



ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL  
“ÁREA DE DESARROLLO LLANOS 141”

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



## CONTENIDO

	Pág.
4 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES.....	1
4.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	1
4.2.1 Solicitud de permiso de exploración de aguas subterráneas.....	1
4.2.1.1 Ubicación y extensión de los predios a explorar .....	5
4.2.1.2 Superficie de los sitios de exploración y términos.....	5
4.2.1.3 Hidrología superficial y climatología .....	5
4.2.1.4 Cartografía geológica superficial .....	8
4.2.1.5 Prospección geofísica.....	10
4.2.1.5.1 Tomografías geoelectricas.....	10
4.2.1.5.2 Sondeos magnetotelúricos (MT).....	18
4.2.1.5.3 Información hidrogeológica a partir de registros de pozos de Hidrocarburo .....	26
4.2.1.6 Ensayos o pruebas de bombeo – Características hidráulicas .....	29
4.2.1.6.1 PB-6 pozo Apiay-2 .....	31
4.2.1.7 Características fisicoquímicas del agua subterránea en los niveles a explorar.....	32
4.2.1.8 Características hidrogeológicas de la zona – Modelo hidrogeológico conceptual.....	35
4.2.1.9 Compilación de datos sobre necesidad de agua existente y requerida.....	39
4.2.1.10 Volumen, caudal de agua requerido y régimen de explotación .....	40
4.2.1.11 Perforación de los pozos exploratorios, características técnicas y diseño preliminar .....	40
4.2.1.11.1 Sistema de perforación .....	41
4.2.1.11.2 Especificaciones del equipo de perforación, nombre, número de inscripción de la empresa perforadora .....	41
4.2.1.11.3 Características técnicas y diseño preliminar de los pozos .....	41
4.2.1.12 Plan de trabajo general y cronograma de obras. ....	42
4.2.1.12.1 Movimiento de equipos, herramientas, materiales y personal .....	42
4.2.1.12.2 Instalación de equipos y demarcación del área .....	42
4.2.1.12.3 Perforación exploratoria y descripción litológica .....	43
4.2.1.12.4 Registros físicos.....	43
4.2.1.12.5 Ampliación del pozo .....	43
4.2.1.12.6 Revestimiento y engravillado .....	43
4.2.1.12.7 Limpieza y desarrollo de los pozos.....	43
4.2.1.12.8 Instalación de los sellos sanitarios, bases de concreto, tuberías de medición de niveles y nivelación topográfica.....	43
4.2.1.12.9 Pruebas de bombeo.....	44
4.2.1.12.10 Toma de muestras de agua .....	44

---

4.2.1.12.11	Elaboración y entrega de informe final .....	44
4.2.1.13	Presupuesto por pozo.....	45
4.2.1.14	Otros aprovechamientos de agua subterránea en la zona y posibles conflictos por el uso .....	46
4.2.2	Solicitud de permiso de concesión de aguas subterráneas .....	47
4.2.2.1	Estudios de exploración hidrogeológica realizados en el acuífero a captar .....	53
4.2.2.2	Fuente de agua a concesionar .....	53
4.2.2.3	Perfil estratigráfico de los niveles acuíferos solicitados en concesión.....	53
4.2.2.4	Volumen, caudal, usos y régimen de explotación solicitada .....	55
4.2.2.5	Término de tiempo por el cual se solicita el permiso de concesión .....	55
4.2.2.6	Sistemas de captación, obras de conducción, almacenamiento y sistema de tratamiento .....	55
4.2.2.7	Diagnóstico sanitario en los alrededores de los pozos .....	55
4.2.2.8	Medidas y acciones a implementar para evitar pérdidas de agua y una inadecuada disposición de sobrantes / Manejo, uso y ahorro eficiente del agua	56
4.2.2.9	Medidas de protección y mantenimiento de los pozos.....	56
4.2.2.10	Medidas para cierre y sellado del pozo .....	56
4.2.2.11	Servidumbre para el aprovechamiento del agua o para la construcción de obras proyectadas .....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 4.2-1 Información requerida para solicitud de permiso de exploración de aguas subterráneas según la normatividad vigente del Decreto 1076 del 2015, TR HI-TER-1-03 del 2010, Metodología general del 2018 y numeral que la presenta.....	2
Tabla 4.2-2 Coordenadas de las tomografías eléctricas.....	10
Tabla 4.2-3 Unidades geológicas y valores de resistividad, espesor y topes de acuerdo a las tomografías eléctricas.....	18
Tabla 4.2-4 Coordenadas de los sondeos magnetotelúricos.....	19
Tabla 4.2-5 Zonas de resistividad, perfiles sondeos magnetotelúricos 2D.....	20
Tabla 4.2-6 Coordenadas de los pozos de hidrocarburos localizados en el AD Llanos 141.....	26
Tabla 4.2-7 Topes y espesores de los diferentes Niveles de la Formación Guayabo en los pozos de hidrocarburos.....	27
Tabla 4.2-8 Coordenadas y características de las pruebas de bombeo.....	30
Tabla 4.2-9 Parámetros hidráulicos obtenidos en la prueba de bombeo PB-6 pozo Apiay-2.....	32
Tabla 4.2-10 Coordenadas y características del punto de muestreo P-509.....	33
Tabla 4.2-11 Resultados fisicoquímicos y bacteriológicos del pozo P-509.....	34
Tabla 4.2-12 Caudal de agua requerido por el proyecto.....	40
Tabla 4.2-13 Cronograma estimado de actividades para la perforación de un pozo exploratorio de agua de hasta 150 m.....	45
Tabla 4.2-14 Presupuesto estimado para la perforación de un pozo de agua hasta de 150 m.....	45
Tabla 4.2-15 Resumen de puntos de agua subterránea inventariados.....	46
Tabla 4.2-16 Información requerida para solicitud de permiso de concesión de aguas subterráneas según la normatividad vigente del Decreto 1076 del 2015, TR HI-TER-1-03 del 2010, Metodología general del 2018 y numeral que la presenta.....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 4.2-1 Drenajes y cuerpos de agua superficiales en el AI del AD Llanos 141 .....	6
Figura 4.2-2 Valores medios mensuales multianuales de precipitación estación Ojo de Agua (35030050) del IDEAM .....	7
Figura 4.2-3 Temperatura total mensual multianual Aeropuerto Vanguardia (35035020) del IDEAM .....	7
Figura 4.2-4 Resultados ETR estación La Libertad Aut (35025110) para la zona del proyecto .....	8
Figura 4.2-5 Cartografía geológica superficial en el AI del AD Llanos 141 .....	9
Figura 4.2-6 Localización de las tomografías eléctricas .....	10
Figura 4.2-7 Tomografía 12 .....	12
Figura 4.2-8 Tomografía 4 .....	12
Figura 4.2-9 Tomografía 1 .....	13
Figura 4.2-10 Tomografía 25 .....	13
Figura 4.2-11 Tomografía 22 .....	14
Figura 4.2-12 Tomografía 5 .....	14
Figura 4.2-13 Tomografía 16 .....	15
Figura 4.2-14 Tomografía 23 .....	15
Figura 4.2-15 Tomografía 07 .....	16
Figura 4.2-16 Tomografía 26 .....	16
Figura 4.2-17 Tomografía 24 .....	16
Figura 4.2-18 Tomografía 18 .....	17
Figura 4.2-19 Tomografía 20 .....	17
Figura 4.2-20 Localización de los sondeos magnetotéluricos y perfiles de inversión 2D .....	19
Figura 4.2-21 Perfil 1 de inversión 2D / NW-SE .....	21
Figura 4.2-22 Perfil 2 de inversión 2D / NW-SE .....	22
Figura 4.2-23 Perfil 3 de inversión 2D / SW-NE .....	23
Figura 4.2-24 Perfil 4 de inversión 2D / SW-NE .....	24
Figura 4.2-25 Perfil 5 de inversión 2D / SW-NE .....	25
Figura 4.2-26 Localización de los pozos de hidrocarburos presentes en el área de evaluación .....	26
Figura 4.2-27 Niveles Superior, Medio e Inferior de la Formación Guayabo en el pozo Vanguardia-1 .....	27
Figura 4.2-28 Registro de resistividad del pozo Vanguardia-1 y perfil 4 de inversión 2D MT .....	28
Figura 4.2-29 Registro de resistividad del pozo Guacavia-1 y perfil 3 de inversión 2D MT .....	28
Figura 4.2-30 Registro de resistividad del Pozo Llanos-1 y perfil 5 de inversión 2D MT .....	29
Figura 4.2-31 Localización del pozo Apiay-2 PB-6 .....	31
Figura 4.2-32 Curva tiempo / abatimiento para la prueba PB-6 .....	32
Figura 4.2-33 Localización del punto de muestreo P-509 .....	33
Figura 4.2-34 Esquema modelo hidrogeológico conceptual para Área de Influencia .....	39
Figura 4.2-35 Distribución porcentual del agua subterránea en Colombia .....	39
Figura 4.2-36 Diseño esquemático preliminar del pozo exploratorio .....	41

---

Figura 4.2-37	Localización de puntos de agua subterránea inventariados en el Área de Influencia .....	47
Figura 4.2.2-1	Perfil estratigráfico de los niveles acuíferos solicitados en concesión .....	54

## 4 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES

### 4.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

#### 4.2.1 Solicitud de permiso de exploración de aguas subterráneas

ECOPETROL S.A solicita el permiso de prospección y exploración de aguas subterráneas a través de la perforación de cinco (5) pozos, que tendrían profundidades hasta de 150 m con filtros por debajo de los 90 m, captando niveles acuíferos de la Formación Guayabo Nivel Superior, sin aprovechar los niveles someros usados por la comunidad, que se abastece mediante aljibes y pozos de los Depósitos cuaternarios que alcanzan espesores promedio entre 40 y 90 m. Los pozos se planean utilizar como fuente de abastecimiento de agua para uso industrial y doméstico, y se ubicarán en alguna de las diez (10) locaciones, la facilidad de producción o cualquiera de las dos (2) facilidades satélites a construir, las cuales a su vez se construirán en áreas definidas según la zonificación de manejo ambiental.

La información de soporte proviene de la evaluación hidrogeológica realizada en el presente estudio (capítulo 3, numeral 3.2.7 Hidrogeología), cuyo análisis e integración, permitió hacer la caracterización hidrogeológica y determinar niveles acuíferos favorables para el almacenamiento de agua subterránea y los usos y usuarios del mismo en el Área de Desarrollo (AD) Llanos 141, concluyendo que existe una buena oferta de agua subterránea en los niveles arenosos de la Formación Guayabo Nivel Superior.

La presente solicitud se realiza de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Resolución 1058 del 07 de octubre de 2021 expedida por el MADS<sup>1</sup>, en la cual se adopta el Formato Único Nacional de solicitud de permiso de prospección y exploración de aguas subterráneas, con base en el Decreto 1076 de 2015 expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS<sup>2</sup>, que estipula *“Las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas que deseen explorar en búsqueda de aguas subterráneas, deberán presentar solicitud de permiso y suministrar información”*. Igualmente, se tiene en cuenta lo requerido en los términos de referencia HI-TER-1-03 de 20103, Numeral 4.2 y la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales, 2018 en el numeral 6.24, en relación con los permisos de exploración de agua subterránea.

En la **Tabla 4.2-1** se presenta la relación de la información requerida en la normatividad mencionada previamente, y el ítem respectivo donde se halla la información de soporte. En el **Anexo 4 Uso y Aprovechamiento RN / 4.2 Aguas Subterránea / 4.2.1 FUN Prospección y Exploración** se adjunta el Formato Único Nacional – FUN de solicitud de prospección y exploración de aguas subterráneas junto con la demás información solicitada en dicho formato.

1 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 1058 de 07 de octubre de 2021. “Por la cual se modifica parcialmente la resolución 2202 del 29 de diciembre de 2005 y se adoptan otras determinaciones” Hoja No. 1-2 y Anexos.

2 MADS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto Número 1076 de mayo de 2015. . “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible” Libro 2. Régimen Reglamentario del Sector Ambiente, Parte 2. Reglamentaciones, Título 3. Aguas no marítimas, Capítulo 2. Uso y aprovechamiento del agua. Sección 16. Art. 2.2.3.2.16.4, al Art. 2.2.3.2.16.5, Art. 2.2.3.2.16.6., Art. 2.2.3.2.16.9., Art. 2.2.3.2.16.10. Hoja No. 326-331.

3 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Términos de referencia sector hidrocarburos. Estudio de Impacto Ambiental proyectos de explotación de hidrocarburos HI-TER-1-03. Bogotá D.C., 2010. P. 29.

4 MINAMBIENTE - ANLA. Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales. 2018. pp. 168 – 169.

**Tabla 4.2-1 Información requerida para solicitud de permiso de exploración de aguas subterráneas según la normatividad vigente del Decreto 1076 del 2015, TR HI-TER-1-03 del 2010, Metodología general del 2018 y numeral que la presenta**

NORMA	TÉRMINOS	INFORMACIÓN SOLICITADA	NUMERAL DONDE SE PRESENTA LA INFORMACIÓN
Decreto 1076 de 2015. Libro 2. Régimen Reglamentario del Sector Ambiente, Parte 2. Reglamentaciones, Título 3. Aguas no marítimas, Capítulo 2. Uso y aprovechamiento del agua, Sección 16. Régimen de ciertas categorías especiales de agua	Art. 2.2.3.2.16.5 <i>Requisitos para la obtención del permiso.</i> “Las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que deseen explorar en búsqueda de aguas subterráneas, deberán presentar solicitud de permiso... y suministrar además la siguiente información...” (Decreto 1541 de 1978, art. 147).	a. Ubicación y extensión del predio o predios a explorar, indicando si son propios ajenos o baldíos.	4.2.1.1 Ubicación y extensión de los predios a explorar
		b. Nombre y número de inscripción de la empresa perforadora y relación y especificaciones del equipo que va a usar en las perforaciones.	4.2.1.11.2 Especificaciones del equipo de perforación, nombre, número de inscripción de la empresa perforadora
		c. Sistema de perforación a emplear y plan de trabajo.	4.2.1.11.1 Ubicación y extensión de los predios a explorar 4.2.1.12 Plan de trabajo general y cronograma de obras.
		d. Características hidrogeológicas de la zona si fueren conocidas.	4.2.1.8 Características hidrogeológicas de la zona – Modelo hidrogeológico conceptual
		e. Relación de los otros aprovechamientos de aguas subterráneas existente dentro del área que determine la Autoridad Ambiental competente.	4.2.1.14 Otros aprovechamientos de agua subterránea en la zona y posibles conflictos por el uso
		f. Superficie para la cual se solicita el permiso y término de este.	4.2.1.2 Superficie de los sitios de exploración y términos
		g. Los demás datos que el peticionario o la autoridad ambiental competente consideren pertinentes.	No aplica
	Art. 2.2.3.2.16.6. <i>Anexos solicitud de permiso.</i> Las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas deberán acompañar a la solicitud (Decreto 1541 de 1978, art. 148).	a. Certificado del Registro de Instrumentos Públicos y Privados sobre el registro del inmueble o la prueba adecuada de la posesión de tenencia.	Se allegarán en los PMA específicos
		b. Los documentos que acrediten a la personería o identificación del solicitante.	
		c. Autorización escrita con la firma autenticada del propietario o propietarios de los fundos donde se van a realizar las exploraciones si se tratare de predios ajenos.	
	Art. 2.2.3.2.16.9. <i>Exploración y aspectos a considerar.</i> En el proceso de exploración se contemplarán los siguientes aspectos para efectos del informe a que se refiere el art 2.2.3.2.16.10 de este decreto. (Decreto 1541 de 1978, Art. 151).	1. Cartografía geológica superficial.	4.2.1.4 Cartografía geológica superficial
		2. Hidrología superficial.	4.2.1.3 Hidrología superficial y climatología
		3. Prospección geofísica.	4.2.1.5 Prospección geofísica
		4. Perforación de pozos exploratorios.	4.2.1.11 Perforación de los pozos exploratorios, características técnicas y diseño preliminar
5. Ensayo de bombeo.		4.2.1.6 Ensayos o pruebas de bombeo – Características hidráulicas	
6. Análisis fisicoquímico de las aguas.		4.2.1.7 Características fisicoquímicas del agua subterránea en los niveles a explorar	
7. Compilación de datos sobre necesidad de agua existente y requerida.		4.2.1.9 Compilación de datos sobre necesidad de agua existente y requerida	

NORMA	TÉRMINOS	INFORMACIÓN SOLICITADA	NUMERAL DONDE SE PRESENTA LA INFORMACIÓN
Decreto 1076 de 2015. Libro 2. Régimen Reglamentario del Sector Ambiente, Parte 2. Reglamentaciones, Título 3. Aguas no marítimas, Capítulo 2. Uso y aprovechamiento del agua, Sección 16. Régimen de ciertas categorías especiales de agua	Art. 2.2.3.2.16.10. <i>Informe del permisionario.</i> Al término de todo permiso de exploración de aguas subterráneas, el permisionario tiene un plazo de sesenta (60) días hábiles para entregar a la autoridad ambiental competente por cada perforado un informe que debe contener, cuando menos los siguientes puntos. (Decreto 1541 de 1978, art. 152).	a. Ubicación del pozo perforado y de otros que existan dentro del área de exploración o próximos a esta. La ubicación se hará por coordenadas geográficas con base a WGS84 y siempre que sea posible con coordenadas planas origen Oeste "Magna Sirgas" con base en cartas del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi".	No aplica para la presente evaluación. Se allegará 60 días hábiles después de realizada la perforación exploratoria a la autoridad ambiental competente, sin embargo, se presenta de forma preliminar en numeral el 4.2.1.14 Otros aprovechamientos de agua subterránea en la zona y posibles conflictos por el uso se relacionan los puntos de agua subterránea inventariados en el AI Físico-biótica.
		b. Descripción de la perforación y copia de los estudios geofísicos, si se hubieren hecho.	No aplica para la presente evaluación. Se allegará 60 días hábiles después de realizada la perforación exploratoria a la autoridad ambiental competente.
		c. Profundidad y método de perforación.	
		d. Perfil estratigráfico de todos los pozos perforados, tengan o no agua, descripción y análisis de las formaciones geológicas, espesor, composición, permeabilidad, almacenaje y rendimiento real del pozo si fuera productivo y técnicas empleadas en las distintas fases. EL titular del permiso deberá entregar, cuando la entidad lo exija muestras de cada formación geológica atravesada, indicando la cota del nivel superior e inferior a que corresponde.	
Art. 2.2.3.2.16.10. <i>Informe del permisionario.</i> Al término de todo permiso de exploración de aguas subterráneas, el permisionario tiene un plazo de sesenta (60) días hábiles para entregar a la autoridad ambiental competente por cada perforado un informe que debe contener, cuando menos los siguientes puntos. (Decreto 1541 de 1978, art. 152).	e. Nivelación de cota del pozo, con relación a las bases altimétricas establecidas por el Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", niveles estáticos de agua contemporáneos a la prueba en la red de pozos de observación, y sobre los demás parámetros hidráulicos debidamente calculados.	No aplica para la presente evaluación. Se allegará 60 días hábiles después de realizada la perforación exploratoria a la autoridad ambiental competente	
	f. Calidad de las aguas; análisis físico –químico y bacteriológico.	No aplica.	
	g. Otros datos que la Autoridad Ambiental competente considere convenientes		
TR HI-TER-1-03 Numeral 4. Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recurso naturales.	Numeral 4.2 Aguas Subterráneas. Con base en la caracterización hidrogeológica del área de influencia directa del proyecto, para la exploración de aguas subterráneas se debe presentar.	El estudio geoelectrico del área donde se pretende hacer la exploración, georreferenciando la ubicación de los posibles pozos. Los puntos de agua subterránea adyacentes y posibles conflictos por el uso de dichas aguas. El método de perforación y características técnicas del pozo Volumen de agua requerido.	4.2.1.5 Prospección geofísica 4.2.1.14 Otros aprovechamientos de agua subterránea en la zona y posibles conflictos por el uso 4.2.1.11 Perforación de los pozos exploratorios, características técnicas y diseño preliminar 4.2.1.10 Volumen, caudal de agua requerido

NORMA	TÉRMINOS	INFORMACIÓN SOLICITADA	NUMERAL DONDE SE PRESENTA LA INFORMACIÓN
<p>MINAMBIENTE – ANLA Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales III. Especificaciones técnicas del Estudio de Impacto Ambiental y del Plan de Manejo Ambiental  Numeral 6. Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales</p>	<p>Numeral 6.2 Aguas Subterráneas. Con base en la caracterización hidrogeológica, para la exploración de agua subterránea se debe presentar:</p>	<p>Localización georreferenciada de los polígonos en los que se propone ubicar los sitios propuestos para realizar las perforaciones exploratorias, presentando la cartografía a la escala que establezcan los respectivos términos de referencia genéricos, o a una más detallada si el análisis lo requiere, señalando los predios en los que se localizan y la propiedad de los mismos (propios, ajenos o baldíos).</p>	<p>4.2.1.1 Ubicación y extensión de los predios a explorar</p>
		<p>Inventario de puntos de agua subterránea del área donde se proyecta realizar la exploración diligenciando el Formulario Único Nacional para Inventario de Puntos de Agua Subterránea.</p>	<p>4.2.1.14 Otros aprovechamientos de agua subterránea en la zona y posibles conflictos por el uso</p>
		<p>Estudio geofísico empleado para determinar la localización de los pozos exploratorios, con la ubicación y la interpretación de los sondeos eléctricos verticales (u otros métodos geofísicos) y los perfiles geológico-geofísicos realizados. Se deben adjuntar los datos de campo.</p>	<p>4.2.1.5 Prospección geofísica</p>
		<p>Localización georreferenciada de los sitios propuestos para realizar las perforaciones exploratorias en cartografía con la escala que definan los términos de referencia genéricos o más detallada, de ser necesario.</p>	<p>4.2.1.1 Ubicación y extensión de los predios a explorar</p>
		<p>Descripción del sistema de perforación a emplear, señalando las especificaciones del equipo, características técnicas, manejo ambiental, registros físicos del pozo y diseño preliminar del mismo (profundidad, diámetro, material de entubado, ubicación tentativa de filtros, tubería ciega y sello sanitario).</p>	<p>4.2.1.11 Perforación de los pozos exploratorios, características técnicas y diseño preliminar</p>
		<p>Análisis de los posibles conflictos por la disponibilidad y usos del recurso, de acuerdo con la caracterización hidrogeológica del área que se presenta en la línea base abiótica (p. e. inventario de los puntos de agua subterránea).</p>	<p>4.2.1.14 Otros aprovechamientos de agua subterránea en la zona y posibles conflictos por el uso</p>
		<p>Cronograma de obras y presupuesto estimado</p>	<p>4.2.1.12 Plan de trabajo general y cronograma de obras. 4.2.1.13 Presupuesto por pozo</p>
		<p>Caudal requerido.  Formulario Único Nacional de Solicitud de Prospección y Exploración de Aguas Subterráneas debidamente diligenciado, o aquel que lo modifique, sustituya o derogue.</p>	<p>4.2.1.10 Volumen, caudal de agua requerido  Anexo 4 Uso y Aprovechamiento RN / 4.2 Aguas Subterránea / 4.2.1 FUN Prospección y Exploración se realiza la solicitud de prospección y exploración de aguas subterráneas</p>

Fuente: ANTEA COLOMBIA SAS, 2023 con información de Decreto 1076 de 2015, TR HI-TER-1-03, 2010 y MINAMBIENTE – ANLA, 2018.

#### 4.2.1.1 Ubicación y extensión de los predios a explorar

Los cinco (5) pozos exploratorios de agua subterránea se ubicarán en alguna de las diez (10) locaciones o dos (2) facilidades satélites a construir, que tendrán áreas de hasta 5 ha, también se podrán construir en la Facilidad central de producción proyectada que tendrá un área máxima de 25 ha. La ubicación de estos sitios se realizará dentro del AD Llanos 141, teniendo en cuenta los resultados de la zonificación de manejo ambiental. Cuando se establezca la ubicación definitiva de los pozos de agua, la información relacionada con el nombre del predio, el certificado de tradición y libertad de estos y el permiso del propietario (servidumbre petrolera), se allegará en los PMA específicos.

#### 4.2.1.2 Superficie de los sitios de exploración y términos

Los sitios donde se proyecta perforar los pozos exploratorios para abastecimiento de agua subterránea quedarán ubicados dentro de los límites que definan las locaciones, facilidad central o facilidades satélite de producción, las cuales, como se mencionó anteriormente, se localizarán de acuerdo a la zonificación de manejo ambiental; una vez se tenga la localización y el diseño de estas, se precisará la coordenada de los pozos exploratorios.

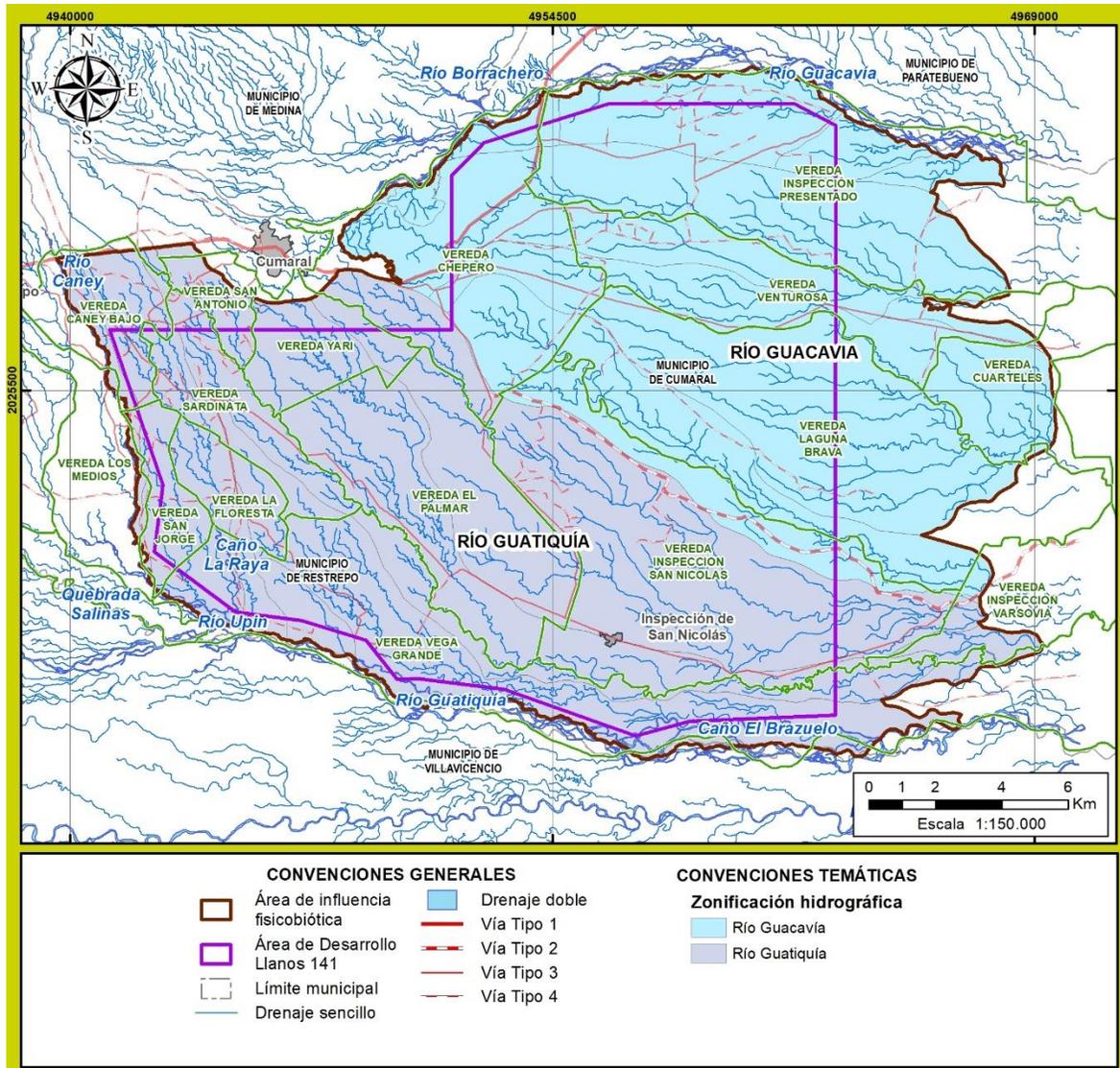
Se estima que la zona donde se realizará el proceso de la perforación de los pozos de agua subterránea no ocupará un área mayor de 250 m<sup>2</sup>. En esta área se instalará el equipo de perforación, piscinas, canales de sedimentación y se almacenarán los materiales.

Se solicita para la exploración de agua subterránea, el tiempo que dure el proyecto; no obstante, las labores de perforación y construcción de los pozos exploratorios durarán aproximadamente 20 días.

#### 4.2.1.3 Hidrología superficial y climatología

El AI del AD Llanos 141 se localiza en el área hidrográfica del río Orinoco, en la zona hidrográfica del río Meta y las subzonas hidrográficas del río Guacavía y el río Guatiquía. En el área de influencia predominan los patrones de drenaje subparalelos a dendríticos, que fluyen hacia el este y provienen desde el noroeste, en una serie de drenajes menores, que no han sido nombrados por la comunidad y son de carácter permanente (Ver **Figura 4.2-1**). La información detallada del componente de hidrología se presenta en el **Capítulo 3., numeral 3.2.4.**

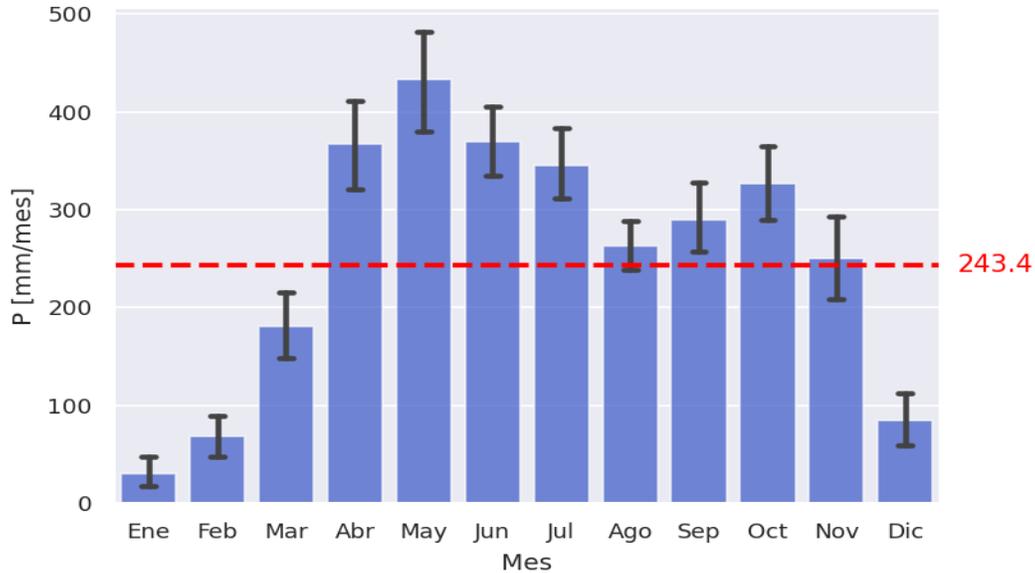
Figura 4.2-1 Drenajes y cuerpos de agua superficiales en el AI del AD Llanos 141



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

El análisis climatológico del área se fundamenta en la información de 14 estaciones meteorológicas del IDEAM, ubicadas en los departamentos del Meta y Cundinamarca. El régimen pluviométrico se ha establecido como monomodal, con estacionalidades, una de sequía desde diciembre a marzo y otra húmeda de abril a noviembre. Los valores de precipitación en general muestran un comportamiento bajo en los meses de diciembre a marzo, comportamientos altos en los meses de abril a julio con abundantes lluvias, mientras en los meses de agosto a noviembre los valores de precipitación se mantienen cerca a la media anual dentro del periodo húmedo. A nivel mensual las lluvias promedio varían desde 50 mm/mes hasta 1.000 mm/mes. Las precipitaciones medias anuales en las estaciones varían desde 2.657 mm/año hasta 6.939 mm/año. En la **Figura 4.2-2** se presenta una gráfica representativa de la precipitación total mensual multianual en la Estación Ojo de Agua.

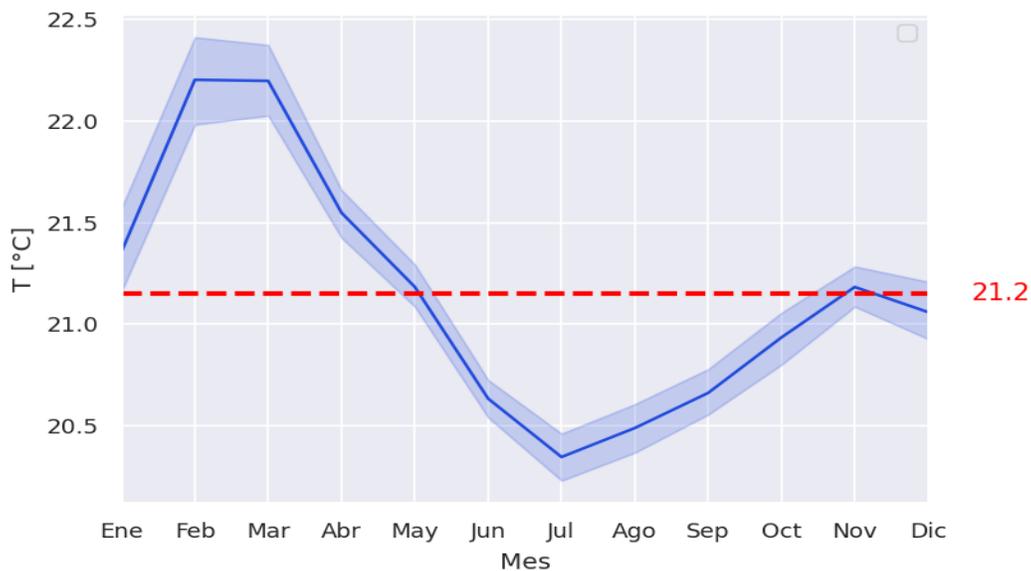
**Figura 4.2-2 Valores medios mensuales multianuales de precipitación estación Ojo de Agua (35030050) del IDEAM**



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Las temperaturas máximas registradas fueron de 38,6 °C en los meses de enero a abril, agosto y de septiembre a diciembre y las temperaturas mínimas registradas fueron de 15 °C en los meses de mayo a agosto, es decir que el rango de variación de temperatura anual puede ser de 23,6 °C. La temperatura media mensual multianual es de 26,2 °C. En la **Figura 4.2-3** se presenta la variación de la temperatura promedio multianual.

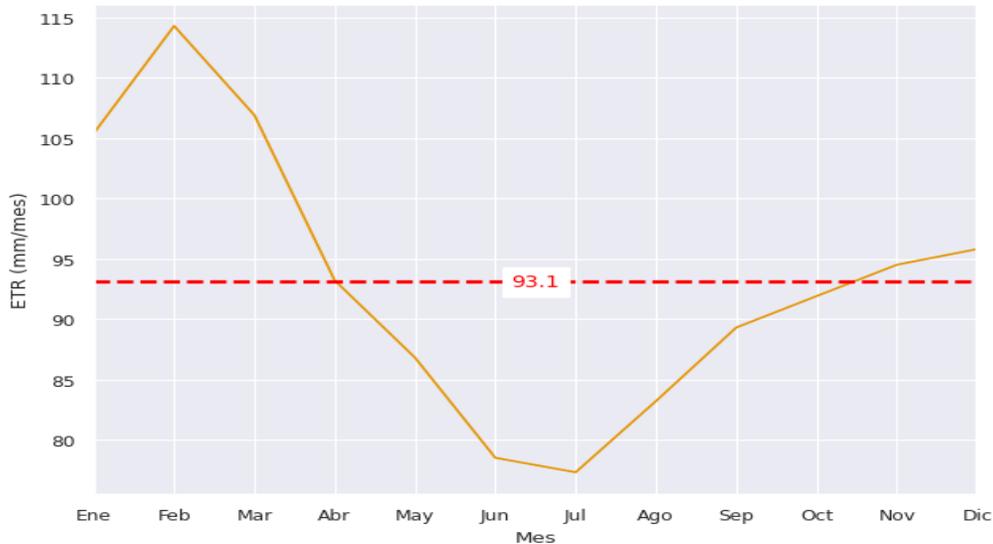
**Figura 4.2-3 Temperatura total mensual multianual Aeropuerto Vanguardia (35035020) del IDEAM**



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

La evaporación presenta un comportamiento similar al de la temperatura, luego los meses identificados con mayor temperatura corresponden con los de mayor evaporación. El período de mayor evaporación real se registra entre los meses de diciembre a marzo con valores que llegan hasta 114,5 mm/mes; así mismo los periodos de menor evaporación son los meses de junio y julio, con valores de 73,6 y 71,6 mm/mes respectivamente.

**Figura 4.2-4 Resultados ETR estación La Libertad Aut (35025110) para la zona del proyecto**



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

De acuerdo con la clasificación climática Caldas-Lang, se estableció que el área de influencia se encuentra en un clima Cálido Húmedo con una temperatura mayor a 24°C y el factor de Lang entre 100,1 y 160. La información detallada de los componentes de climatología e hidrología se presentan en el Capítulo 3.2 Caracterización del medio abiótico **numeral 3.2.9 Atmósfera**.

#### 4.2.1.4 Cartografía geológica superficial

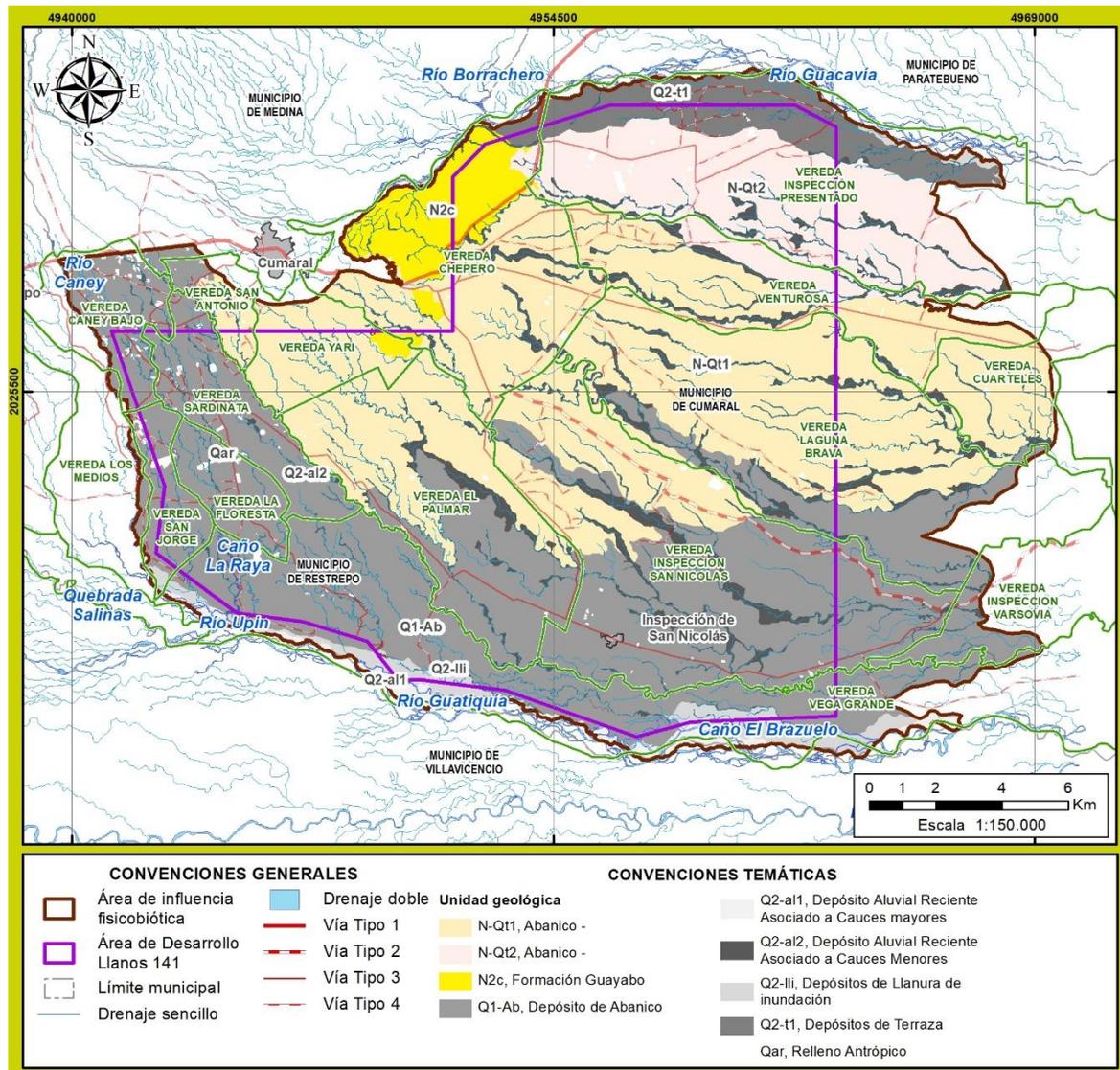
El Área de Desarrollo Llanos 141 se localiza en el costado occidental de la cuenca sedimentaria de los Llanos Orientales, en cercanías del piedemonte de la Cordillera Oriental. Esta cuenca es de tipo antepaís (foreland basin), cuya evolución está estrechamente relacionada con el desarrollo de la margen convergente occidental de Sur América y especialmente con el levantamiento de la Cordillera Oriental durante el Mioceno – Plioceno. Presenta una espesa secuencia de rocas sedimentarias depositadas durante el Mesozoico – Cenozoico, basculada hacia el occidente y que se acuñan hacia el oriente.

Las unidades litoestratigráficas presentes en el área de influencia de base a techo y de acuerdo a información de campos de hidrocarburos cercanos, son las siguientes: El Cretáceo Inferior lo constituye la Formación Une, el Cretáceo Superior está representado por la Formación Chipaque o Guadalupe, suprayaciendo de forma discordante se hallan rocas Paleógenas de la Formación San Fernando, seguida por las formaciones Carbonera, León, Guayabo y los Depósitos Cuaternarios.

En el área de influencia se disponen en superficie principalmente sedimentos cuaternarios de origen fluvial y fluviotorrential, los cuales cubren discordantemente rocas de la Formación Guayabo (N2c) las cuales afloran al costado occidental. Los depósitos de mayor extensión corresponden a los Depósitos de Abanico – Terraza (N-Qt1 y N-Qt2) y el Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab), en menor proporción se hallan sedimentos más recientes asociados a la dinámica de los ríos Guacavía y

Guatiquía, que drenan el límite norte y sur del área de influencia, corresponden al Depósito de Terraza Aluvial (Q2-t1), Depósito de Llanura de Inundación (Q2-lli) y Depósitos Aluviales Recientes asociados a cauces mayores y menores (Q2-al1 y Q2-al2). Localmente se presentan rellenos antrópicos (Qar). Estas unidades están conformadas por gravas, arenas, limos y arcillas en proporciones variables. En la **Figura 4.2-5** se muestra la distribución de las unidades geológicas aflorantes en el área de influencia y las características geológicas se describen con detalle en el **Capítulo 6.1 Numeral 3.2.1 Geología**.

**Figura 4.2-5 Cartografía geológica superficial en el AI del AD Llanos 141**



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

#### 4.2.1.5 Prospección geofísica

La aplicación de los métodos de prospección geoelectrica ayuda a conocer la distribución de los materiales en el subsuelo (geometría y extensión) así como su naturaleza, relacionada especialmente con la litología, analizando la variación de la resistividad de las rocas, al paso de la corriente. Por tanto, la resistividad eléctrica de las rocas depende del volumen de los poros, de su distribución y de la resistividad del fluido contenido en ellos, es decir que también dan una aproximación de la calidad del agua almacenada.

Dentro de la evaluación del presente EIA, se realizó una adquisición de información geofísica mediante tomografías eléctricas y sondeos magnetotéluricos **complementada con información hidrogeológica a partir de registros de pozo de hidrocarburos.**

##### 4.2.1.5.1 Tomografías geoelectricas

La técnica geofísica de tomografía eléctrica, es hoy uno de los principales métodos de estudio de resistividad eléctrica; mediante la inyección de corriente eléctrica en el suelo a través de un par de electrodos se mide el voltaje resultante entre un segundo par de electrodos. Esta técnica permite obtener imágenes de resistividad del subsuelo, mediante mediciones en diferentes niveles usando dispositivos como Wenner, Schlumberger, dipolo-dipolo, polo-dipolo, etc. En el **capítulo 3.2.7 Hidrogeología, 3.2.7.4.1 Tomografías eléctricas y Anexo 3 Caracterización ambiental, 3.2.7 Hidrogeología, 3.2.7.2 Estudio Geofísico para el EIA Bloque Llanos 141** se especifica con detalle los fundamentos teóricos, la metodología de adquisición, equipos, procesamiento de información y resultados.

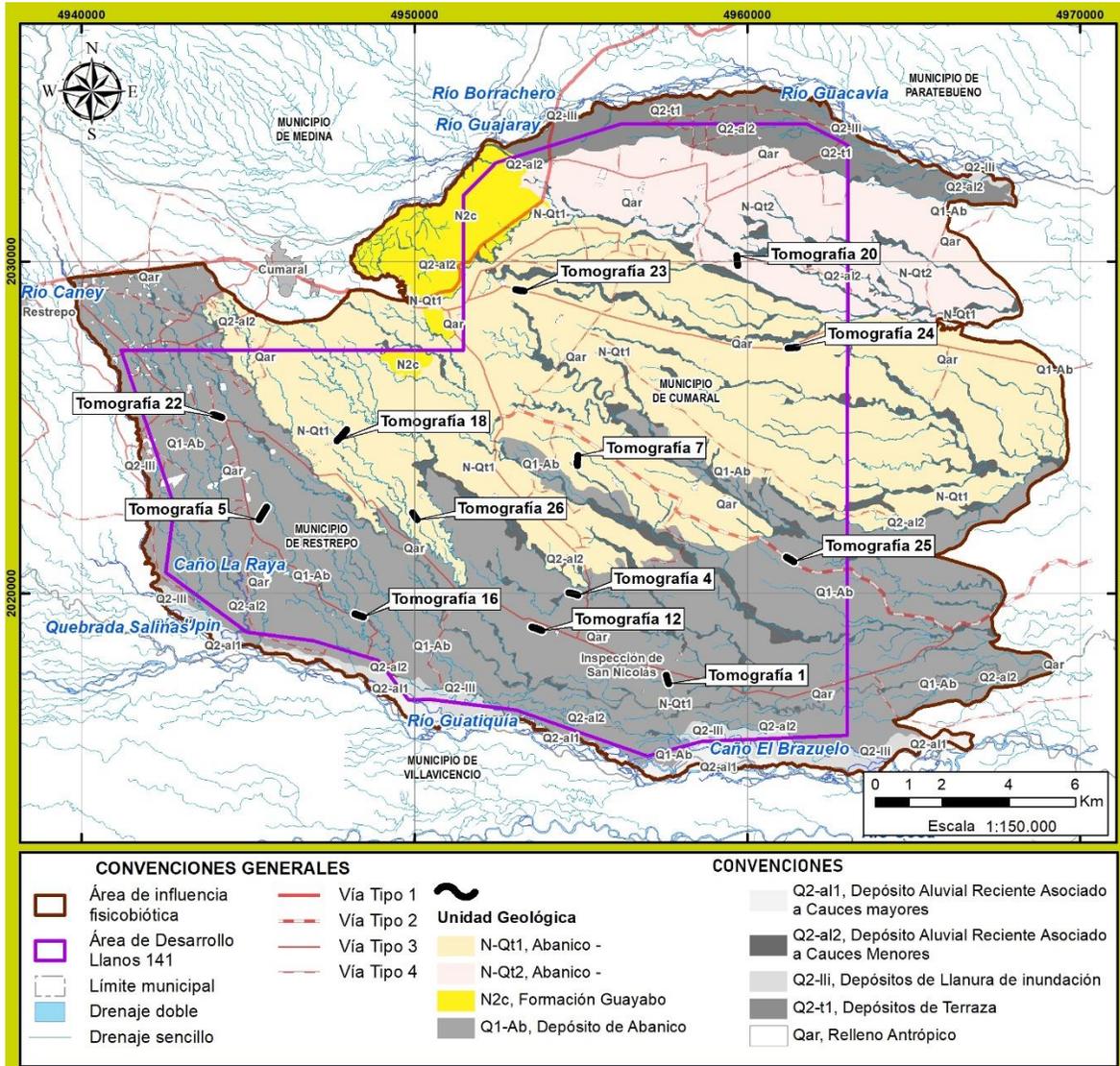
En el área de evaluación se realizaron 13 líneas de tomografía eléctrica, que alcanzan una longitud de 300 m, con una profundidad de investigación de 80 m. La separación de electrodos fue de 5 m, con un total de 60 canales, configurados con el arreglo Simétrico Wenner. En la **Tabla 4.2-2** se presentan las coordenadas de los electrodos, y en la **Figura 4.2-6** su localización.

**Tabla 4.2-2 Coordenadas de las tomografías eléctricas**

TOMOGRAFÍA	ELEC-TRODO	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TOMOGRAFÍA	ELEC-TRODO	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
		ESTE (m)	NORTE (m)			ESTE (m)	NORTE (m)
Tomografía 1	Elec. 01	4.957.562,87	2.017.539,32	Tomografía 20	Elec. 01	4.959.690,50	2.030.177,44
	Elec. 30	4.957.608,30	2.017.412,37		Elec. 30	4.959.706,94	2.030.024,36
	Elec. 60	4.957.653,73	2.017.285,41		Elec. 60	4.959.723,38	2.029.871,27
Tomografía 4	Elec. 01	4.954.639,28	2.020.028,70	Tomografía 22	Elec. 01	4.943.947,44	2.025.392,60
	Elec. 30	4.954.780,00	2.019.984,89		Elec. 30	4.944.084,84	2.025.342,18
	Elec. 60	4.954.920,71	2.019.941,07		Elec. 60	4.944.222,24	2.025.291,76
Tomografía 5	Elec. 01	4.945.555,22	2.022.592,03	Tomografía 23	Elec. 01	4.953.036,02	2.029.156,68
	Elec. 30	4.945.439,31	2.022.405,48		Elec. 30	4.953.169,22	2.029.130,06
	Elec. 60	4.945.323,39	2.022.218,93		Elec. 60	4.953.302,42	2.029.103,43
Tomografía 7	Elec. 01	4.954.918,41	2.024.155,53	Tomografía 24	Elec. 01	4.961.525,34	2.027.424,78
	Elec. 30	4.954.907,09	2.024.003,28		Elec. 30	4.961.375,43	2.027.405,42
	Elec. 60	4.954.895,78	2.023.851,02		Elec. 60	4.961.225,51	2.027.386,07
Tomografía 12	Elec. 01	4.953.535,81	2.018.993,42	Tomografía 25	Elec. 01	4.961.188,12	2.021.093,93
	Elec. 30	4.953.686,41	2.018.933,73		Elec. 30	4.961.297,73	2.021.025,05
	Elec. 60	4.953.837,02	2.018.874,04		Elec. 60	4.961.407,34	2.020.956,16
Tomografía 16	Elec. 01	4.948.205,03	2.019.382,07	Tomografía 26	Elec. 01	4.949.946,01	2.022.430,48
	Elec. 30	4.948.333,85	2.019.334,31		Elec. 30	4.950.015,27	2.022.326,29
	Elec. 60	4.948.462,66	2.019.286,55		Elec. 60	4.950.084,52	2.022.222,11
Tomografía 18	Elec. 01	4.947.963,92	2.024.936,86				
	Elec. 30	4.947.820,93	2.024.770,51				
	Elec. 60	4.947.677,94	2.024.604,16				

Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

**Figura 4.2-6 Localización de las tomografías eléctricas**

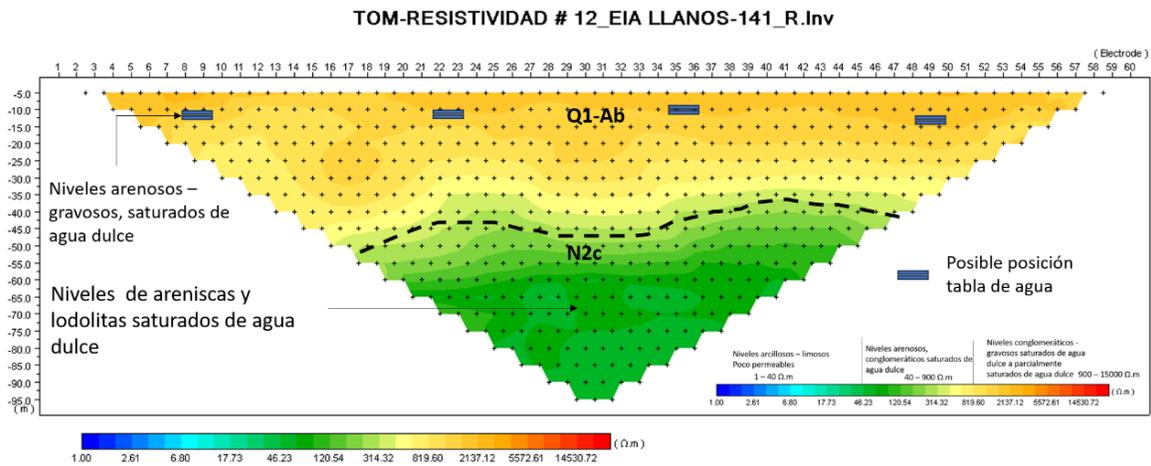


Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

#### 4.2.1.5.1.1 Tomografías eléctricas en el acuífero del depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab)

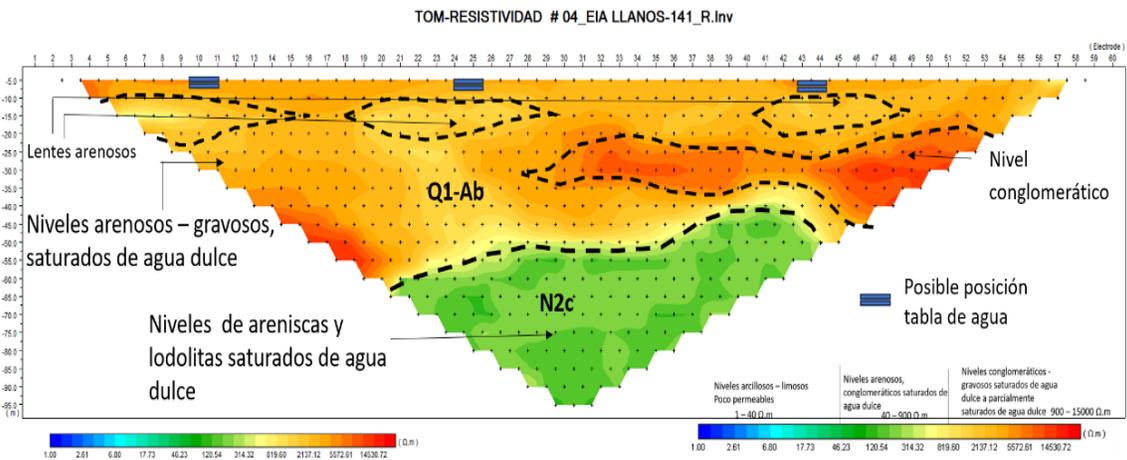
Las tomografías 22, 5, 16, 12, 4, 1 y 25 se hallan en el Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab). Las secciones 12, 4, 1 y 25 (ver **Figura 4.2-7**, **Figura 4.2-8**, **Figura 4.2-9** y **Figura 4.2-10** respectivamente), se localizan en la parte distal del depósito hacia el sector oriental, mostrando entre sí características similares. Esta unidad responde a resistividades altas >700 Ohm/m, correlacionadas con gravas y arenas saturadas a parcialmente saturadas, con la posición de la tabla de agua entre 8 a 15 m, su espesor varía entre 25 a 50 m, observándose más delgado en la tomografía 1 (**Figura 4.2-9**); se presentan lentes tanto arenosos como gravosos, dados por el aumento o disminución de la resistividad (ver **Figura 4.2-8**), estos lentes son típicos del ambiente de depósito fluvio-torrencial de la unidad. Existe un contraste claro entre las resistividades del depósito respecto a las de la Formación Guayabo Nivel Superior (N2c) sobre la cual reposa discordantemente, donde los valores disminuyen (<200 Ohm/m) correlacionados con areniscas saturadas intercaladas con niveles lodosos, estos últimos presentan resistividades alrededor de 15 Ohm/m.

Figura 4.2-7 Tomografía 12



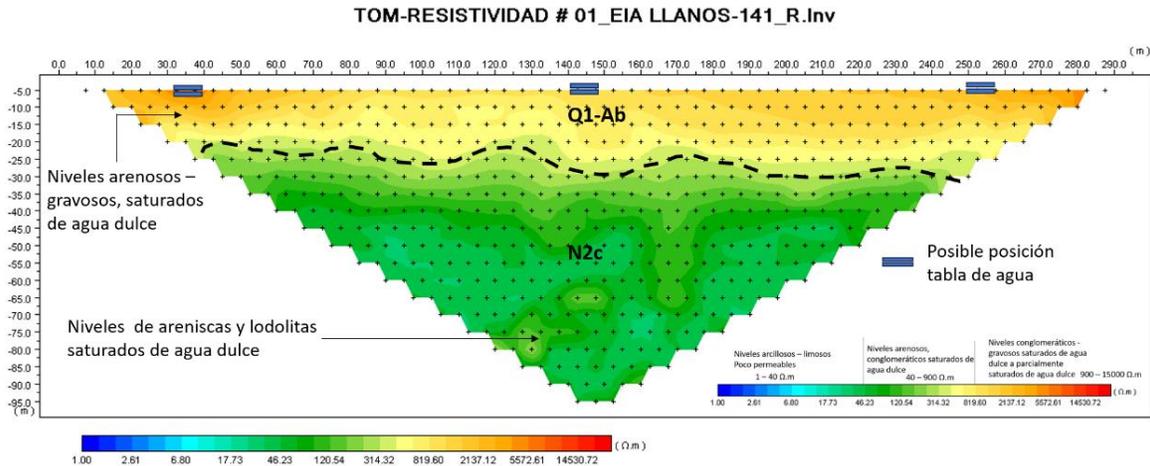
Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Figura 4.2-8 Tomografía 4



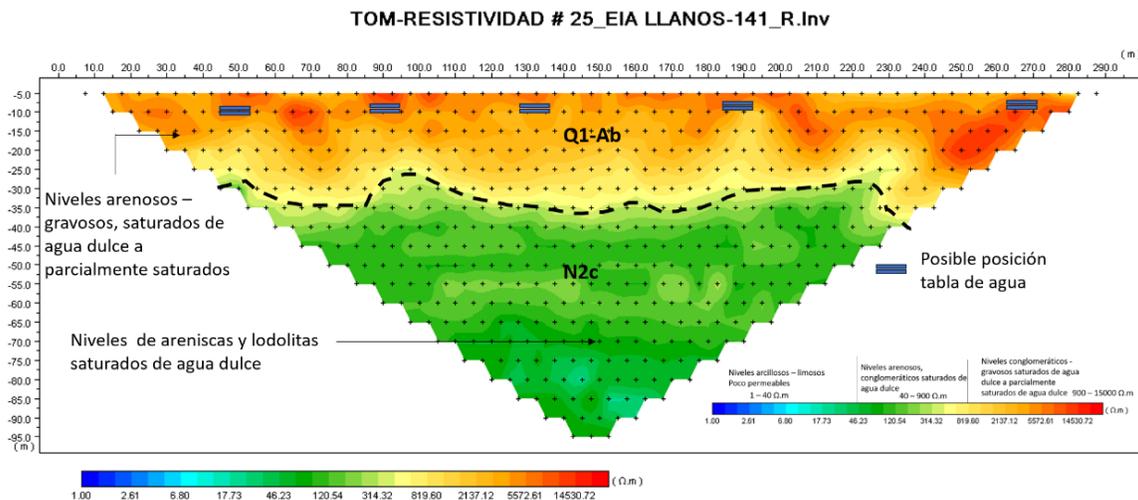
Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Figura 4.2-9 Tomografía 1



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

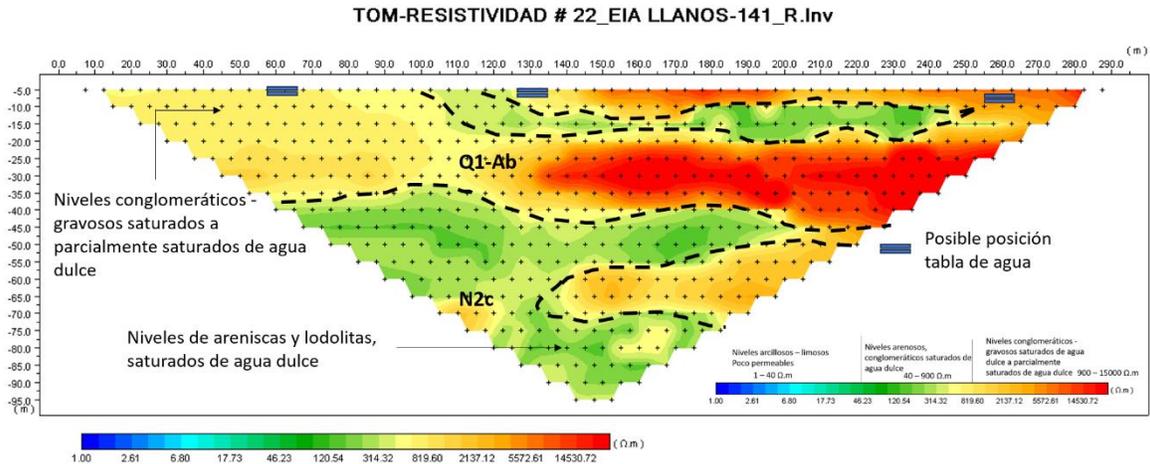
Figura 4.2-10 Tomografía 25



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Las tomografías 22, 5 y 16, se ubican en la parte proximal del Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab). En la tomografía 22 este depósito tiene espesor de 40 a 45 m, con resistividades altas a atípicamente altas, entre 700 y alrededor de 10.000 Ohm/m, correlacionadas con gravas y arenas saturadas a parcialmente saturadas con la posición de la tabla de agua entre 5 a 8 m, también se aprecian algunos niveles de resistividades bajas, alrededor de 300 Ohm/m que indican la presencia de lentes arenosas (ver **Figura 4.2-11**). Por su parte, la Formación Guayabo Nivel Superior (N2c) responde a resistividades <200 Ohm/m, correlacionadas con areniscas saturadas con intercalaciones de niveles lodos, igualmente se aprecia una zona de alta resistividad en esta unidad, alrededor de 500 Ohm/m, indicando la presencia de lentes conglomeráticos.

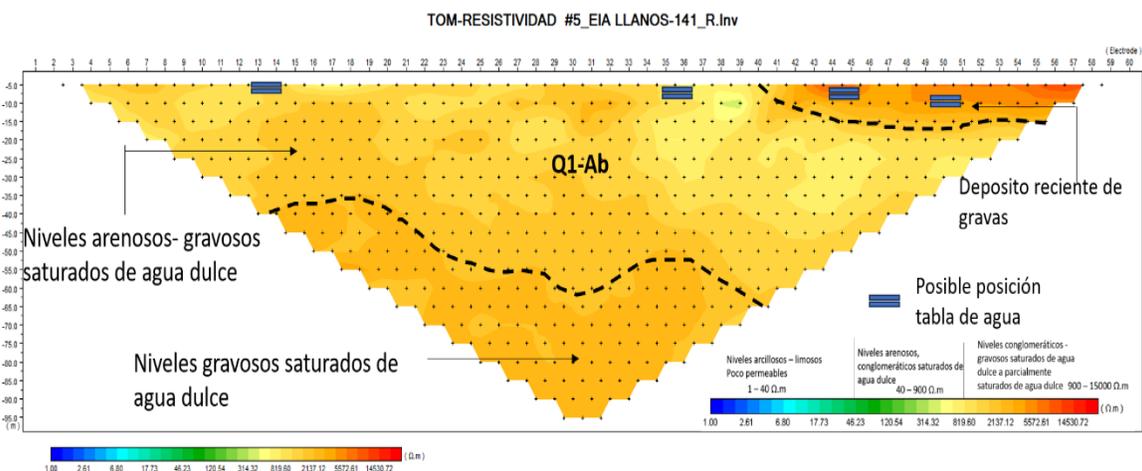
Figura 4.2-11 Tomografía 22



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

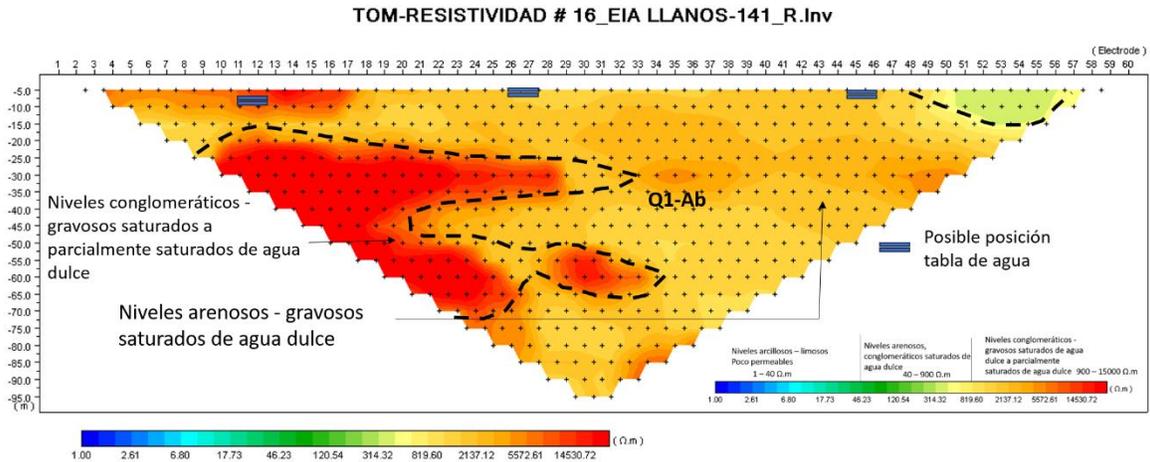
En las tomografías 5 y 16 (ver **Figura 4.2-12** y **Figura 4.2-13**), no se observa el contraste de resistividades respecto la Formación Guayabo infrayacente; se aprecian resistividades altas (>700 Ohm/m), por lo cual, se interpreta en su totalidad el Depósito de Abanico Aluvial, alcanzando un espesor alrededor de 90 m, ambas secciones se localizan hacia el sector central de la unidad lo cual podría explicar el aumento de espesor respecto a las zonas circundantes; las resistividades se correlacionan con gravas y arenas saturadas a parcialmente saturadas hacia el tope con la posición de la tabla de agua entre 5 a 10 m. Ambas secciones muestran variaciones de resistividad dentro del depósito, con valores muy altos de hasta 10.000 Ohm/m, correlacionados con lentes de materiales con mayor contenido de partículas tamaño grava, lo cual obedece a variaciones texturales laterales, típicas del ambiente de depósito de la unidad.

Figura 4.2-12 Tomografía 5



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Figura 4.2-13 Tomografía 16

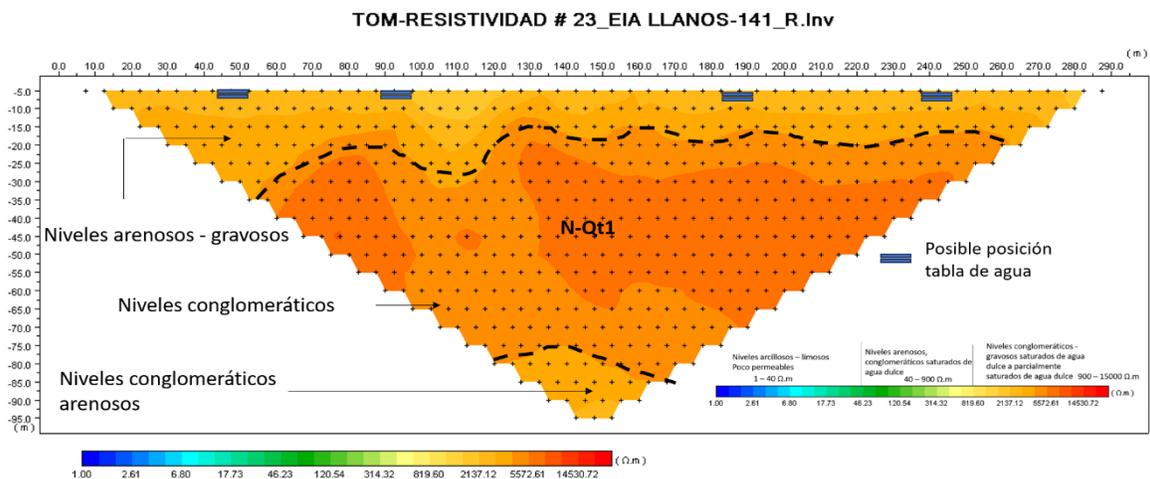


Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

#### 4.2.1.5.1.2 Tomografías eléctricas en el acuífero del depósito de Abanico - Terraza (N-Qt1)

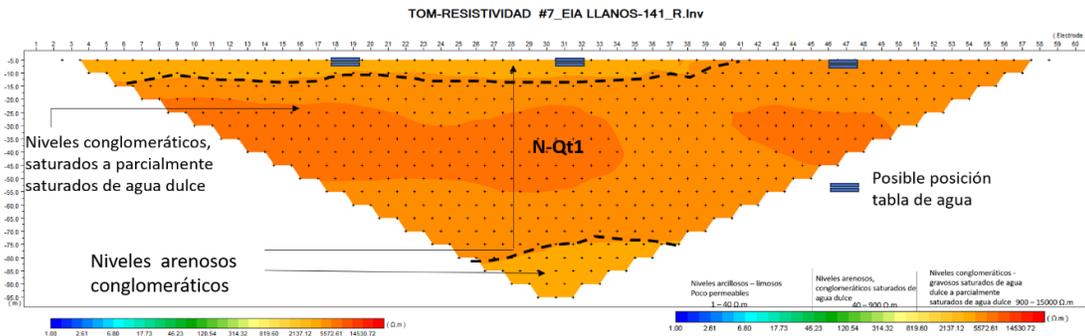
Las tomografías 23, 07, 26, 24 y 18 se hallan en el Depósito de Abanico – Terraza (N-Qt1), esta unidad se caracteriza por presentar una morfología aterrazada que sobresale de las áreas circundantes, siendo topográficamente más elevada que los depósitos cuaternarios adyacentes, lo anterior se ve reflejado en las tomografías 23, 07 y 26 (ver **Figura 4.2-14**, **Figura 4.2-15** y **Figura 4.2-16** respectivamente), que en general tienen el mismo comportamiento, con valores de resistividad homogéneos, atípicamente altos (>1.000 Ohm/m), correlacionados con gravas y arenas saturadas, alcanzando un espesor alrededor de 90 m. En estas secciones se observan ligeras variaciones de resistividad diferenciándose niveles menos resistivos hacia el tope y la base, indicando la presencia de materiales arenosos, y no se aprecia el contraste de resistividad respecto a la unidad geológica infrayacente. El depósito se halla parcialmente saturado con la posición de la tabla de agua entre 5 a 10 m.

Figura 4.2-14 Tomografía 23



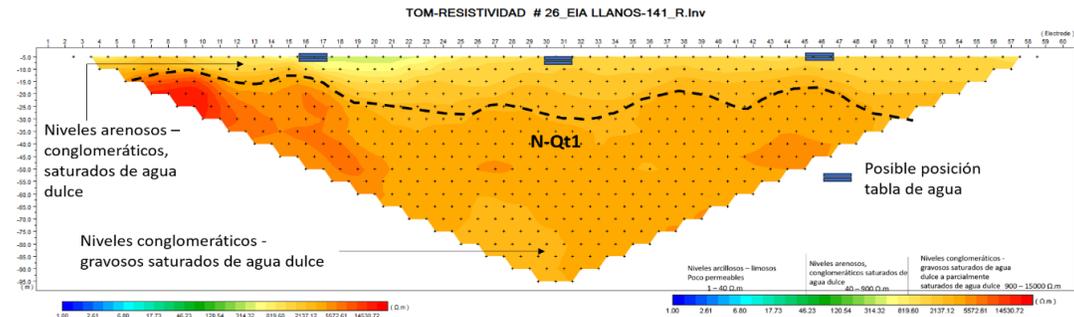
Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Figura 4.2-15 Tomografía 07



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

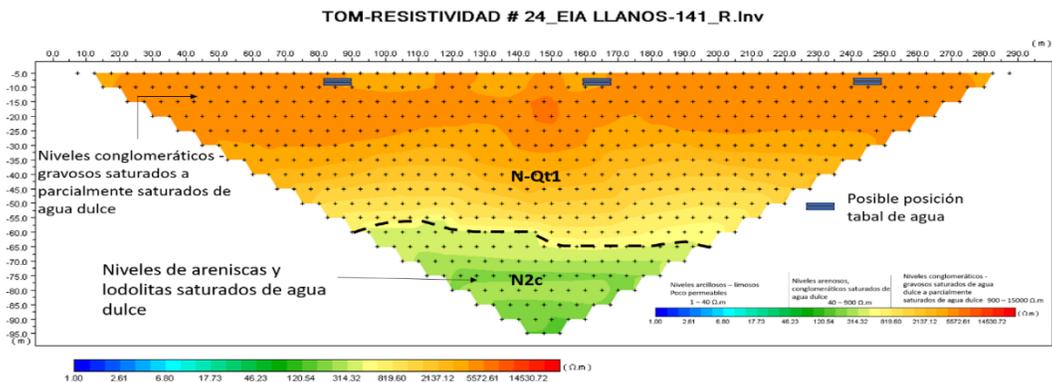
Figura 4.2-16 Tomografía 26



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

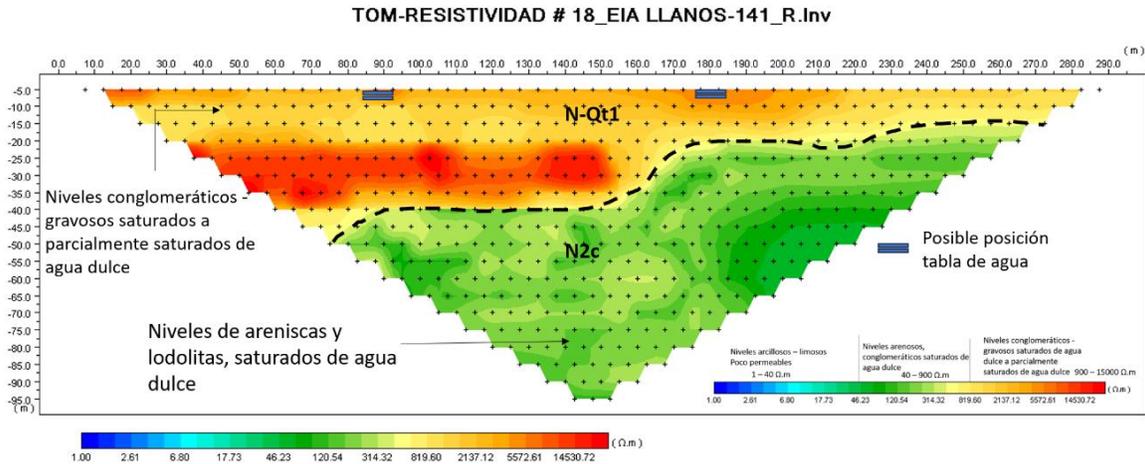
En las secciones 24 y 18 el Depósito de Abanico - Terraza (N-Qt1), tiene un espesor estimado de 65 a 70 m y de 25 a 50 m respectivamente, con resistividades atípicamente altas (>1.000 Ohm/m) correlacionados con gravas y arenas saturadas a parcialmente saturadas con la posición de la tabla de agua entre 5 a 10 m. En estas dos tomografías es posible observar el contraste de resistividades del depósito cuaternario que reposa discordantemente sobre la Formación Guayabo Nivel Superior, la cual presenta resistividades <200 Ohm/m correlacionadas con areniscas saturadas intercaladas con niveles lodosos.

Figura 4.2-17 Tomografía 24



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Figura 4.2-18 Tomografía 18

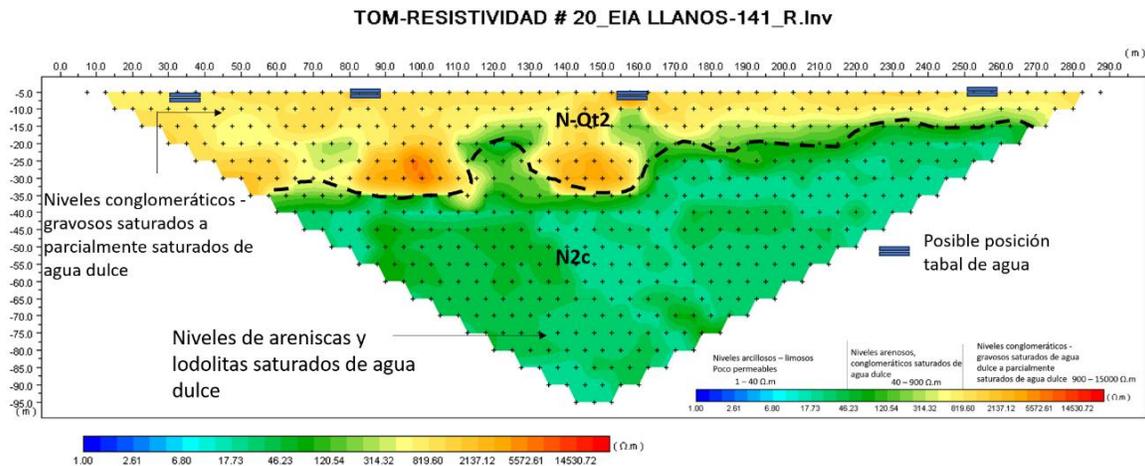


Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

#### 4.2.1.5.1.3 Tomografía eléctrica en el acuífero del depósito de Abanico - Terraza (N-Qt2)

Con base en la interpretación de la Tomografía 20 realizada en el Depósito de Abanico – Terraza (N-Qt2), se estima que la unidad tiene un espesor entre 25 y 40 m. Responde a resistividades altas a atípicamente altas entre 700 y 8.000 Ohm/m, correlacionadas con gravas y arenas saturadas con agua dulce; en los niveles más superficiales este depósito se halla parcialmente saturado, con la tabla de agua entre 5 a 10 m. En profundidad, se observa un contraste marcado por el descenso en la resistividad, con valores <200 Ohm/m correlacionados con areniscas saturadas con agua dulce intercaladas con niveles lodosos de la Formación Guayabo Nivel Superior (N2c). La diferencia de resistividades de estos dos niveles, pasando de valores altos a bajos, muestra claramente los Depósitos Cuaternarios reposando discordantemente sobre las rocas neógenas de la Formación Guayabo (ver Figura 4.2-19).

Figura 4.2-19 Tomografía 20



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

En la **Tabla 4.2-3** se resumen los valores de resistividad, espesor y topes por unidad geológica, de acuerdo a lo obtenido en la interpretación de las tomografías eléctricas.

**Tabla 4.2-3 Unidades geológicas y valores de resistividad, espesor y topes de acuerdo a las tomografías eléctricas**

UNIDAD GEOLÓGICA	DESCRIPCIÓN	RESISTIVIDAD (Ohm/m)	TOPES (m)	ESPESOR (m)
Depósito de Abanico Aluvial Q1-Ab	Gravas y arenas saturadas con agua dulce, zona de muy alta resistividad asociada a los depósitos cuaternarios recientes de Abanico Aluvial.	700 – 10.000	Superficie	25 – 90 En general <50 m
Depósito de Abanico - Terraza N-Qt1	Niveles conglomeráticos y arenosos saturados con agua dulce, zona de muy alta resistividad asociada a los depósitos cuaternarios antiguos de Abanico-Terraza.	1.000– 15.000	Superficie	25 – 90 En general ~90 m
Depósito de Abanico - Terraza N-Qt2	Niveles arenosos y conglomeráticos saturados con agua dulce, zona de muy alta resistividad asociada a los depósitos cuaternarios antiguos de Abanico-Terraza en su segundo nivel.	700 – 8.000	Superficie	25 - 40
Formación Guayabo Nivel Superior N2c	Areniscas con intercalaciones de lodolitas saturadas y localmente conglomerados saturados con agua dulce de la Formación Guayabo Nivel Superior.	15 – 500	25 - 90	No determinado

Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

La interpretación de las tomografías eléctricas permitió definir el espesor de los Depósitos Cuaternarios los cuales en general varía entre 40 y 90 m dependiendo de la unidad, aunque en algunos sectores se pueden encontrar más delgados, de esta manera, se evidencia que la mayor parte de la comunidad capta los niveles más someros de los depósitos cuaternarios a través de manantiales y aljibes que alcanzan hasta 16 m de profundidad, y en menor proporción aprovechan a profundidades mayores con pozos de hasta 80 m.; los pozos más profundos probablemente captan en conjunto horizontes someros del Acuífero de la Formación Guayabo Nivel Superior, en sectores donde los depósitos cuaternarios son menos espesos.

Teniendo en cuenta lo anterior, la presente solicitud la exploración de agua subterránea se plantea para en pozos de hasta 150 m de profundidad con el techo del primer filtro a partir de 90 m, con el fin de no captar los niveles acuíferos usados por la comunidad. En algunas tomografías, fue posible identificar los niveles más someros de la Formación Guayabo Nivel Superior y permitiendo caracterizar sus resistividades como se describió previamente.

#### 4.2.1.5.2 Sondeos magnetoteléuricos (MT)

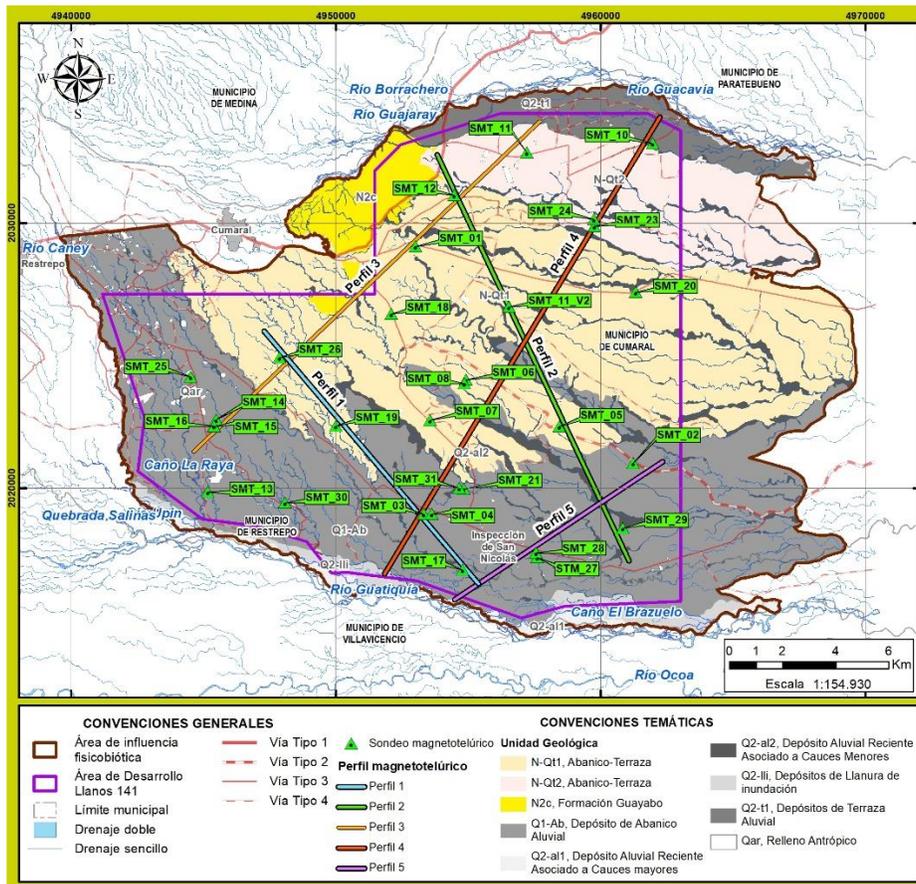
En el área de evaluación del AD Llanos 141 se adquirieron 30 sondeos magnetoteléuricos cuyas coordenadas se presentan en la **Tabla 4.2-4**, el tiempo de registro fue de 180 minutos y el arreglo de 30 a 40 m en los electrodos. La profundidad de investigación alcanzada es alrededor de 1.000 m. La adquisición se realizó en el mes de mayo de 2023 en periodo climático lluvioso. Con los sondeos se realizaron cinco (5) perfiles de inversión 2D cuya localización se presenta en la **Figura 4.2-20**.

Tabla 4.2-4 Coordenadas de los sondeos magnetotelúricos

ID	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		ID	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
	NORTE (m)	ESTE (m)		NORTE (m)	ESTE (m)
SMT_01	2.029.123,47	4.953.009,10	SMT_16	2.022.330,49	4.945.410,87
SMT_02	2.020.940,03	4.961.235,67	SMT_17	2.016.909,87	4.954.787,22
SMT_03	2.019.017,66	4.953.317,57	SMT_18	2.026.566,34	4.952.101,40
SMT_04	2.019.012,19	4.953.630,42	SMT_19	2.022.339,33	4.950.003,23
SMT_05	2.022.328,35	4.958.439,49	SMT_20	2.027.387,09	4.961.318,10
SMT_06	2.024.081,78	4.954.917,41	SMT_21	2.019.951,98	4.954.843,04
SMT_07	2.022.564,19	4.953.558,87	SMT_23	2.029.875,14	4.959.760,83
SMT_08	2.023.943,81	4.954.856,10	SMT_24	2.030.141,11	4.959.745,76
SMT_10	2.033.013,59	4.961.971,87	SMT_25	2.024.197,55	4.944.526,23
SMT_11	2.032.663,82	4.957.221,13	SMT_26	2.024.919,32	4.947.879,12
SMT_11_V2	2.026.838,78	4.956.539,32	STM_27	2.017.372,65	4.957.602,73
SMT_12	2.031.054,90	4.954.476,27	SMT_28	2.017.551,45	4.957.563,21
SMT_13	2.019.854,98	4.945.174,01	SMT_29	2.018.475,75	4.960.842,62
SMT_14	2.022.574,20	4.945.477,81	SMT_30	2.019.432,88	4.948.081,07
SMT_15	2.022.328,94	4.945.411,31	SMT_31	2.019.989,41	4.954.668,44

Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Figura 4.2-20 Localización de los sondeos magnetotelúricos y perfiles de inversión 2D



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Con base en los perfiles de inversión 2D se interpretaron tres (3) zonas de resistividad, cuya correlación con la geología local se presenta en la **Tabla 4.2-5**.

**Tabla 4.2-5 Zonas de resistividad, perfiles sondeos magnetotelúricos 2D**

ZONA DE RESISTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	RESISTIVIDAD (Ohm/m)	TOPES (m)	ESPESOR (m)
ZONA A	Gravas y arenas saturadas con agua dulce, zona de muy alta resistividad asociada a los depósitos cuaternarios de Abanico Aluvial y Abanico – Terraza.	150 – 15.000	Superficie	25 - 100
ZONA B	Areniscas con intercalaciones de lodolitas saturadas con agua dulce relacionado con la Formación Guayabo Nivel Superior.	35 – 280	25 - 100	290 - 350
ZONA C	Lodolitas poco permeables con intercalaciones de areniscas saturadas con agua dulce, zona relacionada con el Formación Guayabo Nivel Medio.	5 – 60	390 - 450	Indeterminado

Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

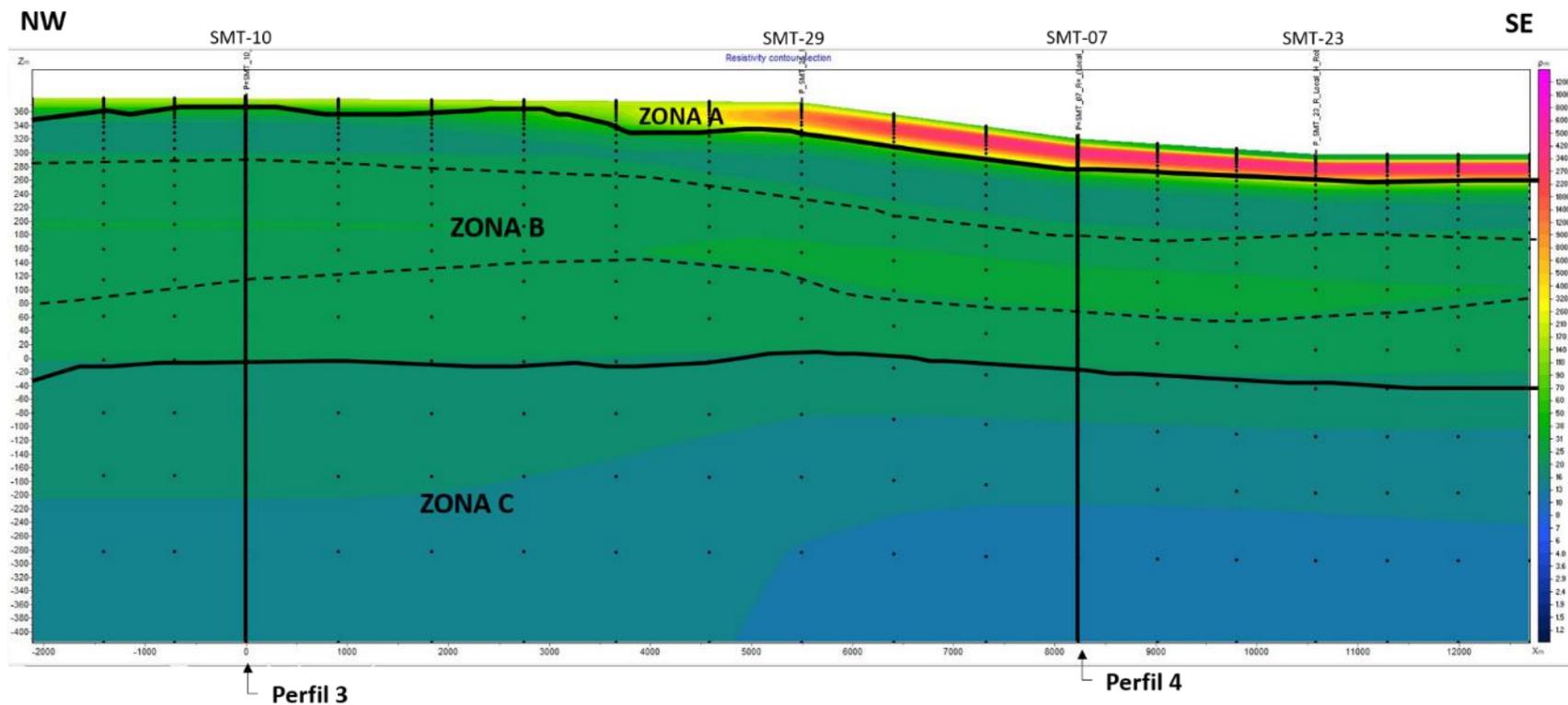
En la **Figura 4.2-21** a **Figura 4.2-25**, se muestran los cinco perfiles realizados en el área de evaluación con dirección SW-NE y NW-SE, se observa que el nivel más somero denominado como Zona A, es el de mayor resistividad, variando entre 150 y 15.000 Ohm/m y con espesor aproximado entre 25 m y 100 m, se correlaciona con clastos, guijarros y gravas con matriz arenosa saturadas con agua dulce, pertenecientes al Depósito de Abanico - Terraza, que sobresale topográficamente hacia el sector central del área al ser el más antiguo y rodeándolo se halla el Depósito de Abanico Aluvial que es más reciente.

Los valores de resistividad y espesor para los depósitos cuaternarios en general son similares a los obtenidos mediante las tomografías eléctricas descritas en el numeral anterior, no obstante, los sondeos MT registraron un rango de resistividades desde valores más bajos (150 Ohm/m) mientras que en las tomografías eléctricas responden a valores a partir de (700 Ohm/m). Tanto en las tomografías eléctricas como en los sondeos MT es evidente el contraste que diferencia los depósitos cuaternarios de la infrayacente Formación Guayabo, dado por una disminución marcada de las resistividades.

Las zonas B y C se correlacionan con diferentes niveles de la Formación Guayabo, la Zona B es la más somera y responde a resistividades medias a altas entre 35 y 280 Ohm/m, se correlaciona con areniscas saturadas con agua dulce intercaladas con lodolitas de la Formación Guayabo Nivel Superior, estas resistividades son coherentes con las obtenidas en la interpretación de las tomografías eléctricas donde la unidad responde a resistividades entre 15 a 500 Ohm/m; dentro de la zona B se observa claramente la presencia de una capa de bajas resistividades, reflejando la intercalación de materiales arenosos acuíferos y finos de baja permeabilidad, rasgos característicos de acuíferos multicapa. Esta zona tiene espesor entre 290 y 350 m, constituyendo por tanto, un nivel con buen potencial hidrogeológico; su techo se halla entre 25 y 100 m de profundidad. Por lo anterior, este nivel es objeto de la presente solicitud de exploración de agua subterránea.

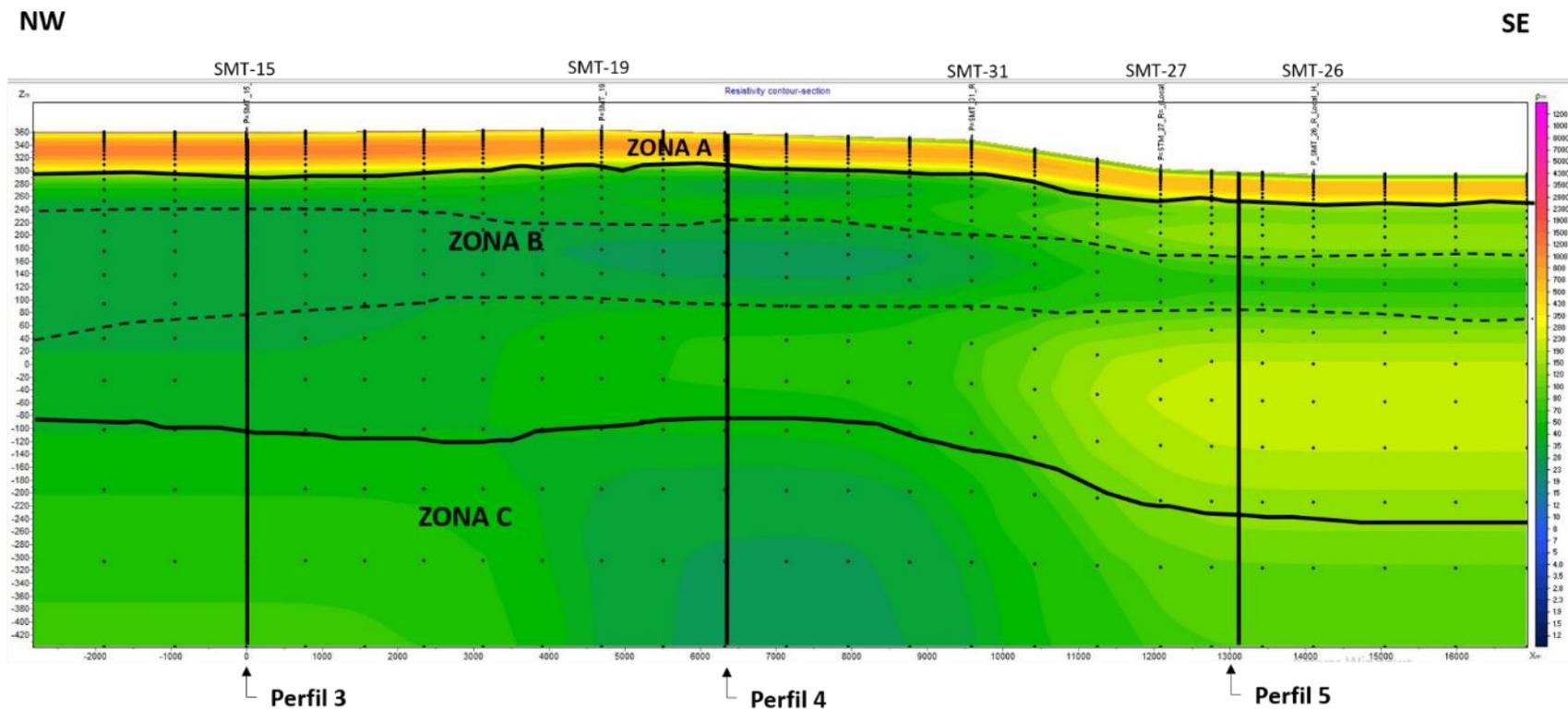
La zona C presenta resistividades bajas a medias entre 5 y 60 Ohm/m, correlacionadas con lodolitas poco permeables con algunas intercalaciones de areniscas saturadas con agua dulce de la Formación Guayabo Nivel Medio, la disminución en los valores de resistividad evidencia un bajo potencial hidrogeológico para este nivel, al estar conformado predominantemente por materiales de grano fino. Su techo se halla entre 390 y 450 m de profundidad y su espesor es indeterminado ya que es la última capa identificada por el método geofísico.

Figura 4.2-21 Perfil 1 de inversión 2D / NW-SE



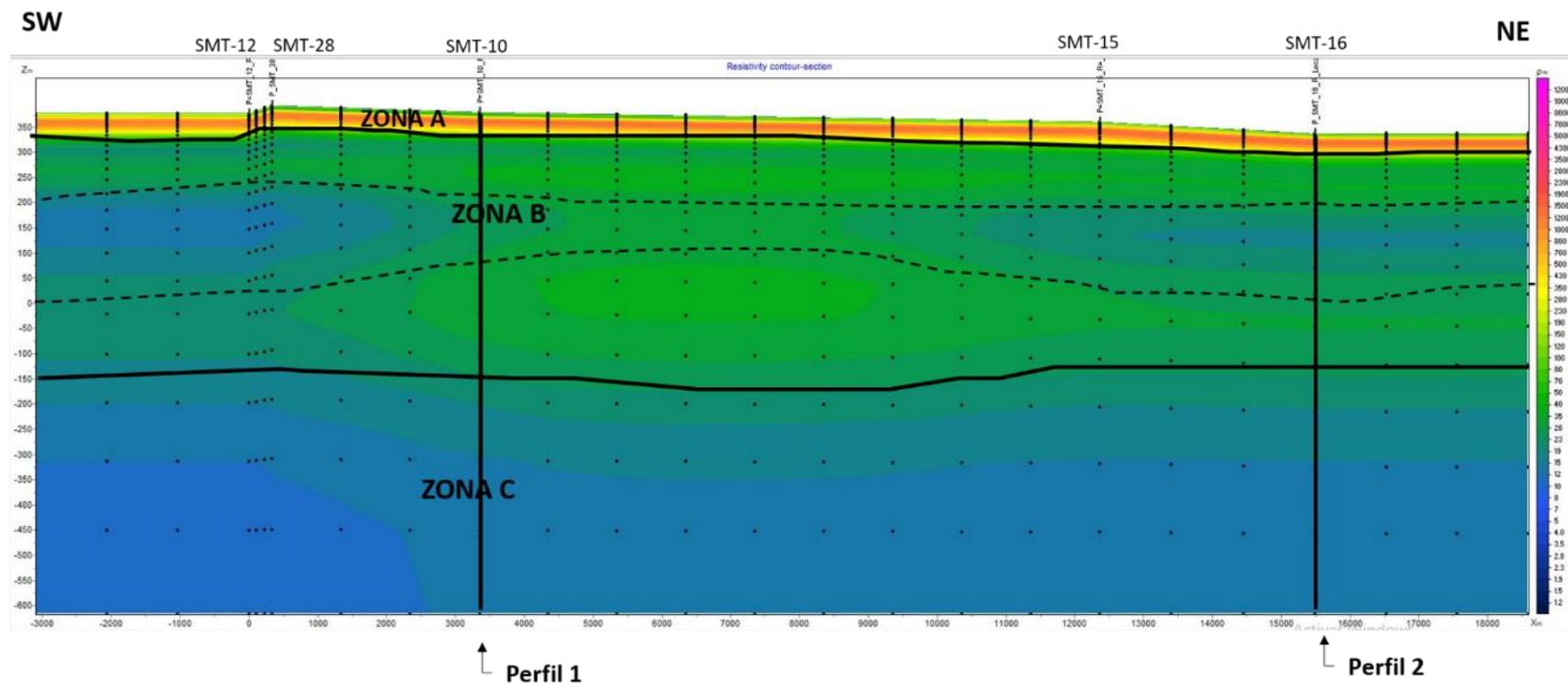
Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Figura 4.2-22 Perfil 2 de inversión 2D / NW-SE



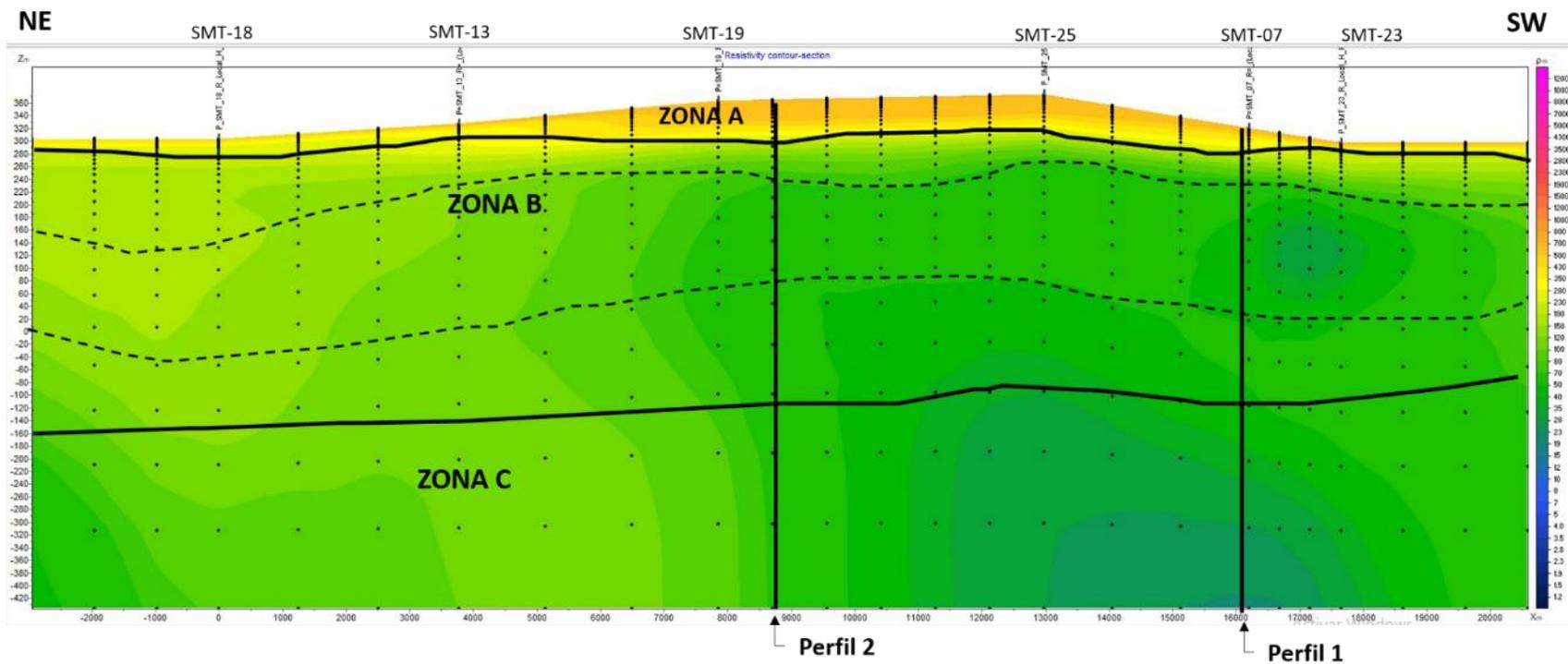
Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Figura 4.2-23 Perfil 3 de inversión 2D / SW-NE



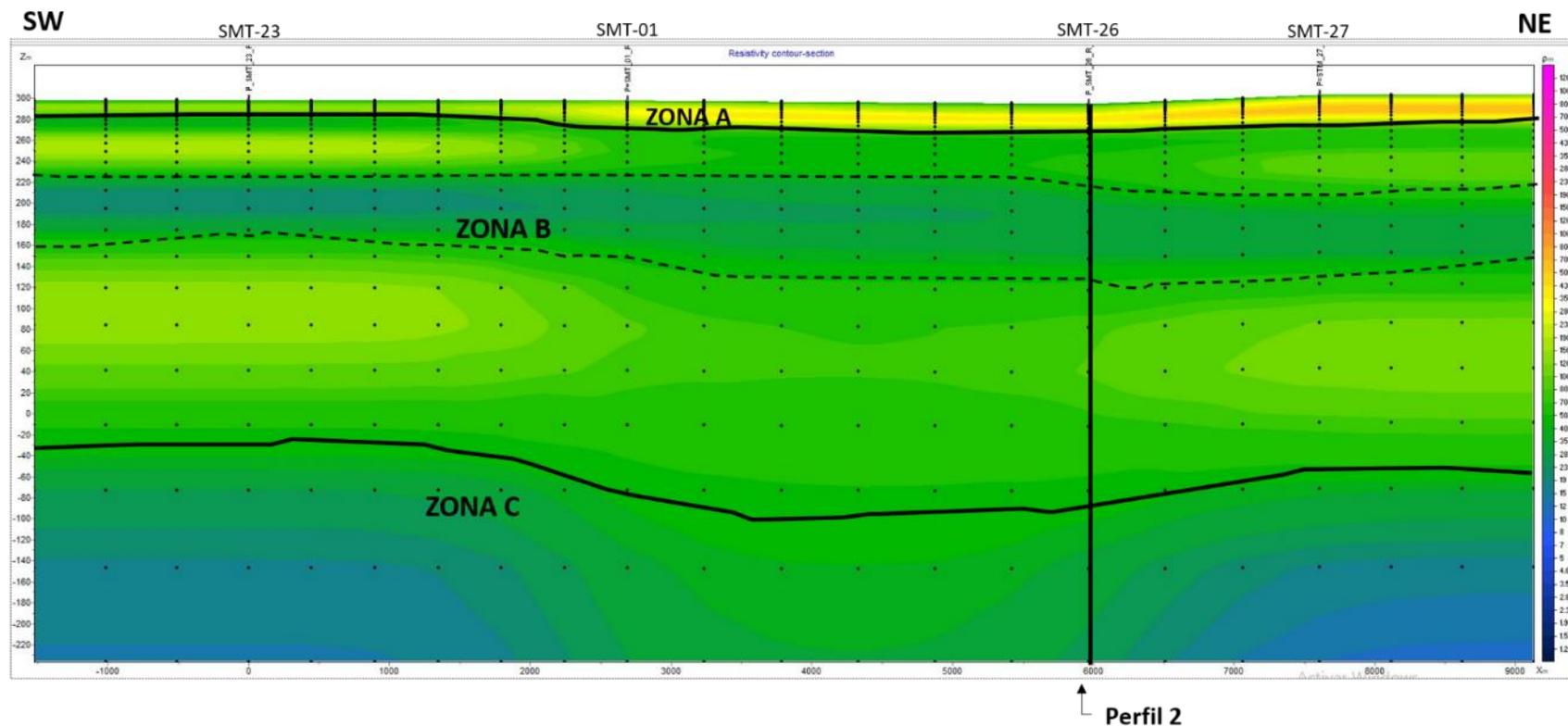
Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Figura 4.2-24 Perfil 4 de inversión 2D / SW-NE



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Figura 4.2-25 Perfil 5 de inversión 2D / SW-NE



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

#### 4.2.1.5.3 Información hidrogeológica a partir de registros de pozos de Hidrocarburo

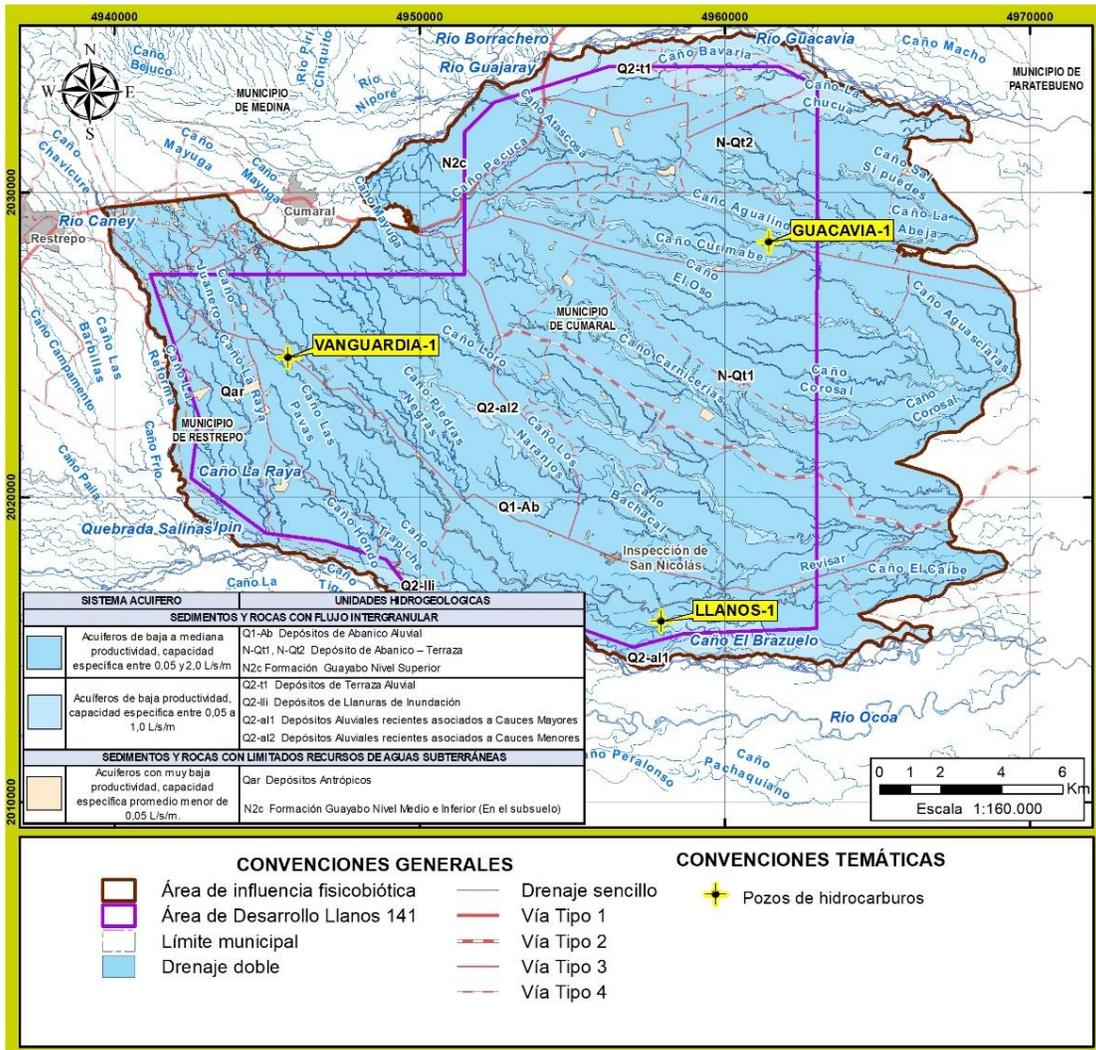
En el área de evaluación se hallan tres los pozos de hidrocarburos Guacavía-1, Vanguardia-1 y Llanos-1, ubicados en las coordenadas que se muestran en la **Tabla 4.2-6**; su localización se presenta en la **Figura 4.2-26**; estos pozos cuentan con registros de Resistividad, Gamma Ray, litológico y SP a partir de 40 a 61 m (130 a 200 pies) de profundidad.

**Tabla 4.2-6** Coordenadas de los pozos de hidrocarburos localizados en el AD Llanos 141

POZOS DE HIDROCARBURO	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
	ESTE (m)	NORTE (m)
Vanguardia-1	4.945.696,76	2.024.634,82
Guacavía-1	4.961.459,48	2.028.375,79
Llanos-1	4.957.929,98	2.015.942,23

Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

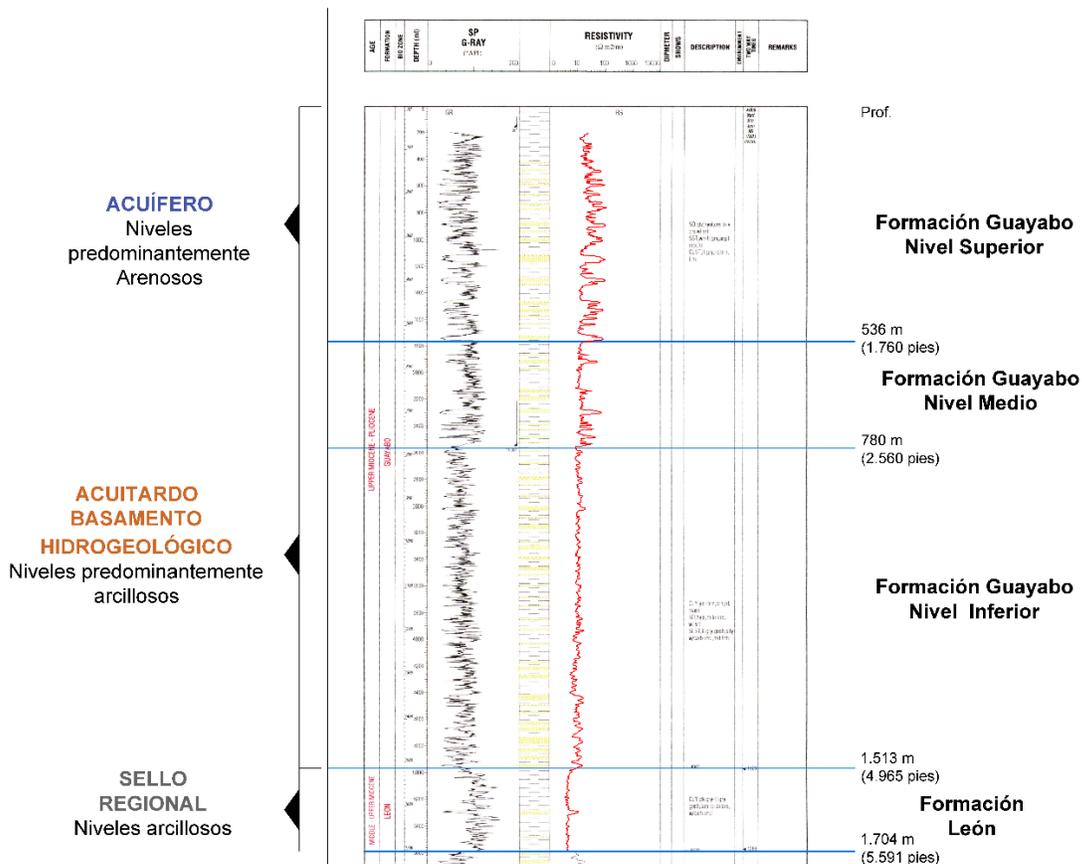
**Figura 4.2-26** Localización de los pozos de hidrocarburos presentes en el área de evaluación



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Dada la profundidad a partir de la cual se tomaron los registros de pozo, no se diferencian en estos los depósitos cuaternarios, por otro lado, es posible definir tres niveles en la Formación Guayabo que por sus características litológicas tendrían distinto comportamiento hidrogeológico: El Acuífero de la Formación Guayabo Nivel Superior, con predominancia de niveles arenosos e intercalaciones de arcillolitas y el Acuitardo de la Formación Guayabo Nivel Medio y Nivel Inferior, con predominancia finogranular de arcillolitas y algunas intercalaciones menores de areniscas y por debajo de estas se identifica claramente la Formación León, conformada por arcillolitas, que constituyen un sello regional para todas las unidades infrayacentes. En la **Figura 4.2-27** se muestran los registros del pozo Vanguardia-1 en los cuales se resalta en color rojo el registro de resistividad (ILD) mostrando de forma clara la diferencia de las unidades previamente mencionadas, los registros de los tres pozos se presentan con detalle en el **Anexo 3\_Caracterización ambiental, 3.2.7\_Hidrogeología, 3.2.7.3\_Info. hidrogeológica a partir de pozos de hidrocarburo.**

**Figura 4.2-27 Niveles Superior, Medio e Inferior de la Formación Guayabo en el pozo Vanguardia-1**



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

En la **Tabla 4.2-7** se muestran los topes y espesores de los niveles identificados, de esta manera la Formación Guayabo Nivel Superior cuenta con espesor promedio de 533 m y las Formaciones Guayabo Niveles Medio e Inferior en conjunto cuentan con espesor promedio de 792 m.

**Tabla 4.2-7 Topes y espesores de los diferentes Niveles de la Formación Guayabo en los pozos de hidrocarburos**

Formación	Vanguardia-1		Guacavia-1		Llanos-1		Promedio	
	Tope (m)	Espesor (m)	Tope (m)	Espesor (m)	Tope (m)	Espesor (m)	Tope (m)	Espesor (m)
Depósitos cuaternarios	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Formación Guayabo Nivel Superior	0	536	0	637	0	427	0	533
Formación Guayabo Nivel Medio	536	244	637	302	427	244	533	263
Formación Guayabo Nivel Inferior	780	733	939	423	671	430	797	529
Formación León	1.513	N.A	1.362	N.A	1100	N.A	1325	N.A

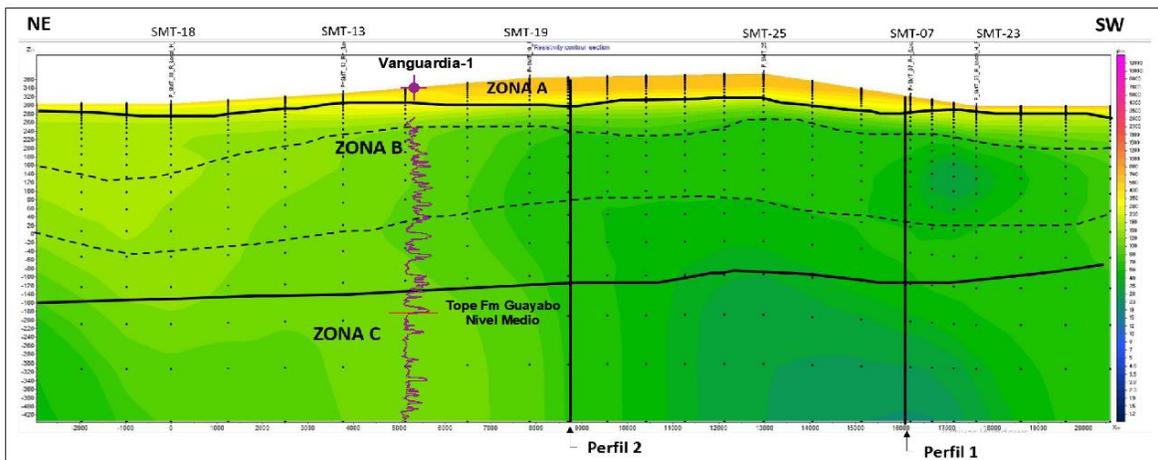
Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Con el fin de ver la relación entre los registros de los pozos de hidrocarburos y los resultados obtenidos a partir de los sondeos magnetotelúricos, se proyectaron los registros de resistividad de los tres pozos en los perfiles de inversión 2D más cercanos a los mismos (ver **Figura 4.2-28**, **Figura 4.2-29** y **Figura 4.2-30**)

En general se observa una buena relación entre los registros de resistividad y las zonas definidas en los sondeos MT, se aprecia que la Zona B interpretada en los sondeos MT como la Formación Guayabo Nivel Superior, correlacionada con areniscas con intercalaciones de lodolitas saturadas con agua dulce, corresponde con el comportamiento de las curvas de resistividad de los pozos de hidrocarburos, donde se observa predominio de areniscas con algunas intercalaciones de arcillolitas en el mismo intervalo.

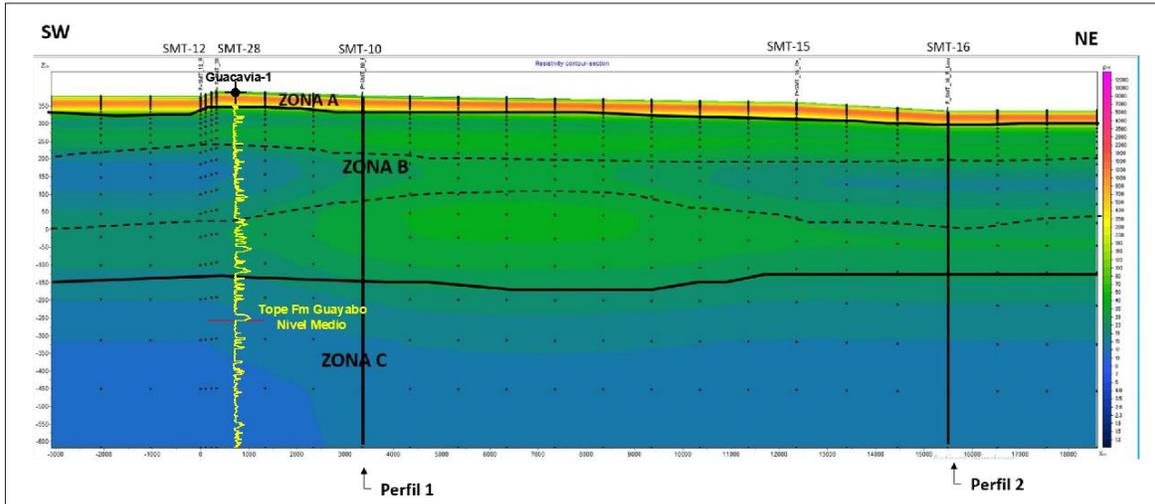
De igual manera, la Zona C interpretada en los sondeos MT como la Formación Guayabo Nivel Medio y correlacionada con lodolitas poco permeables con intercalaciones de areniscas saturadas, tiene buena correspondencia con los registros de resistividad de los pozos de hidrocarburo, puesto que se aprecia el predominio de niveles arcillosos con intercalaciones menores de areniscas para este intervalo, no obstante, la profundidad del tope interpretada en los registros de pozo para esta unidad, es un poco mayor (entre 60 y 100 m), respecto a la interpretada en los sondeos MT, lo anterior no entra en contravía con la interpretación de los sondeos MT, puesto que este es un método indirecto para obtener información del subsuelo, en el cual se adquiere información a mayor escala, diferenciando a nivel de unidades, mientras que los registros de pozo, corresponden a mediciones de mayor detalle, realizadas directamente sobre las unidades geológicas, permitiendo diferenciar a nivel de estratos dentro de las mismas.

**Figura 4.2-28 Registro de resistividad del pozo Vanguardia-1 y perfil 4 de inversión 2D MT**



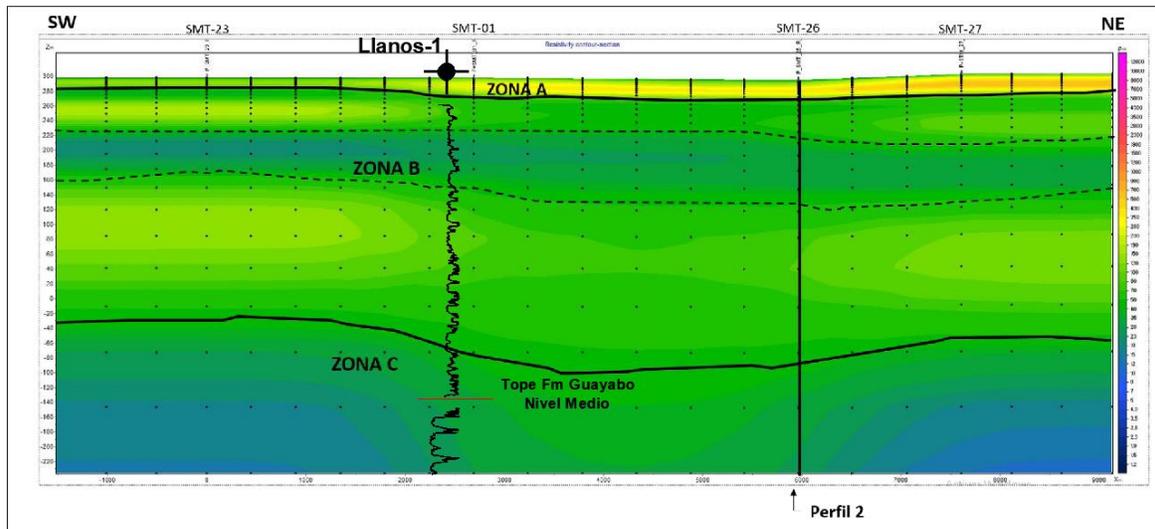
Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

**Figura 4.2-29 Registro de resistividad del pozo Guacavia-1 y perfil 3 de inversión 2D MT**



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Figura 4.2-30 Registro de resistividad del Pozo Llanos-1 y perfil 5 de inversión 2D MT



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Los registros de los pozos de hidrocarburos no presentan información en los primeros metros (40 – 61 m), por lo cual, no se registran los niveles más someros asociados a los depósitos cuaternarios y en consecuencia no es posible hacer una correlación entre estos y las tomografías eléctricas.

#### 4.2.1.6 Ensayos o pruebas de bombeo – Características hidráulicas

En el área de evaluación se inventariaron 19 pozos con profundidades entre 6 y 120 m, sin embargo, los pozos más profundos aprovechan algunos los depósitos cuaternarios en conjunto con algunos horizontes someros de la Formación Guayabo Nivel Superior, por lo cual para determinar los parámetros hidráulicos de la Formación Guayabo Nivel Superior y de los horizontes acuíferos de interés se utilizó información secundaria de una (1) prueba de bombeo realizada en el año 2019 en el pozo de abastecimiento Apiay-2 y presentada como parte del informe técnico de dicho pozo en

el año 2023<sup>5</sup>. Este pozo se localiza en la Gerencia de Operaciones Apiay, aproximadamente 5,9 Km al SE del AI Fisicobiótica, tiene 171,36 m de profundidad captando el Acuífero de la Formación Guayabo Nivel Superior; teniendo en cuenta que esta unidad es de extensión regional y dada la cercanía con el AI, es posible correlacionar los parámetros hidráulicos de esta prueba de bombeo para el área de evaluación.

En el **Capítulo 3.2.7 Hidrogeología, Numeral 3.2.7.5. Características hidráulicas de los acuíferos**, se describe con detalle el marco teórico. Los datos de campo de la prueba de bombeo y los resultados se presentan en el **Anexo 3\_Caracterización ambiental, 3.2.7\_Hidrogeología, 3.2.7.4\_Datos de campo y curvas de ajuste pruebas de bombeo**.

En la **Tabla 4.2-8** se presentan las coordenadas, características constructivas y datos específicos de la prueba de bombeo y en la **Figura 4.2-31** se muestra la localización.

**Tabla 4.2-8 Coordenadas y características de las pruebas de bombeo**

ID	Tipo de punto	ID Inventario	Vereda	Predio	Datum Magnas Sirgas Origen Nacional		Diám. (pulg)	Prof. (m)	NE (m)	Q (l/s)	T Bomb. (min)	ND (m)	T Recup (min)
					Este	Norte							
PB-6**	Pozo	Apiay-2	No aplica	GDA Apiay	2.008.504,00	4.957.707,00	4"	171,36	Saltante	6,70	1.440	4,72	420

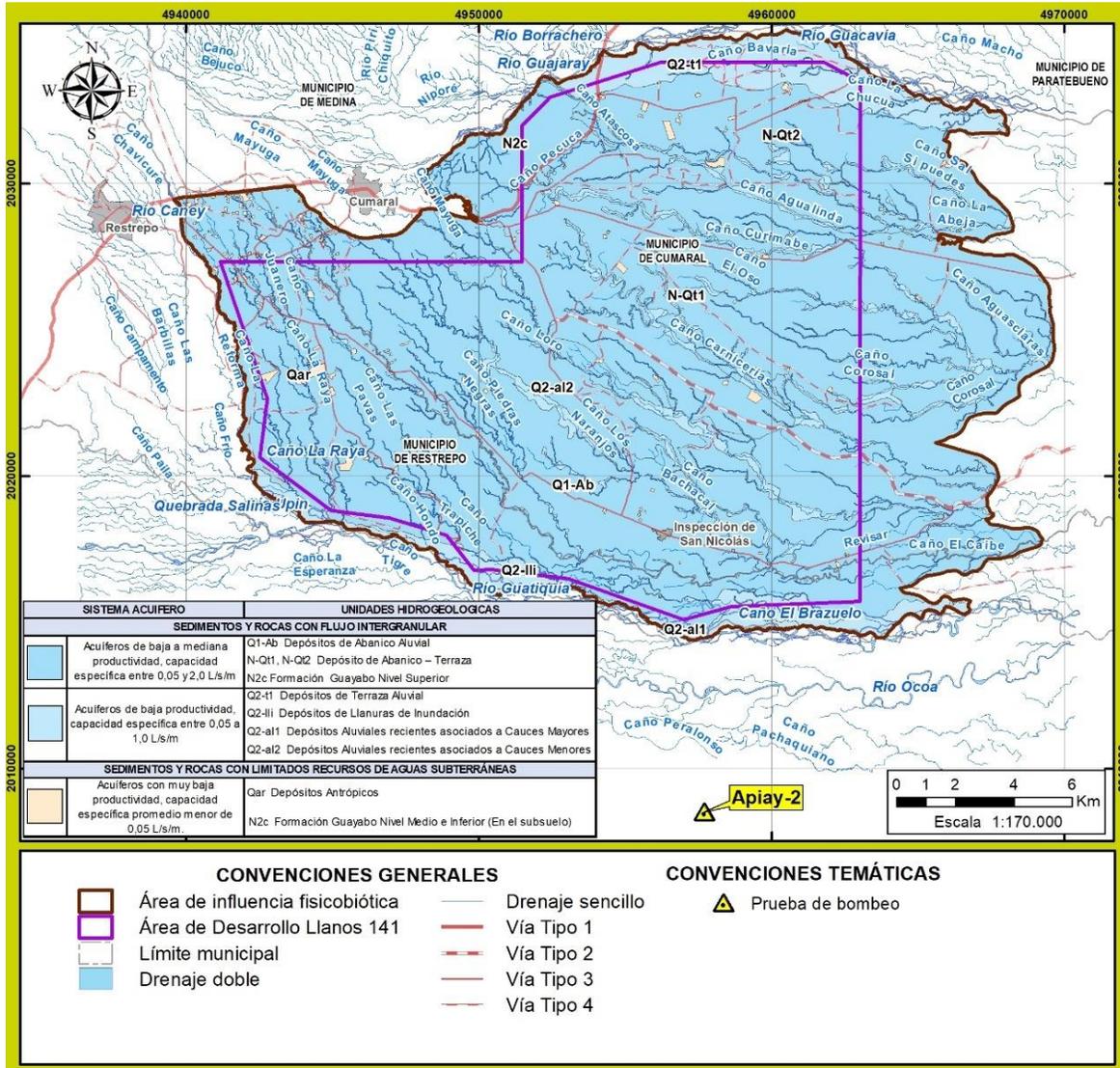
\*\* Prueba de bombeo de información secundaria Informe técnico de prueba de bombeo. Gerencia de Operaciones Apiay (GDA) – Pozo Apiay 2. 2023.

Diam: Diámetro Prof: Profundidad N.E: Nivel estático Q: Caudal bombeo T Bomb: Tiempo de bombeo T Recup: Tiempo de recuperación ND: Nivel Dinámico

Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

<sup>5</sup> ECOPETROL S.A – SERAMBIENTE. Informe técnico de prueba de bombeo. Gerencia de Operaciones Apiay (GDA) – Pozo Apiay 2. 2023.

Figura 4.2-31 Localización del pozo Apiay-2 PB-6

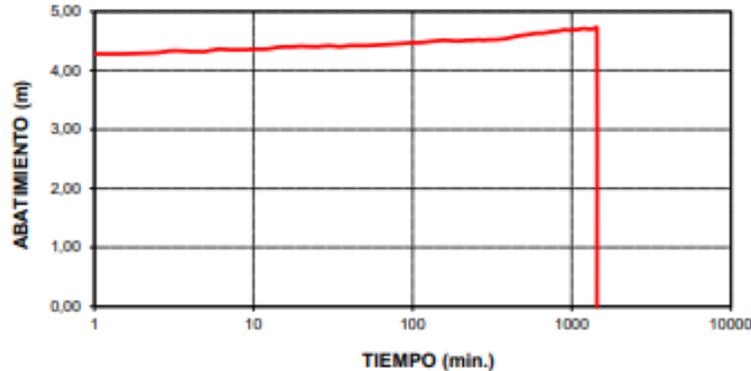


Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

#### 4.2.1.6.1 PB-6 pozo Apiay-2

El pozo tiene una profundidad de 171,36 m y 4 pulg de diámetro, aprovechando el acuífero de la Formación Guayabo Nivel Superior con 27 m de filtros ubicados en los siguientes tramos: 43,40 m – 49,40 m, 70,40 m – 76,40 m, 88,40 m – 91,40 m, 114,50 m - 120,50 m, 161,50 m – 170,70 m. La prueba a caudal constante se realizó a partir de un nivel estático saltante, se aforó un caudal promedio de 6,7 l/s, alcanzando el nivel dinámico de 4,72 m a los 1.440 min de bombeo. La recuperación alcanzó el 100% a los 420 min de suspender el bombeo. En la Figura 4.2-32 se muestra la curva de tiempo - abatimiento para la prueba de bombeo.

Figura 4.2-32 Curva tiempo / abatimiento para la prueba PB-6



Fuente: LLANOPOZOS S.A. 2019

En la **Tabla 4.2-9** se muestran los parámetros determinados en la PB-6. Debido a su condición saltante se infiere que el acuífero de la Formación Guayabo Nivel Superior corresponde con un acuífero confinado. Se obtuvo valores medios de Transmisividad con 555,6 m<sup>2</sup>/día y la capacidad específica es de 1,62 l/s/m a los 1.440 min de bombeo, lo cual significa que por cada 1,62 l/s explotados se esperan abatimientos del nivel del agua de un metro, ubicándolo en un rango de media productividad relativa. La conductividad hidráulica es de 18,5 m/día correlacionable con valores medios de permeabilidad.

**Tabla 4.2-9 Parámetros hidráulicos obtenidos en la prueba de bombeo PB-6 pozo Apiay-2**

PARÁMETRO	VALOR
Profundidad (m)	171,36
Nivel Estático - NE (m)	Saltante
Nivel Dinámico - ND (m)	4,72
Longitud de filtros (m)	27,00
Abatimiento- s (m)	4,72
Caudal promedio de la prueba de bombeo (l/s)	6,70
Tiempo de bombeo (min)	1.440
Tiempo de recuperación (min) y % de recuperación	420 – 100%
Capacidad específica - Ce (l/s/m) (a los 720 minutos de bombeo)	1,62
	Media
Transmisividad - T (m <sup>2</sup> /día)	555,6
Conductividad – K (m/día)	18,5
Tipo de acuífero	Confinado
Unidad acuífera captada	Formación Guayabo Nivel Superior (N2c)

Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023) con información de LLANOPOZOS S.A. 2019

#### 4.2.1.7 Características fisicoquímicas del agua subterránea en los niveles a explorar

La caracterización físico química del agua subterránea realizada para el presente EIA, se hizo a través del muestreo y análisis de 21 muestras en pozos, aljibes y manantiales, de estas muestras se presentan a continuación los resultados de un (1) pozo de 67 m de profundidad (P-509), localizado sobre el depósito de Abanico Aluvial, esta unidad tiene espesor promedio de 50 m, por lo cual, el pozo estaría captando en conjunto la Formación Guayabo Nivel Superior, dando un indicativo de la calidad del agua de los niveles solicitados en exploración. Se analizaron 57 parámetros entre fisicoquímicos y bacteriológicos, establecidos en los HI-TER-1-03, emitidos por MINAMBIENTE y la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales, emitidos por el Ministerio de Ambiente y ANLA. Las muestras fueron tomadas y analizadas por el laboratorio Ambienq Ingenieros S.A.S. acreditado ante el IDEAM.

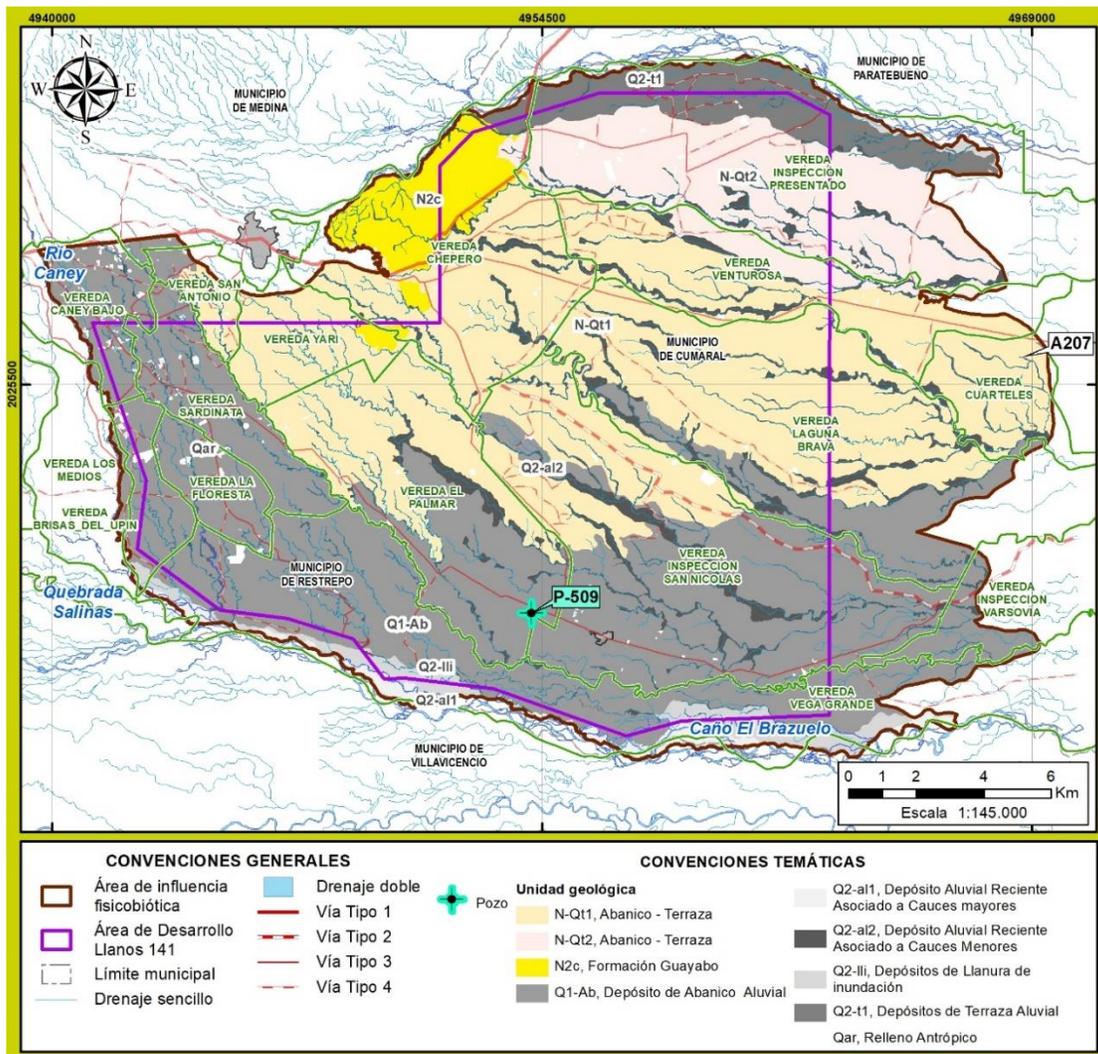
En la **Tabla 4.2-10** se presentan las coordenadas y algunas características del pozo P-509 localizado en la vereda El Palmar, del municipio de Cumaral, en la **Figura 4.2-33** se observa su localización.

**Tabla 4.2-10** Coordenadas y características del punto de muestreo P-509

ID PUNTO	TIPO PUNTO	ORIGEN MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		VEREDA	PREDIO	PROF. (m)	USO	UNID HIDRO-GEOLÓGICA
		ESTE	NORTE					
P-509	Pozo	4.954.197,29	2.018.732,46	El palmar	Criadero Santa Lucia	67	Doméstico, agrícola, pecuario	Q1-Ab y N2c

Q1-Ab: Depósito de Abanico Aluvial, N2c: Formación Guayabo Nivel Superior  
Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

**Figura 4.2-33** Localización del punto de muestreo P-509



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Los resultados analíticos se compararon con la normatividad nacional para calidad de agua estipulada en la Resolución 2115 de 2007<sup>6</sup> y en el Decreto 1076 de 2015<sup>7</sup>. La información de calidad de agua subterránea se muestra con detalle en el **Capítulo 3.2.7 Hidrogeología, numeral 3.2.7.9 Calidad del agua subterránea y características hidrogeoquímicas.**

En el **Anexo 3 Caracterización ambiental, 3.2.7 Hidrogeología, 3.2.7.6 Resultados de laboratorio Agua Subterránea** se presentan los reportes analíticos, cadenas de custodia, planillas de campo, informe y resolución de acreditación del laboratorio. Los resultados analíticos del pozo P-509 se presentan en **Tabla 4.2-11**, junto con los valores permisibles establecidos en la normatividad para calidad de agua.

**Tabla 4.2-11 Resultados fisicoquímicos y bacteriológicos del pozo P-509**

Parámetro	ID punto	P-509	Res. 2115 / 2007	Decreto 1076/2015			
	ID muestra	49632		Art.	Art.	Art.	Art.
	Unidad	08/03/23		2.2.3.3.9.3	2.2.3.3.9.4	2.2.3.3.9.5	2.2.3.3.9.6
Temperatura	°C	28,27	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Acidez	mg CaCO3/L	41,7	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Alcalinidad	mg CaCO3/L	<3,77	200	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Conductividad eléctrica	µS/cm	49	1.000	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
pH	Unidades	<b>5,25</b>	6,5 - 9,0	5,0 - 9,0	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0	N.E.
Oxígeno disuelto	mg O2/L	3,4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Dureza total	mg CaCO3/L	37,5	300	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Bicarbonatos	mg CaCO3/L	<3,77	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Turbiedad	UNT	<b>33,5</b>	2 UNT	N.E.	190**	N.E.	N.E.
DBO5	mg O2/L	<3,00	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg O2/L	16,3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Calcio disuelto	mg Ca/L	2,94	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Calcio total	mg Ca/L	3,12	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Cloruros	mg Cl-/L	12,6	250	250	250	N.E.	N.E.
Cloruros Disueltos	mg Cl-/L	<5,00	250	250	250	N.E.	N.E.
Magnesio disuelto	mg Mg/L	0,868	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Magnesio total	mg Mg/L	2,01	36	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Manganeso total	mg Mn/L	<0,0800	0,1	N.E.	N.E.	0,2	N.E.
Potasio Disuelto	mg K/L	1,92	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Potasio Total	mg K/L	2,28	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sodio disuelto	mg Na/L	2,83	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sodio Total	mg Na/L	3,22	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sulfatos	mg SO42-/L	<5,00	250	400	400	N.E.	N.E.
Sulfatos Disueltos	mg SO42-/L	<5,00	N.E.	400	400	N.E.	N.E.
Aluminio total	mg Al/L	<2,00	0,2	N.E.	N.E.	5	5
Hierro total	mg Fe/L	0,22	0,3	N.E.	N.E.	5	N.E.
Arsénico	mg /L As	0,001	0,01	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario total	mg Ba/L	<1,00	0,7	1	1	N.E.	N.E.
Berilio total	mg Be/L	<0,0500	N.E.	N.E.	N.E.	0,1	N.E.
Boro	mg B/L	<0,010	N.E.	N.E.	N.E.	0,3 - 4,0	5
Cadmio total	mg Cd/L	<0,00050 0	0,003	0,01	0,01	0,01	0,05
Cromo total	mg Cr/L	<0,100	0,05	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Litio total	mg Li/L	<0,0500	N.E.	N.E.	N.E.	2,5	N.E.
Molibdeno total	mg Mo/L	0,00865	0,07	N.E.	N.E.	0,01	N.E.
Níquel total	mg Ni/L	<0,100	0,02	N.E.	N.E.	0,2	N.E.
Selenio	mg /L Se	<0,005	0,01	0,01	0,01	0,02	N.E.
Plomo total	mg Pb/L	0,00212	0,01	0,05	0,05	5	0,1
Vanadio Total	mg V/L	<0,0200	N.E.	N.E.	N.E.	0,1	N.E.

<sup>6</sup> MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución # 2115 de junio 22 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuentes del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

<sup>7</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto Número 1076 de 26 de mayo de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo sostenible.

Parámetro	ID punto	P-509	Res. 2115 / 2007	Decreto 1076/2015			
	ID muestra	49632		Art.	Art.	Art.	Art.
	Unidad	08/03/23		2.2.3.3.9.3	2.2.3.3.9.4	2.2.3.3.9.5	2.2.3.3.9.6
Zinc Total	mg Zn/L	0,0377	3	15	15	2	25
Nitrato	mg NO3- N/L	<0,100	10	10	10	N.E.	N.E. N.E.
Nitrito	mg NO2- N/L	<0,00300	0,1	1	1	N.E.	10
Nitrógeno Amoniacal	mg NH3- N/L	<0,500	N.E.	1	1	N.E.	N.E.
Nitrógeno Total	mg N/L	0,6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Fósforo total	mg P /L	<0,0500	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Ortofosfatos	mg PO4- P/L	<0,0500	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Fluoruros	mg/L	<0,66	N.E.	N.E.	N.E.	1	N.E.
Fenoles	mg/L	<0,100	N.E.	0,002	0,002	N.E.	N.E.
Grasas y aceites	mg Aceites y Grasas/L	<0,900	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Hidrocarburos	mg Aceites y Grasas/L	<0,900	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	18	500	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos Totales	mg/L	31	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
PSP (% Sodio Posible)	%	75,8	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Relación de Absorción de Sodio (RAS)		<0,68	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	1777	0 UFC/100 ml	2 000	N.E.	1 000	N.E.
Coliformes totales	NMP/100 mL	3063	0 UFC/100 ml	20 000	1 000	5 000	N.E.
Escherichia coli	NMP/100 mL	1414	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

Parámetros que sobrepasan los límites permisibles Resolución 2015/2007 000

Parámetros que sobrepasan los límites permisibles Decreto 1076/2015 000

ART. 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico

ART. 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico

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

Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023) con información de Ambieniq Ingenieros S.A.S.

La Formación Guayabo Nivel Superior - N2c indica que el acuífero almacena agua con pH moderadamente ácido de 5,25 unidades, dulce de mineralización débil con conductividad eléctrica de 49  $\mu$ S/cm, de baja alcalinidad y muy blandas. No se observa afectación por compuestos nitrogenados ni fosforados, tampoco por presencia de hierro, aluminio ni manganeso. No se presenta afectación por metales pesados, THP, fenoles totales o grasas y aceites. Las concentraciones de Coliformes Totales y Termotolerantes sobrepasan ligeramente los límites permisibles, se identifica *E. Coli* lo cual podría indicar que puede haber presencia de materia fecal. El RAS indica que al agua es adecuada para riego. La unidad almacena aguas recomendables para uso doméstico, agrícola y pecuario previo tratamiento dada la presencia de coliformes y la existencia de pozos sépticos en la zona rural.

#### 4.2.1.8 Características hidrogeológicas de la zona – Modelo hidrogeológico conceptual

Regionalmente el AD Llanos 141 y su área de influencia se localizan al costado suroccidental de la cuenca sedimentaria de los Llanos Orientales, en cercanías del piedemonte de la Cordillera Oriental. Esta cuenca es de tipo antepaís (foreland basin), cuya evolución está estrechamente relacionada con el desarrollo de la margen convergente occidental de Sur América y especialmente con el levantamiento de la Cordillera Oriental durante el Mioceno – Plioceno. Presenta una espesa secuencia de rocas sedimentarias depositadas durante el Mesozoico – Cenozoico, que se profundizan progresivamente hacia el occidente y se acuñan hacia el oriente.

En el área de evaluación se presentan en su mayoría depósitos cuaternarios de origen fluvial y fluvio-torrencial, que han sido generados durante el Pleistoceno y Holoceno, debido a la acumulación continua de sedimentos, como consecuencia de los procesos de levantamiento y erosión de la Cordillera Oriental; en menor proporción afloran rocas neógenas.

Las unidades de importancia hidrogeológica se relacionan principalmente con la Formación Guayabo Nivel Superior y los suprayacentes depósitos cuaternarios, los cuales constituyen acuíferos por porosidad primaria, con flujo intergranular.

La Formación Guayabo Nivel Superior (N-Sc) constituye el acuífero más importante en el área de evaluación, aflora al costado occidental del área de influencia y se halla mayormente cubierta por depósitos cuaternarios. Está constituido por areniscas y conglomerados con intercalaciones de arcillolitas, depositados en un ambiente fluvial de alta energía durante el Mioceno Medio – Plioceno. Su espesor promedio de acuerdo a registros de pozo de hidrocarburos ubicados en el Área de Desarrollo es de 533 m. Conforman un acuífero continuo, de extensión regional, multicapa. Presenta transmisividad (T) de 555,6 m<sup>2</sup>/día y capacidad específica (ce) de 1,62 l/s/m correspondiente a un acuífero de mediana productividad. La conductividad hidráulica es de 18,5 m/día correlacionable con valores medios de permeabilidad conforma un acuífero de tipo semiconfinado a confinado y libre en sus áreas de afloramiento. En las tomografías eléctricas responde a resistividades entre 15 y 500 Ohm/m y en los sondeos MT presenta resistividades entre 35 y 280 Ohm/m, correlacionados con areniscas saturadas con agua dulce intercaladas con lodolitas. En los sectores donde se halla cubierta por depósitos cuaternarios su techo se encuentra entre 25 y 100 m de profundidad.

Almacena agua con pH moderadamente ácido entre 4,73 y 5,6 unidades, dulces de mineralización débil entre 8 y 59 µS/cm, de baja alcalinidad y muy blandas, de tipo bicarbonatadas cálcicas muy poco enriquecidas. No se observa afectación por compuestos nitrogenados ni fosforados, ni presencia de hierro, aluminio o manganeso. No se presenta afectación por metales pesados, THP, fenoles totales o grasas y aceites. La presencia de Coliformes Totales y termotolerantes sobrepasa ligeramente los límites permisibles, se presenta *E. Coli* en algunas muestras lo cual podría indicar que puede haber materia fecal. El RAS indica que al agua es adecuada para riego. El agua es recomendable para uso doméstico, agrícola y pecuario previo tratamiento.

Los depósitos cuaternarios son los más extensos en el área de evaluación, y los de mayor aprovechamiento por parte de la comunidad, corresponden a sedimentos de origen fluvial y fluvio-torrencial, depositados como consecuencia del cambio de pendiente en el sector de piedemonte, constituyendo acuíferos por porosidad primaria, discontinuos, de extensión semirregional, de tipo libre a semiconfinado, caracterizados en general por responder a resistividades atípicamente altas >1.000 Ohm/m.

Los Depósitos de Abanicos Aluviales (Q1-Ab) se extienden al costado sur del área de influencia, Están compuestos por materiales arcillo limosos de color rojizo a gris, en algunas ocasiones niveles de cantos redondeados de composición cuarzosa, mal seleccionados. Presenta coeficiente de almacenamiento (S) de 1,74E-3 que denota un acuífero libre a semiconfinado, capacidad específica (ce) de 0,04 l/s/m y Transmisividad (T) de 0,70 m<sup>2</sup>/día ubicándolo como un acuífero de muy baja productividad relativa, sin embargo, podría llegar a comportarse como de mediana productividad dadas sus características litológicas, extensión y espesor. La conductividad hidráulica (K) es de 0,029 m/día, que corresponde a muy baja permeabilidad. Las tomografías eléctricas muestran resistividades altas a atípicamente altas que varían entre 700 y 10.000 Ohm/m, correlacionadas con gravas y arenas saturadas con agua dulce, y espesor alrededor de 50 m.

Los acuíferos de los Depósitos de Abanico - Terraza (N-Qt1 y N-Qt2), se localizan hacia la parte media y norte del área de influencia, tienen una morfología aterrazada que sobresale de las áreas circundantes, se diferencian dos niveles N-Qt1 y N-Qt2, de los cuales el N-Qt1 se halla topográficamente más alto. Están constituidos por sedimentos clasto soportados de tamaños de

guijarros, guijos, gránulos y ocasionalmente bloques y gravas redondeadas. La unidad N-Qt1 presenta coeficiente de almacenamiento (S) que varía entre 3,56 E-2 y 1,34 E-5 denotándolo como un acuífero libre a confinado, capacidad específica (ce) de 0,26 l/s/m y Transmisividad (T) de 0,26 m<sup>2</sup>/día indicando un acuífero de baja productividad, sin embargo, dadas sus características litológicas y espesor, se estima, podría comportarse como de mediana productividad; la conductividad hidráulica (K) es de 3,04 m/día, que corresponde a permeabilidad muy baja a baja. La unidad N-Qt2 dada sus similitudes litológicas con N-Qt1 se estima también conforma un acuífero de baja a mediana productividad, presenta coeficiente de almacenamiento (S) de 2,19E-3, correspondiente a un acuífero de tipo libre a semiconfinado y conductividad hidráulica promedio de 20,45 m/día indicando baja permeabilidad. La unidad N-Qt1 en las tomografías presenta resistividades entre 1.000 y 15.000 Ohm/m, en los sondeos MT las resistividades oscilan entre 150 y 15.000 Ohm/m, de manera general el espesor de este depósito se halla alrededor de 90 m. Para el nivel N-Qt2 las tomografías eléctricas registraron resistividades entre 700 y 8.000 Ohm/m, con espesor que varía entre 25 y 40 m.

Los Depósitos de Terraza Aluvial (Q2-t1), Depósitos de Llanura de Inundación (Q2-lli), Depósitos Aluviales recientes asociados a Cauces Mayores (Q2-al1) y asociados a Cauces Menores (Q2-al2), corresponden a los sedimentos de origen fluvial, depositados por acción de los principales cursos de agua que drenan el área de influencia, como son los ríos Guatiquía y Guacavía, así como otros drenajes menores. Tienen composición variada, desde bloques hasta gravas, limos, arenas y arcillas en diferentes proporciones, con espesores menores a 5 m, constituyendo acuíferos por porosidad primaria, libres, discontinuos, de extensión local. Su potencialidad hidrogeológica está limitada por su extensión y espesor, sin embargo, revisten importancia con las conexiones que puedan tener con los cuerpos de agua superficiales, principalmente los depósitos de Llanura de Inundación y aquellos asociados a los cauces.

Los Depósito de Abanico Aluvial, Deposito de Abanico - Terraza (N-Qt1 y N-Qt2) y Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Menores, presentan agua con pH moderadamente ácido entre 4,19 y 6,52 unidades, dulces de mineralización débil entre 8 y 70,5 µS/cm, de baja alcalinidad, muy blandas y ligeramente turbias, en general de tipo bicarbonatadas cálcicas con muy poco enriquecimiento iónico; con afectación puntual por compuestos nitrogenados asociados posiblemente a las actividades antrópicas, se da la presencia puntual de molibdeno y de hierro. No hay afectación por metales, THP, fenoles totales o grasas y aceites. La presencia de Coliformes Totales sobrepasa ligeramente los límites permisibles, no se identifica Coliformes Termotolerantes sin embargo si *E. Coli* en algunas muestras lo cual podría indicar que puede haber presencia de materia fecal. El RAS indica que el agua puede ser usada para riego. El recurso se considera recomendable para uso doméstico, agrícola y pecuario previo tratamiento dada la presencia de coliformes y *E. Coli*.

La Formación Guayabo Nivel Medio e Inferior, no aflora en el área de influencia, se halla en el subsuelo y está conformada por una secuencia de predominancia finogranular de arcillolitas con algunas intercalaciones de areniscas y limolitas. Mediante sondeos MT, se identificó en Nivel Medio a profundidades entre 390 y 450 m, responde a resistividades entre 5 y 60 Ohm/m correlacionadas con lodolitas poco permeables con algunas intercalaciones de areniscas saturadas con agua dulce. Debido a su característica primordialmente arcillosa, se comporta como un acuitardo, conformando el basamento hidrogeológico de la zona de evaluación. De acuerdo a información de pozos de hidrocarburo presentes en el área de evaluación, tiene espesor promedio de 792 m.

El Relleno Antrópico (Qar), corresponde a materiales dispuestos por acción del hombre, provenientes de construcción de obras civiles para la adecuación de asentamientos urbanos e infraestructura, por lo cual no posee ningún interés desde el punto de vista hidrogeológico ya que no conforma acuíferos.

Se realizó el inventario de 198 puntos de agua subterránea de los cuales 112 son aljibes, 64 manantiales y 19 pozos y tres (3) jagüeyes. Del total los puntos 118 se usan, 52 no se usan, 14 se encuentran abandonados y 14 están en reserva. A pesar de que algunas veredas cuentan con

acueducto, el agua subterránea constituye una de las principales fuentes de abastecimiento en el área de influencia, **aprovechada para abastecimiento público (2 pozos)**, uso doméstico, así como para el desarrollo de actividades agropecuarias y en menor proporción se **destina** para usos recreativos, entre otros. Los caudales de explotación varían entre 0,03 y 10,3 l/s y el nivel de la tabla de agua entre 1,1 y **15,48** m de profundidad. Los caudales de surgencia de los manantiales se encuentran entre 0,001 y 2,37 l/s.

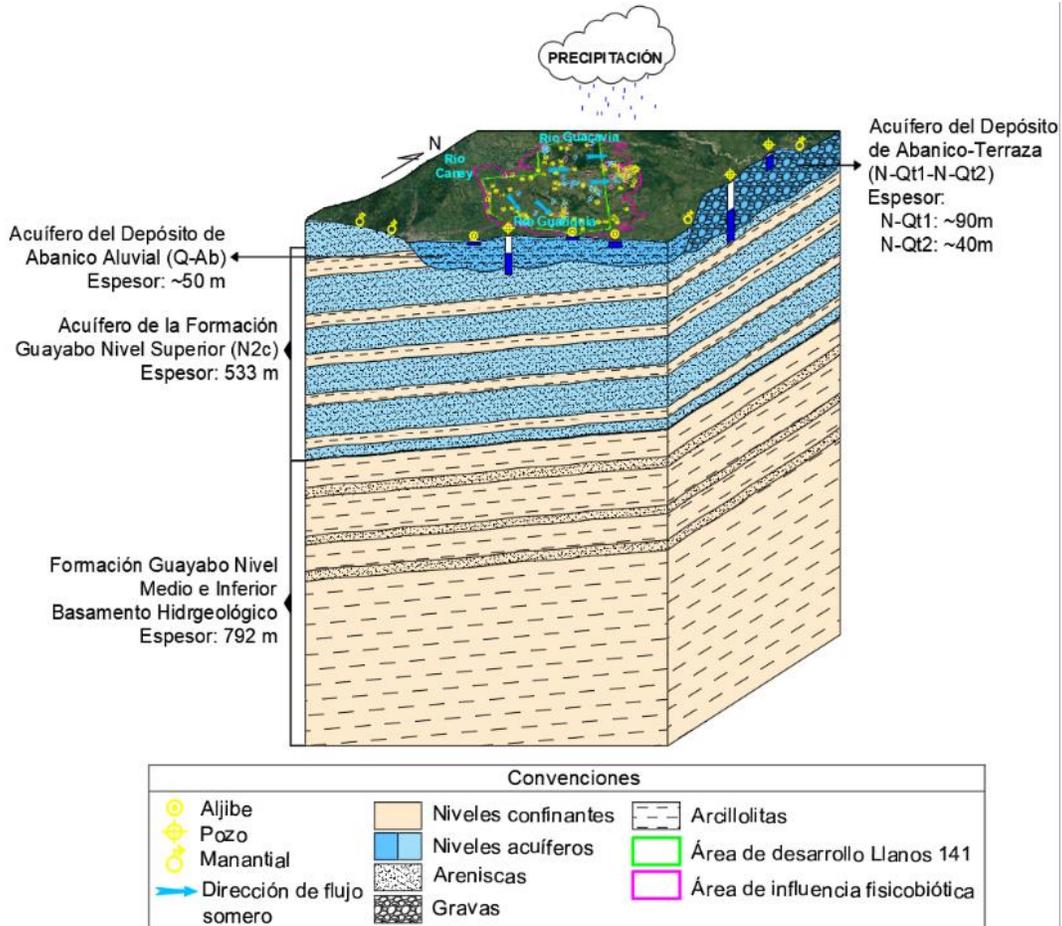
La recarga a los acuíferos se da a través de la precipitación directa que se infiltra hacia los niveles permeables más someros. El **60,51%** del área de influencia presenta potencial de recarga bajo, el **21,06%** moderado, el **9,26%** alto, el **3,70%** muy alto y el **5,16%** potencial de recarga muy bajo. Mediante la aplicación de aproximaciones empíricas se estimó un valor de recarga neta promedio entre 410 y 755 mm/año. La descarga de los acuíferos se da artificialmente mediante la explotación de los aljibes, pozos **y jagüeyes que cortan la tabla de agua**, y de forma natural por medio de la surgencia de los manantiales. La baja mineralización del agua subterránea indicaría recarga a los niveles acuíferos someros desde la precipitación y desde los drenajes en periodo de estiaje.

Las direcciones de flujo someras se dirigen desde las áreas más elevadas hacia las más bajas, con una orientación general en sentido NW-SE, no obstante se aprecian algunas variaciones que convergen hacia los ríos Guatiquía y Guacavía. Los flujos intermedios **siguen la pendiente regional del terreno** con una orientación **NW-SE hacia el centro de la cuenca**.

La vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación determinada por el método DRASTIC es principalmente moderada en el **57,57%** del área de evaluación, baja en el **35,74%** y alta en **6,38%**.

En la **Figura 4.2-34** se presenta un esquema del modelo hidrogeológico conceptual para el área de influencia.

Figura 4.2-34 Esquema modelo hidrogeológico conceptual para Área de Influencia



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023).

#### 4.2.1.9 Compilación de datos sobre necesidad de agua existente y requerida

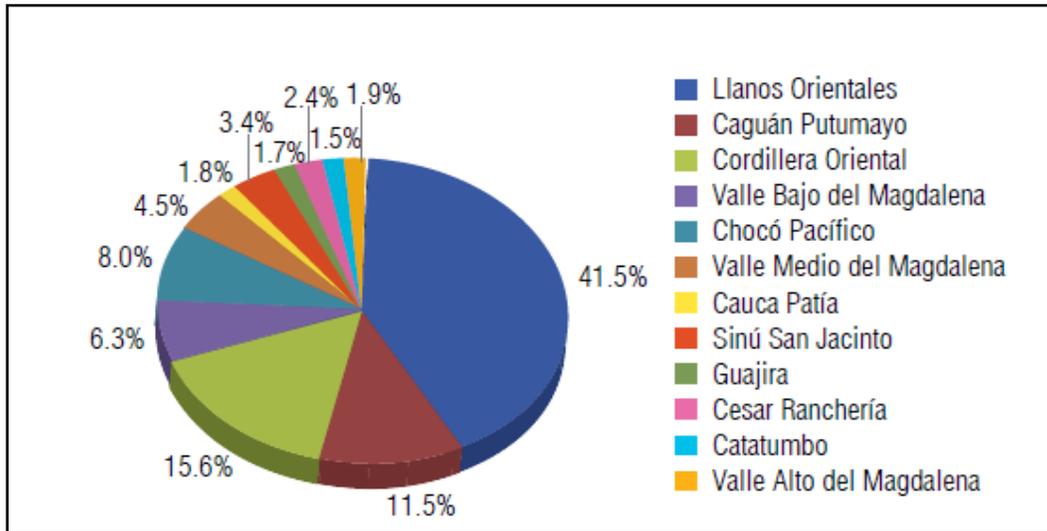
El agua subterránea existente en la cuenca de los Llanos Orientales es abundante y la mayoría se almacena en los Acuíferos de los Depósitos Cuaternarios y las rocas de la Formación Guayabo siendo esta última la unidad solicitada para permiso de exploración.

Según el ENA<sup>8</sup> las mayores reservas de agua subterránea en el país se encuentran en las provincias hidrogeológicas de los Llanos Orientales, Caguán Putumayo y Cordillera Oriental; para la cuenca de los Llanos Orientales, se tienen reservas de  $239,06 \text{ m}^3 \cdot 10^{10}$ , siendo básicamente la región con mayores reservas de agua subterránea en el país.

Según el ENA las mayores reservas de agua subterránea en el país se encuentran en las provincias hidrogeológicas de los Llanos Orientales, Caguán Putumayo y Cordillera Oriental (Ver **Figura 4.2-35**) para la cuenca. Para la cuenca de los Llanos Orientales, se tienen reservas de  $239,06 \text{ m}^3 \cdot 10^{10}$ , siendo básicamente la cuarta región con mayores reservas de agua subterránea en el país.

#### Figura 4.2-35 Distribución porcentual del agua subterránea en Colombia

8 IDEAM, Estudio Nacional del Agua. Oferta y Uso del agua subterránea en Colombia, 2010. Capítulo 4. p.164



Fuente: IDEAM, 2010

En general para la zona de evaluación, el agua subterránea es un recurso de importancia para las comunidades y las actividades económicas de la zona; no obstante, la oferta del recurso hídrico es buena y puede suplir las diferentes actividades, incluyendo la solicitud presentada por ECOPEPETROL S.A., sin poner en riesgo la oferta del mismo.

#### 4.2.1.10 Volumen, caudal de agua requerido y régimen de explotación

Se solicita un caudal de 5,04 l/s, para uso doméstico e industrial (ver **Tabla 4.2-12**), con un régimen de explotación de 18 horas al día, para un total de 326,59 m<sup>3</sup>/día en cada pozo.

**Tabla 4.2-12 Caudal de agua requerido por el proyecto**

ETAPA	USO	CAUDAL REQUERIDO (L/s)	FACTOR SEGURIDAD	CAUDAL POR SOLICITAR (L/s)
Exploración – Desarrollo (producción)	Industrial	4,00	20%	4,80
	Doméstico	0,20	20%	0,24
<b>Caudal por solicitar (l/s)</b>				<b>5,04</b>

Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023).

#### 4.2.1.11 Perforación de los pozos exploratorios, características técnicas y diseño preliminar

De acuerdo con las condiciones hidrogeológicas de la zona, la profundidad de los cinco (5) pozos proyectados para exploración de agua subterránea en el AD Llanos 141 será de hasta máximo 150 m, pudiendo tener menor profundidad en el caso de hallar el recurso antes de los 150 m. No obstante, se descarta aprovechar los primeros 90 m desde la superficie, pues los depósitos cuaternarios usados por la comunidad tienen espesores promedio entre 40 y 90 m, siendo aprovechados mediante pozos de hasta 80 m de profundidad, aunque, la mayor parte de las captaciones usadas son aljibes con profundidades de hasta 16 m. De esta manera, los pozos no captarán las unidades acuíferas usadas por la comunidad.

A continuación, se presentan los lineamientos técnicos generales para la ejecución de la perforación exploratoria, construcción y adecuación de los pozos. Sin embargo, las condiciones pueden variar de acuerdo con los resultados obtenidos en las perforaciones exploratorias.

#### 4.2.1.11.1 Sistema de perforación

Las perforaciones se realizarán por el método de rotación, con circulación directa de lodos bentoníticos como fluido de perforación para extraer a la superficie el material de corte, refrigerar la broca y darles estabilidad a las paredes de los pozos. Se controlará, la viscosidad y contenido de arena en el fluido perforación, llevando un registro de penetración y litológico metro a metro.

#### 4.2.1.11.2 Especificaciones del equipo de perforación, nombre, número de inscripción de la empresa perforadora

En el momento del presente estudio, las especificaciones del equipo, el nombre y número de inscripción de la empresa de perforación no se han definido, esta información se allegará a la autoridad ambiental en los respectivos PMAE.

De acuerdo con la profundidad estimada para la perforación, se prevé que se utilizará un equipo de rotación convencional capaz de perforar hasta un diámetro de 12¼” y llegar a una profundidad cercana a los 160 m, para atravesar intercalaciones de arcillolitas, areniscas y conglomerados, que cuente con todos los accesorios y herramientas de apoyo, para realizar técnicamente las debidas perforaciones exploratorias, el encamisado, limpieza y desarrollo de los pozos.

Previamente se realiza perforación e instalación de antepozo de 14” y dos (2) m de profundidad (casing de superficie), con el fin de dar estabilidad a la parte superior y evitar posibles derrumbes superficiales.

#### 4.2.1.11.3 Características técnicas y diseño preliminar de los pozos

Los pozos tendrán una profundidad máxima de hasta 150 m (pudiendo ser menor en el caso de hallar el recurso a menor profundidad) con el techo del primer filtro por debajo de los 90 m, con el fin de no utilizar los niveles acuíferos que están siendo usados mayormente por la comunidad mediante aljibes y pozos.

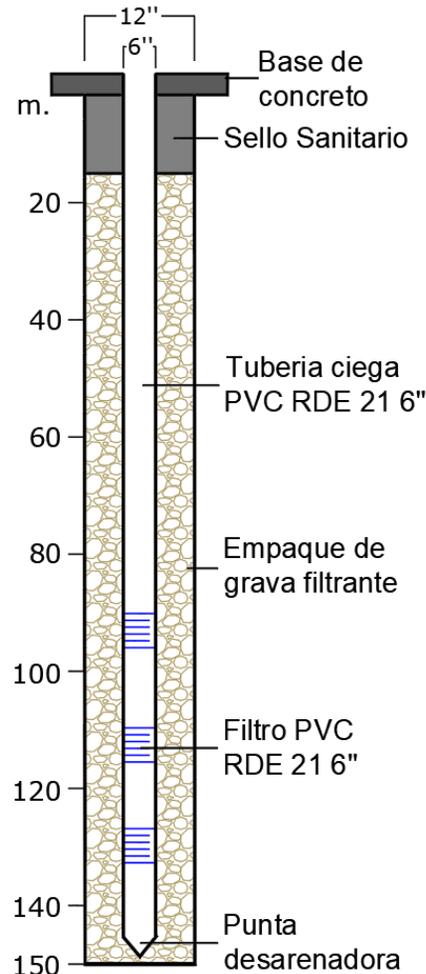
Las perforaciones tendrán un diámetro de 12¼” hasta la profundidad final, para su revestimiento se empleará tubería y filtros en PVC de 6” de diámetro. En la base del pozo se instalará una puntera que funcionará como desarenador de aproximadamente 2 m de longitud del mismo material de revestimiento.

Los pozos tendrán un empaque filtrante de grava limpia, seleccionada, cuarzosa, con bajo contenido de materiales calcáreos, cuyo tamaño de grano estará de acuerdo con los resultados de los análisis granulométricos obtenidos de las muestras de zanja de los horizontes de los acuíferos a captar.

Contará con un sello sanitario de bentonita y cemento sobre el empaque de grava, para garantizar la impermeabilidad de la zona inmediatamente superior y con ello impedir la contaminación por filtración de fluidos desde la superficie. En superficie se adaptará una base de concreto de 0,4 x 0,4 x 0,4 m, sobre la cual sobresaldrá la cabeza del tubo de revestimiento.

En la **Figura 4.2-36** se presenta el diseño típico de los pozos. No obstante, los diseños definitivos se realizarán de acuerdo con los resultados obtenidos de las perforaciones exploratorias y de los registros físicos.

#### **Figura 4.2-36** Diseño esquemático preliminar del pozo exploratorio



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

#### 4.2.1.12 Plan de trabajo general y cronograma de obras.

A continuación, se presenta el plan de trabajo general para la perforación de los pozos exploratorios, de acuerdo con las actividades contempladas:

##### 4.2.1.12.1 Movimiento de equipos, herramientas, materiales y personal

La primera fase para iniciar las actividades de perforación corresponde a la movilización de equipos y personal, dicha actividad incluirá entre otros, el desplazamiento de las siguientes herramientas y personal:

- Equipos, materiales, herramientas: equipo de perforación con sus respectivos accesorios y herramientas de apoyo, tubería de revestimiento, filtros y grava.
- Personal: para una jornada laboral de un turno, el personal estimado corresponderá a (1) profesional HSE, un (1) geólogo, un (1) perforador, dos (2) auxiliares y un (1) conductor.

##### 4.2.1.12.2 Instalación de equipos y demarcación del área

Según la localización de los pozos se demarcará el área donde se destinarán las zonas para el almacenamiento de materiales y herramientas; se distribuirán los equipos y se hará la nivelación del equipo de perforación, se estima que es necesaria un área de 250 m<sup>2</sup>, donde se excavarán las piscinas para almacenamiento de lodos y los canales de sedimentación.

#### **4.2.1.12.3 Perforación exploratoria y descripción litológica**

Se realizará las perforaciones exploratorias por el método de rotación con circulación directa de lodos bentoníticos, con diámetro de 8 1/2”, con muestreo de ripio metro a metro para descripción litológica y registro de datos de la tasa de penetración.

#### **4.2.1.12.4 Registros físicos**

Una vez terminadas las perforaciones exploratorias, se tomarán registros físicos en toda la longitud de las perforaciones, correspondientes a resistividad eléctrica (sondas normal corta y normal larga), gamma natural y potencial espontáneo (SP).

#### **4.2.1.12.5 Ampliación del pozo**

De acuerdo con la interpretación de los registros de los pozos exploratorios y toda la información de las perforaciones, incluyendo la relacionada con cambios en la viscosidad y pérdidas de lodo, se tomará la decisión de ampliarlos a un diámetro de 12 1/4” hasta la profundidad final.

#### **4.2.1.12.6 Revestimiento y engravillado**

Para el revestimiento se efectuarán los cortes y empalmes de la tubería y filtros de acuerdo con el diseño final, para dejarlos listos para ser instalados dentro de las perforaciones.

Se acondicionará un filtro de grava cuarzosa seleccionada y se engravillará por el método de circulación directa, el cual consiste en inyectar agua en el fondo de los pozos, sellando su parte superior con el fin de originar una circulación por la sección anular existente entre la pared de los pozos y el revestimiento.

#### **4.2.1.12.7 Limpieza y desarrollo de los pozos**

Se iniciará el proceso de limpieza y desarrollo con aire comprimido, empleando aditivos tipo tripolifosfatos sódicos que se removerán por sobrebombeo y jetting filtro a filtro, con el objeto de extraer el material sedimentado en los pozos y evacuar totalmente el lodo y las partículas finas del empaque de grava, hasta obtener agua clara y asegurar con ello que los pozos están interconectados hidráulicamente con los horizontes acuíferos.

El método por emplear o la combinación de estos se ejecutará de acuerdo con las condiciones que presenten los pozos, los cuales se considerarán completamente desarrollados una vez que instaladas las bombas de prueba y bombeando a su caudal máximo, el agua salga clara y libre de sedimento.

#### **4.2.1.12.8 Instalación de los sellos sanitarios, bases de concreto, tuberías de medición de niveles y nivelación topográfica**

Una vez terminada la limpieza, desarrollo de los pozos y asentados los empaques de grava, se realizará la adecuación de sellos de bentonita y cemento, de acuerdo con los diseños, estos se ubicarán sobre el empaque de grava para garantizar la impermeabilidad de la zona inmediatamente superior.

Del mismo modo, en cada pozo se instalará en la superficie una base de concreto de 0,4 x 0,4 x 0,4 m, ligeramente inclinada hacia el exterior sobre la cual sobresaldrá la cabeza del tubo de revestimiento, con esto se garantizará que la boca del pozo no quede a nivel del suelo, impidiendo, por tanto, que el agua de lluvia o escorrentía ingrese al mismo a través del anular. Adicionalmente, los pozos se construirán en sitios con un manejo adecuado de aguas que no permita la inundación, y se dejará el espacio suficiente a su alrededor de tal forma que posteriormente pueda realizarse de manera óptima su mantenimiento.

La boca de cada pozo será nivelada topográficamente con relación a las bases altimétricas establecidas por el Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”.

Cuando se vaya a instalar los equipos de bombeo definitivos, se acoplará desde la parte superior de los puntos de succión de las bombas sumergibles y a lo largo de las tuberías de descarga, un piezómetro en PVC de ½” de diámetro, para la medición de los niveles del agua subterránea.

#### **4.2.1.12.9 Pruebas de bombeo**

En cada pozo exploratorio se llevará a cabo una prueba de bombeo escalonada, que tendrá como mínimo tres (3) escalones de una hora cada uno, con un caudal por escalón aumentado en forma continua y geométrica. Posteriormente y después de recuperado el nivel inicial, se procederá a la ejecución de una prueba a caudal constante de 24 horas de duración, con su respectiva recuperación, hasta recuperar el 90% del nivel estático inicial.

Con los resultados y la interpretación de las anteriores pruebas, se obtendrán los parámetros de transmisividad, coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica, como también los coeficientes de pérdidas en los pozos y el acuífero; con estos valores se determinará el caudal óptimo de producción en cada uno, el tiempo de bombeo requerido, las características técnicas de los equipos de bombeo definitivos a instalar y las ecuaciones de producción, eficiencia y capacidad específica de los pozos.

#### **4.2.1.12.10 Toma de muestras de agua**

Al final de las pruebas de bombeo, se tomarán las muestras de agua requerida para el análisis fisicoquímico y bacteriológico, a fin de determinar el tipo de agua y si es necesario realizar algún tratamiento para sus diferentes usos.

Una vez perforados y completados los pozos se realizará el retiro de los equipos y la conformación final del área.

#### **4.2.1.12.11 Elaboración y entrega de informe final**

Se elaborará el informe técnico de la perforación de los pozos construidos y se entregarán a la autoridad ambiental competente, 60 días hábiles después del completamiento de cada uno.

En la **Tabla 4.2-13** se presenta un cronograma general de obras y actividades para la perforación de un pozo de 150 m.

**Tabla 4.2-13 Cronograma estimado de actividades para la perforación de un pozo exploratorio de agua de hasta 150 m**

ACTIVIDAD	SEMANA 1							SEMANA 2							SEMANA 3					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Movilización equipos, herramienta y personal	■	■																		
Inducción HSE			■																	
Instalación de equipos, demarcación de área y construcción piscinas				■																
Perforación exploratoria					■	■	■	■	■	■										
Registros físicos										■										
Ampliación del pozo											■	■	■	■	■					
Revestimiento y engravillado															■	■				
Limpieza y desarrollo del pozo																	■			
Instalación del sello sanitario, base de concreto y tubería para medición de niveles																		■		
Ejecución de prueba de bombeo y toma de muestra para análisis fisicoquímico y bacteriológico																			■	■
Retiro de equipos, entrega de área y recibido a conformidad por parte del supervisor HSE de campo																				■
Elaboración del informe final												■	■	■	■	■	■	■	■	■
Entrega de informe final*																				

\* 60 días hábiles después de completado el pozo

Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

#### 4.2.1.13 Presupuesto por pozo

En la **Tabla 4.2-14** se presenta el presupuesto para la perforación de un pozo de agua subterránea de 150 m de profundidad.

**Tabla 4.2-14 Presupuesto estimado para la perforación de un pozo de agua hasta de 150 m**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Movilización y desmovilización de equipos y materiales	un	1	10.000.000	\$ 10.000.000
2	Adecuación de área, campamento, piscinas de lodos	un	1	2.000.000	\$2.000.000
3	Perforación mecánica en 81/2 pulgadas	ml	150	550.000	\$82.500.000
4	Registro eléctrico	un	1	3.300.000	\$3.300.000
5	Ampliación del pozo a 12 1/4 pulgadas	ml	150	250.000	\$37.500.000
6	Suministro tubería ciega PVC RDE 21 6"	ml	120	95.000	\$11.400.000
7	Suministro tubería ranurada para filtros PVC RDE 21 6" roscada	ml	30	185.000	\$5.550.000
8	Suministro tubería en PVC RDE 21 de 1 1/2" para engravilladores	ml	10	13.000	\$130.000
9	Suministro e instalación de empaque de grava	un	100	50.000	\$5.000.000
10	Construcción sello sanitario, base de concreto y placa	un	1	1.900.000	\$1.900.000
11	Prueba de bombeo y recuperación a 24 h	un	1	1.800.000	\$1.800.000
12	Lavado y desarrollo del pozo	un	1	2.320.000	\$2.320.000
13	Bomba sumergible con motor y tablero	un	1	5.500.000	\$5.500.000
14	Cable centelsa 3*12, empalmes y otros accesorios	m	100	9.000	\$900.000
15	Cable dúplex No. 12	m	80	800	64.000
16	Tubería de extracción de 2" y uniones	m	80	17.000	\$1.360.000
17	Disco de soporte de acero CR de 3/4" espesor, OD 10"; ID 3,5"	un	1	90.000	\$90.000
18	Instalación y puesta en marcha	un	1	1.200.000	\$1.200.000

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
19	Análisis fisicoquímico y bacteriológico	un	1	1.200.000	\$1.200.000
20	Informe final con diseños	un	1	5.500.000	\$5.500.000
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$179.214.000</b>
AIU 15%					\$26.882.100
Imprevistos 5%					\$8.960.700
Utilidad 5%					\$8.960.700
<b>TOTAL COSTO</b>					<b>\$224.017.500</b>
IVA Base Utilidad de 5%					\$1.433.712
<b>TOTAL, INCLUIDO IVA</b>					<b>\$225.451.212</b>

Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

#### 4.2.1.14 Otros aprovechamientos de agua subterránea en la zona y posibles conflictos por el uso

El agua subterránea es un recurso de importancia para el desarrollo socioeconómico de la zona, pues constituye una de las fuentes de abastecimiento de la comunidad, que la aprovecha hasta profundidades de 120 m aproximadamente, sin embargo, la mayoría de las captaciones no superan los 16 m; el agua se destina para **abastecimiento público**, uso doméstico, así como para **el desarrollo de** actividades agropecuarias y en menor proporción se **destina** para usos recreativos, entre otros.

Dentro del área de influencia se inventariaron 198 puntos de agua subterránea de los cuales 112 son aljibes, 64 manantiales y 19 pozos. Del total de puntos 118 se usan, 52 no se usan, 14 se encuentran abandonados y 14 están en reserva. Los aljibes están revestidos en concreto, piedra, ladrillo o no tienen revestimiento, en diámetros entre 0,7 a 5,2 m y con profundidades que varían entre 0,9 y 16,55 m. Los pozos están revestidos en su mayoría en PVC, con diámetros entre 3 y 10 pulg y profundidades entre 6 y 120 m. Los manantiales surgen con caudales entre 0,001 y 2,37 L/s

En la **Tabla 4.2-15** se resumen las características los puntos de agua subterránea inventariados, en donde se incluye el número de puntos por tipo y los valores máximos y mínimos de algunas características como profundidad, caudal de explotación y nivel de la tabla de agua. En la **Figura 4.2-37** se muestra su distribución.

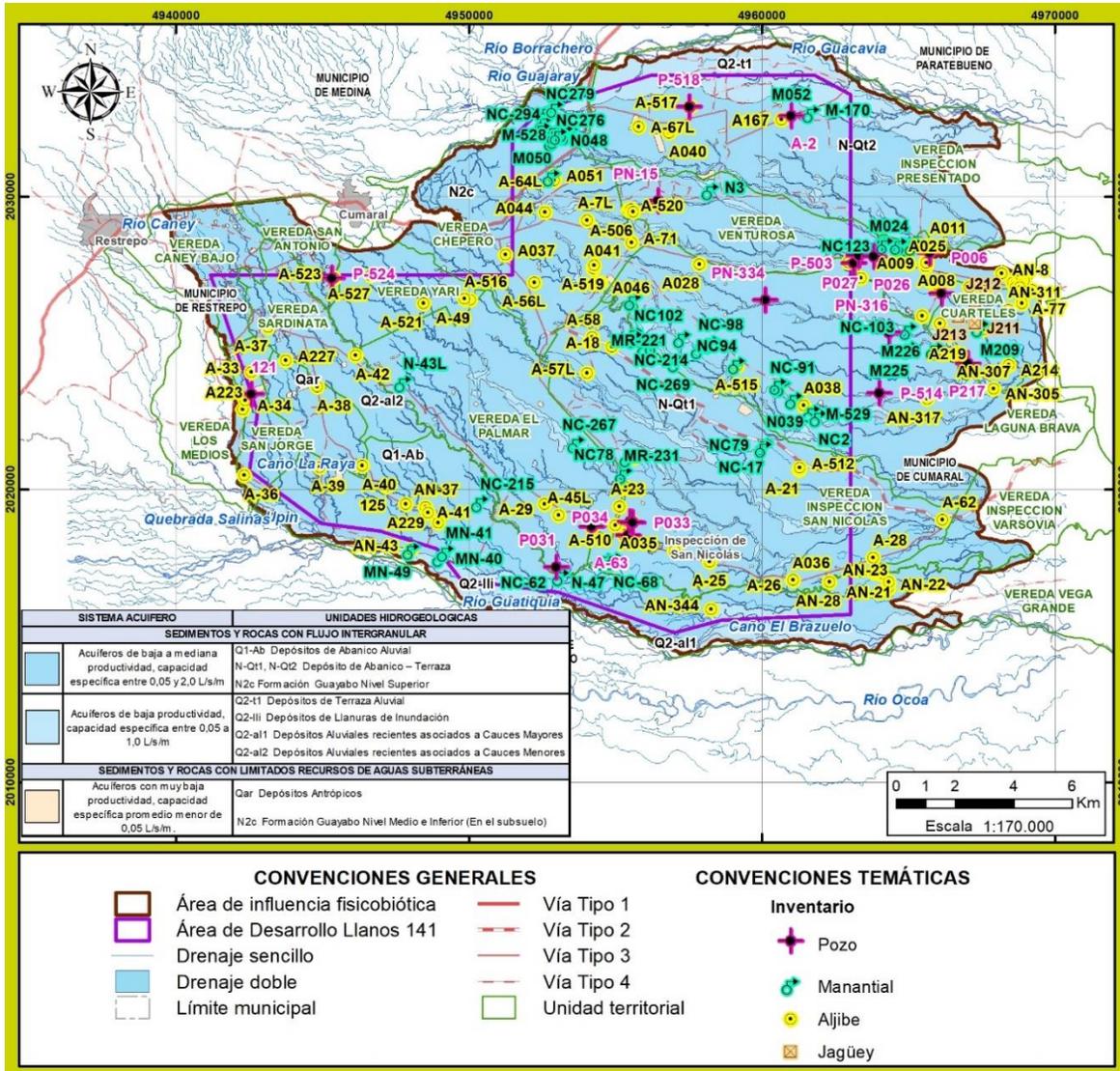
**Tabla 4.2-15 Resumen de puntos de agua subterránea inventariados**

TIPO DE PUNTO	NÚMERO DE PUNTOS	PROFUNDIDAD (m)	CAUDALES DE EXPLOTACIÓN (L/s)	NIVEL DE LA TABLA DE AGUA (m)
Aljibes	112	0,9 – 16,55	0,03 – 10,3	1,0 - 9,15
Manantiales	64	No aplica	0,001 - 2,37 *	Superficial
Pozos	19	6 – 120	0,5 – 8,8	2,04 – 15,48
Jagüey	3	6,12 - 8	-	1,35 – 3,15
<b>Total</b>	<b>198</b>			

\* Corresponde al caudal de surgencia

Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Figura 4.2-37 Localización de puntos de agua subterránea inventariados en el Área de Influencia



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Los pozos que se van a perforar explorarán el acuífero de la Formación Guayabo Nivel Superior; los pozos contarán con filtros ubicados a partir de los 90 m de profundidad con el fin de no intervenir los acuíferos de los depósitos cuaternarios aprovechados por la comunidad, que tienen espesores entre 40 y 90 m y que son captados por aljibes y pozos con profundidades que alcanzan máximo 120 m, solo un pozo tiene profundidad de 120 m, los restantes no sobrepasan los 80 m, de esta manera, la posibilidad de que se generen interferencias es muy baja pues no se aprovecharán los mismos horizontes acuíferos, adicionalmente la Formación Guayabo Nivel Superior es de tipo multicapa, por lo cual, a su vez contiene intercalaciones de capas confinantes, por tanto, se estima que no se presentaría conflicto por el uso del recurso. Una vez se realicen las pruebas de bombeo, se establecerá el radio de influencia definitivo de los pozos.

#### 4.2.2 Solicitud de permiso de concesión de aguas subterráneas

La presente solicitud se realiza de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Resolución 1058 del 07 de octubre de 2021 expedida por el MADS<sup>9</sup>, en la cual se adopta el Formato Único Nacional de solicitud de concesión de aguas subterráneas, con base en el Decreto 1076 de 2015 expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS<sup>10</sup>, donde se estipula en el artículo 2.2.3.2.16.13 que *“los aprovechamientos de aguas subterráneas, tanto en predios propios como ajenos, requieren concesión de la Autoridad Ambiental competente con excepción de los que utilicen para usos domésticos en propiedad del beneficiario o en predios que éste tenga posesión o tenencia”*.

El Decreto 1076 de 2015 en el artículo 2.2.3.2.16.15 establece que *“Si el pozo u obra de aprovechamiento de aguas subterráneas se encuentra dentro de una cuenca subterránea ya conocida por la Autoridad Ambiental competente se podrá exonerar del permiso y del proceso de exploración”*.

También se tiene en cuenta lo requerido en los términos de referencia HI-TER-1-03 de 2010<sup>11</sup>, Numeral 4.2 y la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales, 2018 en el numeral 6.212, en relación con los permisos de concesión de agua subterránea.

En atención a lo anterior, ECOPETROL S.A. pone a consideración de la autoridad ambiental, la información hidrogeológica del área de influencia para la caracterización del acuífero de la Formación Guayabo Nivel Superior, consignadas en la información presentada para la solicitud del permiso de exploración de aguas subterráneas de la misma área (**ver numeral 4.2.1 Solicitud de permiso de exploración de aguas subterráneas**). Esta información está soportada mediante la realización y análisis de prospección geofísica en modalidad de tomografías eléctricas, sondeos magnetoteléricos (MT), pruebas de bombeo, inventario de puntos de agua subterránea y calidad de agua. Considerando que se tiene un buen conocimiento hidrogeológico de la cuenca y de la zona evaluación, se solicita paralelamente el permiso de concesión de agua subterránea.

Se solicita permiso de concesión de aguas subterráneas en cinco (5) pozos ubicados en las locaciones, facilidad central de producción o facilidades satélites a construir, con un caudal de 5,04 l/s, cada uno, aprovechados durante 18 horas al día, para uso doméstico e industrial.

Los pozos tendrán profundidades máximas de hasta 150 m, los filtros se establecerán por debajo de los 90 m, captando el Acuífero de la Formación Guayabo Nivel Superior para no interferir con los niveles usados por la comunidad de la zona que capta los acuíferos de los depósitos cuaternarios.

A continuación, se presenta la información de soporte para la solicitud de permiso de concesión, pero se aclara que parte de esta se adquiriría una vez se perforen los pozos exploratorios y será allegada a la autoridad ambiental, dentro de los plazos establecidos por la normatividad. En la **Tabla 4.2-16** se listan los requerimientos y el ítem que presenta la información solicitada. En el **Anexo 4 Uso y Aprovechamiento RN / 4.2 Aguas Subterránea / 4.2.2 FUN Concesión** se adjunta el Formato Único Nacional – FUN de solicitud de concesión de aguas subterráneas junto con la demás información solicitada en dicho formato.

9 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 1058 de 07 de octubre de 2021. “Por la cual se modifica parcialmente la resolución 2202 del 29 de diciembre de 2005 y se adoptan otras determinaciones” Hoja No. 1-2 y Anexos.

10 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015. “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible”. Hojas No. 308-309 y 328- 329.

11 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Términos de referencia sector hidrocarburos. Estudio de Impacto Ambiental proyectos de explotación de hidrocarburos HI-TER-1-03. Bogotá D.C., 2010. P. 29.

12 MINAMBIENTE - ANLA. Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales. 2018. pp. 169 – 171.

**Tabla 4.2-16 Información requerida para solicitud de permiso de concesión de aguas subterráneas según la normatividad vigente del Decreto 1076 del 2015, TR HI-TER-1-03 del 2010, Metodología general del 2018 y numeral que la presenta**

NORMA	TÉRMINOS	INFORMACIÓN SOLICITADA	NUMERAL DONDE SE PRESENTA INFORMACIÓN
Decreto 1076 de 2015.  Libro 2. Régimen Reglamentario del Sector Ambiente, Parte 2. Reglamentaciones, Título 3. Aguas no marítimas, Capítulo 2. Uso y aprovechamiento del agua, Sección 16. Régimen de ciertas categorías especiales de agua.	Art. 2.2.3.2.16.14. <i>Requisitos y trámite concesión.</i> La solicitud de concesión de aguas subterráneas debe reunir los requisitos y trámites establecidos en la sección 9 de este capítulo. A solicitud se acompañará copia del permiso de exploración y certificación sobre la presentación del informe previsto en el artículo 2.2.3.2.16.10 de este mismo estatuto ( <i>Decreto 1541 de 1978, art. 157</i> )	a. Ubicación del pozo perforado y de otros que existan dentro del área de exploración o próximos a esta. La ubicación se hará por coordenadas geográficas con base a WGS84 y siempre que sea posible con coordenadas planas origen Bogotá "Magna Sirgas" con base en cartas del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi".	La información será entregada una vez se adquiera
		b. Descripción de la perforación y copia de los estudios geofísicos, si se hubieren hecho.	La información será entregada una vez se adquiera 4.2.1.11 Perforación de los pozos exploratorios, características técnicas y diseño preliminar 4.2.1.12 Plan de trabajo general y cronograma de obras. 4.2.1.11.3 Características técnicas y diseño preliminar de los pozos 4.2.1.5 Prospección geofísica
		c. Profundidad y método de perforación.	4.2.1.11 Perforación de los pozos exploratorios, características técnicas y diseño preliminar
		d. Perfil estratigráfico de todos los pozos perforados, tengan o no agua, descripción y análisis de las formaciones geológicas, espesor, composición, permeabilidad, almacenaje y rendimiento real del pozo si fuera productivo y técnicas empleadas en las distintas fases. El titular del permiso deberá entregar, cuando la entidad lo exija muestras de cada formación geológica atravesada, indicando la cota del nivel superior e inferior a que corresponde.	4.2.2.3 Perfil estratigráfico de los niveles acuíferos solicitados en concesión 4.2.1.12.3 Perforación exploratoria y descripción litológica 4.2.1.12.5 Ampliación del pozo
		e. Nivelación de cota del pozo, con relación a las bases altimétricas establecidas por el Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", niveles estáticos de agua contemporáneos a la prueba en la red de pozos de observación, y sobre los demás parámetros hidráulicos debidamente calculados.	4.2.1.12.8 Instalación de los sellos sanitarios, bases de concreto, tuberías de medición de niveles y nivelación topográfica 4.2.1.6 Ensayos o pruebas de bombeo – Características hidráulicas 4.2.1.12.9 Pruebas de bombeo
		f. Calidad de las aguas; análisis físico –químico y bacteriológico.	4.2.1.7 Características fisicoquímicas del agua subterránea en los niveles a explorar 4.2.1.12.10 Toma de muestras de agua
		g. Otros datos que la Autoridad Ambiental competente considere convenientes	No aplica

NORMA	TÉRMINOS	INFORMACIÓN SOLICITADA	NUMERAL DONDE SE PRESENTA INFORMACIÓN
<p>Decreto 1076 de 2015.</p> <p>Libro 2. Régimen Reglamentario del Sector Ambiente, Parte 2. Reglamentaciones, Título 3. Aguas no marítimas, Capítulo 2. Uso y aprovechamiento del agua, Sección 9. Procedimientos para otorgar concesiones</p>	<p>Art 2.2.3.2.9.1. <i>Solicitud de concesión.</i> Las personas naturales o jurídicas y las entidades gubernamentales que deseen aprovechar las aguas para usos diferentes de aquellos que se ejercen por ministerio de la ley requieren concesión, para lo cual deberán dirigir una solicitud a la Autoridad Ambiental competente en la cual expresen: (Decreto 1541 de 1978, art. 54)</p>	<p>a. Nombres y apellidos del solicitante, documento de identidad, domicilio y nacionalidad. Si se trata de una persona jurídica, pública o privada, se indicará su razón social, domicilio, los documentos relativos a su constitución, nombre y dirección de su representante legal.</p>	<p>Anexo 4 Uso y Aprovechamiento RN / 4.2 Aguas Subterránea / 4.2.2 Formato Único Nacional de solicitud de concesión de aguas subterráneas</p>
		<p>b. Nombre de la fuente donde se pretende hacer la derivación o donde se desea usar el agua.</p>	<p>4.2.2.2 Fuente de agua a concesionar</p>
		<p>c. Nombre del predio o predios, municipios o comunidades que se van a beneficiar y su jurisdicción.</p>	<p>Anexo 4 Uso y Aprovechamiento RN / 4.2 Aguas Subterránea / 4.2.2 Formato Único Nacional de solicitud de concesión de aguas subterráneas</p>
		<p>d. Información sobre el destino que se le dará al agua.</p>	<p>4.2.2.4 Volumen, caudal, usos y régimen de explotación solicitada</p>
		<p>e. Cantidad de agua que se desea utilizar en litros por segundo</p>	<p>4.2.2.4 Volumen, caudal, usos y régimen de explotación solicitada</p>
		<p>f. Información sobre los sistemas que se adoptarán para la captación, derivación, conducción, restitución de sobrantes, distribución y drenaje, y sobre las inversiones, cuantía de las mismas y término en el cual se van a realizar.</p>	<p>4.2.2.6 Sistemas de captación, obras de conducción, almacenamiento y sistema de tratamiento</p>
		<p>g. Informar si se requiere establecimiento de servidumbre para el aprovechamiento del agua o para la construcción de las obras proyectadas.</p>	<p>4.2.2.11 Servidumbre para el aprovechamiento del agua o para la construcción de obras proyectadas</p>
		<p>h. Término por el cual se solicita la concesión</p>	<p>4.2.2.5 Término de tiempo por el cual se solicita el permiso de concesión</p>
		<p>i. Extensión y clase de cultivos que se van a regar</p>	<p>No aplica</p>
		<p>j. Los datos previstos en la sección 10 de este capítulo para concesiones con características especiales</p>	<p>No aplica</p>
		<p>k. Los demás datos que la Autoridad Ambiental competente y el peticionario consideren necesarios</p>	<p>No aplica</p>
<p>TR HI-TER-1-03-Numeral 4. Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recurso naturales.</p>	<p>Numeral 4.2 Aguas subterráneas.</p>	<p>a. Los documentos que acrediten la personería del solicitante</p>	<p>Anexo 4 Uso y Aprovechamiento RN / 4.2 Aguas Subterránea / 4.2.2 Formato Único Nacional de solicitud de concesión de aguas subterráneas</p>
		<p>b. Autorización del propietario o poseedor cuando el solicitante sea mero tenedor</p>	
		<p>c. Certificado actualizado expedido por la Oficina de Registro de Instrumentos Públicos y Privados sobre la propiedad del inmueble, o la prueba adecuada de la posesión o tenencia</p>	
		<p>Para la concesión de las aguas subterráneas se debe presentar los resultados de la prueba de bombeo del pozo, modelo hidrogeológico e informar sobre la infraestructura y sistemas de conducción.</p>	<p>La información será entregada una vez se adquiera, sin embargo de forma preliminar se presenta:</p> <p>4.2.1.6 Ensayos o pruebas de bombeo – Características hidráulicas</p> <p>4.2.1.12.9 Pruebas de bombeo</p> <p>4.2.1.8 Características hidrogeológicas de la zona – Modelo hidrogeológico conceptual</p> <p>4.2.2.6 Sistemas de captación, obras de conducción, almacenamiento y sistema de tratamiento.</p>

NORMA	TÉRMINOS	INFORMACIÓN SOLICITADA	NUMERAL DONDE SE PRESENTA INFORMACIÓN
<p>MINAMBIENTE – ANLA</p> <p>Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales</p> <p>III. Especificaciones técnicas del Estudio de Impacto Ambiental y del Plan de Manejo Ambiental</p> <p>Numeral 6. Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales</p>	<p>6.2 Concesión de agua subterránea</p> <p>De necesitarse una concesión de agua subterránea se debe presentar la información requerida en el Formulario Único Nacional de Solicitud de Concesión de Aguas Subterráneas:</p>	Evaluación de los requerimientos de agua en términos de volumen, caudal y régimen de explotación.	4.2.2.4 Volumen, caudal, usos y régimen de explotación solicitada
		Localización georreferenciada de los pozos exploratorios perforados en mapas con la escala definida en los términos de referencia genéricos o más detallada, si ello se requiere.	4.2.1.1 Ubicación y extensión de los predios a explorar
		Informe de los resultados de los estudios de exploración, que incluya los estudios hidrogeológicos que se hubieran realizado indicando el tipo de investigación, método y análisis de las pruebas realizadas y los parámetros geohidráulicos de los acuíferos identificados en los estudios.	4.2.1.5 Prospección geofísica 4.2.1.6 Ensayos o pruebas de bombeo – Características hidráulicas 4.2.1.12.9 Pruebas de bombeo 4.2.1.8 Características hidrogeológicas de la zona – Modelo hidrogeológico conceptual
		Descripción litológica metro a metro de las muestras obtenidas de la perforación exploratoria (para todos los pozos perforados, contengan agua o no), señalando su espesor, composición, textura, estructura, granulometría, grado de empaquetamiento y porosidad primaria o secundaria.	4.2.1.12.3 Perforación exploratoria y descripción litológica
		Perfil estratigráfico de los pozos perforados y descripción de las formaciones geológicas, elaborado con base en la descripción litológica, determinando el espesor, y la porosidad primaria o secundaria de todos los pozos perforados, tengan o no agua.	4.2.1.12.3 Perforación exploratoria y descripción litológica
		Registros geofísicos de los pozos perforados, aportando los perfiles Gamma Ray, potencial espontáneo y resistividad sonda larga y corta con su correspondiente escala horizontal y vertical (profundidad). Se debe presentar la correlación de estos resultados con la rata de perforación del pozo, y con el perfil estratigráfico, con los cuales se debe sustentar el diseño definitivo del pozo, el tamaño de apertura de los filtros y el tamaño del empaque de grava.	4.2.1.12.3 Perforación exploratoria y descripción litológica 4.2.1.12.4 Registros físicos 4.2.1.12.5 Ampliación del pozo 4.2.1.12.6 Revestimiento y engravillado
		Diseño definitivo de los pozos perforados, incluyendo la descripción del tipo de tubería de revestimiento, filtros, empaque de grava y material utilizado para el sello sanitario, nivelación topográfica. Ubicación y descripción de la infraestructura instalada (bomba sumergible, tubería de conducción y accesorios para su funcionamiento y tubería para medición de niveles, entre otras).	4.2.1.11.3 Características técnicas y diseño preliminar de los pozos 4.2.2.6 Sistemas de captación, obras de conducción, almacenamiento y sistema de tratamiento
		Datos de campo (variación de los niveles del agua subterránea con relación al tiempo) y resultados de las pruebas de bombeo escalonadas, a caudal constante y de recuperación realizadas, especificando tipo, duración y caudal de la prueba; así como la interpretación de las mismas, describiendo el método de análisis empleado, los parámetros hidráulicos obtenidos (transmisividad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, capacidad específica, entre otros), la delimitación del radio de influencia del pozo y el caudal óptimo de producción	4.2.1.6 Ensayos o pruebas de bombeo – Características hidráulicas 4.2.1.12.9 Pruebas de bombeo
Inventario de puntos de agua subterránea (manantiales, aljibes, pozos y piezómetros) existentes en el radio de influencia de cada pozo, e identificación de usos y usuarios que puedan verse afectados por la captación.	4.2.1.14 Otros aprovechamientos de agua subterránea en la zona y posibles conflictos por el uso		

NORMA	TÉRMINOS	INFORMACIÓN SOLICITADA	NUMERAL DONDE SE PRESENTA INFORMACIÓN
<p>MINAMBIENTE – ANLA Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales III. Especificaciones técnicas del Estudio de Impacto Ambiental y del Plan de Manejo Ambiental</p> <p>Numeral 6. Demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales</p>	<p>6.2 Concesión de agua subterránea</p> <p>De necesitarse una concesión de agua subterránea se debe presentar la información requerida en el Formulario Único Nacional de Solicitud de Concesión de Aguas Subterráneas:</p>	<p>Análisis fisicoquímico y microbiológico del agua, incluyendo los parámetros de calidad de acuerdo con la destinación de uso (Libro 2, Parte 2, Título 2, Capítulo 3, Sección 1 del Decreto 1076 de 2015, o las normas que lo modifiquen, sustituyan o deroguen) y considerando los lineamientos establecidos en el numeral 4.1.5 de las especificaciones técnicas del EIA, referidos a la calidad del agua subterránea. La toma de muestras y los análisis deben haber sido realizados por laboratorios acreditados ante el IDEAM.</p>	<p>4.2.1.7 Características fisicoquímicas del agua subterránea en los niveles a explorar</p>
		<p>Obras de conducción, almacenamiento y sistema de tratamiento a construir incluidos los sistemas de regulación y medición.</p>	<p>4.2.2.6 Sistemas de captación, obras de conducción, almacenamiento y sistema de tratamiento</p>
		<p>Elementos de medición y control de niveles (estáticos y dinámicos), caudales y régimen de bombeo.</p>	<p>4.2.2.6 Sistemas de captación, obras de conducción, almacenamiento y sistema de tratamiento 4.2.2.4 Volumen, caudal, usos y régimen de explotación solicitada</p>
		<p>Medidas de protección del pozo, incluyendo sello sanitario, aislamiento, cerramiento y manejo del agua lluvias.</p>	<p>4.2.1.11.3 Características técnicas y diseño preliminar de los pozos 4.2.1.11 Perforación de los pozos exploratorios, características técnicas y diseño preliminar 4.2.1.12.8 Instalación de los sellos sanitarios, bases de concreto, tuberías de medición de niveles y nivelación topográfica 4.2.2.9 Medidas de protección y mantenimiento de los pozos</p>
		<p>Cronograma de mantenimiento.</p>	<p>4.2.2.9 Medidas de protección y mantenimiento de los pozos</p>
		<p>Diagnóstico sanitario de acuerdo a lo establecido en el FUNIAS para el área de influencia de los pozos.</p>	<p>4.2.2.7 Diagnóstico sanitario en los alrededores de los pozos</p>
		<p>Medidas y acciones a implementar para evitar pérdidas de agua y una inadecuada disposición de sobrantes.</p>	<p>4.2.2.8 Medidas y acciones a implementar para evitar pérdidas de agua y una inadecuada disposición de sobrantes / Manejo, uso y ahorro eficiente del agua</p>
		<p>Medidas para cierre y sellado del pozo. Formulario Único Nacional de Solicitud de Concesión de Agua Subterránea debidamente diligenciado.</p>	<p>4.2.2.10 Medidas para cierre y sellado del pozo Anexo 4 Uso y Aprovechamiento RN / 4.2 Aguas Subterránea / 4.2.2 Formato Único Nacional de solicitud de concesión de aguas subterráneas</p>

Fuente: ANTEA COLOMBIA SAS, 2023 con información de Decreto 1076 de 2015, TR HI-TER-1-03, 2010 y MINAMBIENTE – ANLA, 2018.

#### 4.2.2.1 Estudios de exploración hidrogeológica realizados en el acuífero a captar

Los estudios de evaluación hidrogeológica se presentaron en el numeral **4.2.1 Solicitud de permiso de exploración de aguas subterráneas**, mediante los cuales se pudo establecer las características hidrogeológicas del AD Llanos 141 y su área de influencia, las cuales serán complementadas para cada sitio, con los datos hidráulicos obtenidos de las pruebas de bombeo y la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de los pozos exploratorios proyectados, que posteriormente serán allegados a la autoridad ambiental una vez se construyan.

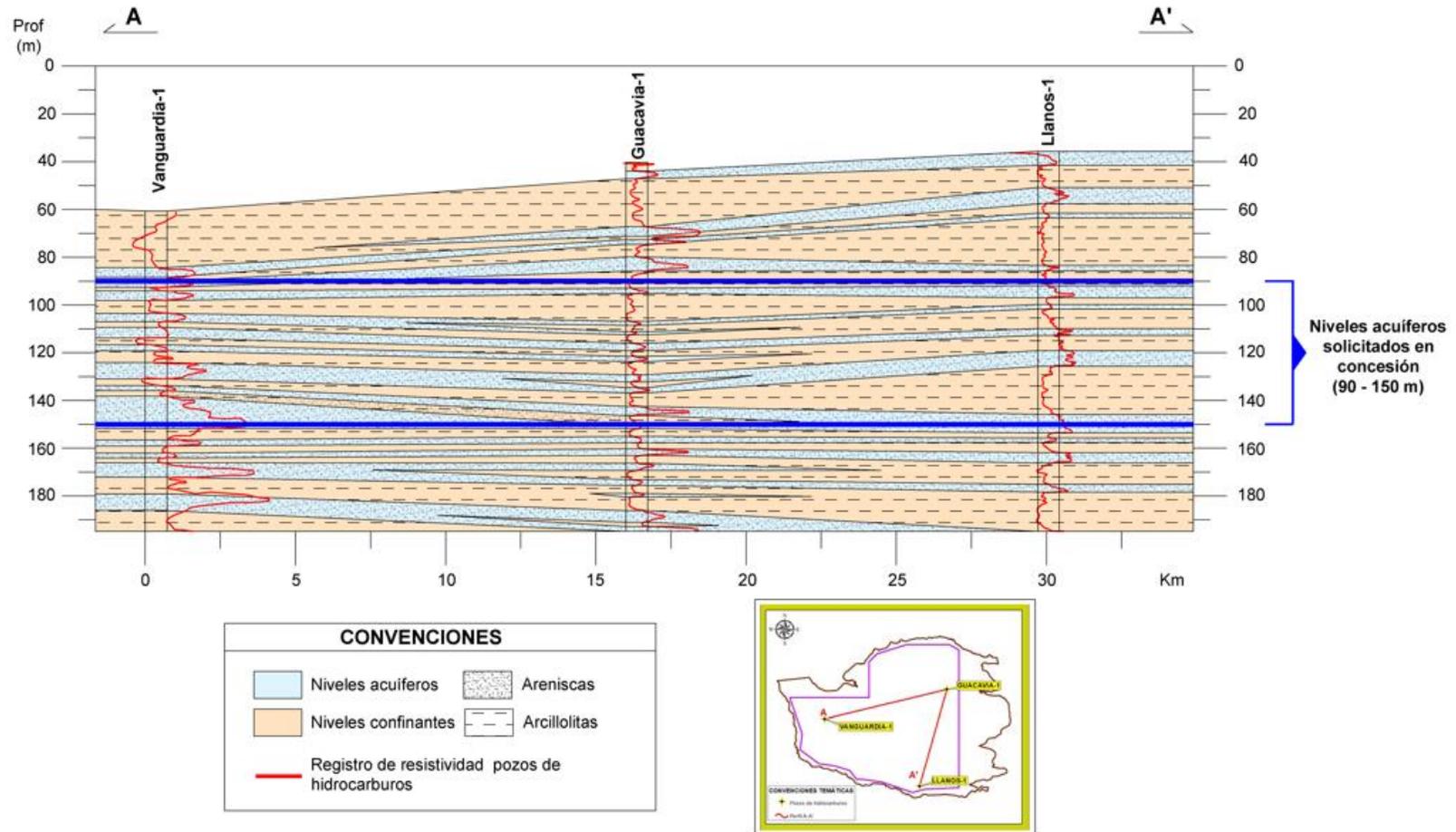
#### 4.2.2.2 Fuente de agua a concesionar

El agua solicitada en concesión, provendrá de los niveles acuíferos de la Formación Guayabo Nivel Superior, mediante la captación de cinco (5) pozos de hasta 150 m de profundidad [y filtros a partir de 90 m](#).

#### 4.2.2.3 Perfil estratigráfico de los niveles acuíferos solicitados en concesión

La profundidad de los niveles acuíferos solicitados en concesión corresponde a las capas de areniscas potencialmente acuíferas que se hallen entre 90 y 150 m de profundidad. A partir de los registros de pozos de hidrocarburos existentes en el AD, se realizó un perfil estratigráfico donde se correlacionan las diferentes capas (ver [Figura 4.2.2-1](#)), se observa que en el intervalo comprendido entre 90 y 150 m de profundidad se presentan capas de areniscas con buen potencial acuífero que tienen espesores en general entre 1,5 y 6,5 m, no obstante pueden alcanzar hasta 13 m como se observa en el pozo Guacavía-1. La continuidad de las capas en el área de evaluación es buena, aunque se aprecian algunos pinchamientos, lo cual es normal dado el ambiente de depósito fluvial de alta energía de la unidad.

Figura 4.2.2-1 Perfil estratigráfico de los niveles acuíferos solicitados en concesión



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

#### 4.2.2.4 Volumen, caudal, usos y régimen de explotación solicitada

Se solicita un caudal de 5,04 l/s por pozo, para uso doméstico e industrial, que será aprovechado durante 18 horas al día, para un total de 326,59 m<sup>3</sup>/día por pozo. El caudal del agua será distribuido según su uso de la siguiente manera:

- Agua para uso doméstico: se planea destinar 0,24 l/s que equivalen a 15,55 m<sup>3</sup>/día según el régimen de bombeo de 18 horas diarias.
- Agua para uso industrial: se planea destinar un caudal de 4,80 l/s que equivalen a 311,04 m<sup>3</sup>/día según el régimen de bombeo de 18 horas diarias.

Teniendo en cuenta que el acuífero de la Formación Guayabo Nivel Superior el acuífero de mayor importancia tanto en el área de influencia, como en la cuenca de los Llanos Orientales, conformando un acuífero multicapa de extensión regional de baja a mediana productividad, se estima podrá suplir holgadamente el caudal requerido, adicionalmente, los niveles solicitados en concesión, mostraron en las tomografías eléctricas y sondeos magnetotelúricos resistividades correlacionadas con la presencia de capas de areniscas saturadas con intercalaciones de lodolitas y posiblemente algunos conglomerados saturados, confirmando el buen potencial hidrogeológico de la unidad.

#### 4.2.2.5 Término de tiempo por el cual se solicita el permiso de concesión

Se solicita un tiempo para la concesión de agua subterránea, que abarque el mismo periodo de tiempo que duren las actividades del Área de Desarrollo Llanos 141.

#### 4.2.2.6 Sistemas de captación, obras de conducción, almacenamiento y sistema de tratamiento

La explotación de los pozos se realizará utilizando bombas sumergibles tipo lapicero, cuya potencia y profundidad de succión se definirán, de acuerdo a los resultados de las pruebas de bombeo. Las características de la tubería de descarga estarán acordes con la potencia de la bomba y el caudal de explotación.

Los pozos estarán ubicados en las plataformas o facilidades de producción, donde se instalarán tanques para su almacenamiento o piscinas, cuya capacidad se definirá de acuerdo con la necesidad. La distribución final se realizaría por redes locales hasta los sitios requeridos dentro de cada plataforma. Los sistemas de captación, las obras de conducción, el almacenamiento y el sistema de tratamiento definitivos se detallarán en los PMA específicos.

De igual manera, en el **Programa de Manejo del recurso hídrico: Ficha LL141\_PM\_AB11 Manejo de la captación de agua subterránea**. Así mismo en el **Programa de uso eficiente y ahorro del agua – PUEAA**, se incluyen las medidas para inspección y mantenimiento de las estructuras de captación, almacenamiento y distribución del recurso hídrico.

#### 4.2.2.7 Diagnóstico sanitario en los alrededores de los pozos

En el radio de influencia determinado para cada pozo, se realizará el diagnóstico sanitario de acuerdo a lo establecido en los FUNIAS, identificando, entre otros, la presencia de letrinas, aguas estancadas, basura, criaderos o estiércol, así como cualquier otra potencial fuente de contaminación como cementerios, estaciones de servicio, campos de infiltración, lagunas de oxidación, entre otros y la distancia entre estas y los pozos de aprovechamiento.

#### **4.2.2.8 Medidas y acciones a implementar para evitar pérdidas de agua y una inadecuada disposición de sobrantes / Manejo, uso y ahorro eficiente del agua**

En el **Programa de Manejo del recurso hídrico: Ficha LL141\_PM\_AB11 Manejo de la captación de agua subterránea** y en el **Programa de uso eficiente y ahorro del agua – PUEAA** se especifica que se realizará control de los caudales de explotación mediante la instalación de un medidor de caudal debidamente calibrado en cada uno de los pozos de aprovechamiento de agua subterránea, con el fin de monitorear y ajustar el caudal de salida al caudal concesionado (5,04 L/s). Igualmente, se realizarán inspecciones periódicas de mantenimiento a los sistemas de captación, conducción, distribución y almacenamiento de aguas subterráneas.

#### **4.2.2.9 Medidas de protección y mantenimiento de los pozos**

Dentro del **Programa de Manejo del recurso hídrico: Ficha LL141\_PM\_AB11 Manejo de la captación de agua subterránea**; se plantea la inspección permanente y el mantenimiento a los elementos de terminación de los pozos de aprovechamiento de agua subterránea, como son, base de concreto, tubería de succión y distribución de agua y medidor de caudales de explotación.

#### **4.2.2.10 Medidas para cierre y sellado del pozo**

Dentro del **Programa de Manejo del recurso hídrico: Ficha LL141\_PM\_AB11 Manejo de la captación de agua subterránea**; se plantean las medidas de sellamiento de los pozos de agua subterránea, las cuales están basadas en la norma técnica NTC 5539.

#### **4.2.2.11 Servidumbre para el aprovechamiento del agua o para la construcción de obras proyectadas**

Las zonas donde se perforarán los pozos solicitados en concesión podrían ser arrendados o adquiridos en propiedad por ECOPETROL S.A., lo cual dependerá de la negociación que en su momento se dé con los propietarios. No obstante, se hará dentro del área de servidumbre petrolera donde se ubiquen las plataformas, tanto para el establecimiento de los pozos como para la construcción de las obras proyectadas para la conducción y almacenamiento del agua, por tanto, una vez se tenga dicha información será allegada a la autoridad ambiental en los respectivos PMAE.