

**“ESTUDIO DE GEOELÉCTRICA PARA PROSPECCIÓN Y EXPLORACIÓN  
DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CABECERA MUNICIPAL DE  
JERUSALÉN – DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA”.**

**Revisión 2.**

**PROYECTO MÍNIMA CUANTÍA NO. 38 DE 2016**

**CONTRATO 1533 DE 2016**



**Realizado por**

**subsuelo3d**

**BOGOTÁ – COLOMBIA**

**10 DE MARZO DE 2017**

**TABLA DE CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
1. RESUMEN .....	7
2. INTRODUCCIÓN .....	8
2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO.....	8
3. METODOLOGÍA .....	11
3.1. FASES DEL PROYECTO.....	11
3.1.1. Fase de Escritorio: .....	11
3.1.2. Fase de Campo: .....	11
3.1.3. Fase de Gabinete:.....	11
3.2. ESQUEMA DEL PROYECTO Y EQUIPOS UTILIZADOS .....	12
3.3. PERSONAL INVOLUCRADO .....	13
4. CONCEPTOS BÁSICOS DE GEOELÉCTRICA .....	13
4.1. RESISTIVIDAD ELÉCTRICA .....	13
4.2. RESISTIVIDAD DE LAS ROCAS.....	14
4.3. FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTIVIDAD .....	14
4.4. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL MÉTODO GEOELÉCTRICO.....	15
4.5. DISPOSITIVOS LINEALES .....	16
4.6. EQUIPO DE REGISTRO .....	17
5. CRONOGRAMA.....	19
6. MARCO GEOLÓGICO .....	20
6.1. ESTRATIGRAFÍA .....	20
6.1.1. Grupo Olini (Kso) .....	21
6.1.2. Nivel de Lutitas y Arenas (Ksla) .....	22
6.1.3. Formación La Tabla (Kslt) .....	23
6.1.4. Formación Seca (KPgs) .....	24
6.1.5. Formación Hoyón (Pgh).....	24

6.1.6.	Formación San Juan de Río Seco (Pgs) .....	25
6.1.7.	Formación Santa Teresa (Pgst).....	27
6.1.8.	Cuaternarios .....	27
6.2.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	27
6.2.1.	Sinclinal de Guaduas .....	27
6.2.2.	Barrera Girardot – Guataquí. ....	27
7.	HIDROGEOLOGÍA.....	28
7.1.	UNIDADES HIDROGEOLOGÍCAS.....	28
8.	RESULTADOS DE GEOELÉCTRICA.....	33
8.1.	LOCALIZACIÓN SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.....	33
8.2.	SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES .....	35
8.2.1.	SEV 1.....	35
8.2.2.	SEV 2.....	38
8.2.3.	SEV 3.....	41
8.3.	PERFILES GEOELÉCTRICOS (TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS) .....	44
8.3.1.	TOMOGRAFÍA 1 – CANCHA DE FÚTBOL .....	46
8.3.2.	TOMOGRAFÍA 2 – PREDIO EL CUADRO .....	47
8.3.3.	TOMOGRAFÍA 3 – PREDIO EL CUADRO .....	48
9.	INTERPRETACIÓN .....	49
9.1.	PERFIL ELÉCTRICO.....	51
9.2.	POROSIDADES .....	54
10.	CONSTRUCCIÓN DEL POZO PROFUNDO .....	56
10.1.	MÉTODO DE PERFORACIÓN .....	56
10.2.	DIÁMETROS DE PERFORACIÓN .....	56
10.3.	LODOS DE PERFORACIÓN .....	56
10.4.	REGISTRO DE PERFORACIÓN .....	56
10.5.	TOMA DE MUESTRAS DE ZANJA.....	56
10.6.	REGISTROS FÍSICOS DEL POZO .....	57
10.7.	AMPLIACIÓN DEL POZO.....	57
10.8.	DISEÑO DEL POZO .....	57
10.9.	ADECUACIÓN E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS Y FILTROS .....	57

10.10.	TERMINACIÓN DEL POZO .....	57
10.11.	DESARROLLO DEFINITIVO DEL POZO.....	58
10.12.	PRUEBA DE PRODUCCIÓN Y EFICIENCIA DEL POZO .....	58
10.13.	PRUEBA DE BOMBEO .....	58
10.14.	CEMENTACIÓN .....	59
10.15.	DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO .....	59
10.16.	EQUIPOS Y MATERIALES.....	59
10.16.1.	Descripción aproximada de los equipos necesarios .....	59
10.17.	Descripción aproximada de los materiales .....	60
10.18.	TOMA DEMUESTRAS DE AGUA .....	60
10.19.	DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO .....	60
10.20.	PRESUPUESTO .....	60
11.	INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.....	63
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
12.1.	CONCLUSIONES .....	66
12.2.	RECOMENDACIONES .....	68
12.3.	AGRADECIMIENTOS.....	68
13.	REFERENCIAS.....	70

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Coordenadas de los SEVs realizados en el área de la cabecera municipal de Jerusalén.....	8
Tabla 2:	Ficha Técnica del Proyecto. ....	12
Tabla 3:	Personal participante en el presente proyecto. ....	13
Tabla 4:	Cronograma de trabajo para el contrato 1533 de 2016.....	19
Tabla 5:	Clasificación general de las unidades hidrogeológicas.....	28
Tabla 6:	Clasificación general de las unidades hidrogeológicas para el Área estudio .....	30
Tabla 7	Coordenadas de los SEVs realizados en el área de la cabecera municipal de Jerusalén.....	33
Tabla 8:	Sondeo Eléctrico Vertical 1 - Interpretación. ....	35
Tabla 9:	Sondeo Eléctrico Vertical 2 – Interpretación.....	38
Tabla 10:	Sondeo Eléctrico Vertical 3 – Interpretación.....	41
Tabla 11:	Parámetros de adquisición por Perfil Geoelectrico.....	45
Tabla 12:	Referencia técnica de las tomografías eléctricas. ....	45
Tabla 1:	Coordenadas del Perfil Geológico. ....	50
Tabla 13:	Porosidades para las formaciones en la zona de estudio. ....	54

Tabla 14: Porosidades utilizadas para este estudio. ....	54
Tabla 15: Presupuesto para un pozo de 260 metros en el SEV-2. ....	61
Tabla 16: Localización de puntos de agua subterránea a 2 Kms. a la redonda del casco urbano de Jerusalén. ....	64
Tabla 17: Aljibe Millán 1.....	65
Tabla 18: Aljibe Millán 2.....	65
Tabla 19 Coordenadas del pozo propuesto en este trabajo. ....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto Fuente: Modificado de Google Earth, 2017.	9
Figura 2. Cabecera municipal de Jerusalén (Cundinamarca). (Tomado de Google Earth).	10
Figura 3. Resistividades de diferentes rocas y minerales (Modificado de Orellana, 1982)	14
Figura 4. Esquema básico de dispositivo para determinar la resistividad eléctrica del subsuelo	15
Figura 5. Dispositivo Schlumberger	16
Figura 6. Dispositivo Wenner	16
Figura 7. Dispositivos dipolares.	17
Figura 8. Equipo de Registro Subsuelo3D	17
Figura 9: Detalle del mapa geológico para el área de la cabecera municipal de Jerusalén (Mod. Ingeominas, 2002)	20
Figura 10: Columna Estratigráfica esquemática para la zona de trabajo (Mod. Ingeominas 2002)	21
Figura 11 Columna estratigráfica del Nivel de Lutitas y Arenas Fuente: Modificado de INGEOMINAS, 2002	22
Figura 12 Columna estratigráfica de la Formación La Tabla Fuente: Modificado de INGEOMINAS, 2002	23
Figura 13 Columna estratigráfica de la Formación Hoyón Fuente: Modificado de INGEOMINAS, 2002	24
Figura 14 Columna estratigráfica de la Formación San Juan de Río Seco Fuente: Modificado de INGEOMINAS, 2002	26
Figura 15: Mapa Hidrogeológico - Unidades Hidrogeológicas Fuente: Subsuelo3D, 2017.	32
Figura 16: Localización de los Sondeos Eléctricos Verticales y Tomografías Eléctricas en el presente proyecto. Fuente: Base topográfica IGAC. Modificado por Subsuelo3D, 2017.	34
Figura 17: Adquisición del Sondeo Eléctrico Vertical 1. Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017	35
Figura 18: Curva de Resistividad vs Profundidad para el SEV 1	36
Figura 19 Perfil Geoeléctrico SEV 1 Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017	37
Figura 20: Adquisición del Sondeo Eléctrico Vertical 2. Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017	38
Figura 21 Curva de Resistividad vs Profundidad para el SEV 2 Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017	39
Figura 22: Perfil Geoeléctrico SEV 2	40
Figura 23: Elaboración del SEV 3	41
Figura 24: Curva de Resistividad vs Profundidad para el SEV 3.	42
Figura 25: Perfil Geoeléctrico SEV 3	43

Figura 26: Localización de los Sondeos Eléctricos Verticales y Tomografías Eléctricas en el presente proyecto. Fuente: Base topográfica IGAC. Modificado por Subsuelo3D, 2017.	44
Figura 27: Tomografía Eléctrica 1, en la cancha de Fútbol al norte de Jerusalén. Se observan en la superficie zonas retrabajadas, mientras que en la zona baja se observan valores bajos (menores a 10 Ohm-m), los cuales se pueden asociar a las arcillas de la Formación Santa Teresa.	46
Figura 28: Tomografía 2, en el predio El Cuadro. Este perfil geoeléctrico une los 3 Sondeos Eléctricos verticales. Se observa la irregularidad del depósito cuaternario en la parte superior. Fuente: Subsuelo3D, 2017.	47
Figura 29: Tomografía 3, predio El Cuadro. En la elipse roja se observa el contacto entre la unidad Formación Hoyón (al sur, con resistividades más altas) de la Formación Santa Teresa (con resistividades más bajas). Fuente: Subsuelo3D, 2017.	48
Figura 30: Falla interpretada a partir del estudio geoeléctrico realizado en este trabajo. La flecha en azul corresponde a la dirección interpretada del flujo del agua subterránea. Fuente: Subsuelo3D, 2017.	50
Figura 31: Perfil geoeléctrico entre los Sondeos Eléctricos Verticales SEV-1, SEV-2 y SEV-3. Fuente: Subsuelo3D, 2017.	51
Figura 32: Perfil Geológico en el predio El Cuadro. Subsuelo3D SAS, 2017.	53
Figura 33: Prediseño de pozo localizado en el SEV-2. Fuente: Subsuelo3D, 2017.	62
Figura 34: Mapa de puntos de agua subterránea alrededor de la cabecera municipal de Jerusalén (Cund.). Fuente: Subsuelo3D, 2017.	63
Figura 35: Ejercicio del inventario de puntos de agua en los alrededores del casco urbano de Jerusalén (Cundinamarca). En este ejercicio se observa la medición del nivel freático utilizando una sonda de nivel marca Solinst. Fuente: Subsuelo3D, 2017.	64
Figura 36: Alrededores del SEV-3. Arriba, gaviones que protegen algunas casas de Jerusalén en caso de crecida de la quebrada La Limba. Abajo, localización del SEV-3 en zona de inundación de la quebrada La Limba.	67

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: DATOS DE CAMPO DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.....	72
ANEXO 2: MAPA HIDROGEOLÓGICO DEL CASCO URBANO DE JERUSALÉN (CUND.), ESCALA 1:25,000 .....	75

## 1. RESUMEN

Dentro del marco del contrato de la CAR, número 1533 de 2016, adjudicado a la empresa SUBSUELO3D, se estuvo realizando la exploración de aguas subterráneas en la cabecera municipal del municipio de Jerusalén (Cundinamarca). Motivo por el cual, durante los días 20 al 22 de Enero de 2017, el equipo técnico de la empresa SUBSUELO3D, adquirió 3 (tres) Sondeos Eléctricos Verticales con una apertura de 1,000 (mil) metros lineales, con el objetivo de detectar agua subterránea en el predio El Cuadro, en la cabecera municipal de Jerusalén (Cundinamarca).

Este estudio también incluyó un inventario de puntos de agua en un radio de 2 kilómetros alrededor de la cabecera municipal de Jerusalén. Se localizaron dos aljibes de menos de 10 metros de profundidad, utilizando los depósitos cuaternarios del Río Seco como unidad hidrogeológica.

La investigación concluye que sí se identifica una unidad hidrogeológica con potencial de almacenar agua subterránea; la unidad hidrogeológica objetivo es el acuífero Formación Hoyón (areniscas y conglomerados del Oligoceno).

Se propone perforar un pozo exploratorio de agua subterránea en la posición del Sondeo Eléctrico Vertical 2 (Coordenadas Magna SIRGAS Bogotá Este 931364, Norte 996054), con una profundidad de 260 metros y dos juegos de filtros en dos segmentos de arenas (15 a 60 metros y 170 a 260 metros).

El escaso conocimiento hidrogeológico actual del acuífero Formación Hoyón hace conveniente hacer tomas de muestras de agua subterránea en los diferentes niveles acuíferos, así como una toma de registros eléctricos de pozo (SP, Gamma Ray y Resistividades Corta y Larga) en el momento de la perforación.

## 2. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto hace parte del contrato CAR 1533 de 2016, correspondiente al Proceso de Selección de mínima cuantía 038 de 2016. Este proyecto se tituló “Realizar un estudio de Geoeléctrica para la prospección y exploración de agua subterránea en la cabecera municipal de Jerusalén – Departamento de Cundinamarca”. Dicho contrato fue adjudicado a la empresa SUBSUELO3D, con sede en la ciudad de Bogotá D.C.

El presente informe es el resultado final de los estudios de Geoeléctrica realizados en dicho ejercicio, consistentes en tres sondeos eléctricos verticales, un perfil geoeléctrico y un prediseño de pozo para el punto que presente el mayor interés hidrogeológico.

### 2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

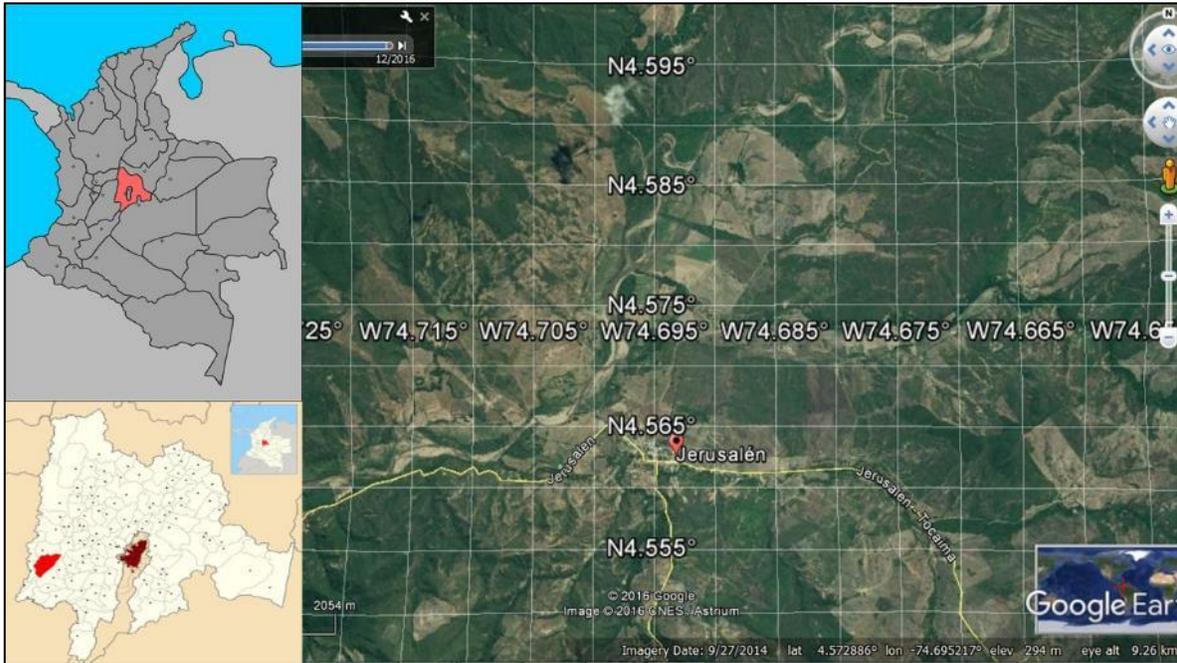
Para llegar al municipio de Jerusalén (Cundinamarca), desde Bogotá, se toma la vía nacional 50, hasta la población de Mosquera (Cundinamarca) por 27 kilómetros. Posteriormente, se toma la Vía Departamental 21, dirigiéndose hacia el occidente hasta la población de Tocaima (Cundinamarca) por 89 Kilómetros. Desde allí, se dirige hacia el norte, por una vía de 17 Kilómetros, pavimentada, la cual conecta las poblaciones de Tocaima con Jerusalén. El trayecto completo toma 2 horas, 45 minutos.

El proyecto se ubica en la cabecera municipal de Jerusalén en el departamento de Cundinamarca (Figura 1 y Figura 2). Los tres sondeos eléctricos verticales se realizaron en el predio El Cuadro, propiedad del municipio, en donde se está erigiendo el barrio Dos Quebradas (Tabla 1).

**Tabla 1: Coordenadas de los SEVs realizados en el área de la cabecera municipal de Jerusalén.**

SEV	Magna Sirgas Origen Bogotá		WGS84	
	Este	Norte	LAT	LONG
SEV1	931364	996054	W 74.696010º	N 4.560250º
SEV2	931364	996082	W 74.696000º	N 4.560500º
SEV3	931424	996201	W 74.695470º	N 4.561580º

Fuente: Subsuelo3D, 2017.



**Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto**  
**Fuente: Modificado de Google Earth, 2017.**



Figura 2. Cabecera municipal de Jerusalén (Cundinamarca). (Tomado de Google Earth).

### **3. METODOLOGÍA**

En el presente capítulo se explica la metodología realizada en este proyecto, así como los equipos utilizados y los tipos de archivos de salida.

#### **3.1. FASES DEL PROYECTO**

La metodología desarrollada para el presente proyecto está descrita a continuación.

##### **3.1.1. Fase de Escritorio:**

1. Selección y obtención de ingreso a los predios: Se seleccionaron y obtuvieron permisos de ingreso al predio de propiedad del municipio de Jerusalén en donde se desarrolló la Geoeléctrica, verificando la disponibilidad del espacio y facilidad del acceso.

2. Bibliografía previa: En este paso se identificaron las principales fuentes de información secundaria disponibles en cuanto a unidades litoestratigráficas, estructuras geológicas, con el propósito de establecer ubicación y dirección georreferenciados en Magna Sirgas, en mapa y software ArcGIS, de los tres SEVs. La CAR aportó un estudio previo, análogo y pertinente, que constituyó un insumo valioso en el desarrollo de este proyecto (CAR e Hidrogeocol, 1990).

##### **3.1.2. Fase de Campo:**

3. Adquisición Geoeléctrica: En este paso se realizó la adquisición de 3 (tres) Sondeos Eléctricos Verticales con una apertura de electrodos (AB) de 1,000 metros. Esto con el fin de caracterizar las resistividades eléctricas de los estratos que constituyen unidades geológicas, que yacen en el subsuelo del predio seleccionado y correlacionadas con mapas temáticos. En la realización de los sondeos eléctricos verticales, se utilizó el arreglo tipo Schlumberger.

4. Inventariar puntos de agua superficiales y plantear posibles líneas de flujo de agua a partir de conductividad inferida.

##### **3.1.3. Fase de Gabinete:**

4. Procesamiento e Interpretación de SEVs: Se utilizó el programa IPI2WIN para realizar el procesamiento de los datos de resistividad eléctrica. En el proceso de interpretación se tuvieron en cuenta las tablas de resistividades geoeléctricas como se encuentran en Orellana (1982), Reynolds (2010) y Burger *et al.* (2006).

5. Modelo de Capas: El modelo de capas se relacionó con la litología del sector, así como las posibles resistividades aparentes y así se obtuvieron resistividades reales de los sondeos eléctricos verticales.

6. Secciones Geoeléctricas y Unidades de Interés Hidrogeológico: A partir de los 3 SEVs se graficaron el mismo número de secciones. De igual manera, teniendo en cuenta la información hidrogeológica,

se seleccionaron las unidades con mayor interés para una futura extracción de agua subterránea en este proyecto.

7. Granulometría e Inferencia de Porosidad de las Rocas: En esta fase se correlacionaron las resistividades obtenidas con granulometría de las unidades litoestratigráficas para inferir rangos razonables de porosidad de las rocas.

8. Prediseño de Pozo: Se realizó el prediseño de un pozo profundo exploratorio para diligenciar formato de permiso de prospección y exploración de agua subterránea en la cabecera municipal de Jerusalén.

### 3.2. ESQUEMA DEL PROYECTO Y EQUIPOS UTILIZADOS

El presente proyecto tiene la siguiente ficha técnica.

**Tabla 2: Ficha Técnica del Proyecto.**

<b>Proyecto:</b>	ESTUDIO DE GEOELÉCTRICA PARA PROSPECCIÓN Y EXPLORACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA CABECERA MUNICIPAL DE JERUSALÉN – DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA
<b>Sitios:</b>	Jerusalén (Cundinamarca)
<b>Registro:</b>	
Adquirido por:	SUBSUELO3D S.A.S.
Formato de Grabación:	.txt , .xlsx
Tipo de arreglo:	Schlumberger
Apertura máx. AB:	1,000 m.
<b>Equipo:</b>	
Tipo:	GeoAmp 202

Fuente: Subsuelo3D, 2017.

### 3.3. PERSONAL INVOLUCRADO

En el presente proyecto participaron los siguientes profesionales para el desarrollo del mismo (Tabla 3):

**Tabla 3: Personal participante en el presente proyecto.**

PROFESIONAL	CARGO	PERFIL
Geólogo Marco Antonio Nieto	Director de Proyecto	Geólogo UNAL Bogotá (2005), MSc Geofísica U. Western Ontario (2011)
Ing. Mariano Carreño	Adquisición Geoeléctrica	Ingeniero Electrónico U. Distrital (2015)
Tec. Ubeimar Rojas	Soporte adquisición Geoeléctrica.	Tecnólogo Mecatrónico SENA (2013)
Tec. Rogelio Peña	Soporte adquisición Geoeléctrica	Tecnólogo Automatización SENA (2013)

Fuente: Subsuelo 3D, 2017.

## 4. CONCEPTOS BÁSICOS DE GEOELÉCTRICA

### 4.1. RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

La resistividad se define a partir de un cubo eléctricamente uniforme, de lado de longitud  $L$  a través del cual circula una corriente  $I$ . El material dentro del cubo se opone al paso de la corriente eléctrica a través de él, lo que resulta en una caída de tensión  $V$  entre las caras opuestas de este cubo. La resistencia eléctrica es proporcional a la longitud  $L$  del material resistivo e inversamente proporcional al área  $A$ . La constante de proporcionalidad es la resistividad verdadera que se denota con el símbolo  $\rho$ . De esto se tiene que la resistencia eléctrica a través de un volumen unitario está dada por:

$$R = \rho L/A \quad (1)$$

De acuerdo con la ley de Ohm, la resistencia también se define en términos del cociente de la caída de potencial y la corriente que pasa por el cubo, esto es:

$$R = V/I \quad (2)$$

De las ecuaciones (1) y (2) se una nueva expresión para la resistividad:

$$\rho = VA / IL \quad (3)$$

Cuyas unidades son ohm-metro ( $\Omega/m$ ). El inverso de la resistividad ( $1/\rho$ ) se define como la conductividad eléctrica de un material ( $\sigma$ ), la cual tiene como unidades siemens/metro (S/m) o su equivalente el ohm-metro.

#### 4.2. RESISTIVIDAD DE LAS ROCAS

La resistividad de una porción determinada de roca puede medirse directamente por diversos métodos, los cuales pueden emplearse también para evaluar el grado de exactitud de las fórmulas teóricas (Orellana, 1982).

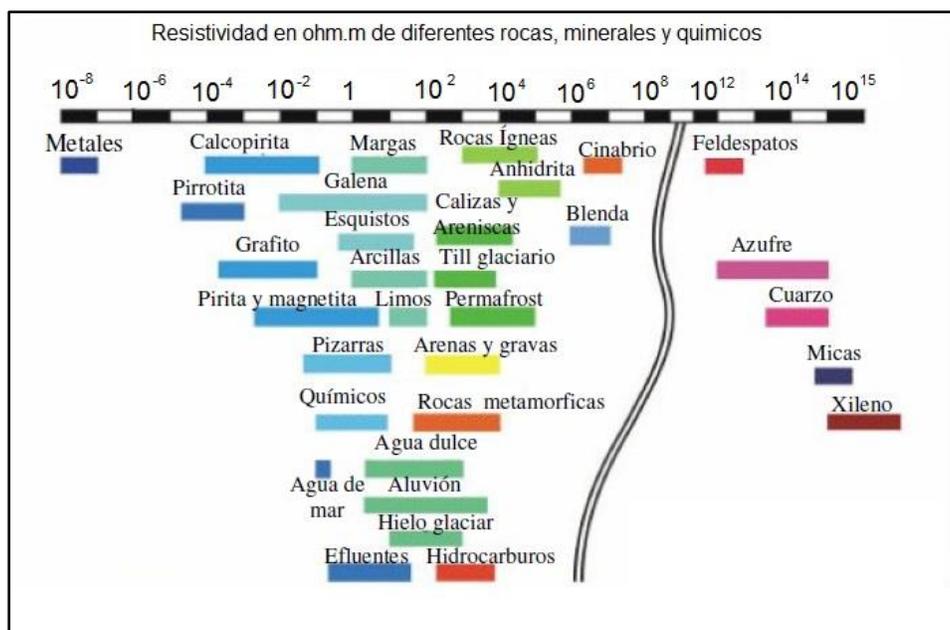


Figura 3. Resistividades de diferentes rocas y minerales (Modificado de Orellana, 1982)

#### 4.3. FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTIVIDAD

La resistividad eléctrica es un parámetro que varía en función de las características del terreno. Algunos de los factores que influyen en esta son:

- El grado de saturación del terreno.
- La temperatura.
- Porosidad de los materiales del subsuelo y forma de los poros.

- La salinidad del fluido que se haya en los poros.
- El tipo de roca.
- Los procesos geológicos que afectan los materiales.
- La presencia de materiales arcillosos con alta capacidad de intercambio catiónico.

Es precisamente esta estrecha relación entre la resistividad eléctrica y el grado de saturación del terreno, lo que permite utilizar estos métodos de resistividad, en la búsqueda de focos de filtración de agua en el subsuelo. En este sentido, incrementos del contenido en agua del terreno provocan disminuciones de la resistividad.

#### 4.4. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL MÉTODO GEOELÉCTRICO

La siguiente figura ilustra el principio fundamental de la medida de resistividad del subsuelo, el cual consiste en inyectar una corriente eléctrica continua a través de los electrodos A y B, determinándose la diferencia de potencial que existe entre el par de electrodos M y N.

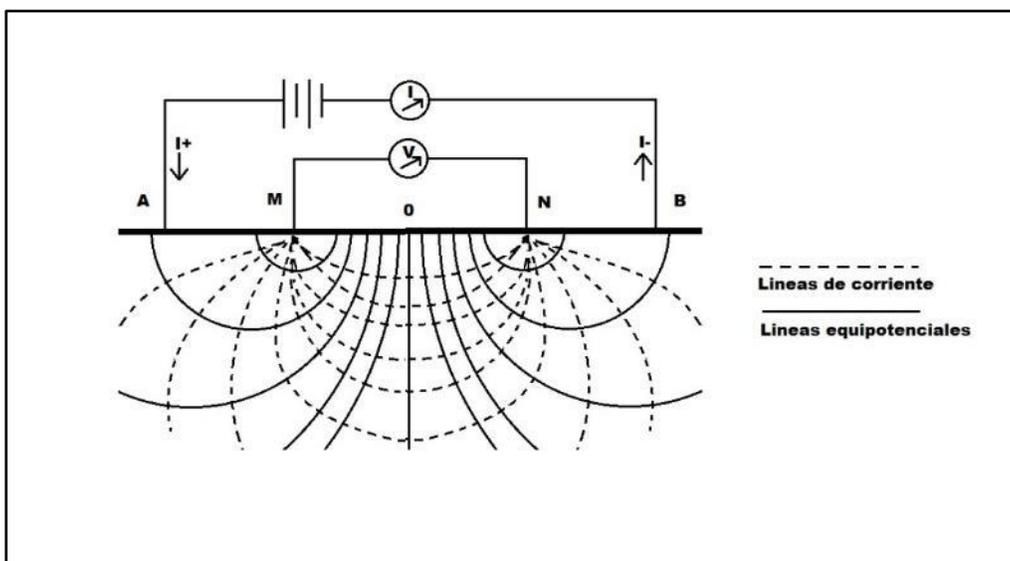


Figura 4. Esquema básico de dispositivo para determinar la resistividad eléctrica del subsuelo

Para un medio homogéneo de resistividad, la diferencia de potencial es (Orellana, 1982)

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right) \quad (4)$$

Donde AM, AN, BM, BN son las distancias entre los electrodos. La resistividad viene dada por la ecuación:

$$\rho = g \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

Donde:

$$g = 2\pi \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (6)$$

Y g es un factor geométrico que depende del arreglo de los electrodos.

#### 4.5. DISPOSITIVOS LINEALES

Los electrodos de inyección de corriente A y B y los de medición M y N se disponen alineados, de acuerdo a las configuraciones propuestas por Schlumberger y Wenner (Auge, 2008)

- **Configuración Schlumberger.** Es un dispositivo simétrico que cumple con la condición de que la distancia que separa a A y B debe ser mayor o igual a 5 veces la distancia entre M y N.

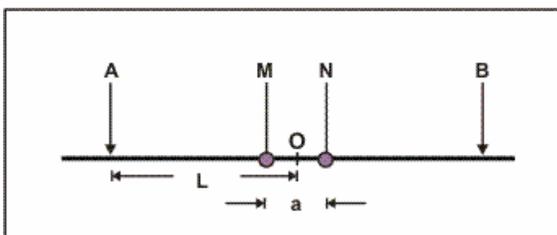


Figura 5. Dispositivo Schlumberger

Los valores de resistividad aparente se representan en función de  $AB/2$  y la constante geométrica es:

$$g = \frac{\pi}{4MN} (AB^2 - MN^2) \approx \frac{\pi L^2}{a} \quad (7)$$

- **Configuración Wenner.** Es un dispositivo simétrico en los que los electrodos permanecen siempre equiespaciados.

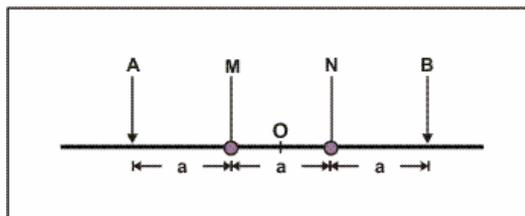


Figura 6. Dispositivo Wenner

La constante geométrica para el dispositivo Wenner es:

$$g = 2\pi a \quad (8)$$

- **Configuraciones dipolares.** En esta disposición los puntos de los electrodos AB y MN se ubican mucho más cerca de la distancia que los separa. Las configuraciones ecuatoriales y la axial son las más frecuentes entre las de este tipo.

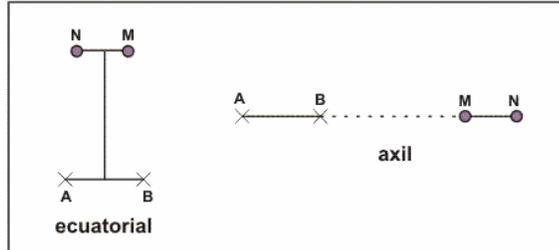


Figura 7. Dispositivos dipolares.

#### 4.6. EQUIPO DE REGISTRO

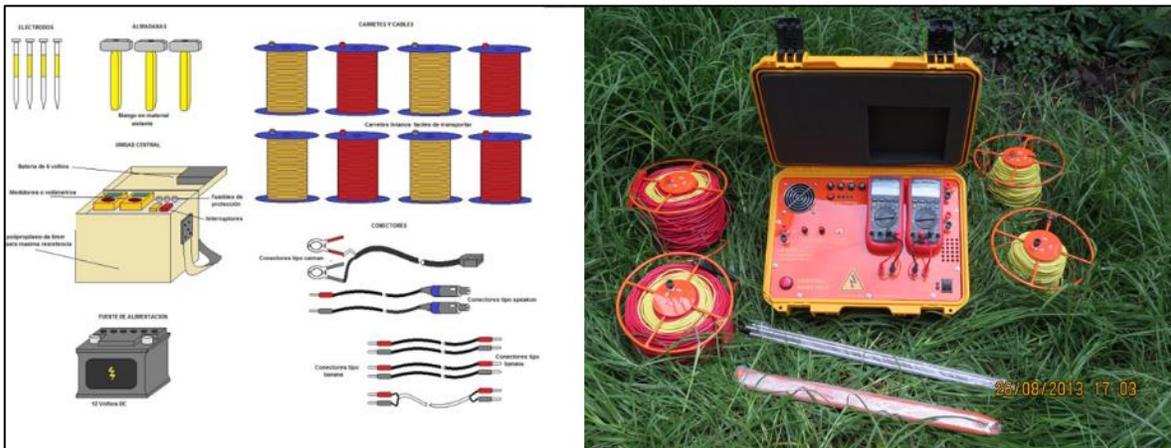


Figura 8. Equipo de Registro Subsuelo3D

#### Especificaciones Técnicas:

- Potencia de salida: 800 w máximo.
- Voltaje de salida: 200 V máximo.
- Corriente de salida: 4 A máximo.
- Capacidad de electrodos: 4 A, B, M, N.
- Señal de salida: DC.

#### Características Generales:

- Dimensiones: 14 x 21 x 27 cm.

- Peso: 8.5 Kg.
- Fuente de poder: 12 VDC
- Temperatura de operación: -0 a + 40 °C
- Display: Pantalla multímetros UNI-T REF. UT33C.
- Resistente a golpes: carcasa en polietileno de 6 mm.

Accesorios:

- 34 electrodos.
- 2 tramos de cable con longitud máxima de 100m de cable AWG 00 c/u.
- Cables y conectores de adquisición.
- Software de procesamiento: IPI2Win.

**5. CRONOGRAMA**

El presente cronograma (Tabla 4) fue aprobado por el interventor de la CAR, ingeniero Rómulo Camacho Ch., para este proyecto.

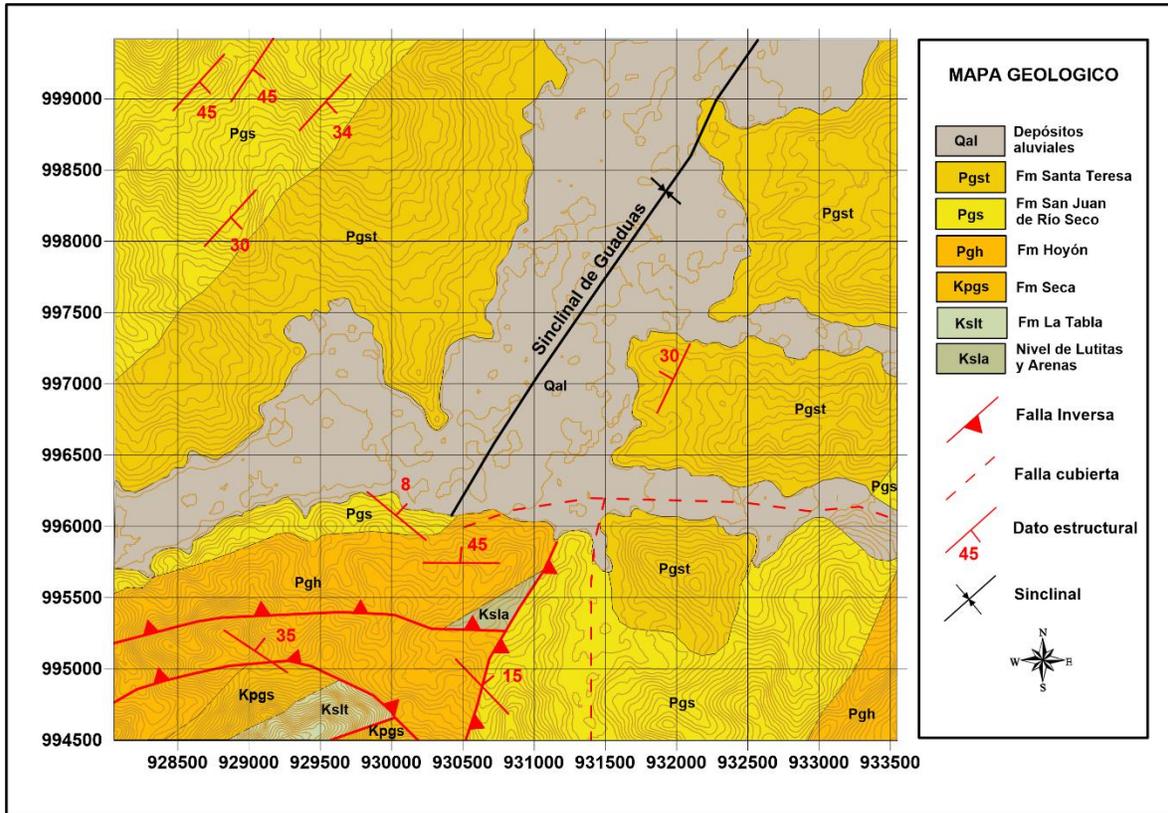
**Tabla 4: Cronograma de trabajo para el contrato 1533 de 2016.**

ACTIVIDAD	SEM. 1	SEM. 2	SEM. 3	SEM. 4	SEM. 5	SEM. 6	SEM. 7	SEM. 8
Identificación de Predios	X							
Selección de Predios	X							
Recopilación y análisis de información geológica e hidrogeológica del sector del predio		X						
Obtención del inventario de puntos de agua			X					
Realización de Sondeos Eléctricos Verticales			X					
Elaboración de Perfiles geológicos utilizando información pública (Secundaria).				X	X			
Determinar las formaciones geológicas con interés hidrogeológico.				X	X			
Procesar e interpretar los Sondeos Eléctricos Verticales				X	X			
Elaborar el mapa hidrogeológico para la zona de estudio. Escala 1:25.000.				X	X	X		
Elaboración de Secciones Geoeléctricas				X	X	X		
Elaboración del prediseño del pozo profundo (presupuesto en metros lineal – hasta hueco revestido).						X	X	
Materialización del BM (en MAGNA-SIRGAS).								X

Fuente: Subsuelo3D, 2017.

## 6. MARCO GEOLÓGICO

La zona de estudio se encuentra en el núcleo del sinclinal de Guaduas (Ingeominas, 2002), en donde afloran rocas Cenozoicas hacia el núcleo de la estructura y hacia los costados se encuentran formaciones Cretácicas. La complejidad estructural del área se refleja en la presencia de fallas inversas que afloran en superficie, entre las cuales se destaca la Falla de Guataquí (Figura 9).



**Figura 9: Detalle del mapa geológico para el área de la cabecera municipal de Jerusalén (Mod. Ingeominas, 2002)**

### 6.1. ESTRATIGRAFÍA

Las unidades encontradas en el área de estudio corresponden al Cretácico (Grupo Olini, Nivel de Lutitas y Arenas y Formación La Tabla), Paleógeno (Formación Hoyón, Formación San Juan de Río Seco y Formación Santa Teresa) y Cuaternario (Depósitos Recientes).

	UNIDAD	Litología Predominante	Espesor
	Cuaternario Qal	Arenas y Gravas	ND
	Fm. Santa Teresa Pgst	Arcillolitas Rojas	ND
	Fm. San Juan de Río Seco Pgs	Arenas y Arcillas Rojas	626 mts
	Fm. Hoyón Pgh	Arcillas, Conglomerados y Areniscas	1844 mts
	Fm. Seca KPgs	Lutitas Rojas y Violetas	115 m a 330 m
	Fm. La Tabla Kslt	Arenas finas cuarzosas	120 m
	Nivel de Lutitas y Arenas Ksla	Lutitas y areniscas	420 m
	Grupo Oliní Kso	Limonitas Silíceas y Areniscas Cuarzosas	59 m

**Figura 10: Columna Estratigráfica esquemática para la zona de trabajo (Mod. Ingeominas 2002)**

**6.1.1. Grupo Olini (Kso)**

Unidad del Cretácico Superior, definida al oriente del río Magdalena en dos secciones, una parte inferior (Fm. Lidita Inferior), compuestas por limolitas silíceas, ocasionalmente calcáreas, y capas delgadas a medias, onduladas a lenticulares. Este paquete inferior es suprayacido por areniscas finas cuarzosas (Fm. Olini Medio), con cemento silíceo, en capas delgadas a gruesas. Finalmente, el Grupo Olini tiene en su parte superior (Fm. Lidita Superior) una secuencia de lodolitas negras con

areniscas finas de cuarzo, con cemento silíceo (Ingeominas, 2002). De acuerdo con CAR & Hidrogeocol (1990), esta unidad puede constituir un acuífero de interés en el área de Pubenza-Tocaima, Cundinamarca, dado su grado de fracturamiento que puede resultar en porosidad y permeabilidad secundarias. Sin embargo, esta unidad no aflora en el área de estudio, donde debería estar a profundidades mayores a los 400 m.

6.1.2. Nivel de Lutitas y Arenas (Ksla)

Suprayeciendo el Grupo Olini, se ubica un nivel de Lutitas y Arenas (Figura 11), el cual llega a tener hasta 420 metros de espesor. Su principal afloramiento se encuentra en la vía de Girardot a Nariño (Cundinamarca) (Ingeominas, 1999).

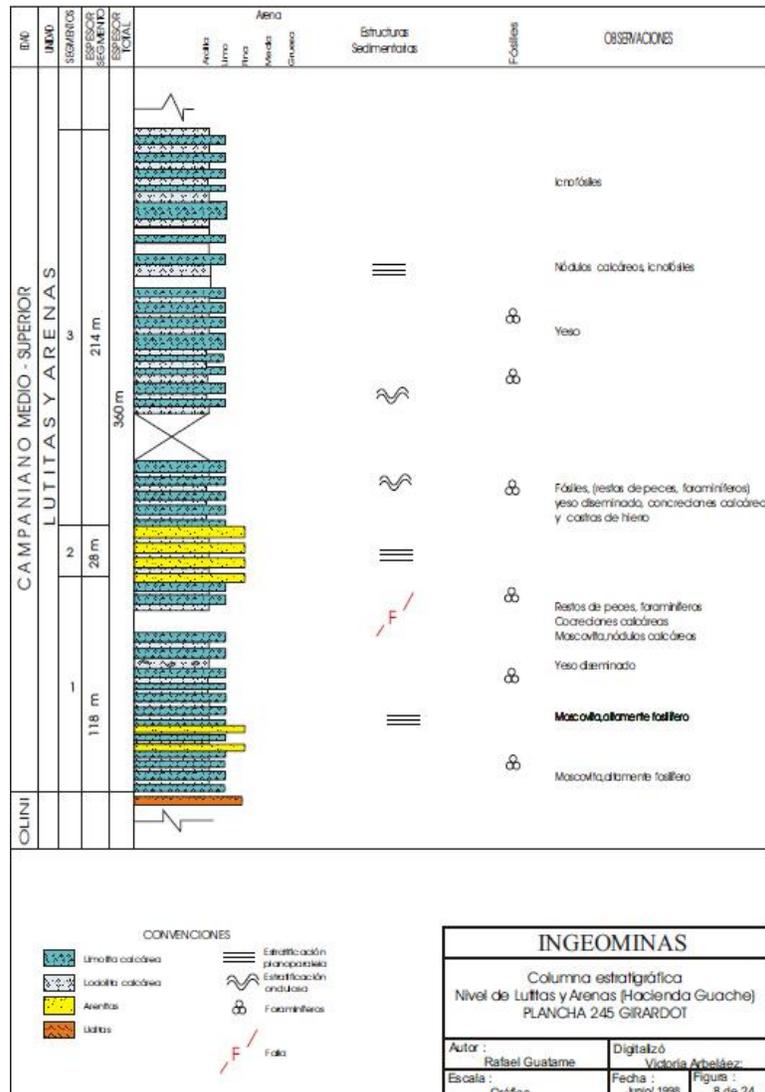


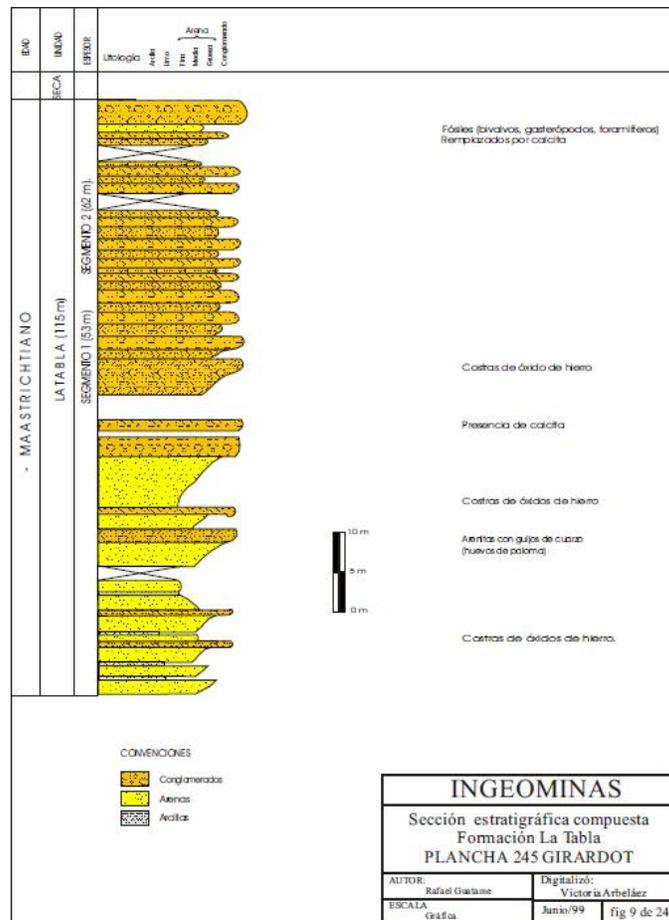
Figura 11 Columna estratigráfica del Nivel de Lutitas y Arenas Fuente: Modificado de INGEOMINAS, 2002

En el trabajo de Ingeominas (1999), se dividen en tres segmentos que suelen caracterizarse por ser lodolitas a areniscas de grano fino con cemento calcáreo. El Segmento 1, con 118 metros de espesor,

es una secuencia alternante de lodolitas y limolitas calcáreas. El Segmento 2, con 23 metros de espesor, corresponde a areniscas cuarzosas de grano fino a medio con cemento calcáreo. Finalmente, el Segmento 3, corresponde a 274 metros de espesor y se identifica como una alternancia de limolitas y lodolitas físilas calcáreas, ocasionalmente con concreciones calcáreas y costras de óxidos de hierro.

### 6.1.3. Formación La Tabla (Kslt)

Unidad Cretácica de 120 metros de espesor, que suprayace al Nivel de Lutitas y Arenas (Ksla), ocasionalmente se encuentra sobre el Grupo Olini cuando no se encuentran el Nivel de Lutitas y Arenas. En la zona de estudio, la Formación La Tabla se identifica como una secuencia monótona de arenas finas cuarzosas, con ocasionales capas delgadas de lodolitas laminadas (Ingeominas, 2002).



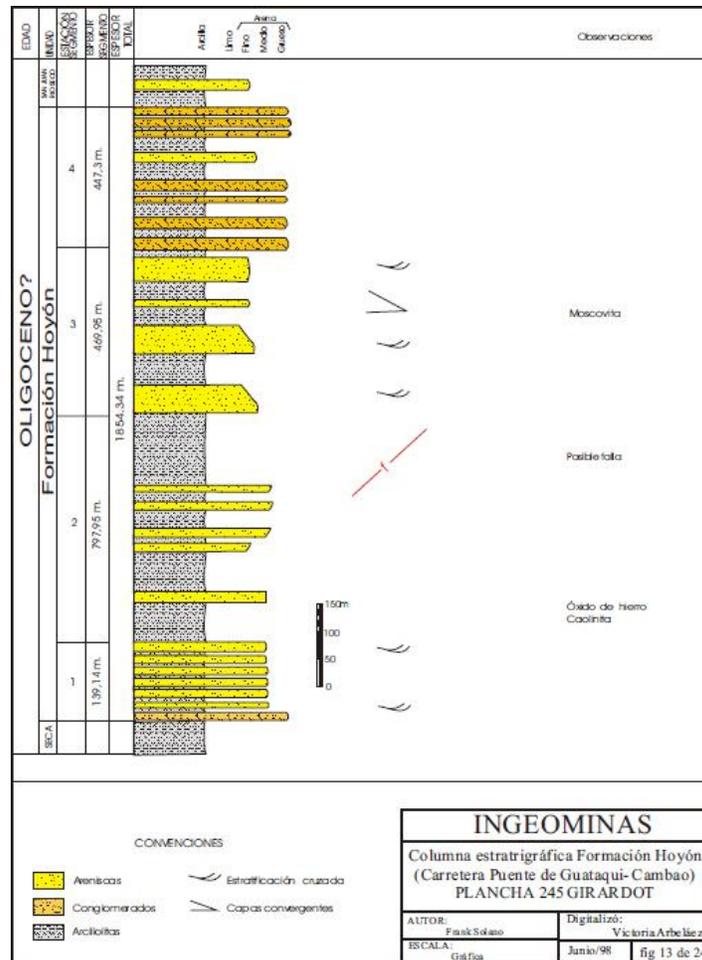
**Figura 12** Columna estratigráfica de la Formación La Tabla  
**Fuente:** Modificado de INGEOMINAS, 2002

### 6.1.4. Formación Seca (KPs)

Formación cretácica que corresponde a una sucesión de lutitas con colores rojos y violetas. Esta unidad suprayace la Formación La Tabla. En la zona de estudio se identifica que la parte inferior corresponde a areniscas finas cuarzosas en disposición de capas delgadas y gruesas. En el siguiente nivel se identifican lodolitas rojizas con material vegetal en capas gruesas. El tercer nivel está conformado por lodolitas grises con intercalaciones esporádicas de areniscas finas de cuarzo. El cuarto nivel tiene arcillolitas pardas y rojizas.

### 6.1.5. Formación Hoyón (Pgh)

Unidad Cenozoica definida por Raasveldt y Carvajal (1957, en Ingeominas, 2002), correspondiente a una secuencia de conglomerados y se puede correlacionar con el Grupo Gualanday (Figura 13). Esta unidad se diferencia en cuatro segmentos informales en la vía de Guataquí a Cambao (Ingeominas, 2002).



**Figura 13 Columna estratigráfica de la Formación Hoyón**  
 Fuente: Modificado de INGEOMINAS, 2002

Los cuatro segmentos (Ingeominas, 2002) se resumen así: Segmento 1, conformado por conglomerados de guijos de cuarzo lechoso, rocas metamórficas y esquistos. En la secuencia son esporádicos los niveles de arcillas rojizas. El espesor del Segmento 1 es de 131.19 metros.

El Segmento 2 corresponde a arcillolitas de colores rojizos y violáceos con intercalaciones de capas delgadas de areniscas de cuarzo de granos medios, ocasionalmente conglomeráticos. El espesor de este segmento es de 797,95 metros, el cuál puede ser aumentado por una falla (Ingeominas, 2002).

El Segmento 3 está compuesto a su base por areniscas principalmente, con algunas intercalaciones con arcillolitas. En las partes media y superior el segmento se vuelve arcilloso aunque también se identifica una alternancia con areniscas feldespáticas. El espesor observado es de 469,95 metros (Ingeominas, 2002).

Finalmente, el Segmento 4 (Ingeominas, 2002), está constituido por capas tabulares (entre 1 a 5 metros) de areniscas cuarzo feldespáticas con intercalación de conglomerados polimícticos. En la zona intermedia el segmento se vuelve arcilloso (arcillolitas moteadas) y hacia la parte superior se tienen nuevamente conglomerados y algunas cuarzoarenitas en lentes. El espesor es de 447.30 metros.

#### 6.1.6. Formación San Juan de Río Seco (Pgs)

Unidad Cenozoica areno-arcillosa que se ubica entre la Formación Hoyón y la Formación Santa Teresa en el núcleo del Sinclinal de Guaduas (zona de estudio). Está compuesta por tres miembros, los cuales litológicamente de techo a base son arenas y arcillas rojas, intercaladas con gravas y conglomerados. Luego lutitas y arenas y el último miembro corresponde a una sucesión de areniscas y lutitas. El espesor es de 626.89 metros (Ingeominas, 2002).

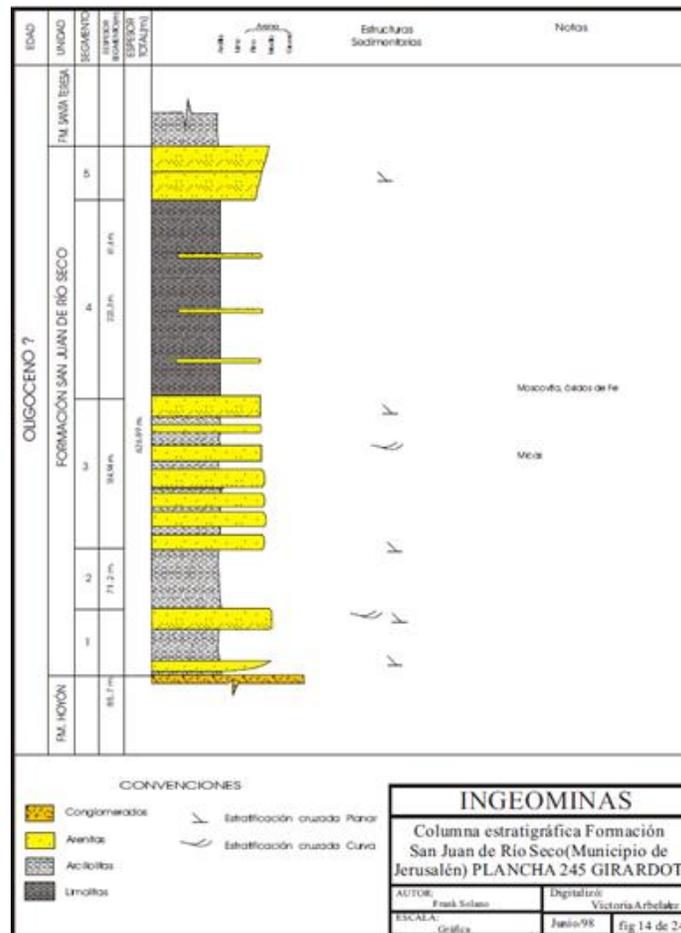
Segmento 1: este segmento se encuentra compuesto por paquetes de arenitas de cuarzo, de grano grueso a conglomeráticas, blanco amarillentas, feldespáticas, con estratificación cruzada planar. Intercaladas con paquetes gruesos de arcillolitas moteadas, grises, violáceas y amarillas; las cuales forman una topografía suave. Este segmento termina con una sucesión de capas gruesas de arenitas cuarzo feldespáticas blancas, de grano medio, bastante friables, con algunos niveles menores de arcillolitas moteadas. El espesor del segmento es de 85,7 m (INGEOMINAS, 2002).

Segmento 2: se encuentra representado casi en su totalidad por arcillolitas moteadas, violáceas, grises, amarillas y rojas, intercaladas con algunos niveles de lodolitas laminadas, grises y capas delgadas de arenitas de cuarzo, micáceas, de grano fino a medio, dentro de una matriz arcillosa. El espesor de este segmento es de 71,2m (INGEOMINAS, 2002).

Segmento 3: litológicamente se encuentra constituido por capas de hasta 1 m de arenitas de cuarzo, de grano fino a medio, moscovíticas, algo calcáreas, con estratificación cruzada, compactas, donde se desarrollan óxidos de hierro en superficie; esas arenitas se encuentran alternando con arcillolitas moteadas y limolitas silíceas, amarillas y rojizas, en capas gruesas a muy gruesas. El espesor de este segmento es de 184,94 m (INGEOMINAS, 2002).

Segmento 4: conformado por una secuencia monótona de lodolitas moteadas (amarillas y rojas), en afloramientos semicubiertos; ocasionalmente ocurren cuarzoarenitas, de grano fino, en lentes de hasta 1 m de espesor. El segmento tiene una morfología bastante suave y el espesor es de 223,45 m (INGEOMINAS, 2002).

Segmento 5: está compuesto por arenitas cuarzo feldespáticas de grano fino, blanco amarillentas, en capas de hasta 1m, con estratificación cruzada planar y algunas intercalaciones de capas delgadas y láminas de arcillas moteadas. El espesor del segmento es de 61,6 m (INGEOMINAS, 2002).



**Figura 14** Columna estratigráfica de la Formación San Juan de Río Seco  
**Fuente:** Modificado de INGEOMINAS, 2002

#### 6.1.7. Formación Santa Teresa (Pgst)

De Porta (1966 en Ingeominas, 2002) define esta unidad sedimentaria que suprayace la Formación San Juan de Río Seco, en la Vereda Santa Teresa del municipio de San Juan de Río Seco. Esta unidad aflora en los alrededores del municipio de Jerusalén, en el núcleo del Sinclinal de Guaduas.

La unidad está constituida por lodolitas de color rojizo con algunos niveles de cuarzo areniscas de grano fino. No se le ha reportado espesor en el área, debido a que está cubierta por los cuerpos cuaternarios.

#### 6.1.8. Cuaternarios

Los dos depósitos cuaternarios identificados en la zona de estudio corresponden a antiguas terrazas del río Seco y los depósitos cuaternarios aluviales actuales del mencionado río. La composición litológica de ambas unidades es de arenas y conglomerados no consolidados con baja cantidad de matriz arcillosa.

### 6.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona de estudio se encuentra en el núcleo del Sinclinal de Guaduas, producto del arrastre de la Barrera Guataquí – Girardot (Kammer y Mojica, 1995), la cual separa a las cuencas del Valle Superior del Magdalena y del Valle Medio de Magdalena. A continuación se realiza la explicación de la estructura y de la barrera.

#### 6.2.1. Sinclinal de Guaduas

El área de trabajo se localiza en el núcleo del Sinclinal de Guaduas, una estructura del piedemonte occidental de la cordillera Oriental. El sinclinal está limitado por el sistema de fallas de La Salina – Bituima y al occidente por el sistema de fallas de Cambao (Ingeominas, 2002).

El sinclinal corresponde a una estructura asimétrica, con un flanco oriental con altos buzamientos, mientras que el flanco occidental presenta ángulos moderados. El efecto de las fallas de la Salina – Bituima hacen que se ponga en contacto formaciones del Cretácico Superior con estratos del Paleoceno, efectuando un crecimiento en las unidades del Eoceno – Oligoceno (Gómez *et al.*, 2003 en Lamus *et al.*, 2013). Unido a esto, hay una serie de fallas transversales ENE que corta la secuencia y desplaza las unidades geológicas dentro del sinclinal.

#### 6.2.2. Barrera Girardot – Guataquí.

La Barrera de Guataquí – Girardot es interpretada como una serie de pliegues de despegue que implica el levantamiento de las partes internas de la cordillera Oriental y un posterior movimiento de los sedimentos cretácicos hacia cuencas adyacente (Kammer y Mojica, 1995). Sin embargo, Lemus *et al.* (2013) propusieron que este tipo de plegamientos están asociados a la Falla de Ibagué, siendo esta estructura la que separa las cuencas del Valle Superior del Magdalena y la del Valle Inferior del Magdalena.

## 7. HIDROGEOLOGÍA

En el área de trabajo, Ingeominas (2002) observó que las rocas sedimentarias tienen una mayor factibilidad para utilizar el recurso del agua subterránea. De las unidades mencionadas, aprovechando tanto porosidad primaria (intragranular) o secundaria (producto de fracturamiento) estarían la Formación La Tabla, el Nivel de Lutitas y Arenas y el Grupo Gualanday (que en la zona de estudio corresponde a la Formación Hoyón). También se pueden utilizar los depósitos cuaternarios, como aquel sobre el que se encuentra construida la cabecera municipal del municipio de Jerusalén.

### 7.1. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

El mapa de unidades hidrogeológicas presentes en la zona de estudio representa las diferentes formaciones que se pueden clasificar como acuíferas y no acuíferas aflorantes en la zona objeto de estudio. Estas unidades se pueden componer de una o varias formaciones geológicas de acuerdo a sus características físicas, capacidad de almacenamiento y transmisión de agua dentro de estas, para tal efecto se han agrupado en tres (3) categorías principales que dependen del tipo de porosidad de las rocas, de la ocurrencia o no de aguas subterráneas y del valor de la capacidad específica.

Estas categorías se definen como: sedimentos y rocas con flujo intergranular; rocas con flujos a través de fracturas, y en sedimentos y rocas con limitados recursos de aguas subterráneas, consideradas estas últimas prácticamente impermeables.

Para el área de estudio, se determinaron siete (7) unidades hidrogeológicas clasificadas de acuerdo con la metodología de las zonas hidrogeológicas homogéneas de Colombia utilizada por INGEOMINAS hoy Servicio Geológico Colombiano (SGC) (Tabla 5) deducidas del reconocimiento geológico e hidrogeológico en el área de influencia y del inventario de las fuentes de agua subterránea existentes. La definición de éstas se soporta en conceptos de permeabilidad e impermeabilidad de acuerdo a las características litoestratigráficas de cada formación geológica, las cuales se describen en la Figura 15 y la Tabla 5.

**Tabla 5: Clasificación general de las unidades hidrogeológicas**

CLASIFICACIÓN GENERAL UNIDADES HIDROGEOLOGICAS		
A. SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE INTERGRANULAR.		
CONVENCIONES	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO (l/s/m)
<b>A1</b>	Acuíferos continuos de extensión regional, de muy alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no	Muy Alta Mayor de 5.0

<b>CLASIFICACIÓN GENERAL UNIDADES HIDROGEOLOGICAS</b>		
	consolidados de ambiente fluvial. Acuíferos libres y confinados con agua generalmente de buena calidad química.	
<b>A2</b>	Acuíferos continuos de extensión regional, de alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente fluvial, glaciﬂuvial, marino y volcanoclástico. Acuíferos libres y confinados con agua de buena calidad química.	Alta Entre 2.0 y 5.0
<b>A3</b>	Acuíferos continuos de extensión regional de mediana productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidados de ambiente fluvial, glaciﬂuvial, marino y volcanoclástico. Acuíferos generalmente confinados con agua de buena calidad química.	Media Entre 1.0 y 2.0
<b>A4</b>	Acuíferos discontinuos de extensión local de baja productividad, conformados por sedimentos cuaternarios y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente aluvial, lacustre, coluvial, eólico y marino marginal. Acuíferos libres y confinados con agua de regular calidad química.	Baja Entre 0.05 y 1.0
<b>B. ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE Y A TRAVÉS DE FRACTURAS (ROCAS FRACTURADAS Y/O CARSTIFICADAS).</b>		
<b>CONVENCIONES</b>	<b>CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS</b>	<b>CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO (l/s/m)</b>
<b>B1</b>	Acuíferos discontinuos de extensión regional de muy alta productividad, conformados por rocas sedimentarias carbonatadas cretácicas, consolidadas de ambiente marino. Acuíferos generalmente confinados con agua de buena calidad química.	Muy Alta Mayor de 5.0
<b>B2</b>	Acuíferos continuos de extensión regional de mediana productividad, conformados por rocas sedimentarias y volcánicas piroclásticas de ambiente marino continental. Acuíferos libres y confinados con aguas de buena calidad química. Con frecuencia se encuentran fuentes termales asociadas a la tectónica.	Media Entre 1.0 y 2.0
<b>B3</b>	Acuíferos discontinuos de extensión regional y local, de baja productividad, conformados por rocas sedimentarias y volcánicas, terciarias a paleozoicas consolidadas, de ambiente marino y continental. Acuíferos generalmente confinados con aguas de buena calidad química.	Baja Entre 0.05 y 1.0
<b>C. SEDIMENTOS Y ROCAS CON LIMITADOS A NINGÚN RECURSO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.</b>		

CLASIFICACIÓN GENERAL UNIDADES HIDROGEOLOGICAS		
CONVENCIONES	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLOGICAS	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO (l/s/m)
<b>C1</b>	Complejo de sedimentos y rocas con muy baja productividad, constituidos por depósitos cuaternarios no consolidados de ambientes lacustres, deltaicos y marinos y por rocas sedimentarias terciarias a cretácicas poco consolidadas a muy consolidadas, de origen continental o marino. Almacenan aguas de regular a mala calidad química, aislada en las regiones costeras.	Muy Baja Menor de 0.05
<b>C2</b>	Complejo de rocas ígneo-metamórficas con muy baja a ninguna productividad, muy compactas y en ocasiones fracturadas, terciarias a precámbricas. Almacenan aguas de buena calidad química. Con frecuencia se encuentran fuentes termales asociadas a la tectónica.	Muy Baja a ninguna Menor de 0.05

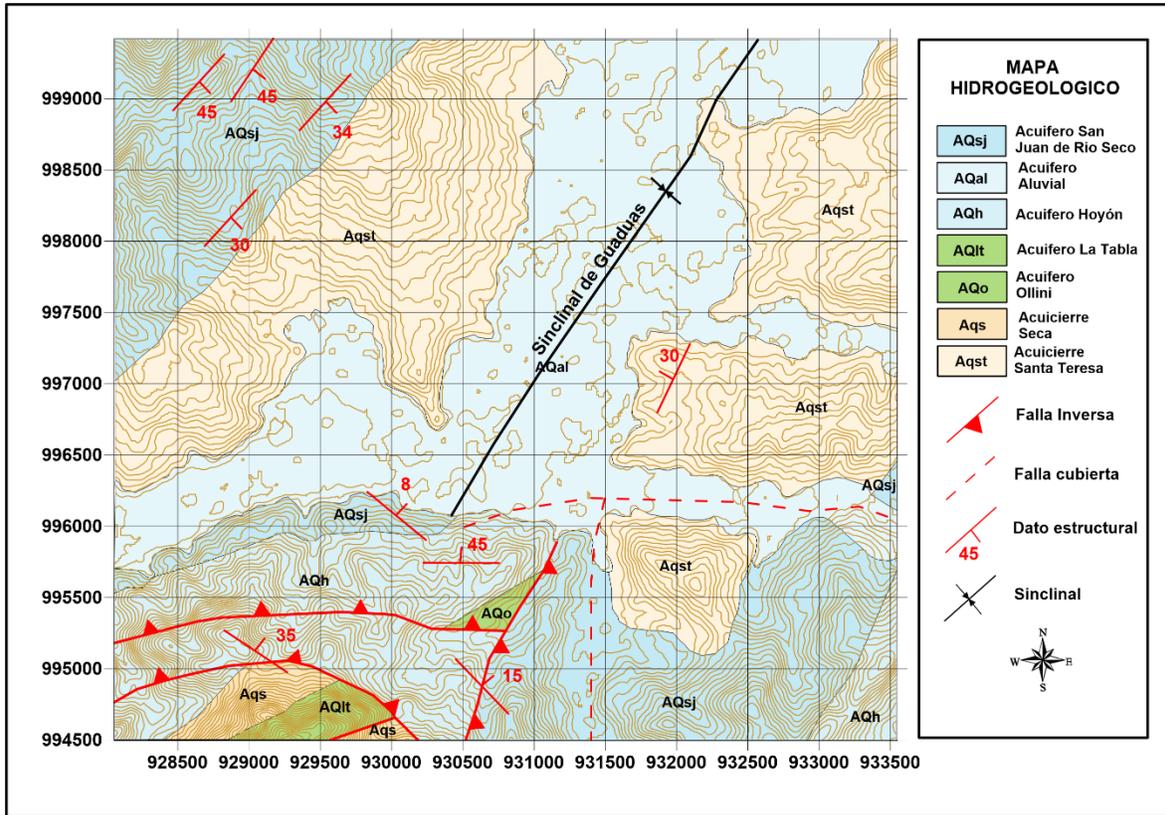
Fuente: Atlas de aguas subterráneas Colombia V2.0 Mapa un hidrogeológicas Plancha 5-09, 2000

**Tabla 6: Clasificación general de las unidades hidrogeológicas para el Área estudio**

POROSIDAD	PERMEABILIDAD	UNIDAD HIDROGEOLOGICA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLOGICAS	NOMEN.	UNIDAD GEOLÓGICA
Primaria	Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular	Acuífero San Juan de Rio Seco	Acuífero discontinuo de extensión regional de moderada productividad, conformado por rocas sedimentarias cenozoicas, las cuales corresponden a intercalaciones de conglomerados, areniscas y arcillolitas, esta unidad corresponde a un Acuífero semiconfinado a confinado con Capacidad Especifica alta (entre 2.0 y 5.0, tipo A2).	AQsj	Formación de San Juan de Río Seco
		Acuífero Aluvial	Acuíferos discontinuos de extensión local de moderada productividad, conformados por sedimentos cuaternarios de ambiente aluvial. Corresponde a Acuífero libre a semiconfinado con Capacidad Especifica baja (entre 0.05 y 1.0 tipo A4)	AQal	Depósitos Aluviales
		Acuífero Hoyón	Acuífero discontinuo de extensión regional de moderada productividad, conformado por rocas sedimentarias terciarias, las cuales corresponden a intercalaciones de conglomerados, areniscas y arcillolitas, esta unidad corresponde a un Acuífero semiconfinado a confinado con	AQh	Formación Hoyón

POROSIDAD	PERMEABILIDAD	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	NOMEN.	UNIDAD GEOLÓGICA
			Capacidad Especifica media (entre 1.0 y 2.0 tipo A3)		
Secundaria	Rocas con flujo a través de fracturas	Acuífero La Tabla	Acuífero discontinuo de extensión regional de moderada productividad conformado por rocas sedimentarias competentes de grano grueso, las cuales están fracturadas. Corresponde a un acuífero confinado con Capacidad Especifica media (entre 1. y 2.0 tipo B1)	Alt	Formación La Tabla
		Acuicierre Olini	Complejo de rocas con muy baja productividad, constituidos por rocas de grano fino, las cuales están fracturadas. Corresponde a un acuífero confinado con Capacidad Especifica media (entre 0.5 y 1.0 tipo B2)	AQo	Grupo Olini
Primaria	Sedimentos con limitado a ningún recurso de agua subterránea	Acuicierre Seca	Complejo de rocas con muy baja productividad, constituidos por rocas de grano fino, almacenan aguas de regular a mala calidad química. Capacidad Especifica Muy Baja (Menor de 0,05 tipo C1).	Aqs	Formación Seca
		Acuicierre Santa Teresa	Complejo de rocas con muy baja productividad, constituidos por rocas de grano fino, almacenan aguas de regular a mala calidad química. Capacidad Especifica Muy Baja (Menor de 0,05 tipo C2).	Aqst	Formación Santa Teresa

Fuente: Subsuelo 3D., 2017



**Figura 15: Mapa Hidrogeológico - Unidades Hidrogeológicas**  
 Fuente: Subsuelo3D, 2017.

## 8. RESULTADOS DE GEOELÉCTRICA

### 8.1. LOCALIZACIÓN SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

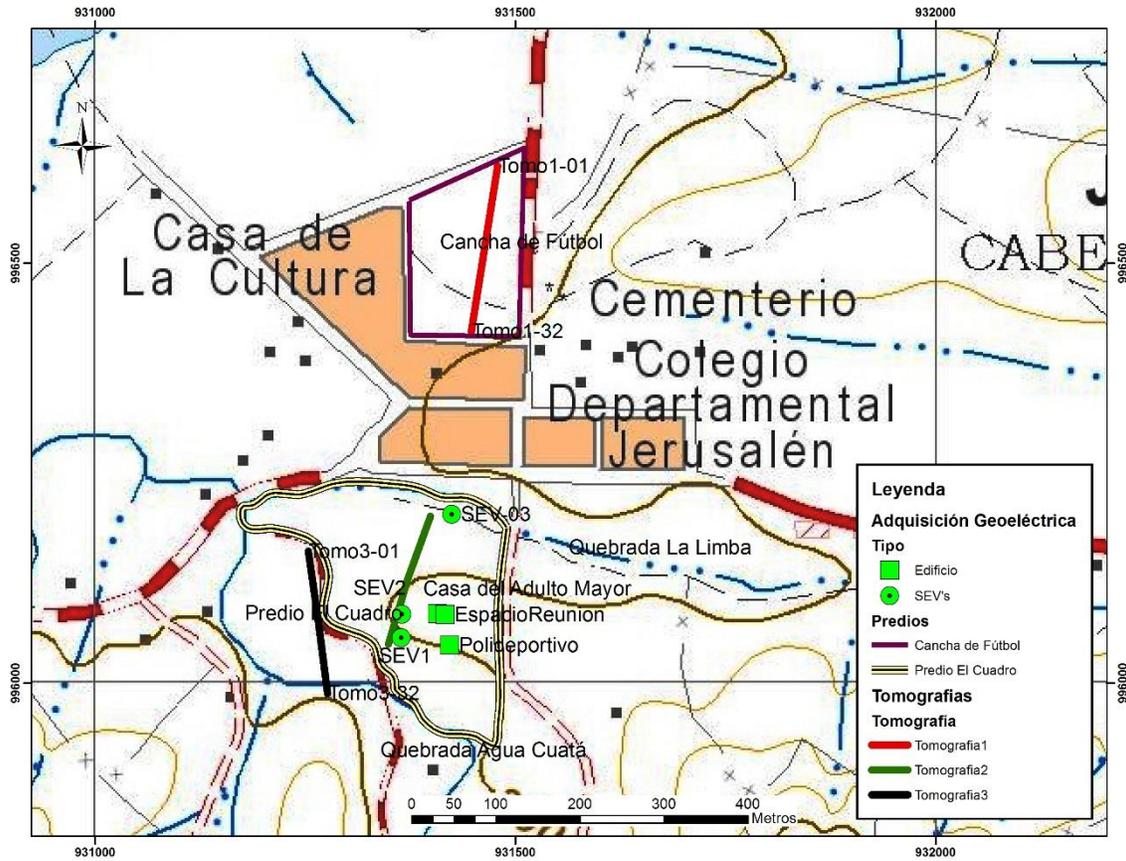
Para la revisión de la siguiente información se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Se manejaron coordenadas planas Magna-SIRGAS origen Bogotá (Tabla 7). Las coordenadas geográficas están dadas en WGS84.
- Los nombres de los sondeos eléctricos verticales (SEVs) corresponden a la posición de sur hacia el norte en el trabajo de campo. Las tomografías eléctricas fueron realizadas como apoyo a los sondeos eléctricos verticales (Figura 16).

**Tabla 7 Coordenadas de los SEVs realizados en el área de la cabecera municipal de Jerusalén.**

Punto	Tipo	Azimut	MAGNA SIRGAS - Bogotá		WGS 84	
			Este	Norte	Longitud	Latitud
SEV-1	SEV	108º	931364	996054	W 74.696010º	N 4.560250º
SEV-2	SEV	110º	931364	996082	W 74.696000º	N 4.560500º
SEV-3	SEV	108º	931424	996201	W 74.695470º	N 4.561580º
Tomografía 1	Inicio	10º	931478.6	996615.7	W 74.694980º	N 4.565330º
Tomografía 1	Final	10º	931447.3	996418.9	W 74.695260º	N 4.563550º
Tomografía 2	Inicio	15º	931398.7	996198.6	W 74.695696º	N 4.561558º
Tomografía 2	Final	15º	931348.6	996046.6	W 74.696148º	N 4.560183º
Tomografía 3	Inicio	350º	931253.7	996156.8	W 74.697004º	N 4.561178º
Tomografía 3	Final	350º	931276.5	995987.7	W 74.696797º	N 4.559649º

Fuente: Subsuelo3D, 2017



**Figura 16: Localización de los Sondeos Eléctricos Verticales y Tomografías Eléctricas en el presente proyecto.**

**Fuente: Base topográfica IGAC. Modificado por Subsuelo3D, 2017.**

**8.2. SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES**

**8.2.1. SEV 1**

Coordenadas de la ubicación; Este 931364 Norte 996054, longitud AB 1,000 metros, AB/2 de 500 metros, con dirección 108º (Figura 17).

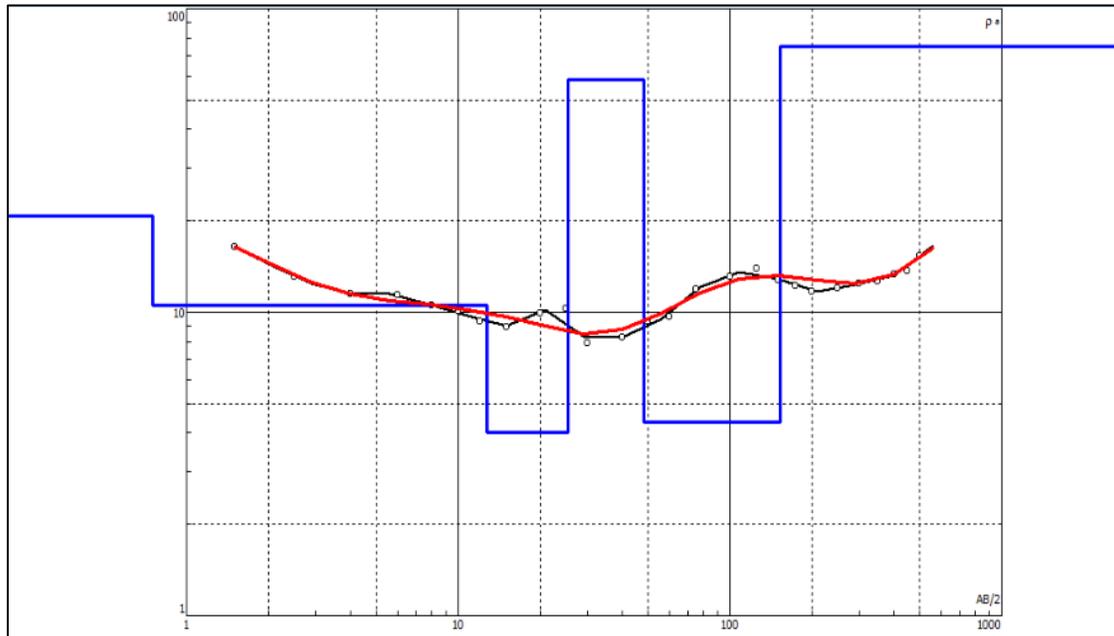


**Figura 17: Adquisición del Sondeo Eléctrico Vertical 1.**  
**Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017**

**Tabla 8: Sondeo Eléctrico Vertical 1 - Interpretación.**

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV)	CAPA	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	ESPESOR (m)	TOPE (m)	INTERPRETACIÓN
<b>SEV - 1</b>	1	20.1	0.75	0	Suelo (Cuaternario)
	2	10.7	14.6	0.75	Limos (Cuaternario)
	3	3.49	9.89	15.35	Arcillas (Cuaternario)
	4	39.8	31.4	25.24	Arenas Saturadas (Fm. Hoyón)
	5	6.36	96.36	56.64	Arcillas (Fm. Hoyón)
	6	75	≥190	153	Arenas Saturadas (Fm. Hoyón)
<b>MEDIDA TOTAL (m)</b>			<b>343</b>		

Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017



**Figura 18: Curva de Resistividad vs Profundidad para el SEV 1**

**Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017**

El modelo del SEV-1 está conformado por seis niveles de resistividades distintas. La información se encuentra resumida en la Tabla 8 y Figura 18. La primera capa corresponde a suelo (1) con una resistividad de 20.1 Ohm-m y espesor de 0.75 metros. La capa (2) con un espesor de 14.6 metros, tope a los 0.75 m y resistividad de 10.7 Ohm-m, se interpreta como Limos. La siguiente capa identificada en este modelo corresponde a Arcillas (3) con resistividad de 3.49 Ohm-m, tope a los 15.35 m y espesor de 9.89 metros. Luego se interpreta una capa de arenas saturadas (4) con una resistividad de 39.8 Ohm-m, espesor de 31.4 metros y tope a los 25.24 metros. La penúltima capa interpretada (5) corresponde a arcillas, con una resistividad de 6.36 Ohm-m, tope a los 96.36 metros y tope a los 56.64 metros se interpretan como arcillas de la Formación Hoyón. La última capa (6) corresponde a una capa con 75 Ohm-m de resistividad, tope a los 153 metros, y se identifica como arenas saturadas de la Formación Hoyón (Figura 19).

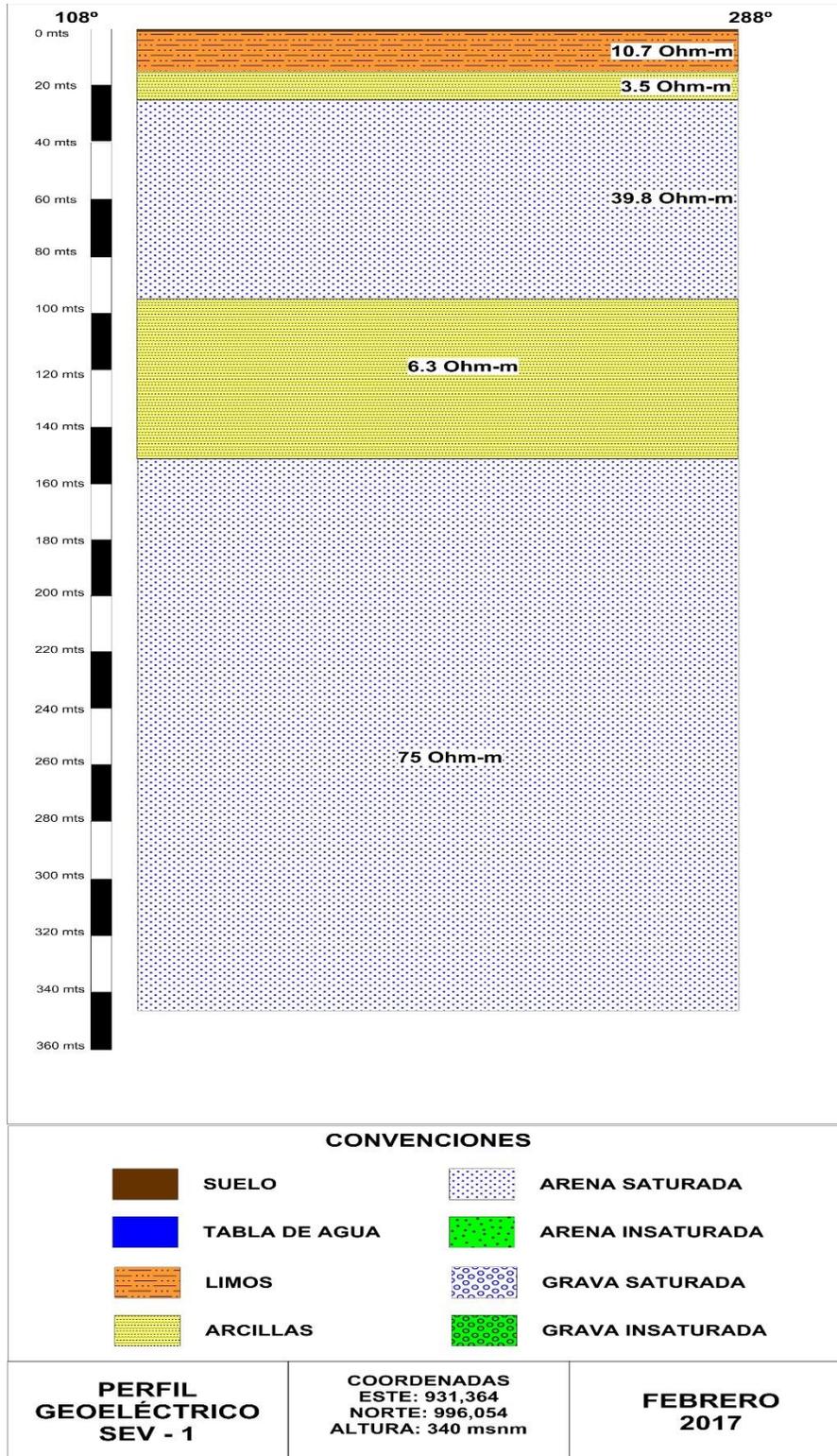


Figura 19 Perfil Geoelectrico SEV 1  
 Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017

8.2.2. SEV 2

Coordenadas de la ubicación: Este 931364, Norte 996082, longitud AB 1,000 metros, AB/2 de 500 metros con dirección 110º (Figura 20).

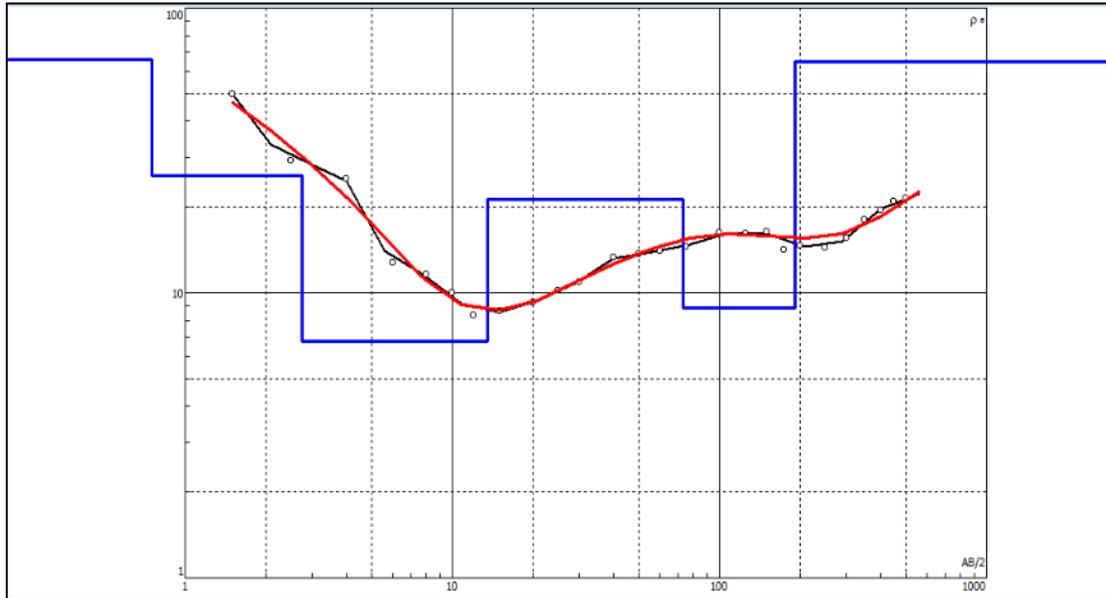


**Figura 20: Adquisición del Sondeo Eléctrico Vertical 2.**  
Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017

**Tabla 9: Sondeo Eléctrico Vertical 2 – Interpretación.**

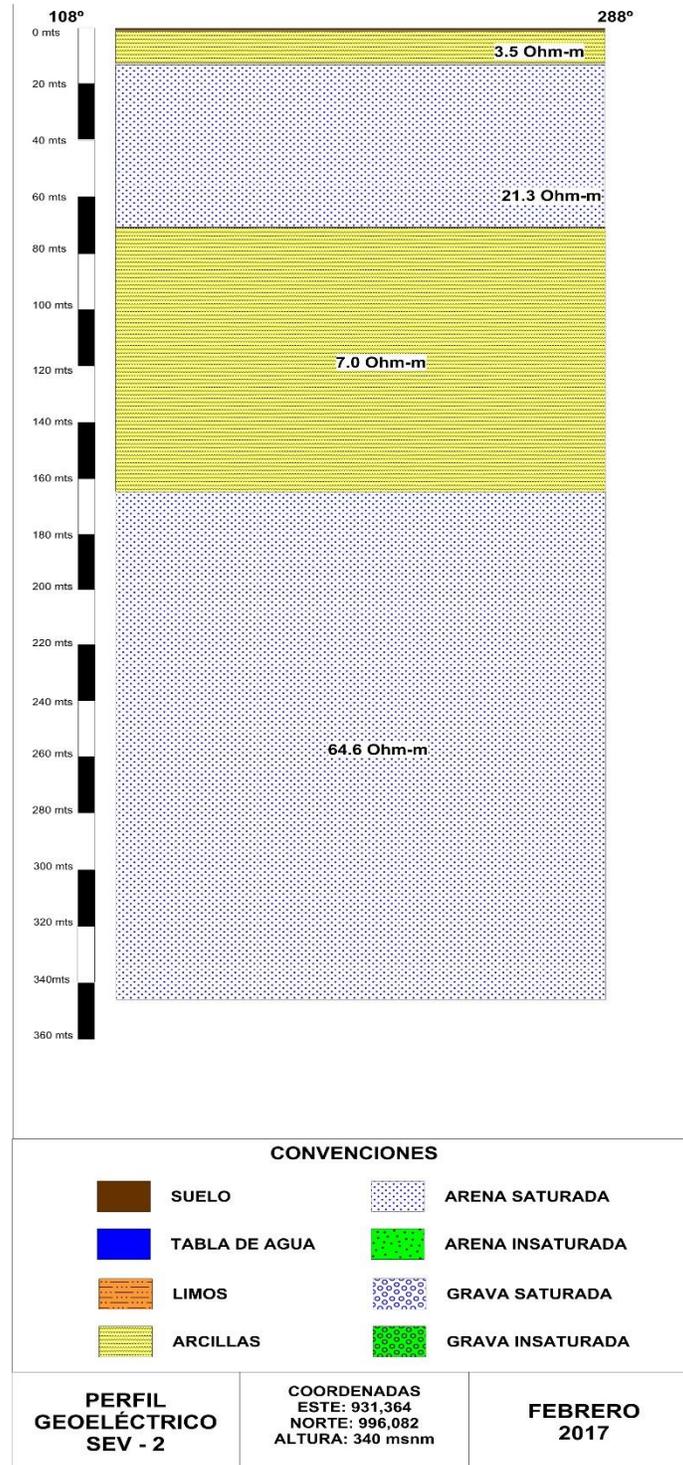
SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV)	CAPA	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	ESPESOR (m)	TOPE (m)	INTERPRETACIÓN
SEV - 2	1	65.6	0.75	0	Suelo
	2	25.8	1.99	0.75	Arenas Saturadas (Cuaternario)
	3	6.78	10.8	2.74	Arcillas (Cuaternario)
	4	21.3	59.4	13.54	Arenas Saturadas (Formación Hoyón)
	5	7.06	91.4	72.94	Arcillas (Formación Hoyón)
	6	64.6	≥180	164.34	Arenas Saturadas (Formación Hoyón)
<b>MEDIDA TOTAL (m)</b>			<b>344.34</b>		

Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017



**Figura 21 Curva de Resistividad vs Profundidad para el SEV 2**  
**Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017**

El modelo del SEV-2 está conformado por seis niveles de resistividades distintas. La información se encuentra resumida en la Figura 21 y en la Tabla 9. La primera capa corresponde a suelo (1) con una resistividad de 65.6. Ohm-m y espesor de 0.75 metros. La capa (2) con un espesor de 1.99 metros, tope a los 0.75 m y resistividad de 25.8 Ohm-m, se interpreta como arenas saturadas. La siguiente capa identificada en este modelo corresponde a Arcillas (3) con resistividad de 6.78 Ohm-m, tope a los 2.74 m y espesor de 10.8 metros. La capa (4) se interpreta como Arenas saturadas de la Formación Hoyón, con tope a los 13.54 metros, espesor de 59.4 metros y resistividad de 21.3 ohm-m. Le infrayace una capa (5) con tope a los 72.94 metros, espesor de 91.4 metros y resistividad de 7.06 ohm-m, interpretada como arcillas de la Formación Hoyón. La última capa interpretada (6) tiene tope a los 164.34 metros, tiene una resistividad de 64.6 Ohm-m, identificada como Arenas Saturadas de la Formación Hoyón (Figura 22).



**Figura 22: Perfil Geoelectrico SEV 2**

**Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017**

8.2.3. SEV 3

Coordenadas de la ubicación; Este 931424, Norte 996201, longitud AB 1,000 metros, AB/2 de 500 metros con dirección 108º (Figura 23: Elaboración del SEV 3



**Figura 23: Elaboración del SEV 3**

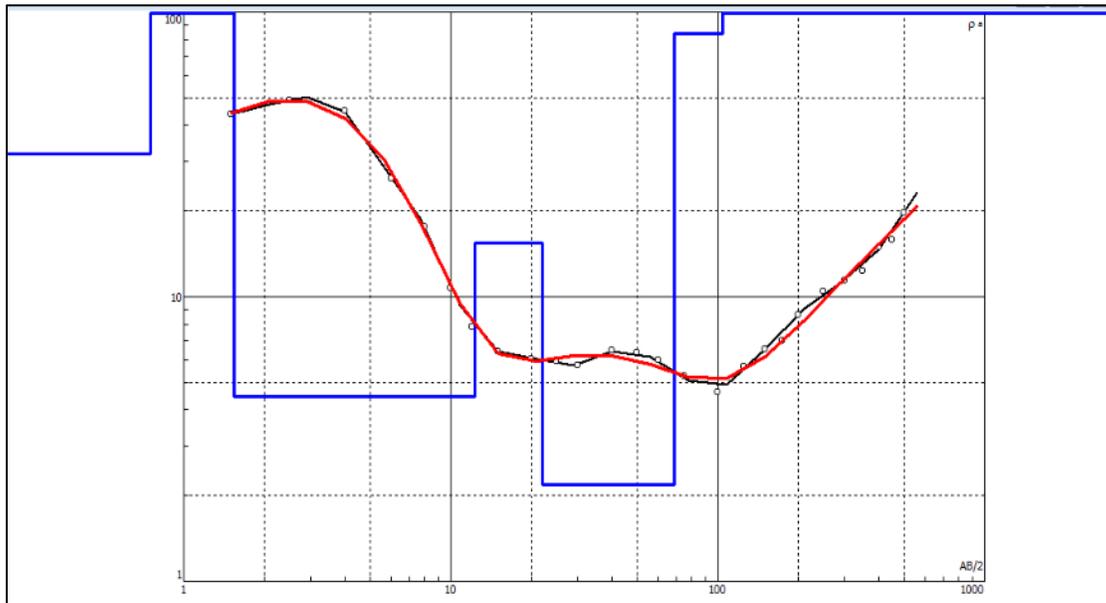
Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017

**Tabla 10: Sondeo Eléctrico Vertical 3 – Interpretación.**

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV)	CAPA	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	ESPESOR (m)	TOPE (m)	INTERPRETACIÓN
<b>SEV - 3</b>	1	31.9	0.75	0	Suelo
	2	154	0.8	0.75	Arenas Saturadas (Tabla de agua) (Cuaternario)
	3	4.45	10.7	1.55	Arcillas (Cuaternario)
	4	15.4	9.83	12.25	Limos (Cuaternario)
	5	2.8	46.7	22.08	Arcillas (Fm. Santa Teresa)

	6	84.3	35.7	68.78	Arenas Saturadas (Fm. Santa Teresa)
	7	245	≥200	104.48	Arenas Saturadas (Fm. Santa Teresa)
<b>MEDIDA TOTAL (m)</b>			<b>304.48</b>		

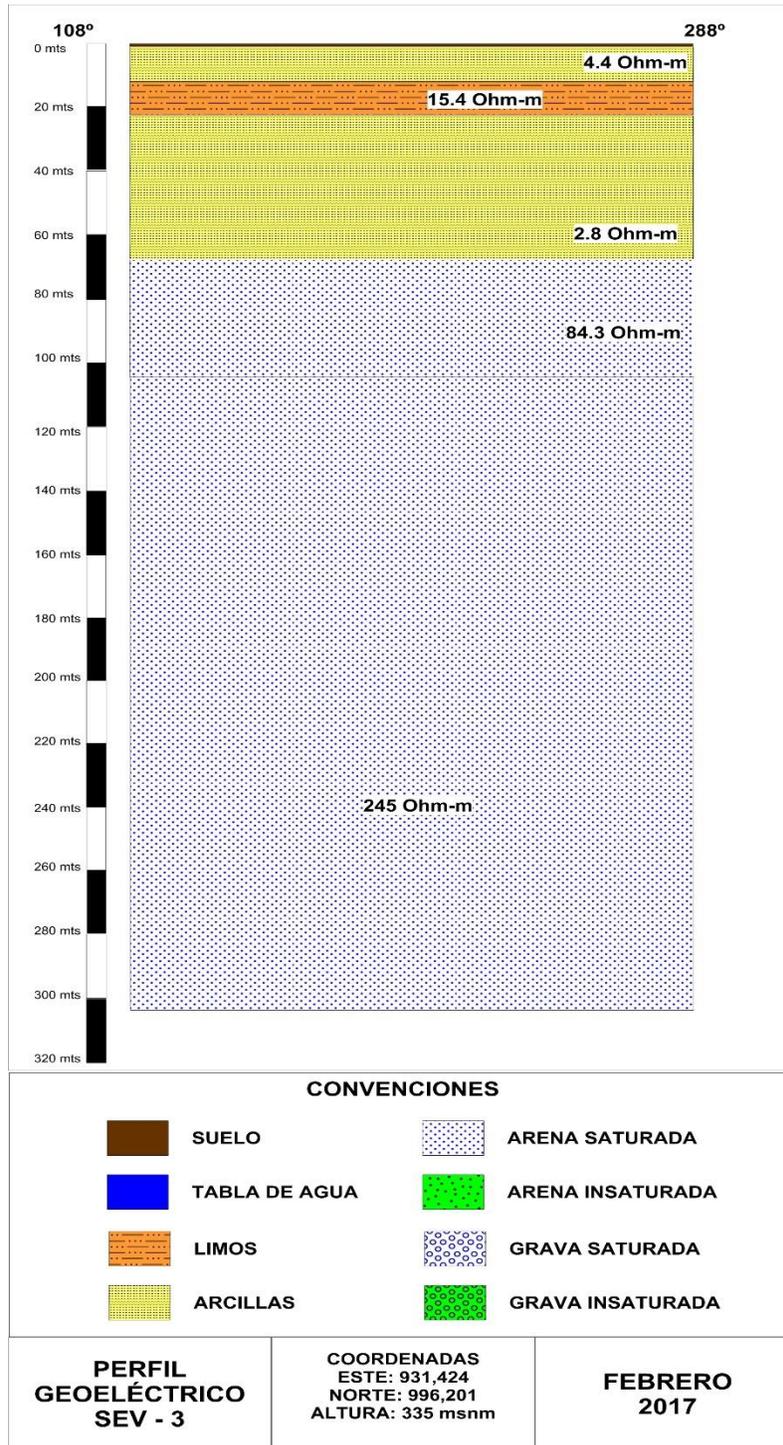
Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017



**Figura 24: Curva de Resistividad vs Profundidad para el SEV 3.**

Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017

El modelo del SEV-3 está conformado por siete niveles de resistividades distintas. La información se encuentra resumida en la Tabla 10 y Figura 24. La primera capa corresponde a suelo (1) con una resistividad de 31.9 Ohm-m y espesor de 0.75 metros. La siguiente capa (2), con una resistividad de 154 Ohm-m, espesor de 0.8 metros y tope a los 0.75 metros, corresponde a Arenas Saturadas (tabla de agua). La capa (3) con un espesor de 44.5 metros, tope a los 1.55 m y resistividad de 4.45 Ohm-m, se interpreta como Arcillas. La siguiente capa interpretada (4) corresponde a Limos con una resistividad de 15.4 Ohm-m, tope a los 12.25 metros y un espesor de 9.83 metro. La capa (5) con una resistividad de 2.8 Ohm-m, tope a los 22.08 metros y espesor de 46.7 metros, identificado con Arcillas de la Formación Santa Teresa. La siguiente capa (6) se interpreta como arenas saturadas de la Formación Santa Teresa, con una resistividad de 84.3 Ohm-m, tope a los 68.78 metros y espesor de 35.7 metros. La última capa (7), se interpreta como Arenas Saturadas de la Formación Santa Teresa, con tope a los 104.38 metros y resistividad de 245 Ohm-m. (Figura 25).

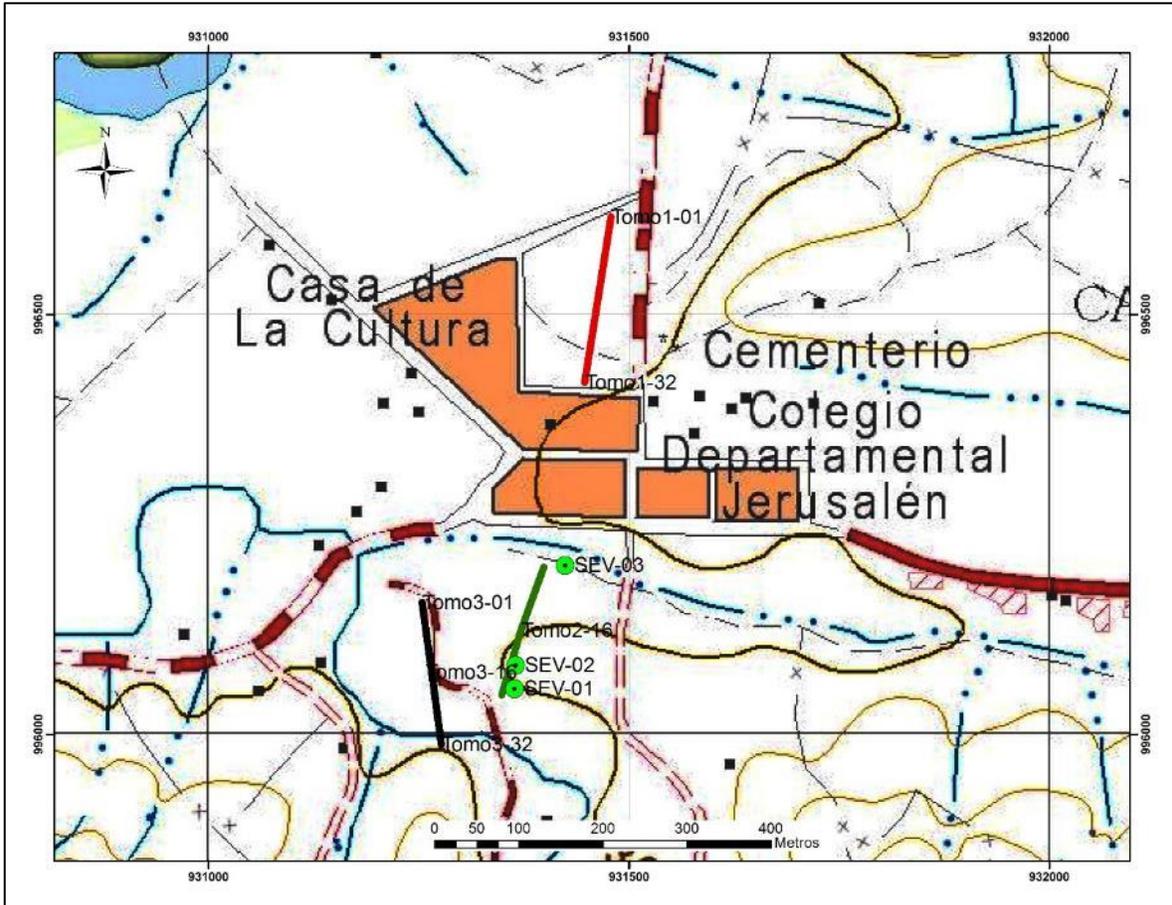


**Figura 25: Perfil Geoelectrico SEV 3**

**Fuente: SUBSUELO3D S.A.S., 2017**

### 8.3. PERFILES GEOELÉCTRICOS (TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS)

Se realizaron tres tomografías eléctricas a partir de perfiles eléctricos verticales, teniendo en cuenta la complejidad tectónica de la zona, así como el contacto erosivo entre los depósitos cuaternarios y las unidades cenozoicas.



**Figura 26: Localización de los Sondeos Eléctricos Verticales y Tomografías Eléctricas en el presente proyecto.**

**Fuente: Base topográfica IGAC. Modificado por Subsuelo3D, 2017.**

A continuación se muestran los parámetros empleados durante la adquisición de datos (Coordenadas en Magna Sirgas - Bogotá):

**Tabla 11: Parámetros de adquisición por Perfil Geoeléctrico.**

Nombre Perfil Eléctrico	Electrodo 1		Electrodo 32		Long. (m)	Orientación
	COORDENADAS MAGNA SIRGAS Origen Bogotá					
	Este	Norte	Este	Norte		
LÍNEA 1 Cancha	931478.6	996615.7	931447.3	996418.9	201.5	10
LÍNEA 2 El Cuadro	931398.7	996198.6	931348.6	996046.6	170.5	15
LÍNEA 3 El Cuadro	931253.7	996156.8	931276.5	995987.7	186	350

Fuente: Subsuelo3D, 2017.

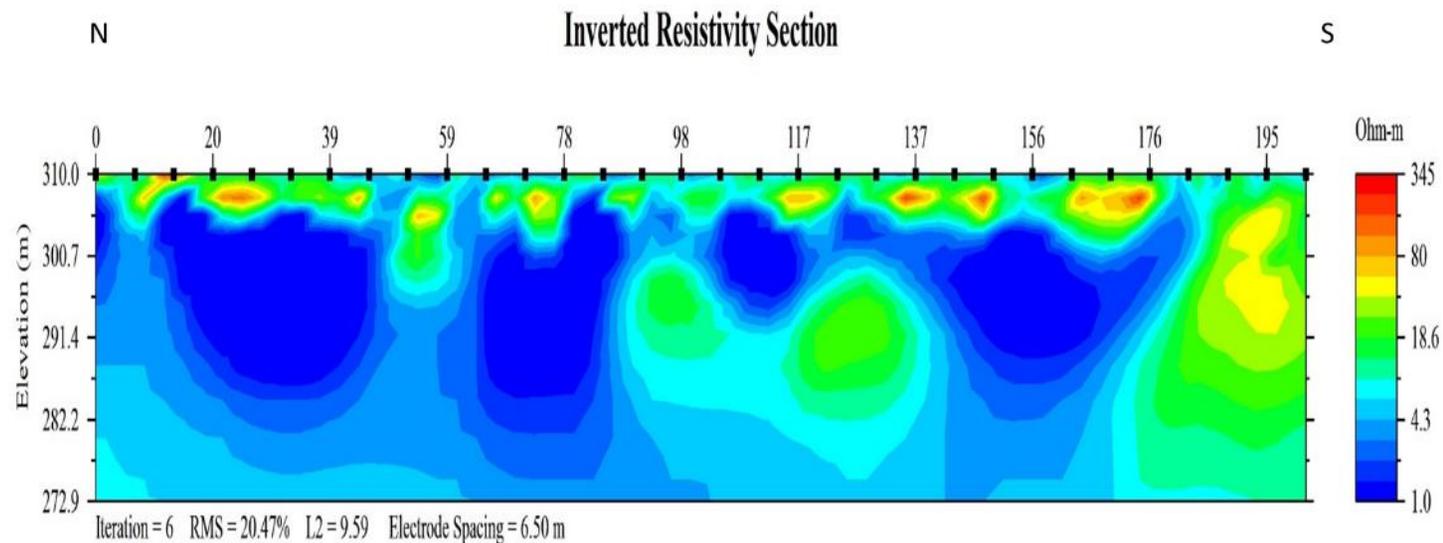
**Tabla 12: Referencia técnica de las tomografías eléctricas.**

<b>Proyecto:</b>	Geoeléctrica Terrestre – Municipio de Jerusalén (Cundinamarca)
<b>Sitios:</b>	Cancha de Fútbol, predio El Cuadro.
<b>Registro:</b>	
Adquirido por:	SUBSUELO3D S.A.S.
Formato de Grabación:	.txt , .dat
Tipo de arreglo:	Wenner
Apertura máx.	170.5, 186 y 201.5 metros
Separación Electrodo	5.5, 6 y 6.5 metros
Número de Electrodo	32
<b>Equipo:</b>	
Tipo:	GeoAmp 303: Equipo Geoeléctrica ASM-001: Módulo Multielectrodo de 32 Electrodo

Fuente: Subsuelo3D, 2017.

### 8.3.1. TOMOGRAFÍA 1 – CANCHA DE FÚTBOL

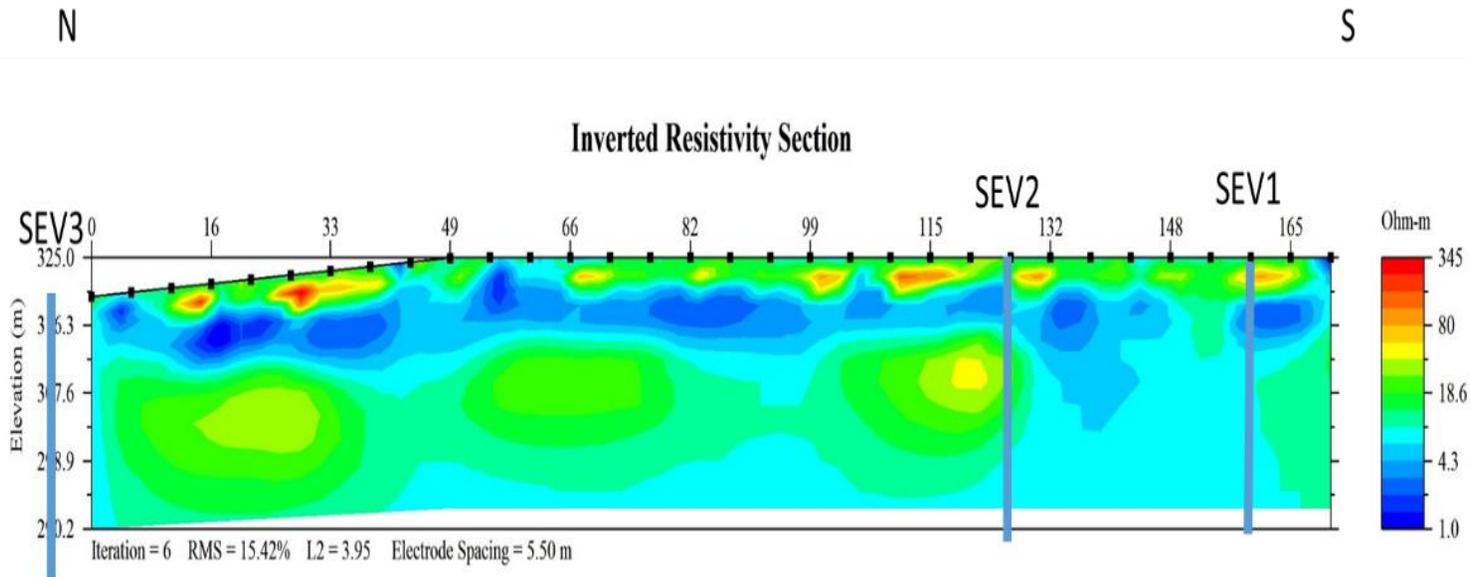
En la cancha de fútbol al norte del casco urbano de Jerusalén, se realizó una tomografía eléctrica con el fin de saber la disposición entre los depósitos cuaternarios (sobre los que se encuentra la cancha) y la Formación Santa Teresa. El depósito cuaternario es irregular y llena los vacíos sobre el contacto erosivo encima las arcillas de la Formación Santa Teresa (Figura 27).



**Figura 27: Tomografía Eléctrica 1, en la cancha de Fútbol al norte de Jerusalén. Se observan en la superficie zonas retrabajadas, mientras que en la zona baja se observan valores bajos (menores a 10 Ohm-m), los cuales se pueden asociar a las arcillas de la Formación Santa Teresa.**

8.3.2. TOMOGRAFÍA 2 – PREDIO EL CUADRO

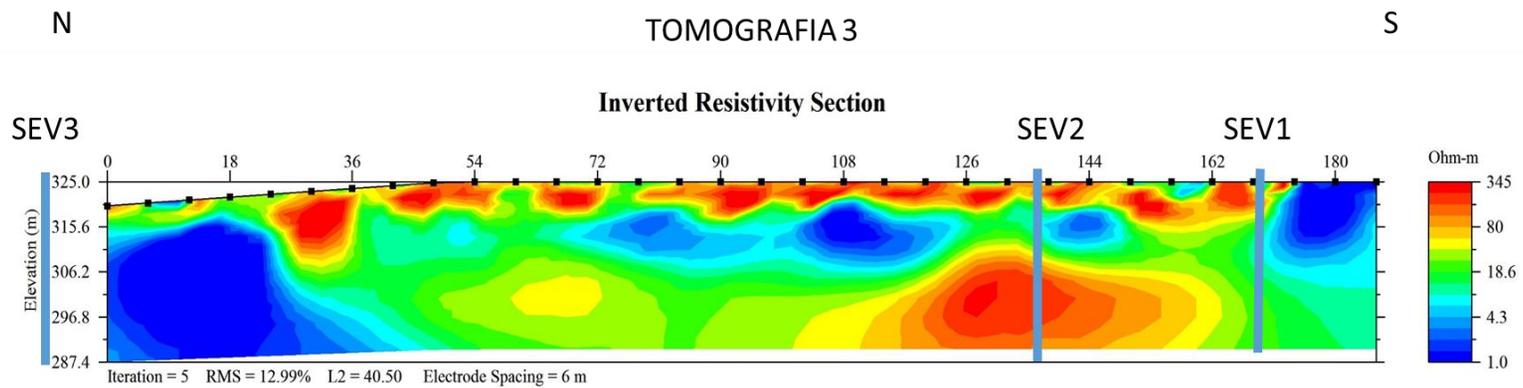
Esta tomografía eléctrica fue realizada con el objetivo de determinar las razones por las cuales las unidades superiores en los SEVs 1y 2 no son iguales en profundidad, a pesar de encontrarse a menos de 30 metros de separación. La respuesta está en que el contacto de los depósitos cuaternarios es erosivo, lo cual hace que se tengan mayores espesores en el SEV1 que en el SEV2. Otro objetivo de esta tomografía era observar la discontinuidad entre los SEVs 1 y 2 con el SEV3; sin embargo, debido a que hay poco espacio por el gavión de la quebrada La Limba, no se pudo llegar al SEV 3.



**Figura 28: Tomografía 2, en el predio El Cuadro. Este perfil geoelectrico une los 3 Sondeos Eléctricos verticales. Se observa la irregularidad del depósito cuaternario en la parte superior. Fuente: Subsuelo3D, 2017.**

### 8.3.3. TOMOGRAFÍA 3 – PREDIO EL CUADRO

Esta tomografía corresponde a la que se ubicó más al occidente. Su objetivo fue identificar la falla que separa las condiciones entre los SEVS 1 y 2 del SEV 3. En la Figura 36, al norte (izquierda en la imagen) se interpreta el contacto entre la Formación Santa Teresa (valores bajos de resistividad) con la Formación Hoyón (resistividades altas) al sur.



**Figura 29: Tomografía 3, predio El Cuadro. En la elipse roja se observa el contacto entre la unidad Formación Hoyón (al sur, con resistividades más altas) de la Formación Santa Teresa (con resistividades más bajas). Fuente: Subsuelo3D, 2017.**

## 9. INTERPRETACIÓN

Para la presente interpretación se tuvieron en cuenta los resultados de los tres sondeos eléctricos verticales y las dos tomografías eléctricas dentro del predio El Cuadro. Para ayudar en la interpretación de estos resultados se construyó un perfil geoelectrico (Figura 31) que integra los resultados geofísicos de este estudio.

El perfil geoelectrico revela dos características importantes: El contraste entre las curvas de los SEVs 1 y 2 con respecto al SEV3 y las diferencias en espesores de las primeras capas entre los SEVs.

Para realizar esta interpretación, el primer paso consistió en localizar la falla, identificada en la tomografía 3 (Figura 29), la cual separa los dominios estructurales del SEV3 con respecto a los SEV 1 y 2 (Figura 30). Esta falla corta las unidades cenozoicas, pero no parece afectar las unidades cuaternarias. La importancia de esta falla radica en que separa dos dominios hidrogeológicos contrastantes: Los SEVs 1 y 2 estarían en el dominio del Acuífero San Hoyón, mientras que el SEV-3 se encuentra en el dominio del Acuífero Santa Teresa. Esto quiere decir que el dominio en que se encuentren los SEVs 1 y 2 parece tener un límite natural en el flanco norte.

Igualmente, se determina un contacto erosivo entre los depósitos actuales y las unidades cenozoicas de la zona (Formación Hoyón y Formación Santa Teresa), de tal manera que los espesores de los sedimentos aluviales no son constantes y tienden a rellenar la paleotopografía de las unidades cenozoicas.

Posteriormente, utilizando la información Geoelectrica existente, se establece que el flujo del agua subterránea es hacia el Noreste, preferencialmente hacia el valle que forma la Quebrada La Limba (a la derecha en la Figura 31).

Se debe tener en cuenta la geometría del subsuelo, por tal motivo se realizó la construcción de una sección geológica (Figura 33) desde los puntos que aparecen en la Tabla 13. Al Suroriente de la sección se observa la unidad Formación Hoyón, la cual viene buzando hacia el NNW. La Formación Hoyón sirve como acuífero (Acuífero Hoyón) y viene recargándose desde el Suroriente. La sección geológica se encuentra cortada por una falla inferida, la cual separa a las arenas de la Formación Hoyón, al Suroeste, de las arcillas y arenas de la Formación Santa Teresa al noreste. En el perfil, la unidad Santa Teresa buza hacia el Noroccidente, hacia el núcleo del Sinclinal de Guaduas. El Cuaternario se depositó discordantemente sobre ambas unidades. Los depósitos Cuaternarios aluviales fueron traídos por las quebradas Agua Cuatá (Sur, a la izquierda en el perfil) y la Limba (Norte, derecha en el perfil). Esta sección geológica revela una disposición estructural favorable a la recarga de las arenas de la Formación Hoyón, la cual sería perforada en el SEV 2.

Tabla 13: Coordenadas del Perfil Geológico.

Punto	Magna Sirgas Origen Bogotá		Dirección LAT
	Este	Norte	
A	931318	995946	108º
B	931464	996319	18º

Fuente: Subsuelo3D, 2017.

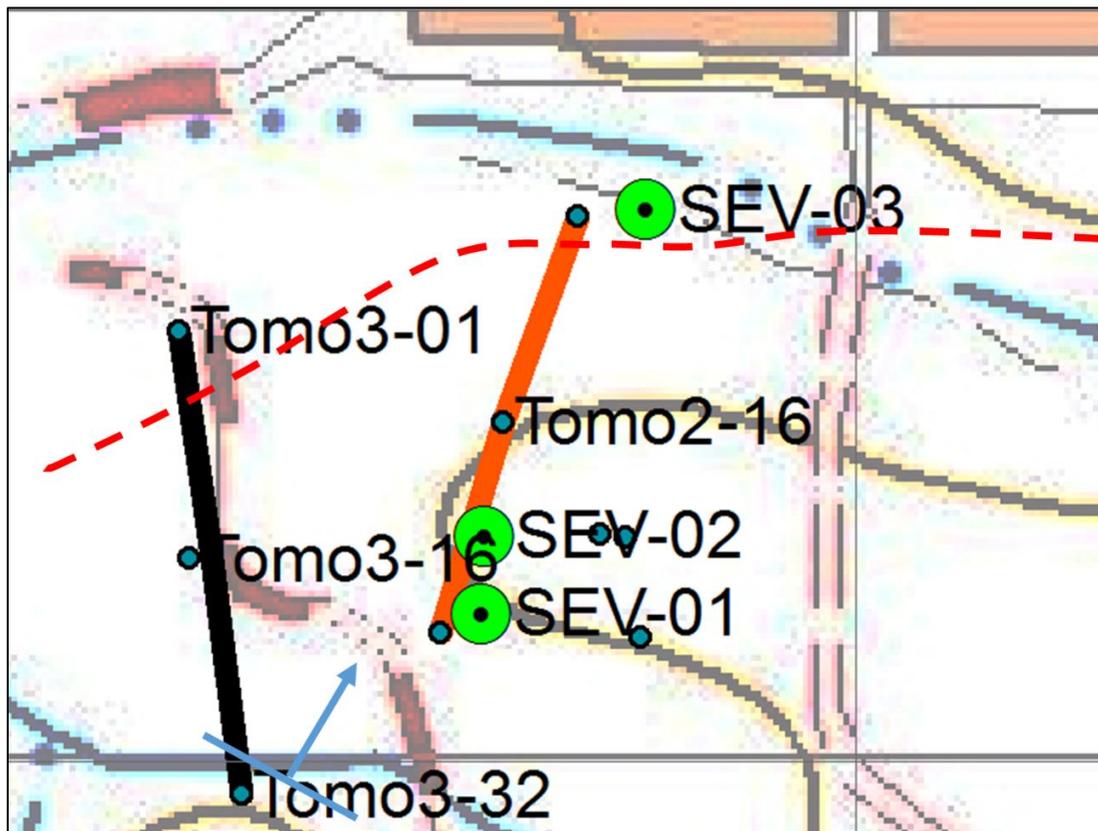


Figura 30: Falla interpretada a partir del estudio geoelectrico realizado en este trabajo. La flecha en azul corresponde a la dirección interpretada del flujo del agua subterránea.

Fuente: Subsuelo3D, 2017.

9.1. PERFIL ELÉCTRICO

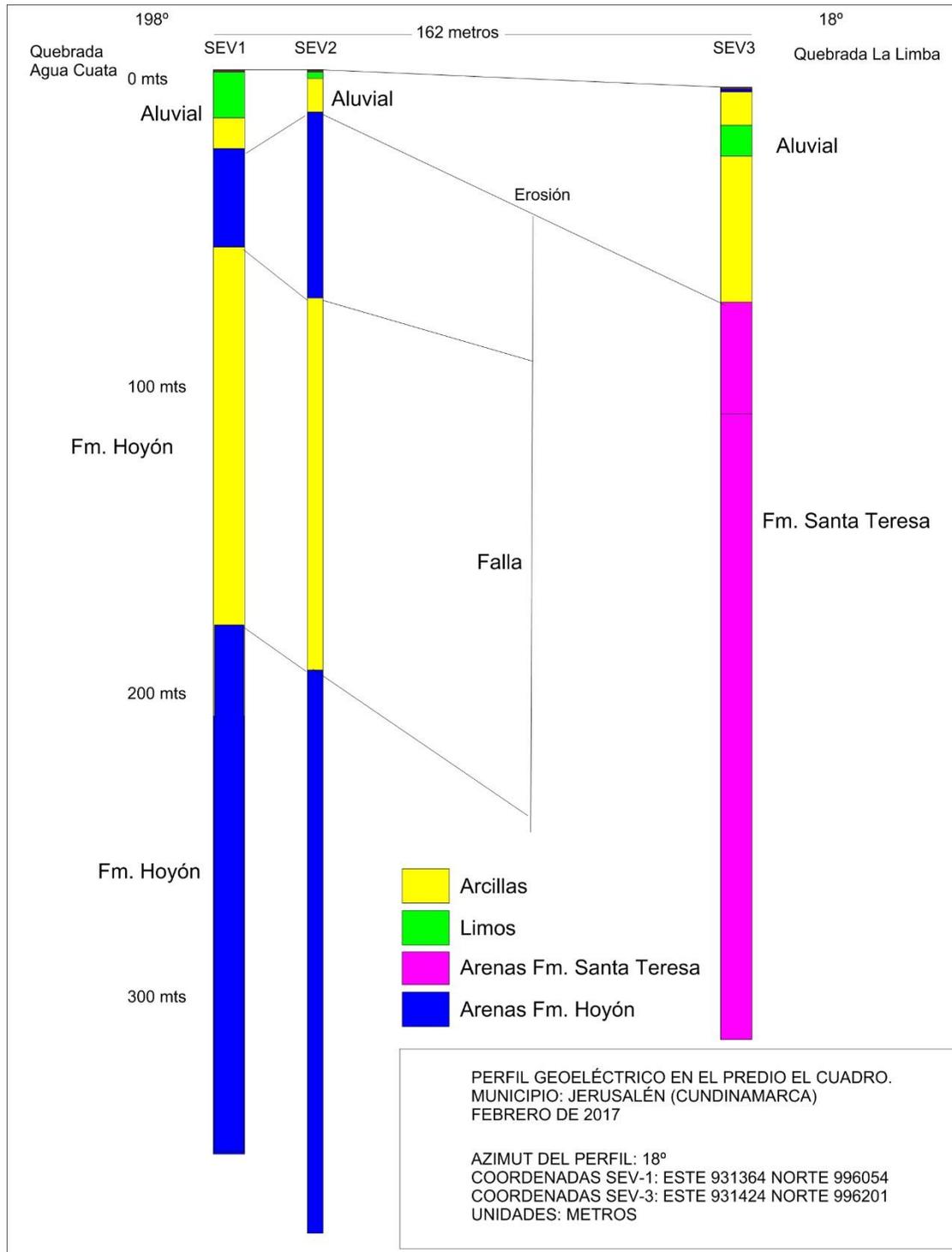
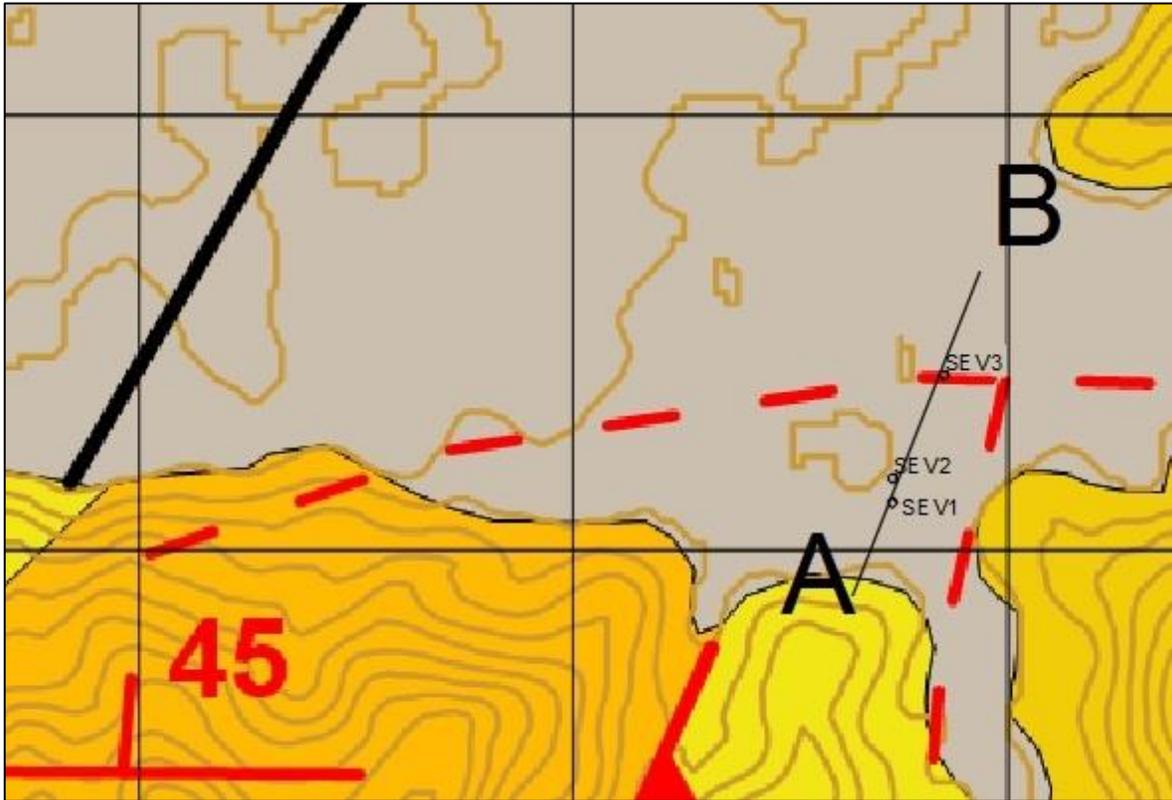
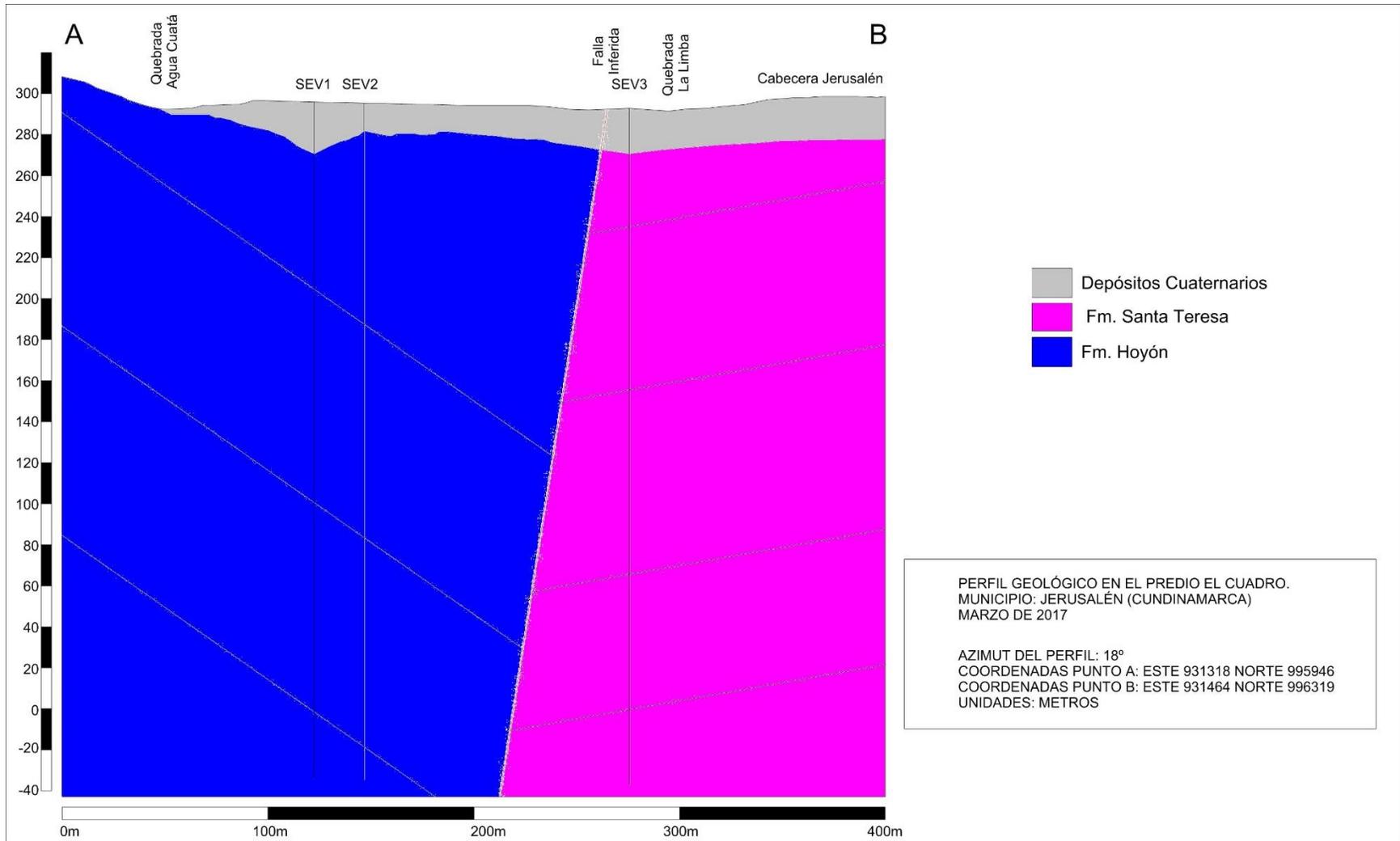


Figura 31: Perfil geoelectrico entre los Sondeos Eléctricos Verticales SEV-1, SEV-2 y SEV-3.  
Fuente: Subsuelo3D, 2017.



**Figura 32: Localización del Corte geológico realizado. Detalle del mapa geológico del área.  
Modificado de Ingeominas, 2002.**



**Figura 33: Perfil Geológico en el predio El Cuadro. Subsuelo3D SAS, 2017.**

**9.2. POROSIDADES**

Basados en el artículo de Lemus *et al.* (2013), se presentan las porosidades propuestas para las diferentes unidades geológicas en el área de estudio (predio El Cuadro, municipio de Jerusalén, Cundinamarca). La información se presenta en la Tabla 14.

**Tabla 14: Porosidades para las formaciones en la zona de estudio.**

Unidad	ÁREA	Tamaño de grano	Porosidad %
Formación Santa Teresa	San Juan de Río Seco W	Muy fino – Limo	2.22
Formación Santa Teresa	San Juan de Río Seco W	Fino a Medio	4.60
Formación Santa Teresa	San Juan de Río Seco W	Medio	7.69
Formación Santa Teresa	San Juan de Río Seco W	Muy fino	2.64
Formación Santa Teresa	San Juan de Río Seco W	Medio a grueso	8.03
Formación Santa Teresa	San Juan de Río Seco E	Medio a grueso	8.61
Fm. San Juan de Río Seco	San Juan de Río Seco W	Medio	0.55
Fm. San Juan de Río Seco	San Juan de Río Seco E	Fino a Medio	3.32
Fm. San Juan de Río Seco	San Juan de Río Seco E	Medio a Grueso	0.49
Fm. San Juan de Río Seco	Sinclinal Guaduas W	Grueso a muy grueso	18.0
Fm. San Juan de Río Seco	Sinclinal Guaduas E	Fino a medio	4.6
Fm. San Juan de Río Seco	Sinclinal Guaduas E	Medio	5.3
Fm. San Juan de Río Seco	Sinclinal Guaduas W	Medio a grueso	11.7
Fm. San Juan de Río Seco	Sinclinal Guaduas W	Medio a grueso	10.2
Fm. San Juan de Río Seco	Sinclinal Guaduas W	Fino a medio	4.4
Fm. Hoyón (superior)	San Juan de Río Seco E	Medio a grueso	9.09
Fm. Hoyón (superior)	San Juan de Río Seco E	Muy grueso – conglomerático	2.67
Fm. Hoyón (medio)	San Juan de Río Seco E	Grueso a muy grueso	7.23
Fm. Hoyón (inferior)	San Juan de Río Seco W	Fino	2.38
Fm. Hoyón (inferior)	San Juan de Río Seco E	Grueso a muy grueso	6.85

Fuente: Modificado de Lemus *et al.* (2013)

Utilizando la información de Lemus *et al.* (2013), se generó la Tabla 15.

**Tabla 15: Porosidades utilizadas para este estudio.**

Formación	Promedio de Porosidad %	Varianza de Porosidad %	Máx. de Porosidad %	Mín. de Porosidad %
Formación Santa Teresa	5.63	8.10	8.61	2.22
Fm. San Juan de Río Seco	6.51	33.01	18.00	0.49
Fm. Hoyón	5.64	8.84	9.09	2.38

---

<b>Total general</b>	<b>6.03</b>	<b>18.09</b>	<b>18.00</b>	<b>0.49</b>
----------------------	-------------	--------------	--------------	-------------

Fuente: Subsuelo3D, 2017, modificado de Lemus *et al.* (2013).

---

## **10. CONSTRUCCIÓN DEL POZO PROFUNDO**

En este capítulo se presentan las especificaciones técnicas que se deben seguir para la construcción del pozo.

### **10.1. MÉTODO DE PERFORACIÓN**

El pozo exploratorio será perforado usando el método rotatorio, con un equipo rotatorio convencional capaz de perforar hasta un diámetro de 18" y llegar a una profundidad de 300 metros utilizando bentonita como lodo de perforación.

### **10.2. DIÁMETROS DE PERFORACIÓN**

Los trabajos de perforación del pozo exploratorio serán efectuados utilizando brocas para roca con diámetro de 8 ½", hasta la profundidad de 260 metros.

### **10.3. LODOS DE PERFORACIÓN**

Para la preparación de los lodos de perforación se deberán usar lodos bentoníticos, de acuerdo a los problemas que se puedan presentar se debe usar aditivos tales como soda cáustica, quebracho, etc.

### **10.4. REGISTRO DE PERFORACIÓN**

El contratista será el responsable de llevar diariamente el registro exacto de todas las actividades desarrolladas, como tiempo de la perforación y la profundidad perforada. Así como también las pérdidas de flujo, pérdidas de viscosidad del lodo de perforación y todas contingencias presentadas.

Así mismo se deberá anotar detalladamente todas las observaciones, recomendaciones e instrucciones de la interventoría.

### **10.5. TOMA DE MUESTRAS DE ZANJA**

Se tomarán muestras del subsuelo a intervalos de cada metro de perforación o en cada cambio de Formación.

Las muestras deberán empacarse en bolsas de plástico o tela que deberán ser suministradas por el contratista.

La profundidad que se observe en el momento de recolección deberá anotarse claramente en todas las muestras recogidas, en el informe diario de pozo se anotará fecha de toma.

A muestras seleccionadas se deberá efectuar el análisis granulométrico correspondiente.

Cuándo se presentan horizontes con posibles acuíferas, deberán hacerse anotaciones pertinentes al lodo de perforación sobre sus características y propiedades como viscosidad, pérdidas, adelgazamientos notables, aumento de volumen de dichos lodos en las piscinas y cantidad de bentonita que se hizo necesaria adicionar para aumentar viscosidad de los mismos. Es aconsejable tomar también la resistividad o conductividad del lodo y registrar el cambio

#### **10.6. REGISTROS FÍSICOS DEL POZO**

Después de perforado el pozo exploratorio, se deberán tomar los registros (potencial espontáneo, resistividad, rayos gamma y diámetro – este último en caso necesario)

#### **10.7. AMPLIACIÓN DEL POZO**

De acuerdo con los resultados de los registros físicos de pozo, se debe tomar la decisión de la ampliación del pozo; esta ampliación se ejecutará en diámetro de 12 ¼”.

#### **10.8. DISEÑO DEL POZO**

De acuerdo con los resultados obtenidos en la perforación exploratoria, en las muestras de la zanja y en el resultado de los registros físicos de pozo y ocasionalmente con la prueba de bombeo preliminar a pozo abierto, el interventor en coordinación con el contratista y la parte contratante, decidirá se termina el pozo, y se procederá de acuerdo al diseño definitivo que se determine.

#### **10.9. ADECUACIÓN E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS Y FILTROS**

Con base en el diseño definitivo del pozo se procederá al corte y adecuación (incluyendo soldaduras y roscas) de la tubería metálica de revestimiento y tubería metálica ranurada para filtros. El revestimiento se hará en tubería ciega en diámetros de 6” y filtros de 6”

#### **10.10. TERMINACIÓN DEL POZO**

Después del revestimiento del pozo, se engravillará con grava seleccionada y diseñada de acuerdo con los análisis granulométricos obtenidos de las muestras. El material estabilizador, será de grano duro, y de tamaño de acuerdo a la granulometría requerida, y en la cantidad prevista.

Los materiales anteriormente descritos se colocarán en el espacio anular entre tubería de revestimiento y el pozo, en posición que indique el diseño definitivo.

Se deberá colocar una base de concreto en la boca del pozo y un anillo metálico con tapa y candado.

### **10.11. DESARROLLO DEFINITIVO DEL POZO**

Una vez terminado el entubado del pozo se iniciará el desarrollo del mismo, bombeando agua limpia hasta adelgazar totalmente el lodo de perforación. Para este desarrollo se podrá utilizar cualquiera de los métodos que a continuación se describen:

- a. Con aire comprimido utilizando tubería de 2" para la descarga y ½" a ¾" para la inyección de aire.
- b. Con pistón sólido y o semiduro con válvulas y diámetro equivalente a las tuberías de filtros instalados.
- c. Con chorro de agua a presión (Jetting)
- d. Con hielo seco (Hielo carbónico)

El método a emplear o la combinación de los mismos se hará de acuerdo a las condiciones que presente el pozo el cual se considerará completamente desarrollado una vez que instalada la bomba de prueba y bombeando a su caudal máximo, el agua salga clara y libre de sedimento (Turbiedad no mayor a 5ppm y sólidos en suspensión no mayor a 500ppm). También se podrá utilizar un embudo Imhoff para estimar cualitativamente si el pozo está limpio o no.

### **10.12. PRUEBA DE PRODUCCIÓN Y EFICIENCIA DEL POZO**

La prueba de producción o eficiencia se deberá efectuar una vez se encuentre desarrollado totalmente el pozo.

La prueba de producción o eficiencia se hará mediante tres a cuatro escalones de bombeo, seguida de su respectiva recuperación. La duración de cada escalón deberá estar entre los 40 y 60 minutos; la duración de la recuperación podrá ser superior a los 60 minutos.

Con los datos de la prueba escalonada, y si es el caso con los datos de la prueba de bombeo a caudal continuo, se calcularán las pérdidas de cabe en el pozo mismo.

### **10.13. PRUEBA DE BOMBEO**

La prueba de bombeo se deberá iniciar después de que haya recuperado el pozo de su prueba escalonada. Si la recuperación no es del 100%, se hará la corrección de los descensos anteriores.

Al iniciar la prueba de bombeo se deben tomar los niveles de agua tanto de abatimiento como de recuperación en los intervalos de tiempo suministrados por el interventor. El tiempo total de duración de esta prueba será entre 24 y 72 horas.

Con los resultados obtenidos, se calcularán los coeficientes hidráulicos y se darán las respectivas recomendaciones para la adecuada explotación y manejo de los pozos.

#### **10.14. CEMENTACIÓN**

Los trabajos de cementación serán efectuados al final de la obra. En general se colocará un sello sanitario en los primeros 10 metros a partir de la superficie del terreno.

#### **10.15. DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO**

Con base en el diseño definitivo del pozo, las pruebas de bombeo, y los registros eléctricos, se diseñará el sistema de bombeo, para la extracción del agua del pozo y la conducción a los sistemas de distribución.

#### **10.16. EQUIPOS Y MATERIALES**

##### **10.16.1. Descripción aproximada de los equipos necesarios**

###### **a. Equipos de perforación**

Una torre y malacate con capacidad aproximada de 40.000 libras de elevación y un malacate adicional de carretel con suficiente cable de alambre para cuchareo hasta profundidades de 300 mts. Una mesa giratoria con abertura mínima de 18" replegable.

###### **b. Otros equipos**

- Sonda eléctrica
- Brocas de perforación para estratos blandos y duros en tamaños de 8 ½" a 12 ¼"
- Las barrenas de perforación de 6" a 8" con longitud total mínima igual o mayor a la profundidad total del pozo.
- Bomba de eje vertical o sumergible para pruebas de producción
- Pesca herramientas y roscas cónicas
- Bombas para lodo de perforación con capacidad de 300 gpm y 200 psi y accesorios.
- Compresor de aire con capacidad mínima de 150pies<sup>3</sup>/Min y presión mínima de 125 psi
- Si es necesario bomba auxiliar de 4"x 6" o similar para mezcla del lodo y cementar
- Si es necesario planta eléctrica apropiada para trabajos nocturnos.
- Equipos de soldadura eléctrica y autógena

**10.17. Descripción aproximada de los materiales**

- Tubería de revestimiento metálica, en diámetros de 6" y 4" y Schedule 40 con centralizadores a razón de un trío cada 20 metros. Su longitud de acuerdo al diseño final del pozo.
- Filtros metálicos de acero inoxidable, en diámetro de 4" con ranura continua No. 30. Su longitud de acuerdo al diseño final del pozo.
- Lodo bentonítico de perforación
- Empaque de grava – Grava de río redonda y formada de partículas de roca silícea, lavada y clasificada. Las dimensiones de la grava serán determinadas de acuerdo al análisis granulométrico. El volumen de grava se determinará de acuerdo al diseño final del pozo.
- Agua para la perforación – Será de una calidad que no interfiera en las condiciones del lodo de perforación.

**10.18. TOMA DEMUESTRAS DE AGUA**

Al final de la prueba de bombeo se tomarán las muestras de agua necesarias para los análisis físico-químicos y bacteriológicos.

**10.19. DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO**

Una vez concluidas las obras, el contratista deberá entregar al interventor, un informe técnico que contenga la información de las obras ejecutadas con los siguientes datos.

- Antecedentes
- Columna litológica con su correspondiente descripción
- Correlación de la litología con los registros eléctricos
- Diseño del pozo
- Tasa de perforación, variación de viscosidad del lodo
- Curvas granulométricas de las muestras ordenadas por la interventoría
- Registros de las pruebas de bombeo
- Mapa de ubicación
- Dimensiones del equipo de bombeo
- Memorias de cálculos
- Resultados de las pruebas de eficiencia y bombeo
- Observaciones, conclusiones y recomendaciones.

**10.20. PRESUPUESTO**

En la Tabla 16 se presenta el presupuesto para el prediseño de pozo en la Figura 34. El presupuesto llega hasta el completamiento del pozo y **NO** incluye los cálculos de la bomba sumergible, tablero de control, transformador, caseta o cables eléctricos hasta el pozo y afines.

**Tabla 16: Presupuesto para un pozo de 260 metros en el SEV-2.**

<b>PRESUPUESTO PARA UN POZO EN EL PREDIO EL CUADRO</b>					
<b>MUNICIPIO DE JERUSALÉN, CUNDINAMARCA, COLOMBIA</b>					
<b>1. CONSTRUCCIÓN DEL POZO EN EL SEV 2</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VLR UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
1.1.	TRANSPORTE DE MAQUINARIA AL SITIO DE PERFORACIÓN, EN EL PREDIO EL CUADRO DEL MUNICIPIO DE JERUSALÉN, CUNDINAMARCA	GLOBAL	1	\$ 20,000,000	\$ 20,000,000
1.2.	ADECUACIÓN DEL SITIO DE PERFORACIÓN.	GLOBAL	1	\$ 5,000,000	\$ 5,000,000
<b>PERFORACIÓN EXPLORATORIA CON BROCA DE 8 1/2"</b>					
1.3.	DE 0 A 100 METROS	METRO LINEAL	100	\$ 200,000	\$ 20,000,000
1.4.	DE 100 A 200 METROS	METRO LINEAL	100	\$ 250,000	\$ 25,000,000
1.5.	DE 200 A 260 METROS	METRO LINEAL	60	\$ 300,000	\$ 18,000,000
1.6.	REGISTROS ELÉCTRICOS DE POZO	METRO LINEAL	260	\$ 45,000	\$ 11,700,000
1.7.	PRUEBA DE BOMBEO	GLOBAL	1	\$ 7,000,000	\$ 7,000,000
<b>AMPLIACIÓN DE PERFORACIÓN A 12"</b>					
1.8.	A 12 PULGADAS	METRO LINEAL	260	\$ 70,000	\$ 18,200,000
<b>SUMINISTRO Y ADECUACIÓN DE TUBERÍA CIEGA</b>					
1.8.	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA CIEGA DE 6" DE ACERO AL CARBON, SCH 40, SOLDADA A TOPE	METRO LINEAL	126	\$ 200,000	\$ 25,200,000
<b>SUMINISTRO Y ADECUACIÓN DE FILTROS</b>					
1.9.	FILTRO EN ACERO INOXIDABLE ANSI 304 DE RANURA CONTINUA PARA POZOS DE AGUA EN DIAMETRO 6"	METRO LINEAL	134	\$ 900,000	\$ 120,600,000
<b>ADECUACIÓN DEL POZO</b>					
1.10.	CONO DE CIERRE DE 6" EN ACERO	GLOBAL	1	\$ 7,000,000	\$ 7,000,000
1.11.	TUBERIA DE ALIMENTACION DE GRAVILLA DE 4" EN PVC RDE 26	METRO LINEAL	20	\$ 32,000	\$ 640,000
1.12.	GRAVILLA PARA FILTRO (EMPAQUE)	M3	30	\$ 170,000	\$ 5,100,000
1.13.	BENTONITA	M3	30	\$ 45,000	\$ 1,350,000
1.14.	CONCRETO PARA SELLO SANITARIO H=15M	M3	2	\$ 650,000	\$ 1,300,000
1.15.	CONSTRUCCION BASE DEL POZO	GLOBAL	1	\$ 750,000	\$ 750,000
1.16.	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC 3/4" PARA LECTURA DE NIVELES DEL POZO INCLUYE UNIONES, BUJE, ADAPTADOR MACHO, TAPON ROSCADO Y TEE.	ML	80	\$ 6,200	\$ 496,000
1.17.	DESARROLLO Y LAVADO DEL POZO CON SISTEMA COMBINADO DE PISTON Y YETTING, APLICACION QUIMICO HEXAMETAFOSFATO DE SODIO	GLOBAL	1	\$ 15,500,000	\$ 15,500,000
1.18.	ANALISIS FISICOQUIMICO Y BACTERIOLOGICO DEL AGUA INCLUYE: TOMA DE MUESTRAS EN LA BOCA DEL POZO, TRANSPORTE DE MUESTRAS A LABORATORIO	GLOBAL	2	\$ 1,100,000	\$ 2,200,000
1.19.	PRUEBA DE BOMBEO ESCALONADA A CAUDAL CONSTANTE TOMANDO NIVELES DE BOMBEO Y DE RECUPARACION Y DEFINICION DE CAUDAL PARA CONCESION DE AGUAS	GLOBAL	1	\$ 7,000,000	\$ 7,000,000
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 312,036,000</b>

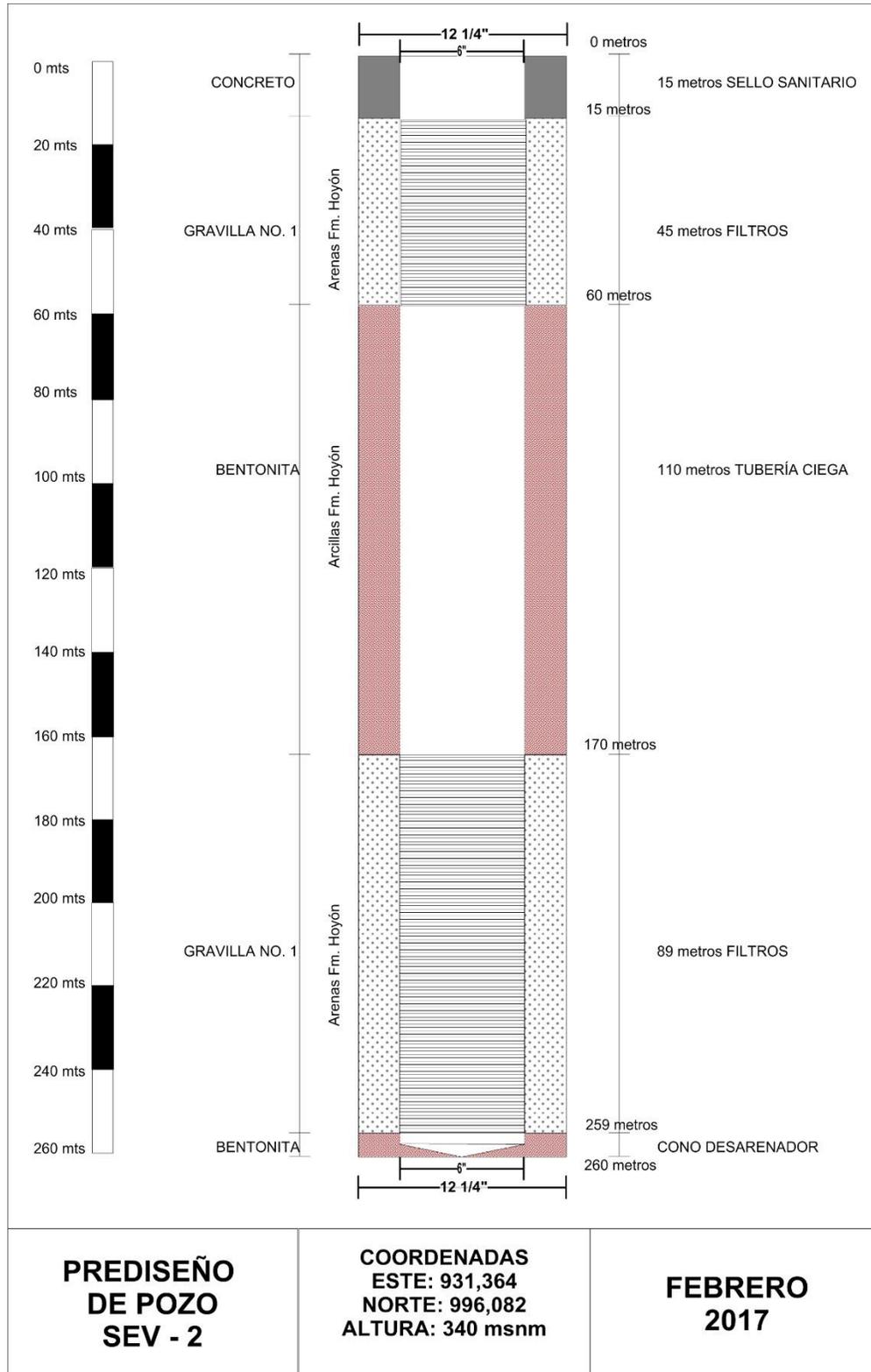
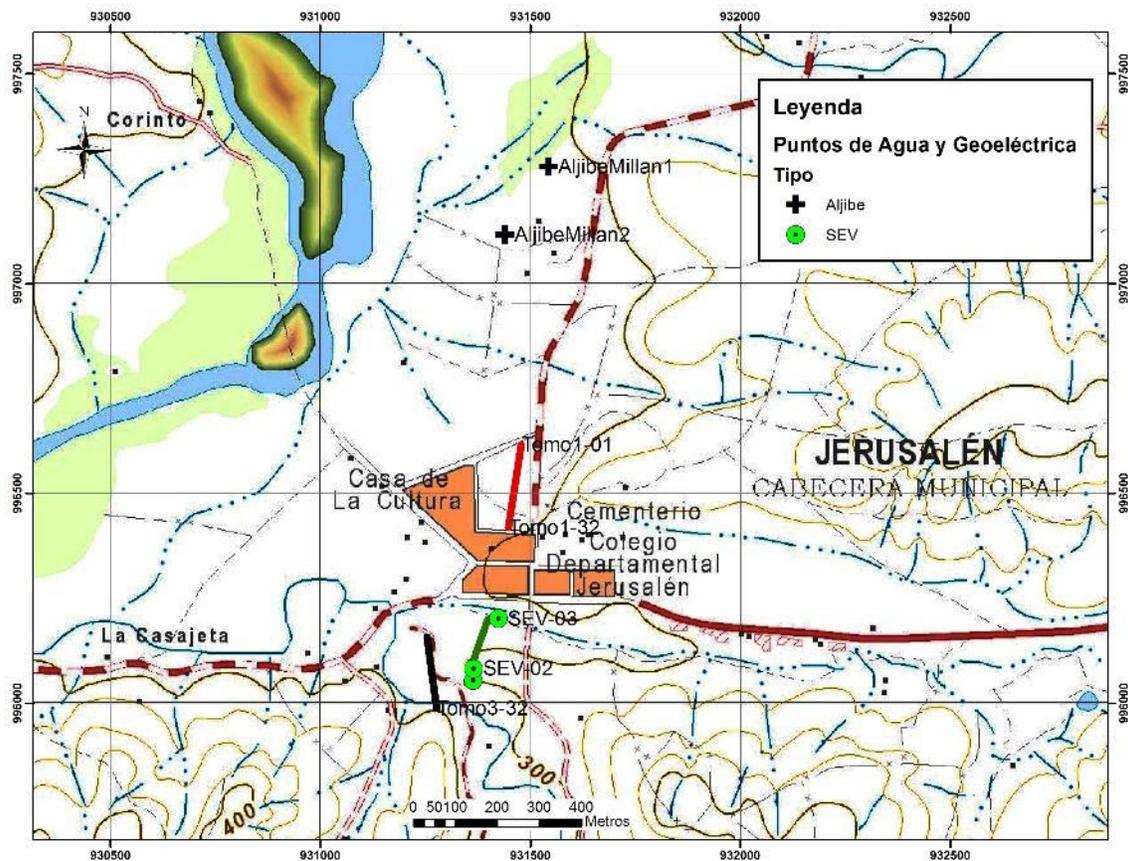


Figura 34: Prediseño de pozo localizado en el SEV-2.  
Fuente: Subsuelo3D, 2017.

### 11. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Dentro de este estudio se realizó un inventario de puntos de agua en los alrededores del predio el Cuadro, con un radio de acción de 2 (dos) Kilómetros a la redonda, todos en los alrededores de la cabecera municipal de Jerusalén (Cundinamarca) (Figura 35). Para este objetivo se utilizó un GPS, una sonda de nivel marca Solinst de 100 metros, una sonda multiparámetros marca Hanna y una cinta métrica para reconocer las características de los diferentes puntos de agua (Figura 36).



**Figura 35: Mapa de puntos de agua subterránea alrededor de la cabecera municipal de Jerusalén (Cund.).**

**Fuente: Subsuelo3D, 2017.**

En el área se reconocieron un total de 2 (dos) puntos de agua subterránea. El aljibe Millán 2 tiene un caudal de 1.66 L/s (Litro por segundo), presentando el mayor caudal. En los recorridos, la población afirmó no tener otros tipos de captaciones de agua subterránea.



**Figura 36: Ejercicio del inventario de puntos de agua en los alrededores del casco urbano de Jerusalén (Cundinamarca). En este ejercicio se observa la medición del nivel freático utilizando una sonda de nivel marca Solinst.  
Fuente: Subsuelo3D, 2017.**

**Tabla 17: Localización de puntos de agua subterránea a 2 Kms. a la redonda del casco urbano de Jerusalén.**

Punto	Este	Norte	Tipo	Tabla de Agua (m)
Aljibe Millán 1	931543	997279	Aljibe	1.91
Aljibe Millán 2	931439	997117	Aljibe	2.73

No se encuentran manantiales dentro de los dos kilómetros a la redonda de la cabecera municipal de Jerusalén. Adicionalmente, los aljibes están fabricados en los depósitos aluviales asociados al río Seco. De igual manera se observa que los niveles freáticos identificados siguen la dirección hacia el cauce del río. También se observa que los sólidos disueltos están cercanos a las 1000 ppm, es decir, se encuentran en el límite entre aguas dulces y aguas salobres; es posible que se encuentre alguna fuente de contaminación en estas aguas, tales como pozos sépticos o abonos utilizados en la agricultura. Los caudales que suministran estos puntos de captación de agua subterránea tienen un máximo de 2 L/s, identificado en el aljibe Millán – 2.

Cabe resaltar que en los recorridos realizados al oriente y al Sur del pozo área de estudio no se identificaron puntos de extracción de agua subterránea. En esta zona, debido a las unidades rocosas,

casi siempre limos y arcillas. También se observaron reservorios utilizando la capacidad de retención de agua de las mencionadas arcillas, pero ninguno posee pozos o aljibes.

Tabla 18: Aljibe Millán 1.	
Coordenada X	931534
Coordenada Y	997279
Cota	318
Uso	Pecuario
Propietario	Millán Contreras
Consumo diario (m3)	2
Caudal estimado l/seg	1.33
Nivel estático (m)	1.91
Profundidad (m)	6.0
Método de explotación	Bomba Diésel
Acuífero	Cuaternario Aluvial
Sólidos Disueltos	786
pH	7.4



Fuente: Subsuelo3D, 2017.

Tabla 19: Aljibe Millán 2.	
Coordenada X	931439
Coordenada Y	997117
Cota	308
Uso	Pecuario
Propietario	Millán Contreras
Consumo diario (m3)	4
Caudal estimado l/seg	1.66
Nivel estático (m)	2.73
Profundidad (m)	10
Método de explotación	Bomba Diésel
Acuífero	Cuaternario Aluvial
Sólidos Disueltos ppm	820
pH	7.2



Fuente: Subsuelo3D, 2017.

**12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**12.1. CONCLUSIONES**

El resultado de la exploración geofísica, así como las observaciones geológicas de campo, sugieren que en el subsuelo del área urbana del municipio de Jerusalén (Cundinamarca), existe un potencial para la producción de agua subterránea.

El potencial hidrogeológico del área de estudio está determinado por dos acuíferos que fueron identificados en este estudio: El Acuífero San Juan de Río Seco y el Acuífero Hoyón; ambas unidades cenozoicas con niveles importantes de arenas que pueden almacenar agua subterránea.

El área se caracteriza por su complejidad tectónica, debido a que corresponde a la parte final del Sinclinal de Guaduas y el despegue de la Falla de Guataquí. La presencia de numerosas fallas en superficie, refleja la segmentación que se esperaría en el subsuelo. Este alto grado de fallamiento podría significar una continuidad limitada de los acuíferos.

El efecto del fallamiento es notable en el área de interés, conocida como el predio El Cuadro. En este estudio se determinó una falla inversa que hace que la Formación Hoyón (arenas) cabalgue sobre la Formación Santa Teresa (arcillas). Esta falla fue interpretada a partir de la diferencia de las curvas de resistividad de los SEVs 1 y 2 con respecto al SEV-3, así como en la Tomografía Eléctrica 3. Esta falla podría limitar la extensión del acuífero y últimamente el potencial hidrogeológico del predio de interés.

Los depósitos cuaternarios juegan un papel secundario a la hora de servir como posibles acuíferos. Estos depósitos rellenan la paleotopografía generada por el juego de fallas que se encuentran entre las quebradas Acuatá y La Limba. Por esta razón los depósitos cuaternarios son variables tanto en litología como en espesor, por lo cual su potencial hidrogeológico estaría limitado a los depósitos más gruesos (arenas y conglomerados) de la zona de estudio.

Una vez investigado el predio El Cuadro, a partir de sondeos eléctricos verticales, y considerando las condiciones limitantes, tales como la tectónica y las unidades hidrogeológicas, se seleccionó al punto SEV-2 (Tabla 20), como el sitio ideal para realizar la perforación de un pozo profundo. Se seleccionó el SEV-2 sobre el SEV-1, por su mayor cabeza hidráulica, debido a que las capas de la Formación San Juan de Río Seco vienen buzando de Sur a Norte.

**Tabla 20 Coordenadas del pozo propuesto en este trabajo.**

Punto	Tipo	MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTA		Profundidad	Unidad Objetivo
		Este	Norte		
SEV-2	SEV	931364	996082	260 metros	Fm. Hoyón

Fuente: Subsuelo3D, 2017.

Aunque en la interpretación el SEV-3 presenta los mayores espesores de arenas saturadas, hay dos motivos por los cuales no se recomienda este como el punto para realizar la perforación exploratoria de agua subterránea: 1) La unidad que acuífera que encontrará en el subsuelo será la Formación Santa Teresa, la cual es mayormente arcillosa con ocasionales niveles de arenas, 2) La ubicación del SEV-3 está en una zona inundable de la Quebrada La Limba; unido a esto, la zona alrededor del SEV-3 será utilizada como banco de aguas por parte de las autoridades municipales, por lo cual no se recomienda impactarla mediante perforación exploratoria. La zona inundable se puede observar en las Fotografías (Figura 37).



**Figura 37: Alrededores del SEV-3. Arriba, gaviones que protegen algunas casas de Jerusalén en caso de crecida de la quebrada La Limba. Abajo, localización del SEV-3 en zona de inundación de la quebrada La Limba.**

## **12.2. RECOMENDACIONES**

La evaluación geofísica realizada en este proyecto fue unidimensional (producto de la respuesta de los Sondeos Eléctricos Verticales). Por esta razón, la continuidad lateral de los acuíferos identificados es incierta. Se sugiere que en un futuro se realicen estudios geofísicos complementarios, como tomografías eléctricas (bidimensionales), para observar las variaciones laterales del acuífero.

En el momento de perforar en el SEV -2, se sugiere realizar adquisiciones de muestras de agua subterránea a diferentes niveles, esto con el fin de determinar cuáles acuíferos pueden tener una mayor carga de sólidos en suspensión. Esta recomendación viene a partir de los valores obtenidos de los aljibes visitados en la zona norte, se observa que hay un alto efecto de factores externos en la calidad de los acuíferos.

Igualmente, dentro de la prueba de bombeo, debe hacerse énfasis a la capacidad de recuperación del acuífero y los valores de los parámetros hidráulicos en este pozo, debido a que el pozo propuesto en este trabajo sería el primer pozo en la unidad Formación Hoyón.

Recomendamos estudiar con mayor profundidad otras unidades de la zona con potencial acuífero, tales como el Grupo Olini (CAR e Hidrogeocol, 1990). Estos estudios deberían incluir la adquisición de datos geofísicos y geológicos, tales como nuevos SEVs, tomografías eléctricas, inventarios de puntos de agua, análisis de densidad, orientación y conectividad de fracturas, muestreo geológico, etc.

Finalmente, se recomienda revisar los registros eléctricos que se le corran al pozo, principalmente para poder diferenciar las condiciones físico-químicas de los diversos acuíferos encontrados. También porque los estratos de la Formación Hoyón no son completamente tabulares, por lo que puede haber varios lentes de arenas.

## **12.3. AGRADECIMIENTOS**

SUBSUELO3D SAS agradece a las personas e instituciones que facilitaron el desarrollo de este estudio. El ingeniero Rómulo Camacho Ch., administrador del contrato 1533 de 2016 de la CAR, participó en la reunión de socialización del proyecto en Jerusalén y acompañó al grupo de campo durante la visita de reconocimiento el día 20 de Enero de 2017, aportando valiosos comentarios. También agradecemos a la señora alcaldesa del municipio de Jerusalén María Eugenia Salguero, junto con el señor Guillermo González, quienes también participaron en la reunión de socialización del proyecto, facilitando la logística para el ingreso a los predios. Igualmente, a la señora María Cristina Mojica, funcionaria de la CAR en Jerusalén, quien gentilmente acompañó y facilitó el proceso de inventario de puntos de agua. Finalmente, agradecemos a los habitantes del municipio

---

de Jerusalén, quienes acogieron a la comisión de campo ejecutada durante los días 20 al 23 de Enero de 2017.

---

### 13. REFERENCIAS

BURGER, H.R., SHEEHAN, A.F. and JONES, C.H., 2006. Introduction to applied geophysics. Norton Ed. New York City. 554 pp.

CAR e HIDROGEOCOL LTDA., 1990. Estudio geoeléctrico e hidrogeológico para la prospección de aguas subterráneas en la vereda Pubenza del municipio de Tocaima. Informe técnico final. Bogotá. Pp 57.

INGEOMINAS; 2002. Mapa geológico de Colombia Plancha 245 Girardot escala 1:100.000 memoria explicativa. Ingeominas. Bogotá D.C. Pp 101.

KAMMER A. & MOJICA, J. 1995: Los pliegues de la Barrera de Guataquí - Girardot: Producto de un despegue de la Cobertera cretácica de la Cordillera Oriental? - GEOLOGIA COLOMBIANA, 19, págs. 33-43.

LEMUS, F., BAYONA, G., CARDONA, A. y MORA, A., 2013. Procedencia de las unidades cenozoicas del Sinclinal de Guaduas: implicación en la evolución tectónica del sur del Valle Medio del Magdalena y orógenos adyacentes. Boletín de Geología. Vol. 35, N° 1. Pgs 17 – 42.

ORELLANA, E. 1982. Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua. Biblioteca Técnica Philips, Paraninfo, Madrid, España

REYNOLDS, J., 2010. An introduction to applied and environmental geophysics. John Wiley & Sons. New York. Pp 796.

# ANEXOS

**ANEXO 1: DATOS DE CAMPO DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES**

SEV No.	01	PROYECTO	CAR - Contrato 1533			FECHA	21-1-2017	
MUNICIPIO	Jerusalén		DEPART.	Cund.	VEREDA	Cabecera Municipal	PREDIO	El Cuadro
DESCRIPCIÓN: SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES EXPLORATORIOS EN EL PREDIO EL CUADRO - EN LA CABECERA MUNICIPAL DE JERUSALÉN (CUND.). OBJETIVO, FORMACIÓN HOYÓN - COORD. MAGNA SIRGAS OR. BOGOTA								
ADQUIERE	GEOL. MARCO NIETO		ARREGLO	SCHLUMBERGER				
RUMBO	108		INSTRUMENTO	GEOAMP202				
ESTE	931364		NORTE	996054		ALTURA	342	

No.	AB/2 (m)	MN (m)	K	SP1	DC 1 (mV)	I 1 (mA)	SP2	DC 2 (mV)	I 2 (mA)
1	1.5	0.5	13.744	-47.4	673	522	-48.9	666	518
2	2.5	0.5	38.877	-50.9	92.6	417	-51.1	89.9	410
3	4	0.5	100.14	-52.9	5.7	441	-53.1	3.8	431
4	6	0.5	225.8	-54.1	-31	396	-54.5	-32	386
5	6	2	54.978	-33.8	50.9	406	-33.5	49.4	401
6	8	2	98.96	-32.7	12.9	431	-32.6	13.2	425
7	10	2	155.51	-32.1	-4.8	423	-31.9	-4.5	418
8	12	2	224.62	-31.3	-13.3	438	-31.4	-13.5	429
9	15	2	351.86	-31	-16.4	578	-31	-16	584
10	20	2	626.75	-30.7	-22.9	493	-30.6	-23	480
11	25	2	980.18	-30.4	-24.2	594	-30.4	-24.4	576
12	25	10	188.5	-22.9	8	588	-22.4	8	572
13	30	10	274.89	-20.8	-5.5	545	-20.6	-5.7	534
14	40	10	494.8	-19.4	-11.6	479	-19.2	-11.4	478
15	50	10	777.54	-18.7	-12	587	-18.7	-11.6	592
16	60	10	1123	-18	-13	577	-18	-13.4	567
17	75	10	1759	-17.7	-14.5	481	-17.6	-14.5	475
18	100	10	3134	-17.2	-16	322	-17.2	-16	317
19	100	40	753.98	-29.1	-23.5	337	-28.5	-22.9	326
20	125	40	1196	-24.5	-22	219	-24.2	-21.8	216
21	150	40	1736	-19.8	-15.9	536	-19.5	-15.77	531
22	175	40	2374	-17.1	-15.5	310	-17	-15.5	310
23	200	40	3110	-14.4	-13.3	286	-14.5	-13.4	281
24	250	40	4877	-14.7	-13.9	337	-14.6	-13.8	334
25	250	100	1885	-40.7	-38.7	326	-40.3	-38.2	319
26	300	100	2749	-31.8	-30.3	322	-31.7	-30.3	318
27	350	100	3770	-31.3	-29.7	483	-31.4	-29.8	474
28	400	100	4948	-28.7	-27.6	394	-28.7	-27.7	384
29	450	100	6283	-26	-24.7	739	-26	-24.6	759
30	500	100	7775	-25.1	-24.4	389	-25.1	-24.3	376

SEV No.	02	PROYECTO	CAR - Contrato 1533			FECHA	22-1-2017		
MUNICIPIO	Jerusalén		DEPART.	Cund.	VEREDA	Cabecera Municipal		PREDIO	El Cuadro
DESCRIPCIÓN: SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES EXPLORATORIOS EN EL PREDIO EL CUADRO - EN LA CABECERA MUNICIPAL DE JERUSALÉN (CUND.). OBJETIVO, FORMACIÓN HOYÓN - COORD. MAGNA SIRGAS OR. BOGOTA									
ADQUIERE	GEOL. MARCO NIETO		ARREGLO		SCHLUMBERGER				
RUMBO	105		INSTRUMENTO			GEOAMP202			
ESTE	931364		NORTE	996082		ALTURA	340		

No.	AB/2 (m)	MN (m)	K	SP1	DC 1 (mV)	I 1 (mA)	SP2	DC 2 (mV)	I 2 (mA)
1	1.5	0.5	13.744	3.5	2517	670	4.1	2474	667
2	2.5	0.5	38.877	5.5	557.5	722	6.6	574	728
3	4	0.5	100.14	8.8	62.8	210	9	61.3	203
4	6	0.5	225.8	11.4	25.5	251	11.7	26.7	250
5	6	2	54.978	23.4	81.4	250	23.7	81.6	249
6	8	2	98.96	22.1	49.9	239	21.9	49.9	237
7	10	2	155.51	21.8	38	253	21.7	38	253
8	12	2	224.62	21.7	31.4	262	21.7	31.2	257
9	15	2	351.86	21.6	26.4	196	21.6	26.3	192
10	20	2	626.75	21.7	30.1	564	21.7	29.9	559
11	25	2	980.18	21.7	27	512	21.8	27	500
12	25	10	188.5	2.9	22.2	494	3.3	22.8	488
13	30	10	274.89	4.3	27.5	778	4.6	26.4	768
14	40	10	494.8	4.4	11.6	365	4.4	11.5	363
15	50	10	777.54	4.1	10.9	526	4.1	10.8	526
16	60	10	1123	3.7	9.1	599	3.6	8	601
17	75	10	1759	3.4	4.7	222	3.3	4.7	223
18	100	10	3134	2.5	3.9	346	2.4	3.8	345
19	100	40	753.98	-2.2	3.4	349	-2	3.4	343
20	125	40	1196	-0.6	2.3	289	-0.4	2.4	286
21	150	40	1736	0	3.7	529	0	3.6	520
22	175	40	2374	0	0.4	94	0	0.4	89
23	200	40	3110	0	1.4	404	0	1.4	405
24	250	40	4877	-0.4	-0.1	115	-0.4	-0.1	115
25	250	100	1885	-27	-25.96	160	-24	-23.03	159
26	300	100	2749	-14	-12.32	402	-13.5	-11.85	400
27	350	100	3770	-13.5	-12.1	420	-13.7	-12.1	430
28	400	100	4948	-13	-14.5	497	-13.2	-14.6	501
29	450	100	6283	-13	-14	429	-13.2	-14.3	425
30	500	100	7775	-12.7	-13.8	539	-13	-14.1	543

SEV No.	03	PROYECTO	CAR - Contrato 1533			FECHA	22-1-2017		
MUNICIPIO	Jerusalén		DEPART.	Cund.	VEREDA	Cabecera Municipal		PREDIO	El Cuadro
DESCRIPCIÓN: SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES EXPLORATORIOS EN EL PREDIO EL CUADRO - EN LA CABECERA MUNICIPAL DE JERUSALÉN (CUND.). OBJETIVO, FORMACIÓN HOYÓN - COORD. MAGNA SIRGAS OR. BOGOTA									
ADQUIERE	GEOL. MARCO NIETO		ARREGLO		SCHLUMBERGER				
RUMBO	108		INSTRUMENTO			GEOAMP202			
ESTE	931424		NORTE	996201		ALTURA	335		

No.	AB/2 (m)	MN (m)	K	SP1	DC 1 (mV)	I 1 (mA)	SP2	DC 2 (mV)	I 2 (mA)
1	1.5	0.5	13.744	58.7	4056	457	61.2	4074	459
2	2.5	0.5	38.877	62.5	1386	432	62.9	1363	426
3	4	0.5	100.14	62.8	713	527	63.1	709	524
4	6	0.5	225.8	62.8	196.7	425	62.7	195.3	421
5	6	2	54.978	67	410.1	480	68.6	406.1	472
6	8	2	98.96	75.8	202.3	468	76.9	200.1	456
7	10	2	155.51	83.7	132.5	466	84.7	133.7	469
8	12	2	224.62	88.9	116.6	532	90.3	118.8	530
9	15	2	351.86	94.4	106.3	432	94.9	106.7	429
10	20	2	626.75	100	106.3	428	100.5	106.7	425
11	25	2	980.18	105	107.1	225	105.3	107.3	224
12	25	10	188.5	43	50.2	223	41.5	48.6	221
13	30	10	274.89	35.3	39.9	220	34	38.9	224
14	40	10	494.8	29.6	36.1	485	28.6	35	477
15	50	10	777.54	25	27	241	24.4	26.5	245
16	60	10	1123	22.4	23.8	251	22.1	23.4	243
17	75	10	1759	18.9	20	363	18.8	19.9	356
18	100	10	3134	17	17.4	195	16.9	17.2	201
19	100	40	753.98	-168.9	-167	213	-170.2	-168.4	211
20	125	40	1196	-181.8	-180.9	190	-183.1	-182.1	187
21	150	40	1736	-192.7	-190.2	478	-194	-195.1	475
22	175	40	2374	-210.4	-210	134	-214.6	-214.4	137
23	200	40	3110	-223	-222	379	-224	-222.9	378
24	250	40	4877	-232.5	-232.8	189	-233	-232.7	185
25	250	100	1885	37.9	39.2	198	39	40.3	197
26	300	100	2749	40.6	41.5	220	40.4	41.4	222
27	350	100	3770	36.4	37.2	268	36.2	37	269
28	400	100	4948	32.8	33.7	346	32.3	33.3	344
29	450	100	6283	32.1	32.3	130	32.1	32.5	129
30	500	100	7775	39.5	39.8	129	39.6	39.9	131

**ANEXO 2: MAPA HIDROGEOLÓGICO DEL CASCO URBANO DE JERUSALÉN (CUND.), ESCALA 1:25,000**

