

	<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	VERSIÓN 2
		<b>F-CIN-LIC-001</b>
		<b>Página 1 de 24</b>

## ESTUDIO TÉCNICO

### **Especificaciones técnicas del Departamento en donde se llevarán a cabo las perforaciones objeto del presente contrato.**

Las perforaciones exploratorias se realizarán en sitios seleccionados de acuerdo al estado del arte del modelo hidrogeológico conceptual formulado para el sistema acuífero que requiere ser validado en el Departamento de Casanare, e involucran requerimientos o características técnicas, logísticas, ambientales las cuales se describen a continuación:

### **DEPARTAMENTO DEL CASANARE**

### **MUNICIPIO DE YOPAL, DEPARTAMENTO DEL CASANARE**

Los trabajos a realizar se basan en las especificaciones y alcances que se exponen a continuación:

### **Características hidrogeológicas del Municipio de Yopal.**

#### **ANTECEDENTES**

El Servicio Geológico Colombiano adelanta la evaluación de las aguas subterráneas del piedemonte o Borde Llanero que incluye el municipio de Yopal cuya cabecera presenta una extensión de 40 km<sup>2</sup> aproximadamente y tiene como límite al norte el cauce del río Cravo Sur, al Occidente por las estribaciones de la Cordillera Oriental y al sur y oriente por una llanura conformada por caños y ríos afluentes principalmente del río Cravo Sur.

El estado del arte del conocimiento del modelo hidrogeológico conceptual del municipio de Yopal se formula a través de la captura y evaluación de información geológica, hidrogeológica existente, disponible y generada por el Servicio Geológico Colombiano y consultores del país. La recopilación, análisis y generación de conocimiento de información hidrogeológica involucra la consulta y evaluación permanente de estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, perforación y construcción de pozos, estudios hidráulicos e hidrogeológicos, elaborados por entidades oficiales de generación de conocimiento como el SGC y el IDEAM, al igual que la proveniente de consultores particulares, la cual ha sido suministrada por la EAAAY.

El pozo SGC-Yopal 1 se ejecutó con el objeto de conocer la extensión areal y la profundidad de la secuencia de capas que conforman los Sistemas Acuíferos del Cuaternario e infrayacentes del Terciario hasta una profundidad de 1000 metros, determinando tanto su capacidad de producción como la calidad del agua en ellas almacenada. La correlación hidrogeológica de los pozos perforados y construidos hasta 500 metros de profundidad, al igual que la prospección geoeléctrica y el inventario de pozos, aljibes y manantiales consultado permitió ampliar el estado del arte del conocimiento del modelo hidrogeológico conceptual para los Sistemas Acuíferos captados (Depósito Abanico Aluvial de Yopal y la Formación Caja).

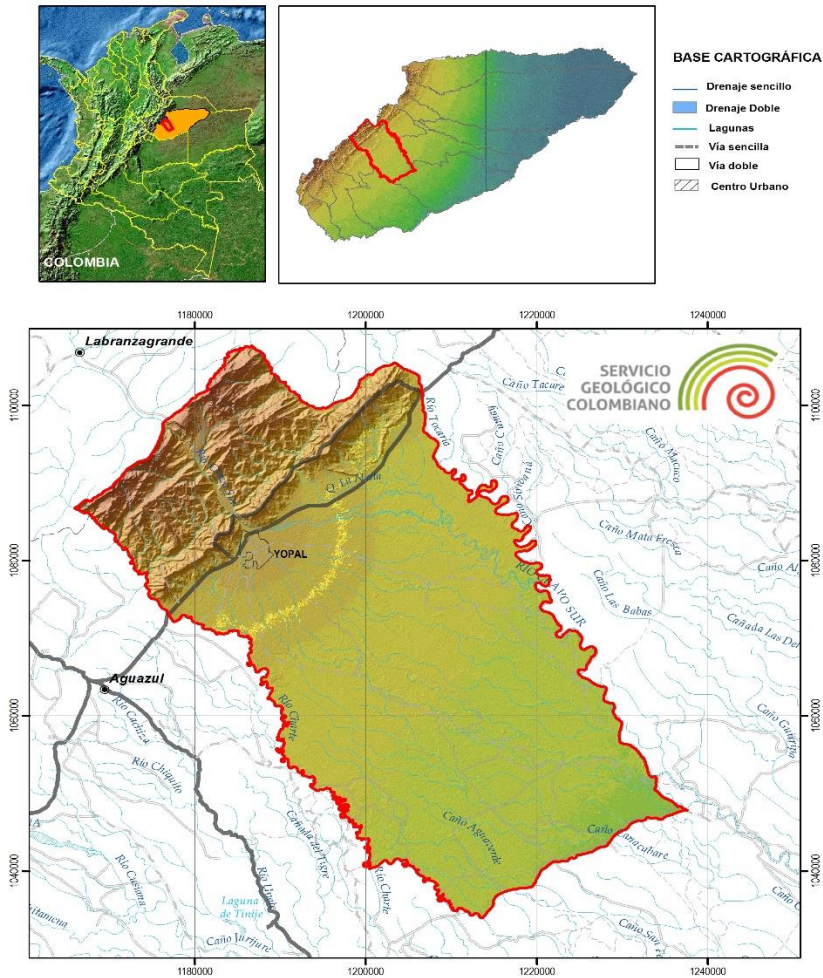
El sitio donde se propone la perforación y construcción de dos exploratorios en el área rural del municipio de

Yopal , permitirá conocer que las características hidrogeológicas de las unidades conocidas como los Depósitos de Planicie o Terraza Aluvial y la Formación Caja , las cuales constituyen los principales sistemas acuíferos de interés en el área rural , principalmente para satisfacer la demanda creciente de agua donde la oferta de aguas para diferentes sectores socioeconómicos se ha reducido debido a la ocurrencia de condiciones climáticas de extrema sequía o humedad asociadas a fenómenos de variabilidad climática y el fenómeno del Niño o la Niña.

EL Servicio Geológico Colombiano través del Programa de Exploración de Aguas Subterráneas prospecta la perforación de dos pozos SGC-Yopal 2 y SGC Yopal 3, con el fin de validar el estado del conocimiento del modelo hidrogeológico conceptual de los Sistema Acuíferos Depósito de Planicie Aluvial (Q1pal) y el Sistema Acuífero Formación Caja, los cuales se extienden en el subsuelo en el área rural de dicho municipio, lo que permitirá aportar conocimiento de sus potencial en cantidad y calidad y generar indicadores para la toma de decisiones en relación a su uso, manejo y aprovechamiento por parte de la Corporación Autónoma Regional del Casanare, Corporinoquia.

### **LOCALIZACIÓN**

La ciudad de Yopal, capital del Departamento del Casanare, se encuentra localizada en el piedemonte de la Cordillera Oriental, asentada sobre un gran depósito sedimentario representado por un Abanico Aluvial, cuyo ápice aparece en la salida del Río Cravo Sur al llano, uno de los cuatro ríos con mayor caudal en el citado departamento. El abanico es generado por varios pulsos de flujos torrentosos y avalanchas que durante el Cuaternario han venido rellenando la llanura aluvial. Figura 12



**Figura 12** Localización Municipio de Yopal.

Desde le punto de vista geomorfológico el municipio de Yopal se extiende sobre un relieve que conforma planicies o llanuras con alturas medias de 200 – 230 m.s.n.m, constituidos por materiales de arrastre y depósitos aluviales las cuales se originaron por la erosión y transporte de rocas sedimentarias las cuales se extienden en las estribaciones de la cordillera oriental o Borde Llanero.

## GEOMORFOLOGÍA

El Abanico Aluvial de Yopal como su nombre lo indica, es una geoforma que se extiende en dirección SE con su ápice o punto inicial más alto en el sitio de salida del Río Cravo Sur desde la parte montañosa al Llano, con una zona frontal amplia que desciende y se va ensanchando hacia el Oriente y Sur-Oriente. Está constituido por una secuencia de aproximadamente 100.0 m de espesor conformada en su parte superior por bloques, cantos y gravas en matriz limo-arenosa, en la parte intermedia por intercalaciones de gravas de grano medio a grueso en matriz limosa, arenas cuarzosas y arcilla y hacia la base por cantos y gravas gruesa en matriz arenosa, reposa sobre rocas Terciarias de granulometría fina a muy fina.

El área de estudio hace parte de la región conocida geográficamente como Piedemonte Llanero, en la parte Centro-Occidental de los Llanos Orientales de Colombia y pertenece a la Cuenca Alta-Media del Río Cravo

Sur, principal afluente de la margen derecha del Río Meta. Se caracteriza por desarrollar dos provincias geomorfológicas claramente diferenciables, una de origen estructural hacia el Occidente que corresponde a la parte alta del borde llanero y otra de origen denudativo representada por la región plana a semiplana que constituye a partir del piedemonte los Llanos Orientales. El contacto entre ambas es nítido, debido principalmente al desnivel altimétrico existente entre ambas.

La provincia de Paisaje de Origen Estructural, predominan geoformas típicas de erosión como son: escarpes, valles estrechos en forma de V y cauces profundos. Los escarpes se presentan frecuentemente a lo largo de los cerros abruptos y las colinas que delimitan la parte alta de pequeños valles estrechos, con dos orientaciones predominantes, una SW-NE siguiendo la orientación de las capas y la otra NW-SE siguiendo la orientación principal de fracturas y diaclasas que dan origen a una serie de cauces profundos en forma de V. Los cauces profundos están excavados en "V" en rocas sedimentarias duras y fracturadas, con su base conformada por acumulación de grandes bloques desprendidos de las paredes y con material transportado, observándose pequeñas colinas agudas y facetadas que señalan el trazo de antiguas fallas.

La Provincia de Origen Denudativo constituye regionalmente la planicie conocida como los Llanos Orientales, caracterizada por desarrollar una topografía plana a semiplana en sedimentos inconsolidados del Cuaternario a partir de las estribaciones de la Cordillera Oriental, presentando elevaciones sobre el nivel del mar que oscilan desde 150 hasta los 300 m.

En el área de estudio ésta provincia geomorfológica se encuentra conformada por geoformas de depositación denominada Planicie Aluvial, conformada por una serie de depósitos de terrazas, un abanico aluvial y cauces aluviales. Igualmente se encuentra regularmente cortada por una serie de corrientes superficiales de longitud media, algunas de ellas controladas por el trazo de antiguas fallas, que en algunos puntos presenta cortes hasta de 2.0 metros en los depósitos Cuaternarios.

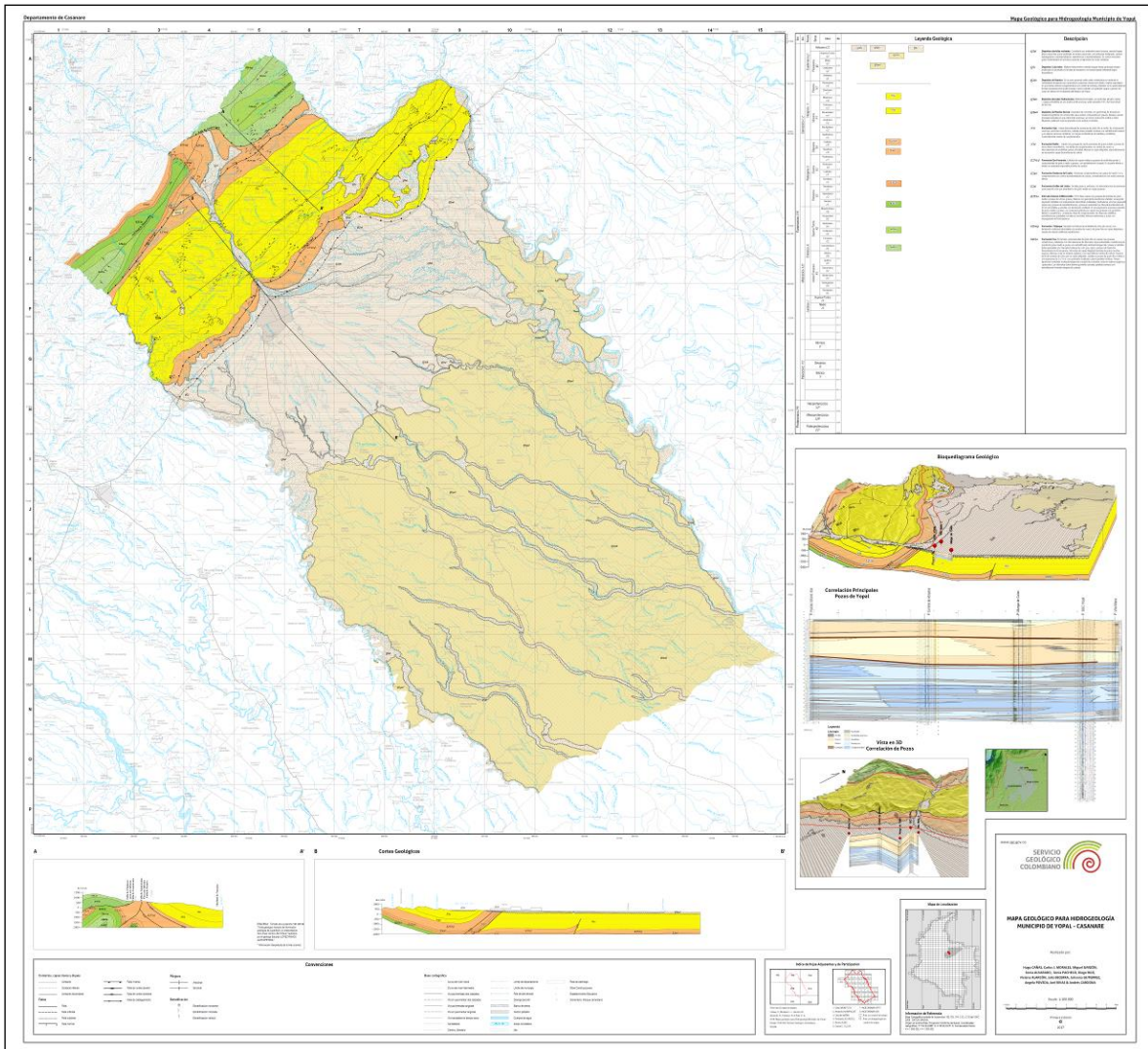
## **GEOLOGIA**

Desde el punto de vista geológico regional hacia el noroccidente de la cabecera del municipio de Yopal se extienden las estribaciones de la Cordillera Oriental perteneciente a la Cuenca Alta del Río Cravo Sur, donde ocurre un bloque tectónico levantado, cuyo extremo oriental se encuentra limitado por la Falla de Yopal, a partir de la cual y hacia el Oriente se desarrolla un bloque tectónico hundido, donde se extiende la parte plana de los Llanos Orientales, con alturas entre 250 y 150 m.s.n.m. Depósitos Cuaternarios de Origen Aluvial cubren discordantemente rocas sedimentarias del Terciario Medio a Superior

Entre las fallas de Guaicaramo y Yopal que limitan el bloque tectónico levantado, las formaciones Terciarias definidas por la industria petrolera con los nombres de Mirador, Carbonera, León y Guayabo, constituyen el Sinclinal de Zapatosa o Nunchía. En el bloque tectónico hundido, flanqueado por la Falla de Yopal, estas formaciones Terciarias conforman el anticlinal invertido y erodado de Buenavista, cubierto por depósitos Cuaternarios constituidos por la Formación La Corneta y el Abanico Aluvial de Yopal.

Las formaciones terciarias que se extienden en el subsuelo de Yopal corresponden a las Formaciones San Fernando, Diablo y Caja cuales se describen a continuación: **Figura 13** .Mapa Geológico del Municipio de Yopal.

En la **Formación San Fernando (E2-N1sf)** desde el punto de vista litológico se han identificado a cuatro segmentos, el inferior corresponde a arcillolitas, arcillitas carbonosas, limolitas y areniscas lodosas que gradan a intervalos de arcillolitas, esporádicos intervalos de areniscas lodosas de grano fino y capas de carbón



**Figura 13** Mapa Geológico del Municipio de Yopal.

delgadas. El segundo segmento corresponde a intercalaciones de arcillolitas abigarradas, capas gruesas de areniscas de grano muy fino y conjunto de interstratificaciones de limolitas y areniscas. El tercer segmento se intercalan intervalos de areniscas en capas muy gruesas con intervalos de lodolitas en capas muy gruesas, también se intercalan capas muy gruesas de arcillolitas y limolitas con capas delgadas a medianas de areniscas de grano muy fino, se observan además capas medias de carbón. El cuarto segmento corresponde a arcillitas fosilíferas. Foto 1.



**Foto 5** Capas típicas de areniscas diaclasadas y fracturadas limitadas hacia la base por arcillolitas.

**La Formación Diablo (N1d)** se encuentra conformada por areniscas y lodolitas, con variaciones faciales, al norte presenta más contenido de lodolitas que al sur. En la parte central y sur es de naturaleza arenosa y en ella se reconoce en la parte inferior areniscas de grano muy fino, bien seleccionadas en capas tabulares, y sobre ellas un intervalo de lodolitas con bioturbación. El resto de la secuencia corresponde a capas muy gruesas de areniscas cuarzosas y sublitoareniscas de grano fino a medio que se interstratifican con capas delgadas de onduladas de areniscas y lodolitas. También se reconocen areniscas de grano medio mal seleccionadas hasta gránulos, con lentes de areniscas conglomeráticas. También se aprecian fragmentos de carbón, zonas con impregnación de hidrocarburos. Hacia el techo se intercalan dos capas de conglomerados de guijos, matriz soportados con cantos de areniscas, cuarzo, chert con foraminíferos bentónicos.

A 6 Km aproximadamente, en dirección Noroeste del casco urbano del municipio de Yopal (E: 846671 N: 1085566 y 571 m.s.n.m) por la vía que conduce a la vereda el rincón del soldado, Se observa un afloramiento constituido por bancos salientes de arenitas cuarzosas deleznales grises y pardas de grano medio con alto contenido de hierro, intercaladas con arcillas limosas pardas.

Los estratos presentan un rumbo N87°W buzando 35° al Noreste y hace parte del flanco Oeste del sinclinal de Nunchía. Foto 6.



**Foto 6.** Afloramiento de arenitas cuarzosas y niveles arcillo limosos pertenecientes a la formación Diablo superior.

A 1.5 Km en dirección Sureste del afloramiento referenciado en la figura 4 (E: 849246, N: 1086067 y 513 m.s.n.m) se identifica en la vía el eje del sinclinal de Nunchía. Se observa la misma secuencia de bancos de arenitas cuarzosas oxidadas y los niveles de arcillas limosas buzando horizontalmente. Foto.7



**Foto 7.** Afloramiento de arenitas cuarzosas (parte superior) y niveles arcillo limosos (parte inferior) pertenecientes a la formación Diablo superior y dispuestas horizontalmente.

**En la Formación Caja (N1c)** se diferencian dos segmentos, el inferior hacia el sur del área tiene tamaños de grano mayores que al norte. Hacia el norte la base de la unidad es arcillosa, en los valles se presentan sucesiones granodecrecientes cuyas bases son intercalaciones de conjuntos de capas lenticulares y cuneiformes de areniscas de grano medio y areniscas conglomeráticas o una capa que gradan a lodolitas. Las areniscas son mal seleccionadas, con tamaños de grano fino a grueso, friables, con colores rojos y cremas. Las lodolitas son arenosas de colores grises, azul morado y rojizos.

Al sur en el segmento inferior se **diferencian cuatro intervalos, el inferior** presenta menores tamaños, se intercalan secuencias de 10 a 20 m de areniscas con intervalos de 4 a 30m de lodolitas y areniscas. **El segundo intervalo** el tamaño de grano aumenta y con las areniscas hay cintas de conglomerados, en las lodolitas se presenta bioturbación por raíces; **en el tercer intervalo**, el tamaño de grano es más grueso y corresponden a areniscas conglomeráticas y conglomerados **y en el último intervalo** el tamaño de grano vuelve a disminuir. En todos los intervalos se intercalan capas muy gruesas con geometría lenticular y cuneiformes sobre cicatrices de erosión o conjuntos de capas medias y gruesas lenticulares o cuneiformes que se amalgaman. Las areniscas son conglomeráticas o lodosas de cuarzo o sublitoareniscas, tienen mala selección y los conglomerados son matriz y clasto soportados con tamaños de grano de gránulos y guijos.

Los Depósitos Cuaternarios son de varios tipos de depósitos de origen aluvial, principalmente, que se describen a continuación:

#### **Depósitos de Planicie Aluvial (Q1pal)**

Según el Convenio INGEOMINAS – UPTC (2007), esta unidad se caracteriza por presentar extensas superficies planas, litológicamente constituida por una capa de materia orgánica cuyo espesor oscila entre 0.20 y 2 m (aumentando al sureste), seguida de material fino arcilloso en tonalidades que incluyen ocres a amarillentos, aunque en algunos sectores se torna limo arcilloso, el espesor de este material se incrementa en dirección al río Meta, observándose en campo valores de 3 m (Vereda Tacarimena - Municipio de Yopal, Plancha 193), inmediatamente después de este material se encuentra una secuencia de gravas, litológicamente constituidas por areniscas blancas a grises, de grano fino, se presenta también, limolitas negras, las gravas son clasto - soportadas con presencia de matriz inferior al 5%.

De acuerdo con información de varios pozos profundos para abastecimiento de agua potable, construidos por la gobernación de Casanare, se confirma lo anteriormente descrito, como es el caso del Municipio de Yopal en el que los pozos construidos cerca al piedemonte, presentan poco espesor de material fino arcilloso (hasta tres metros), seguido del paquete de gravas hasta los límites de la perforación - aproximadamente 42 m-, mientras que para los pozos ubicados en la sabana (cerca al río Meta), se han realizado perforaciones hasta de 80 m en las que los primeros 60 m corresponden a material arcilloso y el agua se está captando a partir de los 70 m en lentes de arenas blancas, de grano medio a fino, sin que se tenga evidencia de que las gravas descritas son la parte inferior de estos depósitos. En el sector aledaño al piedemonte esta unidad se encuentra cubierta por depósitos de abanicos coluvio - aluviales, generados por la dinámica de los ríos y favorecida por el cambio de pendiente que sufren los mismos al pasar de la montaña al llano, dejando las fracciones granulométricas en forma grano - decreciente (conglomerados hasta arenas). El espesor de esta unidad en el sector aledaño al piedemonte incluyendo los diferentes niveles de abanico torrencial se ha estimado de acuerdo a perforaciones y registros, el mismo oscila entre 350 – 400 m; mientras en la zona baja este puede disminuir a valores entre 150 – 200 m (Tomado de UPTC – INGEOMINAS, 2007).



### **Depósitos Aluviales Subactuales (Q1als)**

Según Montoya, D., et al (2013), en esta unidad litológica se relacionan los depósitos ubicados en el sistema de relieve de piedemonte y se caracterizan porque se observan levantados con respecto al nivel actual de los ríos a los cuales estuvieron asociados hasta 5 a 8m, posiblemente por actividad neo-tectónica. Montoya, D., et al (2013) observaron pocos afloramientos pero reportan que las características litológicas están enmascaradas por procesos de meteorización, sin embargo se observaron partículas tamaño cantos y quijos embebidos en una matriz de carácter arcillo-arenoso, clasto o matriz soportados. En jurisdicción del Municipio de Yopal estos depósitos se localizan en la Vereda Caqui Milagro, el depósito de mayor extensión se denomina Loma La Meseta.

### **Depósitos de Abanico (Q2ab)**

Según Montoya, D., et al (2013) los depósitos localizados en la parte proximal, forman terrazas, tienen espesores variables, están constituidos por material no consolidado de gravas, tamaño cantos de composición areno-cuarzosa y limosa, clasto y matriz soportados, en una matriz areno-conglomerática con algunos niveles de arenitas y lodolitas. En su parte distal los sedimentos forman terrazas, están constituidos por hasta 10m de acumulaciones arcillosas-limosas o arenas-lodosas, diferenciables por color, de esta manera se observan cremas y pardos (10YR6/2, 10YR4/2), en ocasiones por meteorización toman rojizos (5R5/4) y violetas (5P6/2).

Este depósito se martilló en el Municipio de Nunchía en el control geológico para aguas subterráneas cerca al costado sur de la quebrada Barreña, costado oeste del río Payero; posiblemente depositado allí por la acción del caño Cañuela; se observan guijos 50%, guijarros 30%, gránulos 15% y bloques 5%; subredondeados a subangulares, pobremente seleccionados, clastosoportados con casi 20% de matriz areno gravosa de color rosado naranja gris 10R8/2, con porosidad efectiva alta. Los cantos se componen de arcillolitas o lodolitas grises duras, cuarzoareniscas muy duras con aspecto de cuarcitas y cuarzoareniscas con óxidos relleno de sus poros

### **Depósitos Coluviales (Q2c)**

Montoya, D., et al., (2013) cartografió varios depósitos no consolidados de origen coluvial en el sistema de relieve de montaña, los describen como depósitos formados a partir de la acumulación de bloques y guijarros desprendidos de formaciones competentes y el material removido de las formaciones no competentes. En jurisdicción de Yopal el Depósito Coluvial de mayor extensión se localiza al norte del casco urbano, en el sector de El Morro y la Vereda Marroquin, allí yace sobre la Formación San Fernando y su fuente posiblemente sea la Formación Une, no observaron afloramientos ya que se encontraban cubiertos por vegetación.

### **Depósitos Aluviales Actuales (Q2al)**

Los depósitos más grandes se encuentran en las márgenes de los ríos Charte y Cravo Sur; según Montoya, D., et al., (2013) los depósitos fluviales actuales están asociados a los tres sistemas de relieve determinados (montaña, piedemonte y llanura), en los sistemas de piedemonte y montaña estos depósitos tienen poca extensión y se forman hacia las márgenes de las corrientes, cuando su cauce llega a las zonas inundables extensas forman grandes planicies; en los depósitos aluviales asociados al río Cravo Sur, en la zona de relieve de piedemonte, se están agrupando dos tipos de depósitos que no se separan por las dimensiones, el

más bajo topográficamente es la llanura de inundación actual y el segundo se observan depósitos elevados con espesores de 3m, indicando actividad neo-tectónica. En el sistema montañoso, los depósitos aluviones están conformados por conglomerados clasto y granosoportados, algunas veces imbricados, con tamaños de grano muy variable desde granulo hasta bloque. Son conglomerados petromicticos, con fragmentos líticos de cuarzoarenitas y limolitas en una matriz predominantemente arenosa. En el sistema de llanura, los depósitos fluviales actuales están conformados por gravas tamaño cantos (10-25cm) y quijos (6cm) de areniscas y areniscas conglomeráticas, de colores blancos y pardos, redondeados pero de forma subangulares a subesféricos, están envueltos en una matriz areno lodosa; a medida que se aleja del piedemonte o el del cordón montañoso decrece la granulometría y la selección mejora.

Según el convenio INGEOMINAS – UPTC (2007) estos depósitos aluviales presentan una marcada presencia de areniscas de grano medio a fino, de colores claros, muchas de las cuales presentan estratificación plana - paralela, también se han observado -aunque en menor proporción-, areniscas conglomeráticas blancas, limolitas y arcillolitas que van desde color café, marrón, gris, a negro; donde la selección y la redondez mejora a medida que el río se aleja del piedemonte y alcanza su estado de senitud. De otra parte, la granulometría del material del cauce decrece, hasta hacerse fina con presencia de arenas, limos y arcillas.

### INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

El inventario de manantiales, aljibes y pozos se realiza en campo en escala 1:25.000, los criterios básicos que se tienen en cuenta para un adecuado cubrimiento del área de estudio, son la escala de trabajo, su distribución areal y la cartografía geológica.

La información se recolecta en el formato de captura del Servicio Geológico Colombiano para inventario de pozos, aljibes y manantiales. En cada punto se toman datos de las coordenadas, altura, nombre del sitio, particularidades de la captación y unidad geológica captada, características del agua (temperatura, pH, conductividad eléctrica), nivel estático y caudal de extracción, con alguna imprecisión debido al método y a las condiciones del aforo.

En el Municipio de Yopal se han inventariado 860 puntos de agua (Anexo I), distribuidos por tipo de punto en 297 aljibes, 31 manantiales, 528 pozos y 4 puntos de agua superficial (Figuras 3).

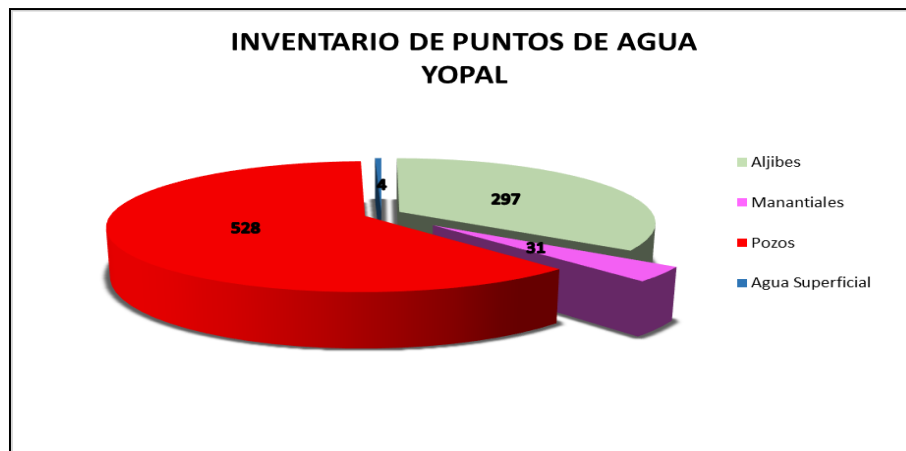


Figura 14. Distribución inventario de puntos de agua.

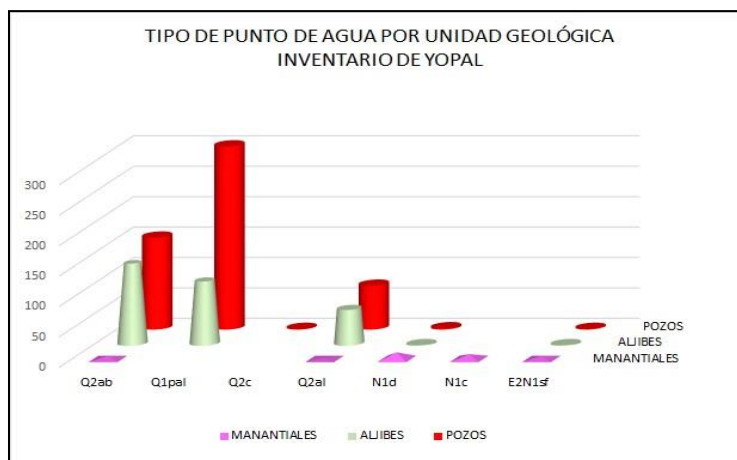
El 45.53% de los puntos de agua se encuentran en una morfología de planicie, el 43.23% de los puntos de agua se localizan en la llanura aluvial, seguido del 7.69% que se localiza en el abanico aluvial de Yopal y el 3.55% que se encuentran en el piedemonte.

Las unidades geológicas en las cuales se localizan los puntos de agua inventariados en su mayoría son de edad Cuaternario representadas por los Depósitos de Planicie Aluvial (Q1pal) con 407 puntos de agua y los Depósitos de Abanico Aluvial (Q2ab) con 289 puntos de agua; los demás puntos se localizan en unidades como los Depósitos Aluviales Recientes (Q2al) con 132 puntos, Formación Diablo (N1d) 14 puntos, Formación San Fernando (E2N1sf) 7 puntos y la Formación Caja (N1c) 10 puntos (Figuras 14 y Tabla 5).

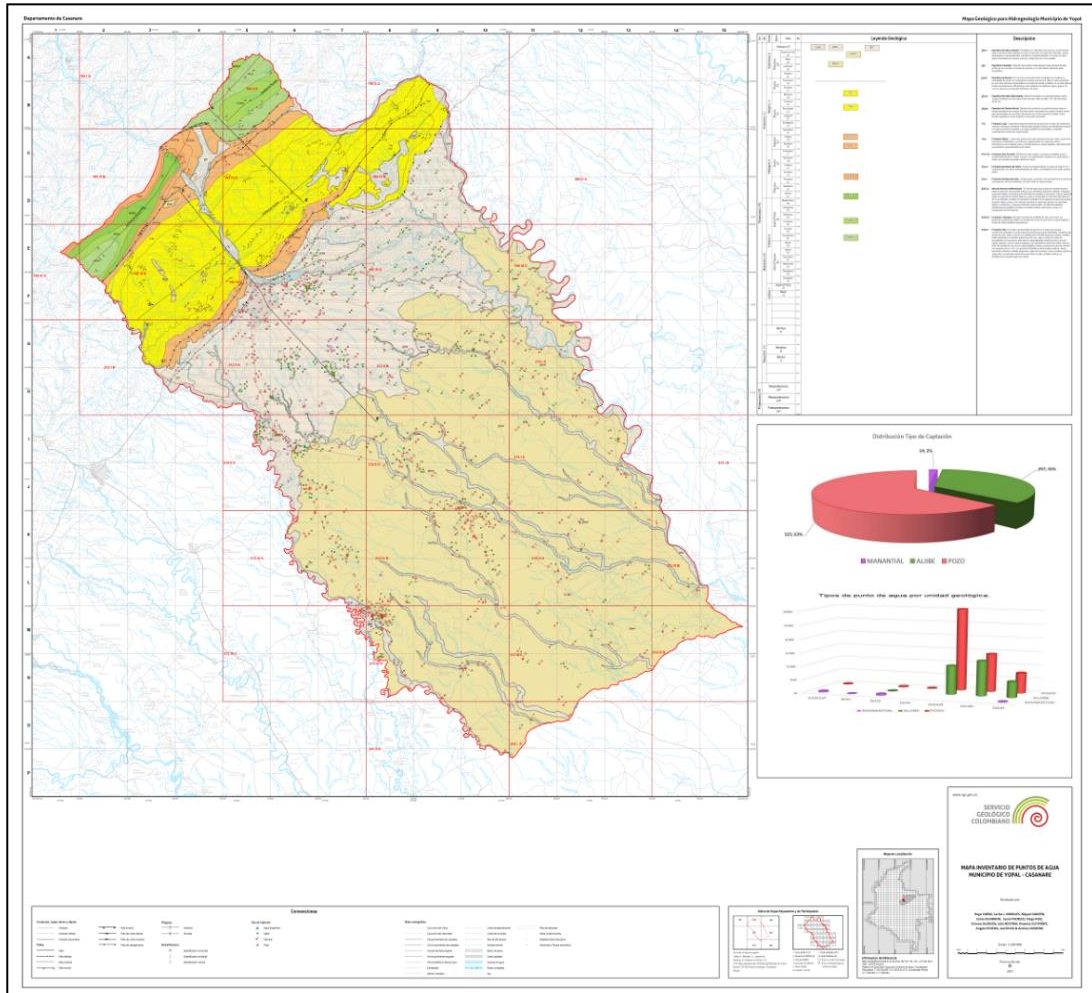
A continuación se presentan el número y tipos de puntos de agua por cada unidad geológica.

**Tabla 5.** Puntos de Agua por unidad geológica.

Unidad Geológica	Tipo de punto	Aljibe	Pozo	Manantial	Agua Superficial	Total
Depósitos de Planicie Aluvial (Q1pal)		104	301		2	407
Depósitos de Abanico Aluvial (Q2ab)		133	151	5		289
Depósitos Aluviales Recientes (Q2al)		58	72	2		132
Formación Diablo		1	2	11		14
Formación San Fernando		1	1	5		7
Formación Caja				8	2	10



**Figura 15.** Puntos de agua por unidad geológica.



**Figura 16.** Inventario de puntos de agua y geología de Yopal.

Para efectos de atender la emergencia de abastecimiento de agua para la población de Yopal la Empresa de Acueducto, Aseo y Alcantarillado de Yopal EAAY-EICE ESP perforó y construyó a través de las compañías Independence Water y LLanopozos cuatro pozos profundos que alcanzaron profundidades exploratorias de 500 metros de profundidad. En Figura 5 y la Tabla No 2 se presentan las características de diseño de los pozos.

**Tabla 6.** Características de diseño y bombeo de los pozos de producción de Yopal.

POZO	Profundidad	Diametros	Filtros	Intervalos	Caudal	Nivel Estático	Nivel Dinámico	Capacidad Específica
	Diseño	revestimiento	m	filtros	lps	m	m	lps/m
Manga de Coleo	391	12 y 6	182	145 - 389	50	73.34	114.55	0.75
Núcleo Urbano	475	14 y 6	182	190-470	80	59.21	91.44	1.46
Central de Abasto	445	14 y 6	179	190-440	80	79.63	90.82	1.97
Villa Maria	460	9 5/8 Y 7	156	129-459	30	84.21	110.14	1.15



**Figura 16.** Mapa de localización de pozos exploratorios perforados y construidos por la Empresa de Acueducto, Aseo y Alcantarillado de Yopal EAAY-EICE ESP

### Modelo Geofísico del Subsuelo.

Una parte del análisis de los datos geofísicos del municipio de Yopal se realiza a partir de información secundaria suministrada por la Corporación Autónoma Regional para la Orinoquia (CORPOORINOQUIA), que incluye datos de varios sondeos eléctricos verticales, los cuales fueron tomados e interpretados por Hidroyopal (2013), así mismo el S.G.C. tomó información en campo de sondeos eléctricos verticales (sev's) con un AB/2 de 700 metros, desarrollados en los años 2016 y 2017; esta información permite hacer un estimativo de la potencialidad de los acuíferos existentes en el área.

Durante el año 2015 se reinterpretaron 120 sev's, información que permitió hacer una propuesta (Garzón, 2015 y 2016) de cubrimiento total del área de los Depósitos de Abanico de Yopal (Q2ab) para el año 2016; para el año 2017 se ejecutaron 18 sev's localizados en la Urbanización Villa David y la Vereda la Unión.

También, se tuvo en cuenta para el presente capítulo la información recopilada del proyecto "Red de Monitoreo Pozo de Prosperidad-1" realizado por la empresa Hidrogeocol S.A. 2017, en el cual se presenta un breve análisis de dos líneas sísmicas localizadas hacia el sur del Municipio de Yopal, siendo identificadas

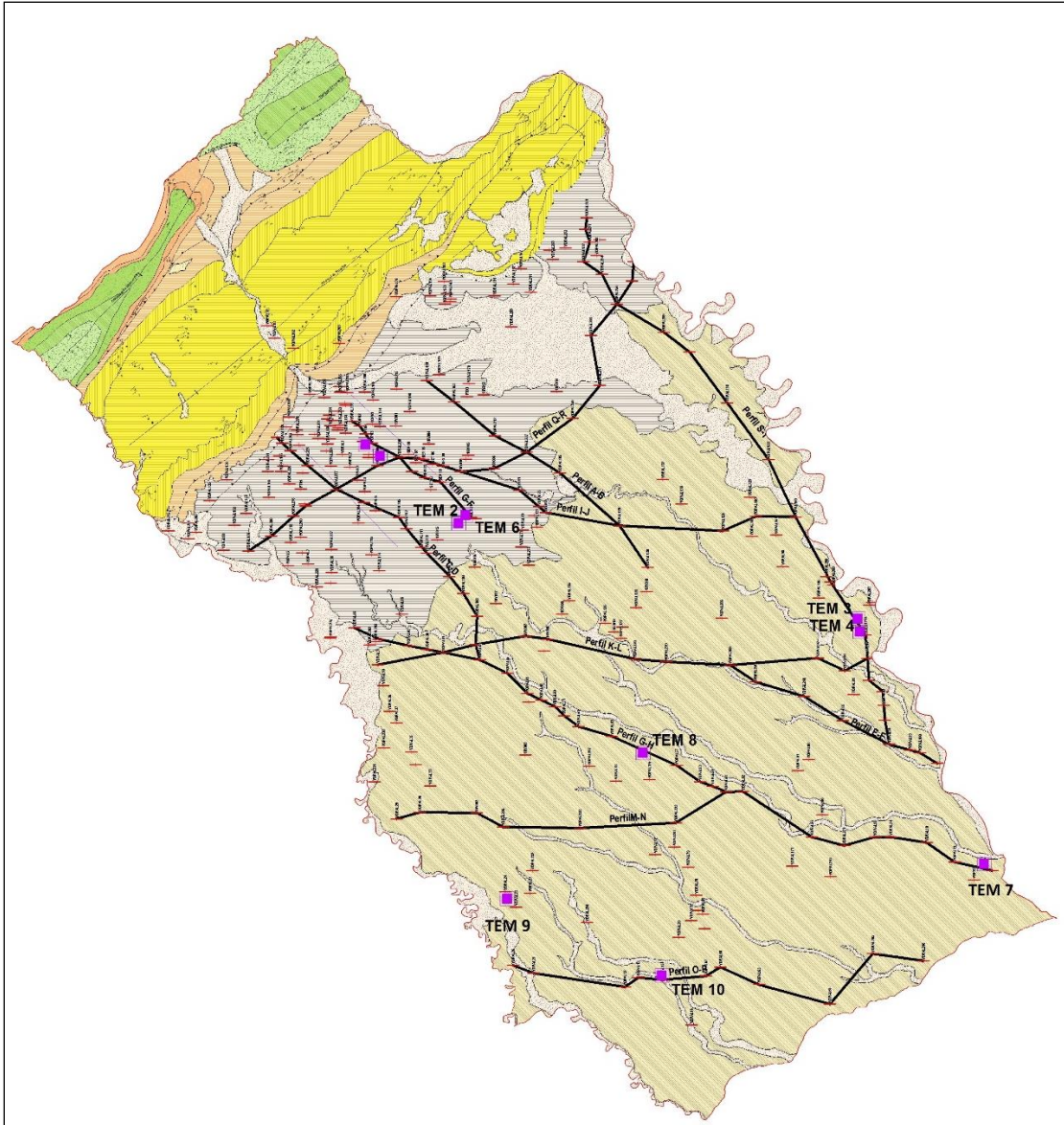
como S6-1975-08 (2D) y AR-1991 (2D), Cauchos Sur (3D) de la operadora Gran Tierra Energy Colombia Ltda.

Para efectos de confirmar el modelo de capas geoelectricas en los sitios donde se perforaran SGC Yopal 2 y SGC Yopal 3 se ejecutaron sondeos TEM (método transitorio electromagnético en el dominio del tiempo). Lo que permitió definir los límites (base - techo) de las capas geoelectricas en profundidad, los acuíferos potenciales y las profundidades a alcanzar

### **Modelo Geofísico Yopal, Interpretación de modelos de capas del TEM**

Como complemento para el conocimiento del modelo hidrogeológico conceptual del municipio de Yopal, se incluyeron nuevas metodologías para la exploración geofísica como el caso de las mediciones electromagnéticas, las cuales comprenden, el Método de Transiente Electromagnético (Transient Electromagnetic, TEM) en el dominio del tiempo. Mediante este método se ejecutaron 10 TEM (2018) distribuidos de la siguiente manera, 6 en la zona de depósitos de Planicie aluvial (Q1pal) y 4 en los depósitos de abanico (Q2ab) de los cuales permitirán establecer un estimativo de la potencialidad de los acuíferos existentes en el área a exploración de agua subterránea.

A continuación se muestra la localización y georreferenciación de los datos TEM's (Figura 6), tomados en campo.



**Figura 17.** Localización de los TEM's ejecutados en Yopal Casanare.

**Tabla 6.** Georreferenciación de los TEM's localizados en el sur de Yopal.

ID	Este	Norte	Vereda
TEM 1	857181	1080070	Barrio Villa David
TEM 2	863533	1074730	La unión
TEM 3	890824	1068213	Punto Nuevo

TEM 4	890983	1067319	Punto Nuevo
TEM 5	858188	1079295	Barrio Villa David
TEM 6	864022	1075270	La unión
TEM 7	899464	1051505	Quebrada Seca
TEM 8	876131	1059066	Tilodiran
TEM 9	866874	1049131	La porfía
TEM 10	877445	1043898	Gaviotas Agua Verde

### **Interpretación de los TEM's**

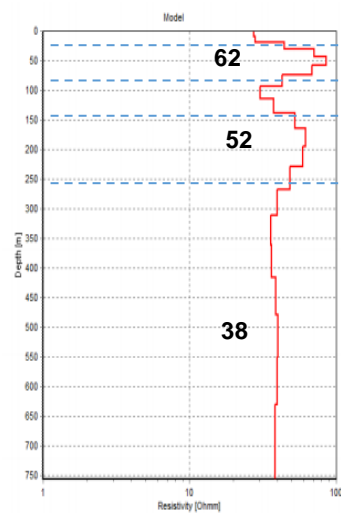
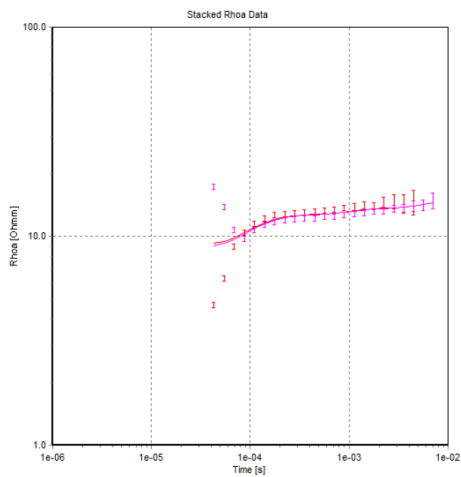
Para el siguiente análisis de las mediciones TEM'S, solo se incluirá dos puntos ejecutados en la planicie aluvial de Yopal, sitios propuestos para la perforación del Pozo SGC Yopal 2 y SGC Yopal 3.

En cada punto se obtuvo la curva modelo con los datos de resistividad y profundidad, generando el modelo de capas, tal como se observa en la imagen.

### **TEM 3**

El TEM 3 se ejecutó en la vereda Punto Nuevo con 4 estaciones procesadas donde se tomó la mejor curva de resistividad aparente siendo la estación 4 (S4) con Highmoment\_testscript con 20 ciclos, bajando los datos a una profundidad de 500 m. Figura 7





**Figura 18.** Detalle de la ejecución del TEM 3.

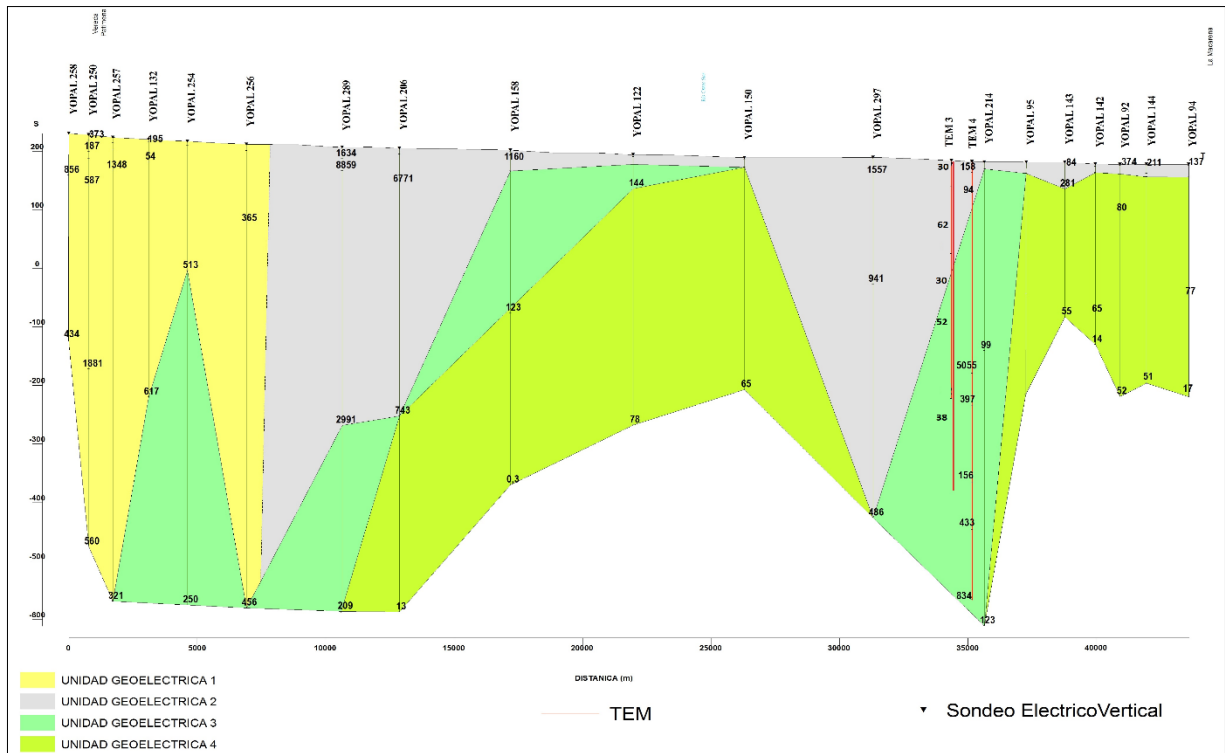
En el sitio donde se pretende perforar el Pozo SGC Yopal 2, se realizó la ejecución del TEM 3, en el cual se analizó todas las señales y se procesaron las curvas de resistividad aparente, generando un modelo de capas representativo de cada medición. Así mismo para el TEM 3 se identificaron 5 capas distribuidas de la siguiente manera.

En los primeros 25 m, presenta sedimentos finos de arenas y limos con resistividades bajas del orden de 30 ohm-m, posteriormente se encuentra una capa geoelectrica sobresaliente de arenas de grano fino que presenta resistividades moderadas 62 ohm-m a una profundidad de 90 m, materiales asociados a sedimentos de la planicie aluvial Q1pal; en el siguiente capa muestra una disminución de resistividad del orden de 30 ohm-m correlacionado con sedimentos finos de arenas limosas entre una profundidades de 93 – 138 m con un espesor de 44 m.

Con un espesor de 129 m que presenta una capa geoelectrica con resistividad de 52 ohm-m correlacionada con una arena fina y a una profundidad de 312 ohm-m. Posteriormente se muestra el techo de una capa cuya resistividad en promedio presenta un valor de 38 ohm-m hasta una profundidad de 750 m aproximadamente,

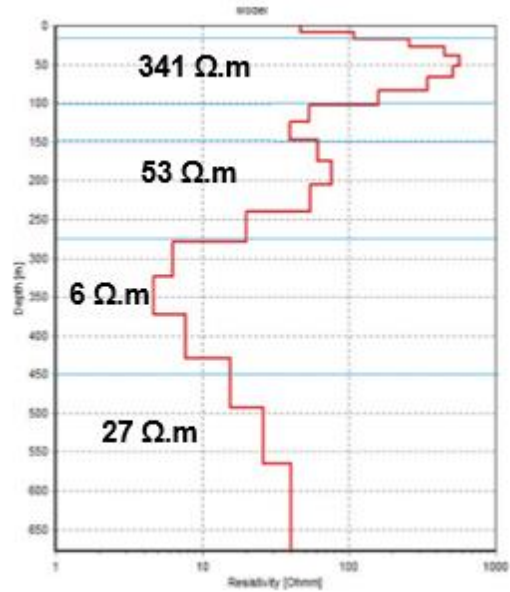
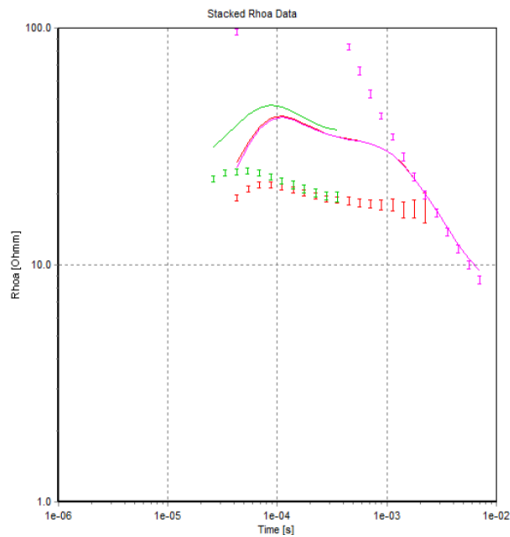
asociado con unas areniscas de grano fino intercaladas con limos o arcillolitas, que hace que baje en promedio esa resistividad. Esta última capa puede correlacionarse con rocas de la formación Caja N1c.

Se incluyó el TEM 3 en el perfil geoelectrico S-T, para determinar cómo seguía la secuencia de las capas en esos puntos, localizados en la vereda Punto Nuevo. Figura 8



## TEM 8

El TEM 8 se ejecutó en la vereda Tilodiran con 7 estaciones procesadas donde se tomó la mejor curva de resistividad aparente siendo la estación 3 (S3) con Dualmoment\_testscript con 40 ciclos, bajando los datos a una profundidad de 650 m. Figura 9



**Figura 20.** Detalle de la ejecución del TEM 8.

El área donde se pretende construir Pozo SGC Yopal 3, el análisis para el TEM 8 muestra una capa geoelectrica con resistividad modera a alta de 341 ohm-m hasta una profundidad de 103 m, constituida por sedimentos de grano grueso como fragmentos de conglomerados, gravas, cantos y guijos de variado tamaño, asociados a depósitos del cuaternario. Posteriormente se presenta una disminución de valores de resistividad del orden de 53 ohm-m hasta 6 ohm-m que refleja un cambio de sedimento de grano fino a medio correlacionables con arenas, limos y arcillas.

A una profundidad de 400 m se observa el techo de una capa geoelectrica que evidencia valores de baja resistividad (27 ohm-m) asociado posiblemente a unas areniscas intercaladas con limolitas y arcillolitas correlacionable con rocas de la Formación Caja.

En el perfil G-H se proyectó el TEM 8 para correlacionar con los datos obtenidos en cada uno de los sondeos eléctricos verticales y determinar la variación de resistividad con respecto al modelo de capas del perfil geoelectrico. Por lo que se determinó que las capas que se registraron con el TEM coinciden con las unidades geoelectricas del perfil, las cuales presentan una variación de material litológico en extensión lateral, evidenciado con valores de alta a bajas resistividades tal como se observa en la figura 10.

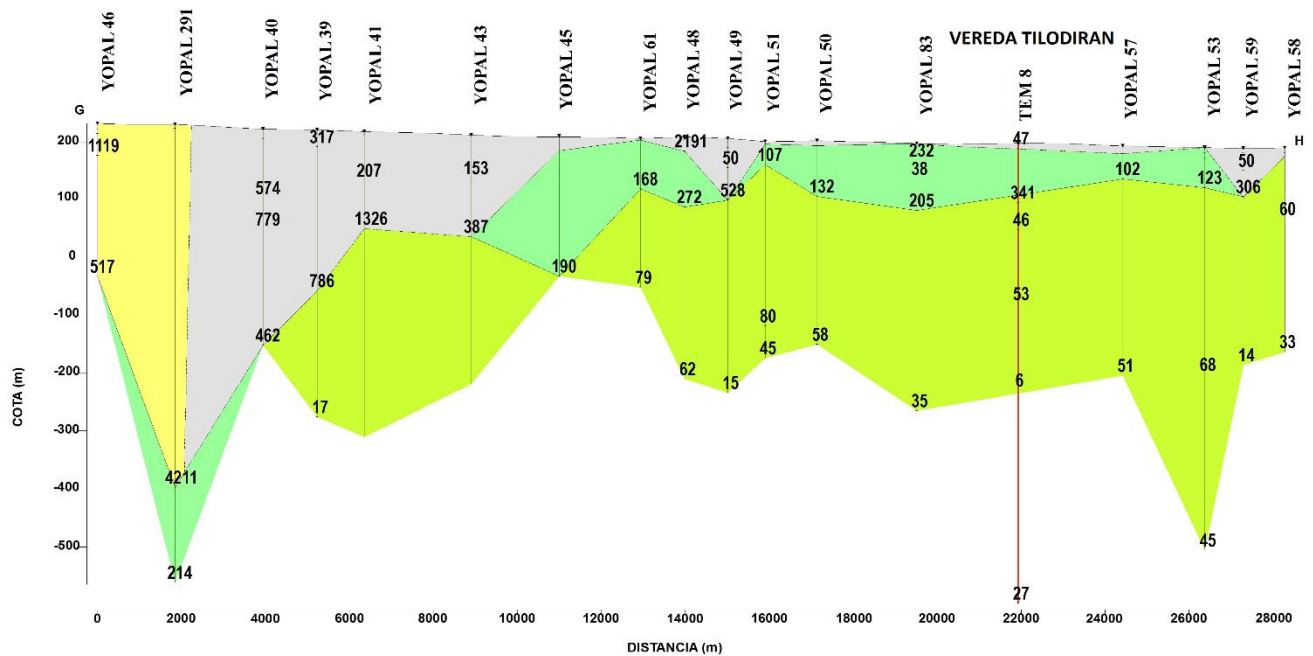


Figura 21. Perfil Geoelectrico G-H incluido el TEM 8.

## **1. OBJETO**

PRESTACIÓN DE SERVICIOS PARA REALIZAR PERFORACIONES DE POZOS EXPLORATORIOS PARA LA GENERACIÓN DE NUEVO CONOCIMIENTO GEOCIENTIFICO QUE PERMITA VALIDAR LOS MODELOS HIDROGEOLÓGICOS CONCEPTUALES DE LOS SISTEMAS ACUÍFEROS UBICADOS EN AREAS DEL TERRITORIO NACIONAL IDENTIFICADOS POR EL SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO

## **2. OBLIGACIONES ESPECÍFICAS DEL CONTRATISTA Y METODOLOGÍA DE TRABAJO.**

Las actividades y obligaciones específicas del contratista serán las siguientes:

## **3. ÁREA N°2: DEPARTAMENTO DEL CASANARE, MUNICIPIO DE YOPAL.**

### **3.1 Pozo SGC – Yopal 2.**

- a) Para la ejecución de una perforación exploratoria localizada en el Departamento del Casanare, específicamente en el municipio de Yopal, que alcance una profundidad de 300 metros, se revestirá en 6" hasta una profundidad de 240 metros. La longitud a entubar corresponderá al 100% de la perforación exploratoria o menos (incluyendo tubería ciega y filtros), dependiendo de las condiciones hidrogeológicas encontradas y el diseño realizado en forma conjunta entre el supervisor del Grupo de Exploración de Aguas Subterráneas del Servicio Geológico y el Contratista. Se proyecta la instalación de filtros en acero inoxidable hasta el 30% de la longitud total entubada en el pozo.
- b) Para las actividades de toma de registros eléctricos, entubado y ejecución de pruebas de bombeo y toma de muestras es obligatoria la presencia del supervisor por parte del Servicio Geológico Colombiano, o el delegado por parte del supervisor, para lo cual el Contratista deberá coordinar con la debida anticipación. La observación de éste literal se considerará como incumplimiento del contrato y se aplicará las pólizas respectivas.
- c) Las perforaciones exploratorias se deberán realizar por rotación con un diámetro mínimo de 8 1/2", mediante circulación directa, utilizando fluidos bentónicos base agua con un taladro de perforación autotransportado. Si en algún momento se requiere otra modalidad, ésta deberá ser acordada con el supervisor y la supervisión del Servicio Geológico. El contratista deberá garantizar la penetración en todo tipo de material, para lo cual deberá contar con los elementos y herramientas de perforación necesarios.
- d) Llevar un registro de los parámetros del lodo de perforación (peso, contenido de arena y viscosidad y conductividad), así como de tasa o rata de perforación y columna o registro litológico detallado mediante la recuperación de ripios metro a metro continuo y con la calidad necesaria para clasificar y describir los niveles estratigráficos en el sitio de la perforación. Estas muestras deberán permanecer debidamente etiquetadas y ordenadas en el lugar de la perforación para la revisión por parte del supervisor y del personal del Servicio Geológico que realice las visitas de seguimiento a las labores. La columna litológica levantada en campo deberá estar culminada previo a la toma de los registros eléctricos.
- e) Una vez finalice la perforación exploratoria, se tomarán registros eléctricos hasta el 100% de la

profundidad alcanzada, que incluirán como mínimo: Potencial Espontáneo, Rayos Gamma Natural, Resistividad con sonda larga y corta, Temperatura, Densidad y Caliper los cuales deberán suministrados a escalas adecuadas 1:200, 1:500 y 1:1000.

- f) La perforación exploratoria incluyen las siguientes actividades  
Suministro e Instalación de Casing de 20" a 30 metros lineales ü Cementación de Casing de 24" a 30 metros lineales Perforación exploratoria a 300 metros en 8 ½".
- g) La ampliación del pozo se llevará de 8 ½", 12 ¼ " 14 ¾ ", 17 ½ hasta 22 ", los diámetros de los casings a instalar será establecido por los especialistas del Servicio Geológico, el supervisor y el Consultor. El material de revestimiento de la perforación será en tubería de acero al carbón Trinorma (API 5L / ASTM A53 / A106) SCHEDULE STANDARD o acero al carbón Sch 40) de 6 " de diámetro ( cantidad 168 metros), extrareforzado para tramos entre 0 a 240 metros, Los filtros serán de ranura continua en acero inoxidable extrareforzado, No 20 o No 30 de acuerdo al análisis granulométrico, de 6" de diámetro (cantidad 72 metros) , para tramos entre 0 a 240 metros de profundidad.
- h) Se deberá realizar análisis granulométrico de las capas potencialmente acuíferas captadas por la perforación, con el fin de establecer el tipo de gravilla a utilizar y apertura de filtros óptimos para el diseño del pozo.
- i) El pozo se entregará engravillado en la zona de producción, con sello en arcilla y sello sanitario en concreto (placa de 1x1x0.5 metros alrededor de la boca del pozo).
- j) Ejecutar la Limpieza y Desarrollo del pozo mediante pistoneo, "jetting" y/o cualquier otro procedimiento establecido que garantice la ausencia de material fino en el agua extraída y bombeo continuo durante mínimo 96 horas. El contratista deberá garantizar la fase de limpieza y desarrollo, para lo cual deberá contar con los elementos y herramientas de limpieza y desarrollo pertinentes para el pozo a construir.
- k) Para el pozo, realizar pruebas de bombeo a caudal constante entre 48 y 72 horas con su respectiva recuperación hasta al menos el 100% del nivel estático inicial y prueba escalonada en tres pasos o etapas con su respectiva recuperación, realizadas con bomba sumergible. El contratista deberá suministrar un equipo de bombeo con capacidad suficiente (caudal, cabeza hidráulica y potencia) para garantizar la extracción del máximo caudal y rendimiento del pozo. De igual forma deberá disponer de sondas para medición de niveles aforadas cada milímetro, con señal luminosa y/o acústica y de marca reconocida en el mercado.
- l) Realizar análisis físico-químico del agua que permitan caracterizar el agua desde el punto de vista hidrogeoquímico y el uso del pozo, en un laboratorio acreditado por el IDEAM.
- m) Correr y grabar un video de verificación del pozo hasta la profundidad total (entubado) una vez construido y terminado.
- n) Antes de iniciar las actividades de perforación se debe instalar una barrera visual en un área de aproximadamente 1200 metros cuadrados en dos alternativas 1) material de zinc y 2. En

eterboard.

- o) De igual forma antes de iniciar las actividades de perforación se debe instalar una barrera auditiva para contrarrestar los motores fuentes de ruido utilizados durante la etapas de perforación y construcción del pozo.
- p) Antes de iniciarse las actividades se verificará por parte de la supervisión del Servicio Geológico la disponibilidad de un equipo detector de gases (Ácido Sulfhídrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y gas Metano (CH<sub>4</sub>)
- q) Suministrar e instalar en el pozo la totalidad de la tubería, materiales y accesorios necesarios para la adecuación de producción, según acuerdo previo con el supervisor del Servicio Geológico.
- r) Los equipos, adecuación del sitio elegido y toda la infraestructura necesaria para la ejecución de la perforación (fuente de energía, agua, adecuación de vías y/o nivelación del terreno) serán por cuenta del contratista, quien las transportará y ubicará en el sitio señalado por el personal del Servicio Geológico y el supervisor.

Mantener con carácter confidencial, toda la información de propiedad del SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO a la que tenga acceso en desarrollo del objeto del contrato, y no podrá utilizarla o divulgarla a terceras personas. En caso de incumplimiento de lo señalado y de las normas que regulan la propiedad intelectual y los derechos de autoría por parte del contratista, el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ejercerá las acciones legales pertinentes.

El contratista deberá instalar en cada una de las zonas de perforación una valla informativa en donde se indique que se trata de un proyecto del SGC y los pormenores del mismo.

El sitio de perforación deberá ser adecuado y entregado en las mismas condiciones como fue entregado por parte del Servicio

#### **4. PRODUCTOS ESPERADOS**

##### **4.1 DEPARTAMENTO DEL CASANARE - MUNICIPIO DE YOPAL.**

- a) Además de la información de campo y análisis definidos anteriormente, los productos finales a entregar al Servicio Geológico son:
- b) un pozos exploratorios perforados y entubados, según las especificaciones técnicas convenidas, con base en el análisis de la información obtenida, entre el contratista, el supervisor y los especialistas del Servicio Geológico. Los pozos estarán revestido en tubería de acero al carbón Trinorma (API 5L /ASTM A53/A106) SCHEDULE STANDARD o acero al carbón Sch 40) de 6" de diámetro, reforzada para tramos entre 0 a 250 metros. Los filtros serán de ranura continua en acero inoxidable de 6" de diámetro, extareforzados para tramos entre 0 a 250 metros, con empaque de gravilla seleccionada de acuerdo con el análisis granulométrico de las capas acuíferas captadas, con sello sanitario en

arcilla (mínimo primeros 20 metros), protección superficial en concreto (placa de 1x1x0.5 metros alrededor de la boca del pozo).

- c) Informe final de acuerdo con los estándares del Servicio Geológico el cual deberá incluir:
- Datos originales (magnético y físico), metodología de procesamiento y gráficos resultantes, a escalas adecuadas, de las pruebas y ensayos específicos realizados (pruebas de bombeo y registros de pozo) así como el análisis e interpretación de dichas pruebas.
  - Registro del desarrollo de la perforación (lodos, tasa de perforación) y su correspondiente soporte fotográfico
  - Columna litológica metro a metro (a escala) en la que se describan cada uno de los materiales perforados, tasa de perforación y cambios estratigráficos observados.
  - Información de registros eléctricos de pozo: Resistividad (sonda normal corta y larga), Potencial Espontáneo y Gamma Natural, diseño de pozo, actividades de limpieza y desarrollo, pruebas de bombeo, metodología para la ejecución de los trabajos e interpretación de resultados. Esta información se entregará diligenciada en los formatos suministrados por el *Instituto*.
  - Resultados originales de los análisis de laboratorio del agua del pozo acreditados por el IDEAM y en el formato proporcionado por el Servicio Geológico.
  - Video de verificación del estado mecánico de los dos pozos en formato digital.
  - Muestras de ripios de perforación, recolectadas y etiquetadas metro a metro, en bolsas separadas de 150 gramos cada una.
  - Copia escaneada de las libretas de campo original.

Este informe se deberá entregar impreso a color y en medio magnético, compatible con el formato de Microsoft Word y PDF.

Los documentos que el consultor produzca en desarrollo del contrato deberán proporcionar información clara, completa, actualizada, aplicable y verificable en forma sencilla sin redundancias ni procesamiento adicional. El informe deberá presentarse en un plazo no mayor a tres semanas contadas a partir de la finalización de los trabajos de campo.