenimiento a los sistemas de captación, conducción, distribución y almacenamiento.

4.2.2.13 Medidas de protección

Como medidas de protección de los pozos se tienen las siguientes acciones:

- ✓ Realizar periódicamente (semestral o anual) una prueba de bombeo de mínimo 24 horas y una prueba de bombeo a caudal escalonado, para evaluar el comportamiento de las condiciones hidrogeológicas frente a la captación realizada; entre los resultados de estas pruebas de bombeo se reportarán los siguientes: tipo de prueba, caudal, rendimiento, parámetros hidráulicos y niveles estático y dinámico del acuífero.

- ✓ Una vez se tengan los resultados de las pruebas de bombeo se evalúan los cambios en la capacidad específica, estos cambios están relacionados con el desempeño del pozo y el cambio en el valor demuestra que pueden existir problemas de desempeño.

- ✓ Una vez detectados los cambios en el rendimiento del pozo se procede a programar un mantenimiento y limpieza del pozo.

- ✓ El mantenimiento de cada pozo se realizará cada dos años o, puede ser realizado antes en función al comportamiento de este, es decir, si se evidencian variaciones en el caudal extraído, problemas operativos con el sistema de bombeo o algún otro comportamiento anormal.

Como medidas para evitar las pérdidas de agua durante la perforación de los pozos nuevos, se contemplan las siguientes acciones:

- ✓ **Estabilización del hueco superficial durante la perforación:** Si se presenta erosión en la boca del pozo, se hará necesario instalar en un intervalo de por lo menos cinco (5) m, un tubo conductor, el cual tendrá su propio contrapozo. El tubo conductor se cementará al espacio anular para que los lodos de ascenso del pozo no desestabilicen los primeros metros de este; el diámetro del tubo conductor puede ser de diez pulgadas (10”). Dicho diámetro dependerá del hueco final para el revestimiento del pozo. En el caso que los suelos superficiales sean estables, por la corta duración de los trabajos de perforación, no se hace necesario la instalación de este tubo conductor, ya que la necesidad de utilización del tubo conductor la indicará la Interventoría, una vez iniciados los primeros metros de perforación de cada uno de los pozos.

- ✓ **Agua para la perforación del Pozo:** El agua para la perforación de los pozos será captada de los puntos de agua superficial autorizados para tal fin o comprados a terceros.

- ✓ **Manejo de corte y lodos:** Los residuos sólidos (lodos de perforación), una vez secos, se incorporan a los materiales de relleno teniendo en cuenta que no tienen contaminación por no estar en contacto con líquidos diferentes al agua y la bentonita que corresponde a una arcilla natural.

Dentro de las medidas para la concientización del uso eficiente del recurso hídrico subterráneo se tienen:

- ✓ Las demandas de consumo de aguas subterráneas deben estar basadas con proyección de sostenibilidad a largo plazo de gestión del agua, preferiblemente a nivel de cuenca fluvial o de acuífero.
- ✓ En las charlas operacionales se debe promover la gestión conjunta de la cantidad y la calidad del agua, con especial énfasis a las características hidrogeológicas y a la variabilidad temporal de las masas de agua, ya que afectan a la cantidad y calidad del agua, a los desastres asociados al agua y a los ecosistemas relacionados con el agua.
- ✓ Abordar las prácticas, dinámicas y desarrollos que afectan a la disponibilidad de agua, a la demanda de agua y a la exposición y vulnerabilidad a los riesgos asociados al agua; y que reflejen sus consecuencias económicas, sociales y medioambientales, en diferentes escalas.
- ✓ Facilitar el desarrollo y la difusión de formas innovadoras y más eficientes de gestionar el agua, basadas en innovaciones técnicas y no técnicas, y que estén diseñadas de acuerdo con las siguientes recomendaciones para gestionar la cantidad de agua, mejorar la calidad del agua, gestionar los riesgos y desastres asociados al agua, fomentar un uso efectivo sostenible de este recurso.
- ✓ Se realizará verificación constante del volumen de agua captado.
- ✓ Se realizará verificación horaria del caudal de agua captado mediante la instalación de un equipo de medición debidamente calibrado. La compañía TECPETROL S.A. deberá llevar un registro detallado de esta actividad y reportarlo en los ICA respectivos.

4.2.2.13.1 Medidas para el sellado

Con el fin de prevenir la contaminación vertical entre unidades hidrogeológicas, evitar la migración de fluidos a lo largo del espacio anular y proteger los acuíferos someros aprovechados por la comunidad, los pozos de captación de aguas subterráneas del Área de Desarrollo Bucare contarán con un sistema de sellado técnico y sanitario, conforme a los lineamientos establecidos en el Decreto 1076 de 2015 y a las buenas prácticas de construcción de pozos profundos.

El sellado del pozo se realizará mediante la instalación de un sello sanitario continuo en el espacio anular comprendido entre la pared del pozo y la tubería de revestimiento, desde la superficie hasta una profundidad mínima que garantice el aislamiento hidráulico de los acuíferos someros. Este sello estará conformado por mezclas impermeables de cemento-bentonita, colocadas de manera controlada para asegurar su continuidad y evitar la formación de canales preferenciales.

Adicionalmente, se dispondrán sellos específicos en los intervalos correspondientes a unidades de baja permeabilidad (acuitardos), identificadas durante la caracterización hidrogeológica y geofísica, con el propósito de reforzar el confinamiento del acuífero profundo de la Formación Guayabo objeto de captación. La sección productora del pozo contará con tubería ranurada únicamente en los intervalos acuíferos definidos, mientras que el resto del pozo permanecerá debidamente entubado y sellado.

En superficie, el pozo contará con una cabeza sanitaria hermética, cimentada en una losa de concreto que impida la infiltración de escorrentía superficial, derrames accidentales o ingreso de contaminantes externos. Estas medidas permitirán resguardar la integridad del sistema acuífero, minimizar riesgos de contaminación y asegurar la sostenibilidad del aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo.

4.2.2.13.2 Medidas para el cierre

El cierre y abandono de los pozos de captación de aguas subterráneas del Área de Desarrollo Bucare se realizará cuando estos dejen de ser requeridos para la operación del proyecto o al finalizar su vida útil, con el objetivo de restablecer las condiciones naturales del subsuelo y eliminar riesgos ambientales asociados a pozos inactivos.

Previo al abandono, se procederá al retiro de los equipos electromecánicos, tuberías internas y demás elementos móviles del pozo. Posteriormente, el pozo será sellado de manera permanente mediante el relleno completo del espacio interno con materiales impermeables, tales como lechadas de cemento-bentonita, colocadas desde el fondo del pozo hasta la superficie, garantizando la ausencia de vacíos y la completa obstrucción del conducto.

El sellado considerará la ubicación de los acuíferos interceptados, asegurando la colocación de tapones de cemento en los intervalos correspondientes a unidades acuíferas y acuitardos, de forma que se impida cualquier conexión hidráulica entre niveles. En superficie, se retirará la cabeza del pozo y se realizará el corte del revestimiento a una profundidad segura, seguido del sellado final y la restitución del terreno a una condición morfológica compatible con el entorno.

Finalmente, el área intervenida será objeto de adecuación y recuperación, incluyendo la reconformación del terreno y, de ser aplicable, la revegetalización, con el fin de integrar el sitio al paisaje circundante. Estas acciones permitirán asegurar el cierre ambientalmente seguro de los pozos, evitando afectaciones al recurso hídrico subterráneo y a los usos actuales y futuros del territorio.

4.2.2.14 Descripción del sistema de perforación

La perforación de los pozos proyectados, se recomienda emplear una perforadora rotativa de aire y lodo, autotransportada como la que se presenta en la **Figura 4.2.2-59**.

Este tipo de perforadora debe contar como mínimo con el siguiente equipo acoplado:

- ✓ Bomba de lodo.
- ✓ Compresor de aire.
- ✓ Mesa rotaria.
- ✓ Pulldown mecánico
- ✓ Malacate de doble tambor con cable para maniobras y el Kelly bar.
- ✓ Caja de velocidades.
- ✓ Caja de transferencia.
- ✓ Cuatro gatos de nivelación.
- ✓ Mástil (torre).
- ✓ Barra Kelly.
- ✓ Swivel giratorio.
- ✓ Plataforma para Operadores y ayudantes.
- ✓ Bandeja lateral para tubería de perforación.
- ✓ BJ: (Llave de desenrosque).



Figura 4.2.2-59 Equipo de perforación autotransportado
Fuente: SGI S.A.S, 2025

4.2.2.15 Cronograma de obras

Las actividades consideradas para la perforación y posterior operación de los pozos nuevos solicitados se describen en la

Tabla 4.2-26 Actividades de perforación y desarrollo del pozo

ITEM	DESCRIPCIÓN
Parámetros de perforación	La profundidad y los diámetros a los cuales se va a adelantar la perforación se determinan con base en la hidrogeología de la zona, se estima que se perforarán pozos con una profundidad hasta de 120 metros.

ITEM	DESCRIPCIÓN
Movilización y adecuación de la zona de trabajo	Se construirán las piscinas de lodos y se adecuará el sitio para iniciar la perforación. Se perforará con lodo base agua-bentonita (arcilla inerte, que será reutilizada al finalizar la perforación del pozo)
Perforación exploratoria	Con el fin de proteger las paredes en la parte superior del pozo, se iniciará la perforación con la colocación de un casing, para luego continuar con la perforación exploratoria hasta la profundidad indicada, durante la cual se tomarán muestras de ripio metro a metro y se registrará la rata de perforación
Ampliación del pozo e instalación de tuberías	Una vez determinado el diseño final del pozo, se procede a la ampliación del pozo hasta la profundidad indicada a un diámetro aproximado de 12”
Registros de pozo	Una vez se complete el pozo, se procederá a tomar los registros eléctricos de pozo, los cuales son el Potencial Espontáneo (SP), Gamma Natural y Resistividad con los cuales se hace un análisis comparativo de los registros del pozo contra litología encontrada. Con base en estos registros y en la descripción de los ripios de perforación se ubican las zonas con mejor prospectividad. La ubicación de estos intervalos en profundidad sirve para ubicar las zonas donde se instalará la tubería ranurada
Armado e instalación de tubería de revestimiento	Terminada la ampliación del pozo y basados en el diseño indicado, se procede a armar e instalar la tubería de revestimiento. La tubería de revestimiento es de 6”. Esta tubería tendrá ranuras en las profundidades ubicadas de acuerdo con lo observado en el numeral anterior hasta la profundidad total.
Empaque de gravilla	Después de colocada la tubería de revestimiento, se dispondrá de forma ordenada la gravilla seleccionada en el anular del pozo.
Prueba de bombeo	Posteriormente se realizará una prueba de bombeo del pozo durante 24 horas o más si es necesario, con el fin de obtener parámetros para el diseño del equipo de bombeo adecuado. Durante esta prueba se determinará el nivel estático del pozo y se medirá periódicamente el nivel dinámico.
Construcción de sello sanitario y base de concreto	En la boca del pozo, se construirá un sello sanitario, el cual tiene como objetivo proteger de la contaminación externa el agua del pozo.
Desarrollo del pozo	Después de completar el pozo, se dispondrá su lavado y desarrollo con agua limpia, que se complementará con inyección de aire y pistoneo frente a los filtros hasta obtener agua limpia.

Fuente SGI SAS, 2025:

4.2.2.16 Caudal requerido

De acuerdo con lo anterior, y considerando que el caudal de agua subterránea requerido para satisfacer las necesidades domésticas e industriales asociadas al desarrollo de las actividades contempladas en el Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Bucare es de 25,2 l/s, este corresponde al caudal global solicitado por Ecopetrol S.A. dentro de la concesión de aguas subterráneas para el presente proyecto.

Para alcanzar este volumen, se proyecta la perforación y operación de cinco (5) pozos profundos, cada uno con un tiempo de operación de 10 horas diarias y un caudal de bombeo individual de 5,04 l/s, equivalente a 181,44 m³/día por pozo y un caudal global de 907,2 m³/día. En la Tabla 4.2-27 se presenta el caudal de agua requerido para el desarrollo del proyecto por cada pozo proyectado.

Tabla 4.2-27 Caudal de agua requerido para el desarrollo del proyecto por cada pozo

ETAPA	USO	CAUDAL REQUERIDO (L/s)	FACTOR SEGURIDAD	CAUDAL POR SOLICITAR (L/s)	HORAS DE OPERACIÓN
Exploración – Desarrollo (producción)	Industrial	4,0	20%	4,80	10 horas diarias
	Doméstico	0,2	20%	0,24	
Caudal por solicitar por cada pozo (l/s)				5,04	

Fuente: SGI SAS., 2025

Conociendo los parámetros hidráulicos de los niveles acuíferos de interés (Formación Guayabo) obtenidos mediante las pruebas de bombeo, se procede a determinar el descenso máximo aconsejable que podría presentar cada pozo para un tiempo de bombeo determinado. Este valor es fundamental junto con las propiedades hidráulicas del acuífero y el tiempo de bombeo, para determinar el caudal máximo sostenible para cada pozo.

Para fijar el descenso es necesario analizar la situación del acuífero dentro del contexto general del sondeo y de la columna de agua en estado de reposo. Así, debe procurarse no dejar colgados varios acuíferos cuando se trate de un sistema multicapa, ya que las condiciones exigidas para el cálculo de caudales, a partir de la ecuación general de descenso, no se cumplen pues se produciría un desequilibrio en la relación descenso-caudal. El descenso máximo admisible no debe superar el 30% o el 35% del espesor saturado inicial (M. Villanueva & A. Iglesias, 1984).

Con base en lo anterior, para la definición de este parámetro se consideraron los datos de los diseños mecánicos de los pozos de campos aledaños, que sirvieron para conocer el tope del nivel acuífero captado (posición de los filtros) y la columna de agua existente por encima de este (nivel estático).

4.2.2.16.1 Pozo Chichimene

El diseño del pozo Chichimene presenta filtros a partir de los 53 metros de profundidad, lo que asegura la no captación de los acuíferos someros. Asimismo, este pozo cuenta con una amplia serie de pruebas de bombeo, una de ellas realizada en 2025, es decir, de reciente ejecución, lo que aporta información confiable y permite una caracterización más completa del acuífero de interés.

Para la definición de la columna de agua, se calculó el promedio de los niveles estáticos medidos en el pozo Chichimene durante las pruebas de bombeo, obteniéndose un valor medio de 11,12 metros.

El espesor saturado del acuífero se definió mediante la siguiente expresión:

$$E_{sat} = P_{acuifero} - N_{agua} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

E_{sat} = Espesor saturado del acuífero (m)
$P_{acuífero}$ = Tope del nivel acuífero captado (m)
N_{agua} = Nivel de la columna de agua (m)

Conociendo que el tope del nivel acuífero captado por el pozo Chichimene está ubicado desde los 53 metros y que la columna de agua está a 11,12 metros aproximadamente, se obtiene el espesor saturado, así:

$$E_{sat} = 53\ m - 11{,}12\ m = 41{,}88\ m$$

Ahora bien, como menciona M. Villanueva & A. Iglesias, 1984, el descenso máximo admisible no debe superar el 30% o el 35% del espesor saturado inicial. Por ello, el descenso máximo admisible (S_{max}) para estos pozos se define como el 30% del espesor saturado, siendo este el escenario más conservador, cuyo fin es asegurar la integridad del acuífero captado:

$$s_{max} = E_{sat} \times 30\%$$

Reemplazando estos valores, se obtiene el descenso máximo sostenible que podría presentar cada pozo:

$$s_{max} = 41{,}88 \times 30\% = 12{,}56\ m$$

El descenso máximo sostenible que pueden presentar los pozos proyectados para llevar a cabo la captación de agua subterránea en el Área de Desarrollo Bucare de acuerdo con el pozo Chichimene es 12,56 metros.

Calculado el descenso máximo admisible que podría presentar cada pozo y conociendo la Transmisividad y el Coeficiente de almacenamiento del acuífero captado (estimados a partir de las pruebas de bombeo), se calcula el caudal de explotación mediante la ecuación de pozo:

$$s = 0{,}183 \times \frac{Q}{T} \times \log\left(\frac{2{,}25 \times T \times t}{r^2 \times S}\right)$$ Ecuación 2

Donde:

s: Abatimiento (m)
T: Transmisividad ($m^2/día$)
Q: Caudal de bombeo ($m^3/día$)
S: Coeficiente de almacenamiento
t: Tiempo de bombeo (días)
r: Radio de perforación del pozo (m)

Despejando el caudal de la ecuación de pozo, se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{s \times T}{0{,}183 \times \log\left(\frac{2{,}25 \times T \times t}{r^2 \times S}\right)}$$

Reemplazando los parámetros requeridos, tales como el descenso máximo admisible y los parámetros hidráulicos estimados a partir de las pruebas de bombeo realizadas (Tabla 4.2-25), se calcula el caudal de explotación apto para estos pozos, teniendo en cuenta el tiempo de bombeo a solicitar que corresponde a 10 horas diarias.

$$Q = \frac{12{,}56 \times 75{,}2}{0{,}183 \times \log\left(\frac{2{,}25 \times 75{,}2 \times 0{,}417}{(0{,}076)^2 \times 1{,}45x10^{-2}}\right)}$$

$$Q = 871{,}451\ {}^{m^3}/_{día}$$

$$\boldsymbol{Q \approx 10{,}09\ l/s}$$

De esta manera, se estima que el caudal máximo sostenible de explotación para los pozos captadores proyectados en el Área de Desarrollo Bucare corresponde aproximadamente a 10,09 l/s por pozo.

Considerando que el caudal de extracción solicitado para cada pozo es de 5,04 l/s, se concluye que dicho valor resulta apto, conservador y ambientalmente sostenible, dado que representa alrededor del 50% del caudal máximo sostenible estimado para cada pozo, garantizando una explotación responsable del recurso hídrico subterráneo y evitando una afectación significativa sobre el acuífero captado.

4.2.2.16.2 Pozo Acacías

El diseño del pozo Acacías presenta filtros a partir de los 63 metros de profundidad, lo que asegura la no captación de los acuíferos someros. Para la definición de la columna de agua, se usó el nivel estático medidos en el pozo Acacías durante la prueba de bombeo, obteniéndose un valor de -0,37 metros (pozo saltante).

El espesor saturado del acuífero se definió mediante la siguiente expresión:

$$E_{sat} = P_{acuifero} - N_{agua}$$ Ecuación 1

Donde:

E_{sat} = Espesor saturado del acuífero (m)
$P_{acuífero}$ = Tope del nivel acuífero captado (m)
N_{agua} = Nivel de la columna de agua (m)

Conociendo que el tope del nivel acuífero captado por el pozo Chichimene está ubicado desde los 53 metros y que la columna de agua está a 11,12 metros aproximadamente, se obtiene el espesor saturado, así:

$$E_{sat} = 63\ m - (-0.37)\ m = 63{,}37\ m$$

Ahora bien, como menciona M. Villanueva & A. Iglesias, 1984, el descenso máximo admisible no debe superar el 30% o el 35% del espesor saturado inicial. Por ello, el descenso máximo admisible (S_{max}) para estos pozos se define como el 30% del espesor saturado, siendo este el escenario más conservador, cuyo fin es asegurar la integridad del acuífero captado:

$$s_{max} = E_{sat} \times 30\%$$

Reemplazando estos valores, se obtiene el descenso máximo sostenible que podría presentar cada pozo:

$$s_{max} = 63{,}37 \times 30\% = 19{,}01\ m$$

El descenso máximo sostenible que pueden presentar los pozos proyectados para llevar a cabo la captación de agua subterránea en el Área de Desarrollo Bucare de acuerdo con el pozo Acacías es 19,01 metros.

Calculado el descenso máximo admisible que podría presentar cada pozo y conociendo la Transmisividad y el Coeficiente de almacenamiento del acuífero captado (estimados a partir de las pruebas de bombeo), se calcula el caudal de explotación mediante la ecuación de pozo:

$$s = 0{,}183 \times \frac{Q}{T} \times \log\left(\frac{2{,}25 \times T \times t}{r^2 \times S}\right)$$ Ecuación 2

Donde:

s: Abatimiento (m)
T: Transmisividad ($m^2/día$)
Q: Caudal de bombeo ($m^3/día$)
S: Coeficiente de almacenamiento
t: Tiempo de bombeo (días)
r: Radio de perforación del pozo (m)

Despejando el caudal de la ecuación de pozo, se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{s \times T}{0{,}183 \times \log\left(\frac{2{,}25 \times T \times t}{r^2 \times S}\right)}$$

Reemplazando los parámetros requeridos, tales como el descenso máximo admisible y los parámetros hidráulicos estimados a partir de las pruebas de bombeo realizadas (Tabla 4.2-25), se calcula el caudal de explotación apto para estos pozos, teniendo en cuenta el tiempo de bombeo a solicitar que corresponde a 10 horas diarias.

$$Q = \frac{19{,}01 \times 107}{0{,}183 \times \log\left(\frac{2{,}25 \times 107 \times 0{,}417}{(0{,}076)^2 \times 1{,}49\ x\ 10 - 2}\right)}$$

$$Q = 1832{,}10\ {}^{m^3}/_{día}$$

$$\boldsymbol{Q \approx 21{,}2\ l/s}$$

De esta manera, se estima que el caudal máximo sostenible de explotación para los pozos captadores proyectados en el Área de Desarrollo Bucare corresponde aproximadamente a 21.2 l/s por pozo.

Considerando que el caudal de extracción solicitado para cada pozo es de 5,04 l/s, se concluye que dicho valor resulta apto, conservador y ambientalmente sostenible, dado que representa alrededor del 25% del caudal máximo sostenible estimado para cada pozo, garantizando una explotación responsable del recurso hídrico subterráneo y evitando una afectación significativa sobre el acuífero captado.

4.2.2.16.3 Pozo Castilla I

El diseño del pozo Castilla I presenta filtros a partir de los 44 metros de profundidad, lo que asegura la no captación de los acuíferos someros. Para la definición de la columna de agua, se usó el promedio de los niveles estáticos medidos en el pozo Castilla I durante las pruebas de bombeo, obteniéndose un valor medio de 1.62 metros.

El espesor saturado del acuífero se definió mediante la siguiente expresión:

$$E_{sat} = P_{acuifero} - N_{agua} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

E_{sat} = Espesor saturado del acuífero (m)
$P_{acuífero}$ = Tope del nivel acuífero captado (m)
N_{agua} = Nivel de la columna de agua (m)

Conociendo que el tope del nivel acuífero captado por el pozo Chichimene está ubicado desde los 53 metros y que la columna de agua está a 11,12 metros aproximadamente, se obtiene el espesor saturado, así:

$$E_{sat} = 44\ m - 1{,}62\ m = 42{,}38\ m$$

Ahora bien, como menciona M. Villanueva & A. Iglesias, 1984, el descenso máximo admisible no debe superar el 30% o el 35% del espesor saturado inicial. Por ello, el descenso máximo admisible (S_{max}) para estos pozos se define como el 30% del espesor saturado, siendo este el escenario más conservador, cuyo fin es asegurar la integridad del acuífero captado:

$$s_{max} = E_{sat} \times 30\%$$

Reemplazando estos valores, se obtiene el descenso máximo sostenible que podría presentar cada pozo:

$$s_{max} = 42{,}38 \times 30\% = 12{,}71\ m$$

El descenso máximo sostenible que pueden presentar los pozos proyectados para llevar a cabo la captación de agua subterránea en el Área de Desarrollo Bucare de acuerdo con el pozo Castilla I es 12,71 metros.

Calculado el descenso máximo admisible que podría presentar cada pozo y conociendo la Transmisividad y el Coeficiente de almacenamiento del acuífero captado (estimados a partir de las pruebas de bombeo), se calcula el caudal de explotación mediante la ecuación de pozo:

$$s = 0{,}183 \times \frac{Q}{T} \times \log\left(\frac{2{,}25 \times T \times t}{r^2 \times S}\right) \qquad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

s: Abatimiento (m)
T: Transmisividad ($m^2/día$)
Q: Caudal de bombeo ($m^3/día$)
S: Coeficiente de almacenamiento
t: Tiempo de bombeo (días)
r: Radio de perforación del pozo (m)

Despejando el caudal de la ecuación de pozo, se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{s \times T}{0{,}183 \times \log\left(\frac{2{,}25 \times T \times t}{r^2 \times S}\right)}$$

Reemplazando los parámetros requeridos, tales como el descenso máximo admisible y los parámetros hidráulicos estimados a partir de las pruebas de bombeo realizadas (Tabla 4.2-25), se calcula el caudal de explotación apto para estos pozos, teniendo en cuenta el tiempo de bombeo a solicitar que corresponde a 10 horas diarias.

$$Q = \frac{12{,}71 \times 66.6}{0{,}183 \times \log\left(\frac{2{,}25 \times 66.6 \times 0{,}417}{(0{,}076)^2 \times 1{,}42\ x\ 10 - 2}\right)}$$

$$Q = 786{,}42\ {}^{m^3}/_{día}$$

$$\boldsymbol{Q \approx 9{,}10\ l/s}$$

De esta manera, se estima que el caudal máximo sostenible de explotación para los pozos captadores proyectados en el Área de Desarrollo Bucare corresponde aproximadamente a 9,10 l/s por pozo.

Considerando que el caudal de extracción solicitado para cada pozo es de 5,04 l/s, se concluye que dicho valor resulta apto, conservador y ambientalmente sostenible, dado que representa alrededor del 55% del caudal máximo sostenible estimado para cada pozo, garantizando una explotación responsable del recurso hídrico subterráneo y evitando una afectación significativa sobre el acuífero captado.

4.2.2.16.4 Pozo Castilla III

El diseño del pozo Castilla III presenta filtros a partir de los 43 metros de profundidad, lo que asegura la no captación de los acuíferos someros. Para la definición de la columna de agua, se usó el nivel estático medido en el pozo Castilla III durante las pruebas de bombeo, obteniéndose un valor de 3.43 metros.

El espesor saturado del acuífero se definió mediante la siguiente expresión:

$$E_{sat} = P_{acuifero} - N_{agua} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

E_{sat} = Espesor saturado del acuífero (m)
$P_{acuífero}$ = Tope del nivel acuífero captado (m)
N_{agua} = Nivel de la columna de agua (m)

Conociendo que el tope del nivel acuífero captado por el pozo Chichimene está ubicado desde los 53 metros y que la columna de agua está a 11,12 metros aproximadamente, se obtiene el espesor saturado, así:

$$E_{sat} = 43\ m - 3{,}43\ m = 39{,}57\ m$$

Ahora bien, como menciona M. Villanueva & A. Iglesias, 1984, el descenso máximo admisible no debe superar el 30% o el 35% del espesor saturado inicial. Por ello, el descenso máximo admisible (S_{max}) para estos pozos se define como el 30% del espesor saturado, siendo este el escenario más conservador, cuyo fin es asegurar la integridad del acuífero captado:

$$s_{max} = E_{sat} \times 30\%$$

Reemplazando estos valores, se obtiene el descenso máximo sostenible que podría presentar cada pozo:

$$s_{max} = 39{,}57 \times 30\% = 11{,}87\ m$$

El descenso máximo sostenible que pueden presentar los pozos proyectados para llevar a cabo la captación de agua subterránea en el Área de Desarrollo Bucare de acuerdo con el pozo Castilla III es 11,87 metros.

Calculado el descenso máximo admisible que podría presentar cada pozo y conociendo la Transmisividad y el Coeficiente de almacenamiento del acuífero captado (estimados a partir de las pruebas de bombeo), se calcula el caudal de explotación mediante la ecuación de pozo:

$$s = 0{,}183 \times \frac{Q}{T} \times \log\left(\frac{2{,}25 \times T \times t}{r^2 \times S}\right)$$ Ecuación 2

Donde:

s: Abatimiento (m)
T: Transmisividad ($m^2/día$)
Q: Caudal de bombeo ($m^3/día$)
S: Coeficiente de almacenamiento
t: Tiempo de bombeo (días)
r: Radio de perforación del pozo (m)

Despejando el caudal de la ecuación de pozo, se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{s \times T}{0{,}183 \times \log\left(\frac{2{,}25 \times T \times t}{r^2 \times S}\right)}$$

Reemplazando los parámetros requeridos, tales como el descenso máximo admisible y los parámetros hidráulicos estimados a partir de las pruebas de bombeo realizadas (Tabla 4.2-25), se calcula el caudal de explotación apto para estos pozos, teniendo en cuenta el tiempo de bombeo a solicitar que corresponde a 10 horas diarias.

$$Q = \frac{11{,}87 \times 58.8}{0{,}183 \times \log\left(\frac{2{,}25 \times 58.8 \times 0{,}417}{(0{,}076)^2 \times 1\ x\ 10 - 4}\right)}$$

$$Q = 477{,}94\ {}^{m^3}/_{día}$$

$$\boldsymbol{Q \approx 5.53\ l/s}$$

De esta manera, se estima que el caudal máximo sostenible de explotación para los pozos captadores proyectados en el Área de Desarrollo Bucare corresponde aproximadamente a 5.53 l/s por pozo.

Considerando que el caudal de extracción solicitado para cada pozo es de 5,04 l/s, se concluye que dicho valor resulta apto, conservador y ambientalmente sostenible, dado que representa alrededor del 91% del caudal máximo sostenible estimado para cada pozo, garantizando una explotación responsable del recurso hídrico subterráneo y evitando una afectación significativa sobre el acuífero captado.

4.2.2.16.5 Análisis final del caudal

Con base en el análisis hidráulico realizado, sustentado en información secundaria proveniente de pruebas de bombeo ejecutadas en pozos profundos que captan el Miembro Superior de la Formación Guayabo, se concluye que la solicitud de un caudal individual de 5,04 l/s por pozo, para un total máximo concesionado de 25,2 l/s, resulta técnicamente viable y conservador.

Los cálculos efectuados para los pozos de referencia (Chichimene, Acacías, Castilla I y Castilla III), considerando un descenso máximo admisible equivalente al 30 % del espesor saturado, muestran que los caudales máximos sostenibles por pozo oscilan entre aproximadamente 5,5 l/s y 21,2 l/s. En todos los escenarios evaluados, el caudal solicitado para los pozos proyectados no supera el caudal máximo sostenible estimado, e incluso representa entre el 25 % y el 55 % de este valor en la mayoría

de los casos, y cerca del 91 % únicamente en el escenario más restrictivo, correspondiente al pozo Castilla III, sin exceder el límite definido bajo el criterio conservador del 30 % de abatimiento.

Adicionalmente, el esquema operativo propuesto, con tiempos de bombeo limitados a 10 horas diarias, contribuye a reducir la presión hidráulica sobre el acuífero y favorece su recuperación, asegurando condiciones de explotación responsables. En este sentido, el caudal solicitado no compromete la integridad del sistema acuífero, no induce descensos críticos ni genera escenarios de sobreexplotación, y es consistente con las propiedades hidráulicas estimadas para el Miembro Superior de la Formación Guayabo.