

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRANEO
EN LA VEREDA LA RAMADA, SOGAMOSO, BOYACÁ

MARIA ALEJANDRA GALVIS NIÑO

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRANEO
EN LA VEREDA LA RAMADA, SOGAMOSO, BOYACÁ

MARIA ALEJANDRA GALVIS NIÑO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO GEÓLOGO

MSc. FREDY ALEXANDER FONSECA BENÍTEZ
INGENIERO GEÓLOGO

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Sogamoso 24, Octubre, 2016

*Dedico este trabajo principalmente a mi familia.
Gracias por brindarme siempre su apoyo
y afectos de forma incondicional.*

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus especiales agradecimientos a:

Director del proyecto: Msc. Ingeniero Geólogo Fredy Alexander Fonseca Benítez por sus valiosas orientaciones y disposición de servicio.

Msc. Ingeniera Geofísica María del Carmen Fuentes Fuentes; por su amable e importante colaboración académica durante el proceso de ejecución de este proyecto.

A todos los maestros de la escuela de Ingeniería Geológica de la UPTC, quienes aportaron de manera significativa a mi proceso de formación profesional.

A mis apreciados padres quienes con esfuerzo y amor brindaron siempre su ayuda para que este proceso de preparación profesional tuviera éxito.

A mi abuela por estar siempre presente en todo momento de mi vida, alentando y motivando para ir siempre hacia adelante y cumplir mis proyectos de vida.

A mis tíos-padrinos por su gran apoyo incondicional y cariño durante mi carrera.

CONTENIDO

Pág

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES.....	13
1.1. OBJETIVOS.....	13
1.1.1. Objetivo General.....	13
1.1.2. Objetivos Específicos.....	13
1.2. LOCALIZACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	13
1.3. METODOLOGÍA.....	14
1.4. CLIMA, VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO.....	16
2. GEOLOGÍA.....	19
2.1. GEOLOGIA REGIONAL.....	19
2.2. ESTRATIGRAFÍA LOCAL.....	19
2.2.1. Formación Arcillas de Socha (Pgas)	19
2.2.2. Formación Picacho (Pgp)	20
2.2.3. Depósitos Fluvio-Lacustres (Qpl)	21
2.2.4. Depósitos Coluviales (Qc).....	22
2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	23
2.4. GEOMORFOLOGIA.....	23
3. GEOFISICA.....	24
3.1. MÉTODOS DE ELÉCTRICOS APLICADOS A LA PROSPECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	24
3.2. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL.....	25
3.3. FUNDAMENTOS FÍSICOS Y GEOLOGICOS.....	27
3.4. METODOLOGIA DE LOS TRABAJOS DE CAMPO.....	32
3.5. PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	35
4. RESULTADOS.....	39
4.1. CORTES GEOELÉCTRICOS.....	39
4.2. CORTES GEOLÓGICO- GEOFÍSICOS.....	41
4.3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	42

5. CONCLUSIONES.....	44
6. RECOMENDACIONES.....	46
BIBLIOGRAFIA.....	47
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Ubicación de la zona en la cual se realizó el estudio.....	14
Figura 2. Diagrama de flujo del aspecto metodológico.....	15
Figura 3. Localización geográfica de la zona de estudio.....	18
Figura 4. Toma en dirección SE. Mina de arenisca de la formación Picacho.....	21
Figura 5. Panorámica tomada en dirección NW, en rojo la zona de estudio.....	23
Figura 6. Circuito de emisión y recepción en un SEV.....	27
Figura 7. Ilustración de la Ley de Ohm.....	28
Figura 8. Comportamiento de la resistencia a través de un material.....	29
Figura 9. Diagrama de comparación entre los valores de resistividad en sedimentos secos, saturados con agua dulce y agua salobre.....	30
Figura 10. Líneas de corriente y equipotenciales en una vista en planta, generadas por dos electrodos conectados en superficie (vista en planta).....	31
Figura 11. Configuración geométrica del dispositivo Schlumberger.....	32
Figura 12. Configuración geométrica del dispositivo Wenner.....	33
Figura 13. Equipo de S.E.V. utilizado en la campaña de campo.....	34
Figura 14. Ventana de ingreso de datos en el IPI2win®.....	37
Figura 15. Grafica de resistividad ($\Omega \cdot m$) Vs profundidad $AB/2$ (m), valores de ρ_r y espesores h para las capas estimadas.....	37
Figura 16. Curvas de resistividad para 2, 3 y 4 capas.....	38

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Tablas-registro de datos de los S.E.V.

Anexo B. Curvas de resistividad

Anexo C. Cortes Geoeléctricos

Anexo D. Columna estratigráfica de la Formación Qpl.

Anexo E. Cortes geológico-geofísicos

Anexo F. Mapa geológico regional

Anexo G. Mapa geológico local

Anexo H. Ubicación de los S.E.V.

GLOSARIO

ACUÍFERO: Formación geológica fracturada o porosa saturada y con suficiente permeabilidad que permita el flujo de agua en cantidades significativas hacia manantiales o hacia las captaciones usuales, como pozos o galerías.¹

ACUITARDO: Formación geológica capaz de almacenar agua que cede lentamente, pero que no puede por sí misma abastecer continuamente los pozos.²

AGUA CAPILAR: Agua existente en los intersticios de una formación geológica que se mueve por efecto de las fuerzas de tensión superficial.

AGUA SUBTERRÁNEA: Agua presente en los intersticios o huecos (poros o fisuras) de la zona saturada bajo la superficie del terreno.

CORTE GEOLÓGICO- GEOFÍSICO: Representación gráfica vertical de la disposición en profundidad de las unidades y estructuras geológicas, utilizándose el perfil topográfico, observaciones geológicas de superficie e información geofísica como base de la representación.

RESISTIVIDAD APARENTE: surge cuando se realizan mediciones sobre un subsuelo heterogéneo donde la resistividad medida llamada resistividad aparente (ρ_a) es ficticia ya que es un “promedio” de las resistividades bajo cada uno de los electrodos; ni tan sólo puede considerarse media ponderada. Esta resistividad aparente (ρ_a) es la variable experimental con que expresan los datos de campo de la mayoría de métodos geoelectrónicos y se toma como base de su interpretación. Su unidad también es el $\Omega.m.$ ³

POZO ARTESIANO: Pozo cuya zona filtrante está en contacto con un acuífero confinado.

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA: Cualquier técnica de investigación del subsuelo que aplica los métodos geofísicos.

RESUMEN

¹ Fuente. http://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm#A (RACEFN Glosario de Geología)

² Fuente. http://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm#A (RACEFN Glosario de Geología)

³ Fundación Centro Internacional De Hidrología Subterránea, Área de Geofísica Aplicada (IAG, UGR); Granada, España.

El presente trabajo de grado expone de manera metodológica la prospección geoeléctrica del recurso hídrico subterráneo ejecutado en la vereda La Ramada del municipio de Sogamoso Boyacá. Esta vereda se encuentra ubicada al costado nororiental del municipio y el área de interés corresponde a un predio entre las calles 51-54 y carreras 10a -10c. Gracias a la presencia de Formaciones como La Formación Picacho y el Cuaternario Fluvio-Lacustre, se hace posible la existencia de acuíferos con potencial para su aprovechamiento.

La metodología empleada consistió primeramente en un reconocimiento de la información existente sobre el área de estudio, producto de las investigaciones geológicas, hidrogeológicas y demás. Seguidamente las observaciones en campo junto con el análisis de la información secundaria, permitieron establecer el marco geológico, producto del cual fueron los mapas geológicos necesarios para planear la ejecución del estudio geofísico. Se llevaron a cabo diez sondeos eléctricos verticales, los cuales permitieron evaluar los contrastes entre las resistividades aparentes exhibidas por cada material presente en el subsuelo. A partir del procesamiento e interpretación de los datos medidos en la campaña geofísica se obtuvieron tres cortes geológico-geofísicos, que exhiben la disposición de dos litologías presentes en el subsuelo con sus respectivos espesores y profundidades.

Los resultados del análisis de los componentes geológicos y geofísicos permitieron indicar el acuífero del terreno a profundidad, y recomendar los estudios faltantes para la ubicación de un posible pozo de bombeo.

Palabras clave: Acuífero, Aguas subterráneas, Sondeo Eléctrico Vertical, resistividad aparente, corte geológico-geofísico.

INTRODUCCIÓN

Uno de los recursos naturales de mayor relevancia para todos los seres vivos es sin duda el agua. Las aguas subterráneas constituyen una fuente valiosa de este grandioso recurso, ya que es abundante y en la mayoría de los casos de alta calidad. Teniendo en cuenta que en los últimos años la escasez de agua potable va en aumento, se hace necesario explorar el subsuelo con el objetivo de localizar los acuíferos que presenten potencial para su aprovechamiento.

Dada la necesidad que surge en la vereda La Ramada de construir un pozo profundo para la captación de agua subterránea, se han realizado estudios geofísicos en la zona de interés con el fin de identificar ciertas características del acuífero existente y de esta manera, definir la ubicación más apropiada para la construcción de un pozo profundo.

La geoeléctrica es el método geofísico que mejor resultado ha mostrado en los últimos años en las investigaciones de prospección de aguas subterráneas, y esto se debe a que la variable que evalúa sobre los materiales terrestres (la resistividad aparente), permite discriminar un material saturado de uno seco. Partiendo de lo anterior, este estudio empleó el método de sondeo eléctrico vertical; el cual permitió determinar los contrastes entre los componentes del subsuelo y finalmente a partir de los cortes geológicos-geofísicos obtenidos proponer las actividades a seguir para determinar la ubicación más adecuada de un pozo de captación.

1. GENERALIDADES

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Realizar la prospección geoelectrica del recurso hídrico subterráneo en la vereda La Ramada, municipio de Sogamoso, Boyacá.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual, a partir de consultas y análisis de información secundaria relacionada con el área de estudio y demás estudios ya realizados relacionados con el tema del actual proyecto.
- Definir marco geológico con observación directa y recopilación de información primaria a escala de objetivo.
- Caracterizar geoelectricamente las unidades hidrogeológicas.
- Generar el perfil geológico-geofísico del área de interés, que represente las estructuras, unidades estratigráficas, profundidades y características algunas hidrogeológicas que presenta el acuífero.
- Identificar las zonas de extracción más ideales para el área estudiada.

1.2. LOCALIZACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

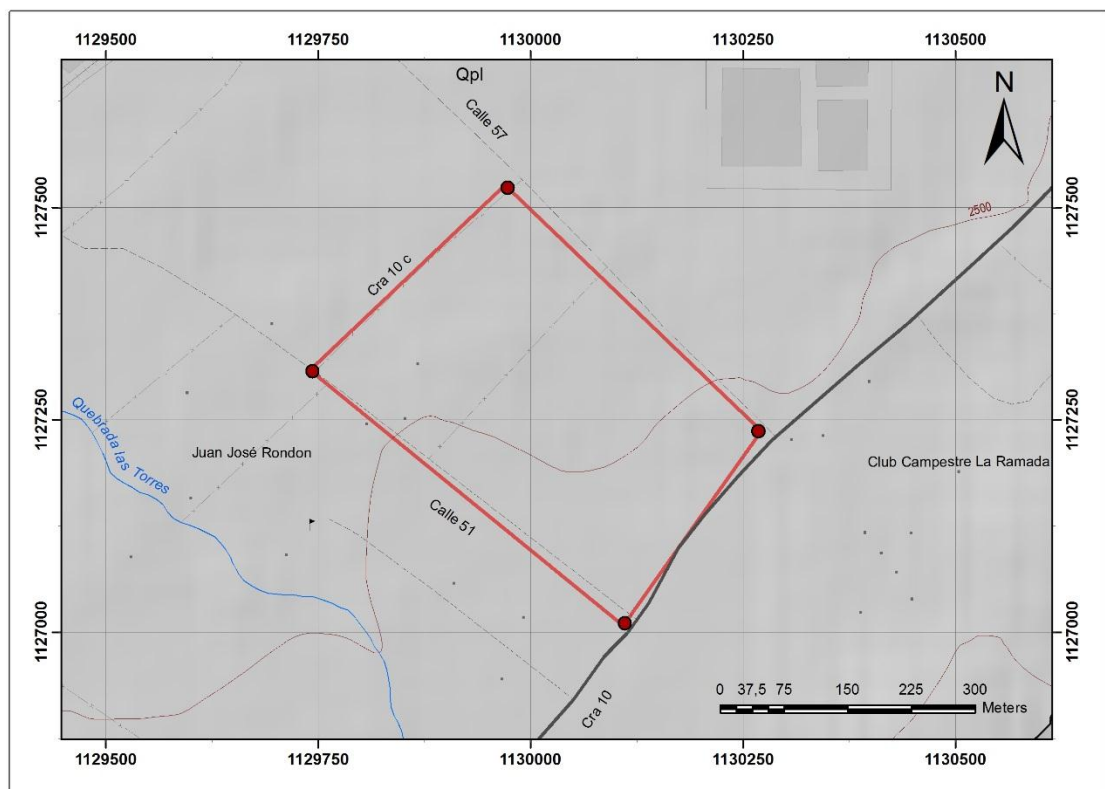
El área de estudio corresponde a un predio que está en la vereda La Ramada, ubicada al noreste del municipio de Sogamoso entre las calles 51-54 y carreras 10a -10c (Anexo 1).

El valle de Sogamoso está bordeado por una cadena montañosa que forma parte de la Cordillera Oriental de los Andes. El municipio se localiza a una distancia de 70,6 Km al Noreste de Tunja, la capital del departamento de Boyacá y a 234 Km al Noreste de la capital del país (Bogotá).

La zona de estudio está enmarcada entre las coordenadas (Origen Magna Colombia Bogotá):

Punto	X	Y
Superior	1129970,29	1127526,06
Derecho	1130271,6	1127236,87
Inferior	1130109,46	1127009,12
Izquierdo	1129740,68	1127308,47

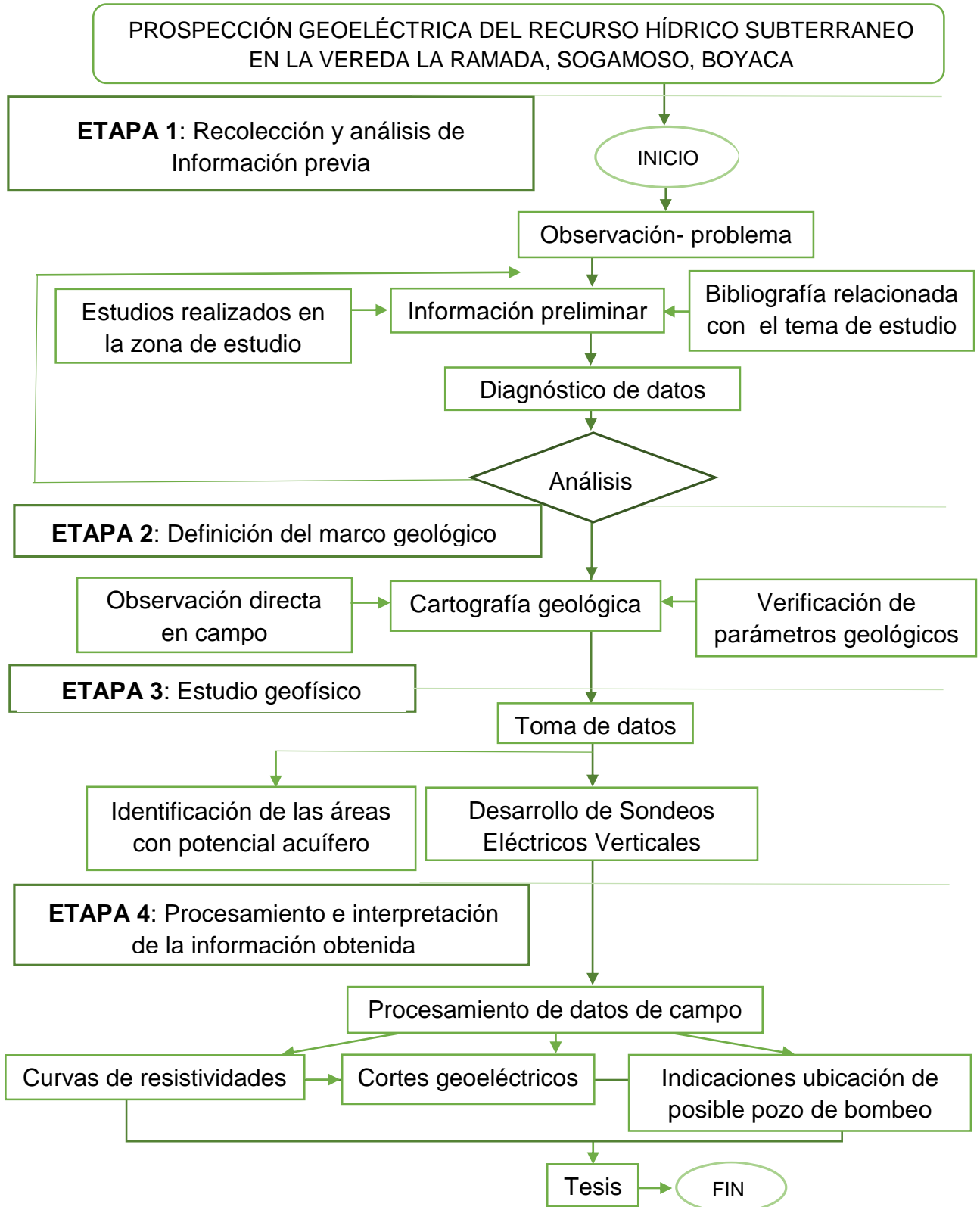
Figura 1. Ubicación de la zona en la cual se realizó el estudio.
Fuente: Autor.



1.3. METODOLOGÍA

La metodología de la investigación para el presente proyecto se describe con detalle a continuación:

Figura 2. Diagrama de flujo del aspecto metodológico. Fuente: Autor.



1.4. CLIMA, VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO.⁴

La zona de convergencia intertropical (ZCIT) influye directamente sobre el régimen de lluvias en el municipio. Lo anterior se evidencia naturalmente cuando en las áreas que están hacia las montañas, es decir que tienen mayor altitud los volúmenes de precipitación registrados son los mayores.

Como se ha mencionado anteriormente el factor orográfico es determinante en atenuar o intensificar los regímenes de lluvia; por otro lado la precipitación también depende del efecto producido por el desplazamiento de la ZCIT de sur a norte y en sentido contrario, a lo largo y ancho del país durante el año. De esta forma, al estar la ZCIT en posición meridional máxima, esto durante los meses de enero y febrero se presenta un periodo seco que se extiende de diciembre a marzo. Las precipitaciones que se presenten en este periodo tienen su origen básicamente por el fenómeno de convección.

Cuando la ZCIT asume la posición central en los meses de abril y octubre se producen las temporadas de lluvia más notables en el año. La una va desde abril a junio y la otra de septiembre a noviembre.

En la posición septentrional máxima de la ZCIT, que se presenta en los meses de julio y agosto la influencia se localiza hacia el norte del país ocasionando temporadas lluviosas en el Caribe. De allí que Sogamoso tenga un segundo temporal seco.

En lo que respecta a la distribución de la precipitación sobre el área de estudio que se sitúa al norte del municipio; presenta un comportamiento bimodal como ya se ha hablado arriba. Así la primera temporada lluviosa esta entre los meses de marzo y mayo registrando valores que oscilan entre los 60 y 129 mm. En tanto, la segunda temporada va desde septiembre hasta noviembre, registra valores entre los 60 y 100mm. Por otro lado una disminución muy pronunciada de la precipitación que se traduce en los periodos más secos, éstos ocurren en los meses de junio a agosto y de diciembre a febrero. El mes de enero resulta ser el mes más seco, ya que registra valores por debajo de los 30mm.

⁴ Tomado de: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DAPLAM. Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Sogamoso. Dimensión físico-biótica Tomo I, Año 2000, pgs. 50-55.

Hacia la parte norte de Sogamoso se encuentran dos estaciones meteorológicas (la de Belencito y Sena), las cuales registran una temperatura media del aire que varía entre 13,7°C y 14,8°C. Los meses de junio y agosto exhiben los valores más bajos mientras que abril y noviembre tienen los valores más altos. Las temperaturas máximas registran valores entre 22,8°C y 26°C; durante el periodo seco que comprende los meses de junio, julio y agosto se presentan los valores más bajos de todo el año, en tanto que en el periodo seco de diciembre a febrero presenta los más altos. Las temperaturas mínimas registradas oscilan por lo general entre los 3,2°C y 6,4°C.

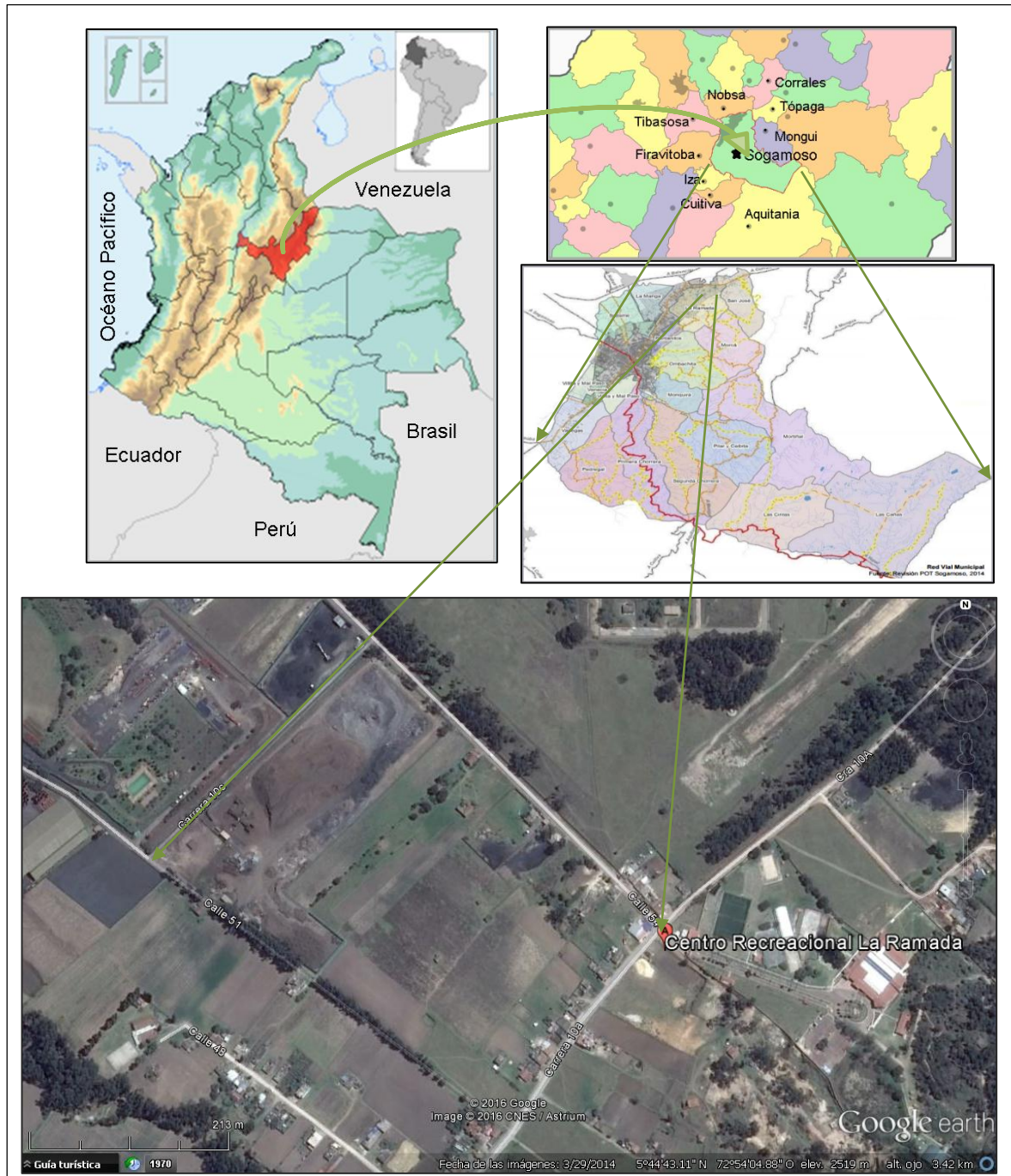
Haciendo referencia a los balances hídricos calculados, para la zona de interés se tiene una apreciación de en general se registran excesos de agua durante casi todo el año.

La zona climática con la que clasifica la parte norte del municipio según Thornthwaite (1948), se denomina húmeda mesotermal y se caracteriza por tener índices hídricos que varían entre los 40-60mm, es decir que se presentan pequeñas y casi nulas deficiencias de agua en el periodo húmedo. La clasificación aplicada se basa en la evapotranspiración potencial, tiene en cuenta parámetros como el índice hídrico, índice térmico y la variación estacional del índice hídrico.

El área de interés corresponde a un clima frío seco, está ubicado entre las cotas 2450-2500 msnm aproximadamente. El tipo de relieve que demuestra el terreno es de tipo ladera estructural y su forma quebrado. Los suelos están sobre los abanicos y las planicies fluvio lacustres, presentan erosión de grado severo y son generalmente bien drenados. La vegetación es principalmente pastizales de valle que generalmente se combinan con cultivos agrícolas propios de este piso térmico.

Figura 3. Localización geográfica de la zona de estudio.

Fuente: © 2016 Google Image © 2016 CNES / Astrium (fecha de las imágenes 3/29/2014)



2. GEOLOGÍA

El marco geológico se ha realizado mediante una observación directa en campo, en la cual fueron verificados algunos parámetros geológicos como las características de las formaciones geológicas presentes en el área y sus contactos. De esta manera se logró generar un mapa regional a escala 1:10000, para ello se hizo el levantamiento de datos cada 200 metros. Se trabajó esta escala con el fin de tener una visión del comportamiento de las formaciones geológicas dentro del sistema hidrogeológico, y así tener una idea global sobre las zonas de recarga y descarga del acuífero en investigación. El mapa geológico local está a escala 1:3500, y se elaboró tomando en cuenta las separaciones entre los sondeos a ejecutar. Se muestran las litologías a detalle con base a los resultados de la geoeléctrica realizada en el proyecto.

Se elaboró también el mapa de trabajo a una escala 1:3500, el cual permitió la planeación de los trabajos de geofísica, ubicando los puntos en los cuales fueron aplicados los sondeos eléctricos. (Se presentan anexos). Para la elaboración de los mapas fue necesario usar de soporte la geología del municipio a escala 1:25.000 suministrada por el POT⁵ (1998-2000), la información primaria obtenida en la fase de campo y demás estudios generales realizados en esta zona de Sogamoso.

2.1. GEOLOGÍA REGIONAL ⁶

El municipio de Sogamoso se ubica sobre la cordillera oriental de los Andes Colombianos. En el municipio afloran rocas de tipo sedimentario, las cuales están dispuestas de forma más o menos paralelas con una orientación SW-NE. Geológicamente éstas rocas hacen parte de una serie plegada de edad neocretácica terciaria.

De forma regional la zona hace parte de la cuenca del Chicamocha, la cual ha tenido una historia muy significativa tectónicamente. El intenso grado de fracturamiento manifestado en las fallas geológicas, diaclasas y cortos plegamientos con dirección preferente NNE – SSW; se deben a la potente historia orogénica y deformacional que muy bien caracteriza a dicha cuenca. Haciendo mención como tal del área de estudio del actual proyecto, la falla más próxima esta hacia el oriente es la Falla de

⁵ Tomado de: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DAPLAM. Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Sogamoso, Año 2000.

⁶ Tomado de: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DAPLAM. Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Sogamoso. Dimensión físico-biótica Tomo I, Año 2000, pgs. 34-36.

Gámeza. Esta falla es de tipo regional como las Fallas de Tópaga y Monguí, las cuales están en disposición paralela a la importante Falla de Soapaga, ésta aflora al occidente del área de estudio y representa un rasgo tectónico principal en esta zona de Boyacá. Estas fallas inciden duramente el área hacia el oriente, creando contrastes geomorfológicos muy marcados, principalmente escarpes en las formaciones arenosas. En conclusión de forma regional el área circundante al área de estudio del proyecto posee manifestaciones de cantidad de plegamientos y fallas de tipo longitudinales y transversales.

El aporte de conocer la geología estructural que circunda al predio en observación es entender que estas geomorfologías generadas por la evolución tectónica de la región, junto con las capacidades hidráulicas de la Formación Picacho garantizan la recarga de los acuíferos presentes en el Deposito Fluvio-lacustre. Lo anterior favorece la factibilidad de la exploración de este recurso.

En el área de estudio las formaciones geológicas predominantes son: Formación Picacho (Pgp), Formación Arcillas de Socha, Cuaternario Coluvial y principalmente el Deposito Cuaternario Fluvio Lacustre (Qpl). (Ver mapa geológico anexo).

2.2. ESTRATIGRAFÍA LOCAL

2.2.1. Formación Arcillas de Socha (Pgas)

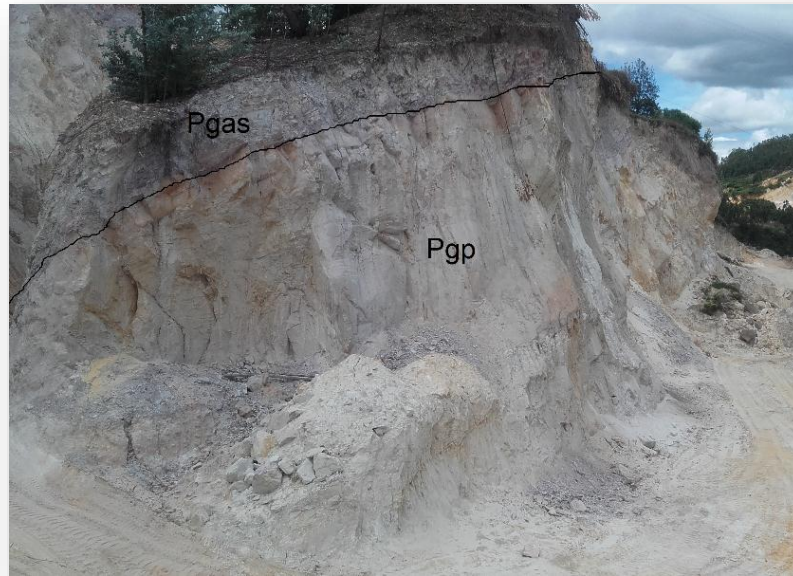
Esta formación designa la sucesión estratigráfica comprendida entre la formación Areniscas de Socha y la Formación Picacho. El nombre se propone como Formación Arcillas de Socha, reemplazando al de Formación Socha Inferior (Alvarado & Sarmiento 1944), debido a que la Guía Estratigráfica Internacional ha recomendado no utilizar términos como inferior, medio o superior en la definición de nombres de unidades formales.

La descripción de esta unidad litoestratigráfica se hace con base en las secciones medidas en la carretera Corrales - Paz de Río, donde presenta un espesor de 345,25 m y al Occidente del colegio Sugamuxi de Sogamoso, donde alcanza 172,35 m de espesor. El contacto de esta unidad litoestratigráfica con la suprayacente Formación Picacho es concordante y neto, y se ha marcado en la base de una sucesión de cuarzoarenitas de grano medio a grueso. *Alvarado & Sarmiento (1944)* consideran que este contacto podría ser discordante, debido al cambio de espesor que muestra la Formación Socha Superior en sectores como el cerro del Fraile (cambia de 400 m a 180 m) y el carácter conglomerático en la base de la Formación

Picacho. En cuanto a la edad de esta formación Thomas Van Der Hammen la refiere, con base en estudios de polen, al Paleoceno.⁷

Figura 4. Toma en dirección SE. Mina de arenisca de la formación Picacho, se muestra contacto entre dicha formación y la formación Arcillas de Socha.

Fuente: Autor.



2.2.2. Formación Picacho (Pgp)

Debido a las condiciones hidrogeológicas y propiedades hidráulicas que posee la Formación Picacho, es considerada como el mejor acuífero. Por otro lado según VAN DER HAMMEN (1957), la datación no ha sido posible mediante palinología debido a que en esta unidad no se han encontrado muestras con polen; a pesar de ello, basándose en su posición estratigráfica, se ha considerado que la edad correspondería a Terciaria Eoceno Inferior (Eocena temprana).

La Formación Picacho está constituida por un potente conjunto de areniscas que suprayace concordantemente a la Formación Areniscas de Socha (Formación Socha Superior), según como fue propuesto por ALVARADO & SARMIENTO (1944). La formación tiene contacto superior con la Formación Concentración el cual es de tipo concordante y neto.

⁷ Universidad Nacional de Colombia Departamento de Geociencias, INVENTARIO, INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y GEOQUÍMICA DEL BLOQUE SOAPAGA, Bogotá 2008, pgs. 15-16.

Fundamentalmente esta formación está constituida por rocas areniscas de color blanco, a veces se presentan conglomeráticas con guijas y guijarros en la base. La estructura sedimentaria frecuente es la de estratificación cruzada; la gradación es bien diferenciada y es usual encontrar niveles de arcillolitas laminadas de manera local.

El conjunto Inferior de la Formación Picacho es el que se halla bordeando el valle de Sogamoso, y es una importante fuente el suministro de materiales de construcción para la región.

2.2.3. Depósitos Fluvio-Lacustres (Qpl)

Este depósito según el estudio hidrogeológico contemplado en el Plan de ordenamiento Territorial para Sogamoso (2000) es calificado hidrogeológicamente como acuitardo.

Estos depósitos corresponden esencialmente a la zona plana del valle de la ciudad de Sogamoso. El cual ha tenido una evolución muy compleja, debido a que se han presentado periodos de desecación en combinación con extensos periodos de inundación relacionados a los escenarios de barrera natural en los cuales se represaba el agua, así como al grado de colmatación de las cuencas. De esta manera en estos periodos lacustres fue posible la sedimentación de capas arcillosas amarillas y azulosas con intercalaciones de capas de arenas finas y limos. Se han encontrado también la presencia de conglomerados lo cual indica variaciones en el régimen de sedimentación y alternancia de periodos lacustres y fluviales. El espesor de este depósito es muy variable.⁸

La parte superior de los sedimentos lacustres o fluvio- lacustres se puede observar en el sector terminal del valle de Sogamoso, ya que la acción erosiva del río Chicamocha la ha puesto a exposición directa. Se han hallado restos fósiles de mamíferos dentro de arcillas limosas blandas a 8 m de profundidad gracias a las excavaciones para la construcción de la Planta de Cementos CPR. Suprayaciendo a estas arcillas se han observado 4 m de arcilla gris azulosa plástica y luego un horizonte de gravilla poligénica (1.20 m) y uno de arena amarilla con estratificación

⁸ Tomado de: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DAPLAM. Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Sogamoso. Dimensión físico-biótica Tomo I, Año 2000, pgs. 34-36.

cruzada (0.60), estos últimos indican una fase fluvial. Ya por encima de este material se describió otra capa de arcilla amarillenta hasta la superficie del terreno (2.00m).⁹

Una perforación realizada a 6 m del sitio referido, no halló el depósito fluvial pero si el nivel de limo arenoso en el cual encajaban los fósiles. A continuación se describe el perfil estratigráfico; en el intervalo de 8 a 29 m la perforación mostró frecuentes alternancias arenosas, algunas con cantos de arenisca. De 29 a 43 m de profundidad los sedimentos vuelven a ser finos. Esta secuencia estratigráfica sugiere la existencia de una fase lacustre seguida por una alternancia de episodios lacustres y fluviales, que culminan hacia arriba con dos fases típicamente límnicas (arcillas plásticas grises y arcillas amarillentas) separadas por un periodo fluvial (conglomerado y arenas).¹⁰

Figura 5. Panorámica tomada en dirección NW, en rojo la zona de estudio. Se muestra el cuaternario fluvio-lacustre y el cuaternario coluvial.

Fuente: Autor.



⁹ REYES CH, ITALO. Observaciones sobre el Cuaternario del altiplano Tunja-Sogamoso.- Geol Colombiana N° 17, p. 153 Bogotá. 1990.

¹⁰ REYES CH, ITALO. Observaciones sobre el Cuaternario del altiplano Tunja-Sogamoso.- Geol Colombiana N° 17, p. 153 Bogotá. 1990.

2.2.4. Depósitos Coluviales (Qc)

Con el vocablo “Coluviales” se encierran los depósitos de talud y derrubios; están constituidos por acumulaciones de materiales de composición heterogénea y de tamaño variable, predominantemente bloques angulares. La composición de estos depósitos es principalmente representada por fragmentos grandes de areniscas y cuya matriz es de tipo arcillo-arenosa, el color es pardo amarillenta. Estos depósitos son comunes a lo largo del valle hacia el oriente de Sogamoso en la base de los escarpes rocosos de las formaciones areniscas de Socha y Picacho. Hidrogeológicamente este depósito se considera como un acuífugo.¹¹

2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

A escala regional un rasgo tectónico que se evidencia en el terreno son las manifestaciones de truncamientos escarpados principalmente en las formaciones arenosas como lo es la Formación Picacho; que han sido resultado del efecto de las fallas de Gámeza y Tópaga que cortan de forma abrupta el área hacia el oriente de las mismas. Lo descrito anterior ha tenido influencia en el modelado de los actuales terrenos dado que ha producido gran cantidad de materiales que forman los actuales depósitos coluviales.

2.4. GEOMORFOLOGIA

Según el mapa de pendientes y el mapa geomorfológico contemplados en el POT del municipio (2000) y teniendo en cuenta que el área de estudio comprende altitudes entre 2500 y 2550 aproximadamente; las pendientes que se tienen son de 7-25%. De esta manera se exhibe un paisaje de planicie, el cual debe su origen y evolución a los procesos de desecación, sedimentación aluvial y periodos lacustres.

Son apreciables los procesos de erosión pluvial que tienen efecto cuando no existe vegetación que ayude a contener los materiales expuestos a ser transportados.

¹¹ Tomado de: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DAPLAM. Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Sogamoso. Dimensión físico-biótica Tomo I, Año 2000, pgs. 34-36.

3. GEOFISICA

La ciencia geofísica utiliza los principios fundamentales de la física para realizar investigaciones sobre el comportamiento los diferentes materiales del entorno terrestre. Es una ciencia técnica ya que emplea equipos y métodos para evaluar las propiedades y distribución de los componentes del suelo-subsuelo desde la interpretación de las observaciones superficiales y del terreno, ante fenómenos tales como; el campo magnético, la densidad de las rocas, radioactividad, la capacidad para conducir la electricidad o las ondas sísmicas, entre otros. ¹²

En cuanto a la prospección de las aguas subterráneas al estudiar las propiedades físicas del subsuelo y realizar la correlación con la geológica de superficie, los estudios geofísicos contribuyen a diagnosticar la ubicación y geometría aproximada del acuífero. Es decir que dentro de los alcances que la prospección geofísica establece están; la profundidad del agua subterránea, valorar el espesor de la capa no saturada, la porosidad de la roca o el sedimento, situar zonas de fracturas, entre otros. ¹³

Dentro de los métodos geofísicos más utilizados están los gravimétricos, magnetométricos, sísmicos, electromagnéticos, registros de pozos y los métodos resistivos. Estos últimos, los métodos eléctricos de resistividad, en realidad son los más adecuados para el estudio de las aguas subterráneas ya que el único parámetro físico que permite a priori discriminar una roca seca de una saturada es la conductividad eléctrica.

3.1. MÉTODOS ELÉCTRICOS APLICADOS A LA PROSPECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Dentro de los métodos geoeléctricos más comunes en la hidrogeología están los que emplean la inyección artificial de una corriente eléctrica, por ejemplo los sondeos eléctricos verticales SEV, las calicatas eléctricas CE y la polarización inducida PI. Por otro lado también está el de potencial espontáneo PE que mide el campo eléctrico natural. Estos dos últimos mencionados el PI y PE son los menos utilizados. Otros métodos de menor uso son: los sondeos eléctricos bipolares, sondeos de frecuencia, corrientes telúricas, AFMAG (audio frecuencia magnética).

¹² Fuente: <http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/intro-geofisica>

¹³ Las aguas subterráneas: un enfoque práctico, Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS, Bogotá, Colombia, 2011, pgs. 55-56.

Otro método que cabe mencionar el cual se ha difundido en los últimos años es el conocido como imagen eléctrica o tomografía eléctrica.

3.2. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL

El sondeo eléctrico vertical es una de las modalidades de prospección geoelectrica que emplea corriente continua. Dentro de las ventajas que ofrece este método a comparación de otras técnicas están; que son relativamente de fácil aplicación, no generan alteraciones en las propiedades físicas e hidráulicas de las rocas o sedimentos y resultan económicos. Por otro lado, su mayor limitación es la interpretación, ya que ésta se complica a medida de que el medio natural se aparta de los requisitos teóricos (homogeneidad e isotropía) que tipifican al medio ideal.

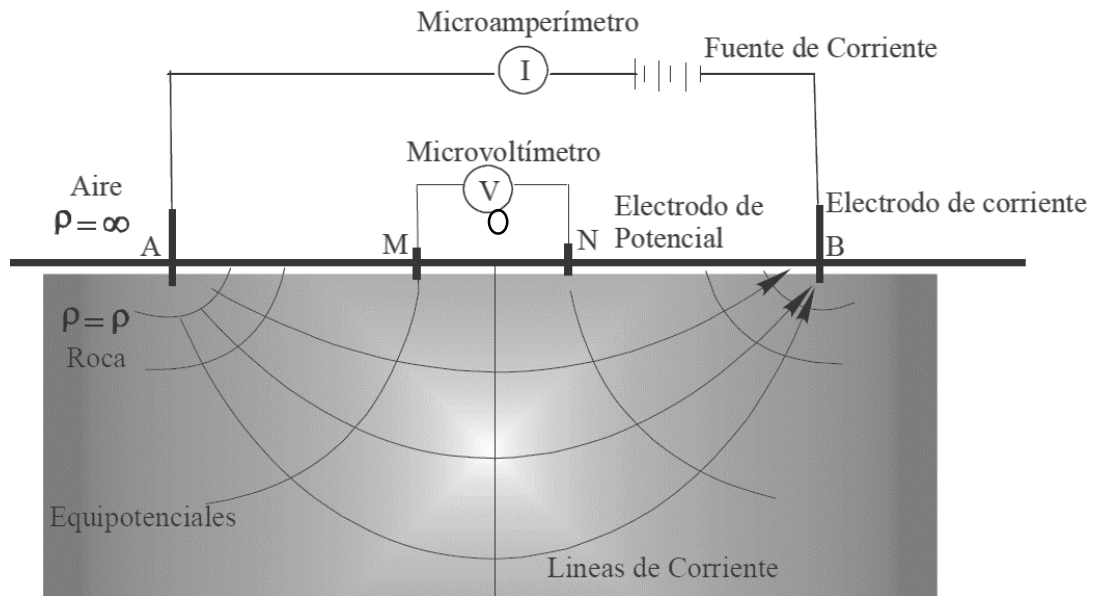
El equipo empleado para aplicar el sondeo eléctrico vertical consiste en lo siguiente: un conjunto de electrodos impolarizables los cuales se incrustan en el terreno como puntos de inyección (A y B) y puntos de medición (M y N), una batería para inyectar la corriente (I), la cual está regulada por un miliamperímetro, un microvoltímetro para medir la diferencia de potencial (ΔU), y los cables eléctricos necesarios para las conexiones (Figura 2).

Según lo anterior para generar y registrar un SEV se requiere; un circuito de emisión y uno de recepción. El circuito de emisión, está integrado por una fuente de energía, un amperímetro para medir la intensidad de la corriente, los electrodos de emisión (A y B) y cables de transmisión. En sondeos normales se utiliza una batería de 12 voltios en serie con un convertidor de unos 250 W de potencia. El cable de transmisión tiene una sección de 1 mm² y para transportarlo y extenderlo se arrolla a un carrete de unos 500 m de longitud. Por otro lado el circuito de recepción, compuesto por un milivoltímetro electrónico de alta impedancia y dos electrodos para la medición del potencial (M y N) impolarizables, constituidos por vasos con fondo poroso que contienen una solución saturada de sulfato de cobre, en los que se sumerge una varilla de cobre que está conectada al cable de medición del circuito.¹⁴

¹⁴ AUGÉ, Miguel. Notas de clase METODOS DE PROSPECCION DE AGUA SUBTERRANEA. Universidad de Buenos Aires, 2008, p. 11.

Figura 6. Circuito de emisión y recepción en un SEV.

Fuente: Notas de clase. Dr. Rodolfo F. García. Universidad de Salta. ¹⁵



De modo general el método de S.E.V., consiste en un conjunto de mediciones de la resistividad aparente sobre un punto O, efectuadas con el mismo tipo de dispositivo lineal (Wenner o Schlumberger), dichas mediciones se toman a separaciones crecientes entre los electrodos de emisión y recepción.

El objetivo de un sondeo eléctrico vertical (S.E.V.), consiste en la obtención de un corte geoelectrico que muestra la variación de la resistividad aparente en función a la profundidad a medida que las distancias entre los electrodos de medición se van incrementando como ya se ha mencionado.

Los contrastes en las resistividades de los materiales a evaluar son los que permiten aplicar exitosamente los métodos geoelectricos. De acuerdo a lo mencionado, la viabilidad de aplicación de estos métodos depende de si existe el suficiente contraste entre las resistividades de las capas dispuestas en el subsuelo y de si estas conforman medios más o menos horizontales y de gran extensión respecto de su profundidad.

¹⁵ GARCIA. Rodolfo F, Método eléctrico Principios y leyes fundamentales, prospección, tendidos, presentación e interpretación. Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina, 2013, p. 404.

3.3. FUNDAMENTOS FÍSICOS Y GEOLÓGICOS

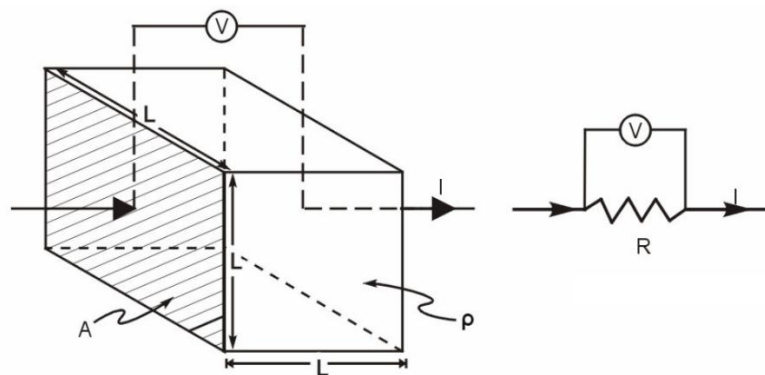
Como ya se ha dicho, el principio en el que se basa este método consiste en interpretar los distintos materiales del subsuelo, a partir de las variaciones de la resistividad al paso de la corriente eléctrica.

El equipo de campo más usado está diseñado para corrientes continuas artificiales. La corriente generada por una batería se transmite a través de cables aislados dispuestos sobre el suelo, y en sus extremos se conectan a electrodos (varillas de cobre o acero) que se clavan para cerrar el circuito eléctrico. Con otros dos electrodos independientes se mide la tensión resultante a través de un voltímetro.

El flujo de una corriente eléctrica a través de las rocas o los sedimentos, puede explicarse a partir de la Ley de Ohm que establece que la diferencia de potencial ΔV entre dos puntos por los cuales circula una corriente eléctrica de intensidad I , es proporcional a ésta y a la resistencia R que ofrece el medio al pasaje de la corriente (Figura 7).

Figura 7. Ilustración de la Ley de Ohm.

Fuente: Dr. AUGÉ, Miguel. Notas de clase.¹⁶

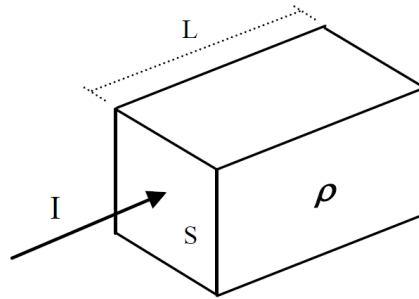


$$\Delta V = I * R$$

La resistencia R viene en función de la naturaleza y la geometría del material conductor. Al asemejar la geometría a un cilindro de longitud L y sección S :
Figura 8. Comportamiento de la resistencia a través de un material.

¹⁶ AUGÉ, Miguel. Notas de clase METODOS DE PROSPECCION DE AGUA SUBTERRANEA. Universidad de Buenos Aires, 2008, p. 2.

Fuente: Autora.



$$R = \frac{\rho * L}{S}$$

La ecuación anterior en la que ρ representa la naturaleza del conductor y se denomina resistividad. Para el caso de la prospección geoelectrica, es la resistividad de las rocas o sedimentos. De esta forma al reemplazar R de la ecuación referente a la ley de Ohm por su equivalente de la ecuación para calcular "R" si tiene que:

$$\Delta V = \frac{I * \rho * L}{S}$$

La resistividad es una propiedad inversa a la conductividad eléctrica y por lo general se expresa en Ohmio por metro ($\Omega \cdot m$). La propiedad en la mayoría de las rocas y sedimentos secos muestra una magnitud elevada, por lo que estos materiales actúan como semiconductores, o conductores de baja capacidad. Este comportamiento cambia significativamente cuando las fisuras o los poros están saturados por agua, lo que genera una disminución de la resistividad, o lo que es lo mismo en aumento en la capacidad de conducción de la corriente eléctrica. Además del grado de saturación también incide en la resistividad del medio conductivo, el contenido salino del agua; a mayor salinidad, menor resistividad y viceversa.¹⁷

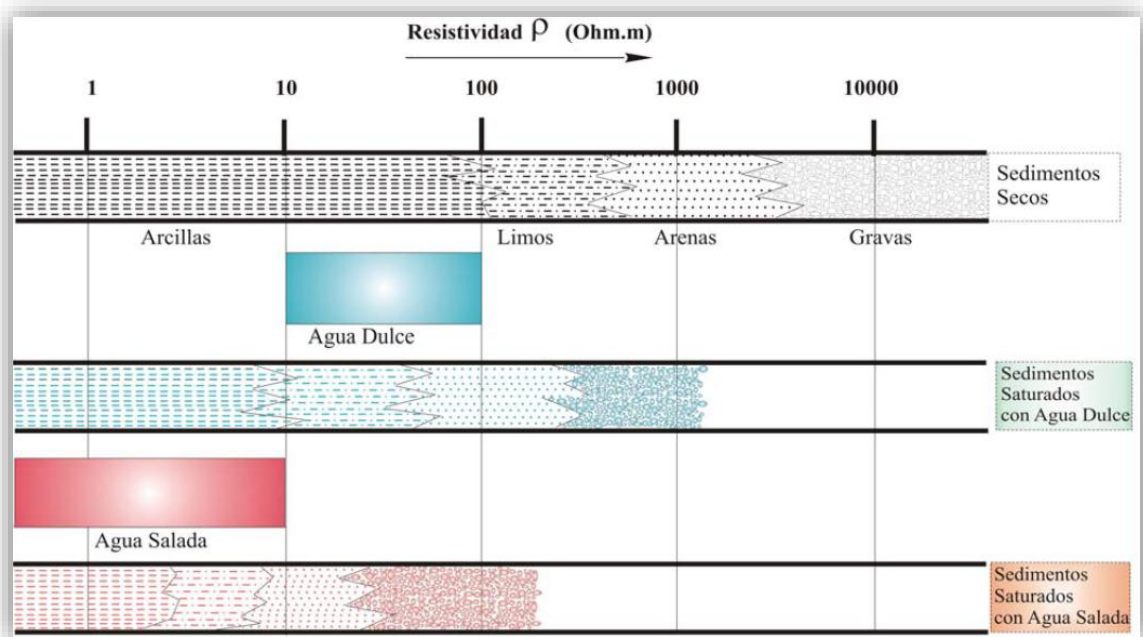
Son escasos los materiales geológicos que se encuentren subsaturados o secos, que presenten baja resistividad; entre los que pueden mencionarse a minerales metálicos como calcopirita, piritita, magnetita, galena, pirrotina, etc. El grafito también presenta elevada conductividad eléctrica, pero la mayoría de los minerales no metálicos, al igual que las rocas, tienen resistividades significativamente mayores, en general entre 2 y 6 órdenes de magnitud superiores. En la Figura 6, se indican

¹⁷ AUGÉ, Miguel. Notas de clase METODOS DE PROSPECCION DE AGUA SUBTERRANEA. Universidad de Buenos Aires, 2008, p. 4.

las resistividades que caracterizan a los principales sedimentos, se aprecian diferencias notorias entre los de grano fino (margas, limos, arcillas), los de grano mediano (arenas) y grueso (gravas); así mismo se exhibe la influencia que tiene el grado de saturación y salinidad del agua que presenta la roca.

Figura 9. Diagrama de comparación entre los valores de resistividad en sedimentos secos, saturados con agua dulce y agua salobre.

Fuente: Notas de clase. Dr. Rodolfo F. García. Universidad de Salta. ¹⁸



En la Figura 8 se esquematizó el flujo eléctrico de una corriente continua, a través de un medio isótropo y homogéneo de resistividad ρ , que se inyecta en el terreno por A, con una intensidad I_A y sale del mismo por B (I_B). En condiciones de régimen estacionario (sin pérdidas ni ganancias entre A y B), resulta que:

$$I_A = I_B$$

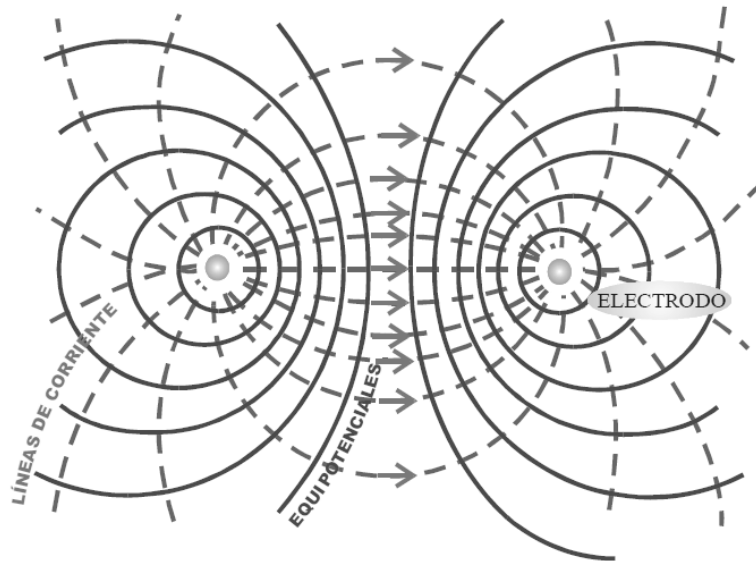
Si los electrodos A y B están separados por una distancia considerable y el subsuelo es homogéneo e isótropo, las líneas de corriente son radiales y divergentes y las superficies equipotenciales semiesféricas (Figura 7). En este caso la resistividad del subsuelo será:

¹⁸ GARCIA. Rodolfo F, Método eléctrico Principios y leyes fundamentales, prospección, tendidos, presentación e interpretación. Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina, 2013, p.405.

$$\rho = \frac{2 \pi * [r_2 - r_1] \Delta V}{r_1 * r_2} = K \frac{\Delta V}{I}$$

Figura 10. Líneas de corriente y equipotenciales en una vista en planta, generadas por dos electrodos conectados en superficie (vista en planta).

Fuente: Notas de clase. Dr. Rodolfo F. García. Universidad de Salta.¹⁹



Donde constante geométrica K depende directamente de la geometría del dispositivo empleado para inyectar y medir la corriente y tiene las dimensiones de una distancia. El componente geológico natural no es isótropo ni homogéneo, por lo que las superficies equipotenciales y las líneas de corriente no son regulares y rectas y la resistividad obtenida de la ecuación e, corresponderá a una integración de los valores medios, en los que inciden la anisotropía y la heterogeneidad del terreno y la posición relativa de los electrodos; a esta resistividad se la denomina aparente (ρ_a).

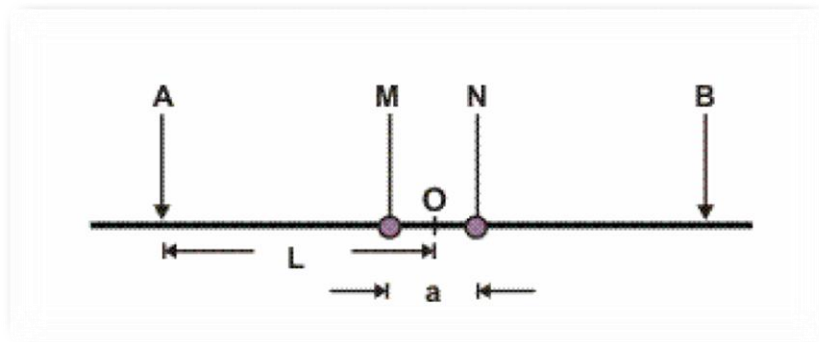
Un sondeo eléctrico vertical configurado de manera lineal consiste en que los electrodos de inyección de corriente (A y B) y los de medición del potencial (M y N) se disponen alineados y pueden ser de acuerdo a los arreglos propuestos por Schlumberger y Wenner.

¹⁹ GARCIA. Rodolfo F, Método eléctrico Principios y leyes fundamentales, prospección, tendidos, presentación e interpretación. Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina, 2013, p.408.

La configuración Schlumberger, es un dispositivo simétrico que debe cumplir con la condición de que la distancia que separa a AB debe ser mayor o igual que 5MN (Figura 11).

Figura 11. Configuración geométrica del dispositivo Schlumberger.

Fuente: Dr. AUGE, Miguel. Notas de clase.²⁰



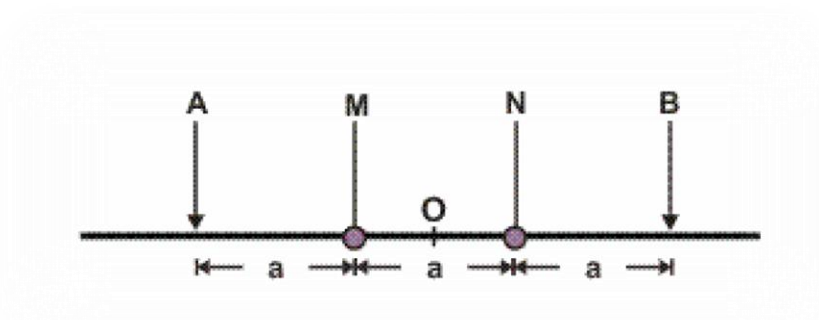
Los valores de resistividad aparente se representan en función de $AB/2$ y la constante geométrica es:

$$K = \frac{\pi * (AB^2 - MN^2)}{4MN} \approx \frac{\pi * L^2}{a}$$

La configuración Wenner también es un dispositivo simétrico pero los elementos se mantienen a distancias iguales (Figura 12).

Figura 12. Configuración geométrica del dispositivo Wenner.

Fuente: Dr. AUGE, Miguel. Notas de clase.²¹



La constante geométrica es:

²⁰ AUGE, Miguel. Notas de clase MÉTODOS DE PROSPECCIÓN DE ÁGUA SUBTERRANEA. Universidad de Buenos Aires, 2008, p. 9.

²¹ AUGE, Miguel. Notas de clase MÉTODOS DE PROSPECCIÓN DE ÁGUA SUBTERRANEA. Universidad de Buenos Aires, 2008, p. 10.

$$K = 2 * \pi * a$$

3.4. METODOLOGIA DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

La aplicación del método SEV involucra la solución de un problema planteado, en este caso de índole hidrogeológico, el objetivo en este caso es la ubicación espacial del reservorio de agua. Sin embargo, antes de optar por la aplicación de este método, debe tenerse en cuenta de si hay un contraste de resistividad entre la formación que desea estudiarse con respecto a las que la rodean; de modo contrario, el método no es aplicable. Por otro lado también hay que fijarse que el terreno presente una topografía suave sin acentuadas heterogeneidades transversales.

Los resultados de una campaña de sondeo eléctrico vertical se evalúan por la confianza y rigor de los resultados obtenidos en campo, y para que estos resulten admisibles, se debe iniciar por una apropiada programación de las tareas a realizar (según Orellana, 1976 y 1978), las cuales de modo general podrían ajustarse a la siguiente secuencia:

1. Planteamiento del problema
2. Recopilación de antecedentes
3. Programación del trabajo de campo
4. Trabajo de campo
5. Procesamiento de los datos
6. Elaboración de un informe con detalle de las tareas realizadas, análisis geológico de los resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones.

La adquisición de los datos en el área de estudio se realizó en la primera semana del mes de julio del año 2016, se emplearon tres días para ello, tres sondeos por día. El equipo empleado para realizar los sondeos estuvo constituido por 4 electrodos de corriente, cables banana, dos carretes de cable, voltímetro y amperímetro de marca PASI, batería (Figura 13). Otros elementos utilizados fueron una cinta métrica, un mazo, brújula y una libreta de campo.

Para la ubicación de los sondeos se tuvo en cuenta la geología ya antes estudiada y las zonas que según los análisis realizados presentan un buen potencial como almacén de agua. Cabe también mencionar que se tiene en cuenta posibles interferencias causadas por la presencia de elementos de metal y de líneas de

transmisión de corriente eléctrica. En este estudio, no hubo ninguno de estos cuerpos que afectaran las mediciones geofísicas.

Figura 13. Equipo de S.E.V. utilizado en la campaña de campo.

Fuente: Autor.



Después de implantar la ubicación del sondeo, la dirección en la que se van a realizar la apertura de los electrodos e instalar el equipo de medición en la estación elegida, se colocaron los 4 electrodos (A,M,N y B) de acuerdo al dispositivo Schlumberger, se compenso el potencial espontaneo del terreno. Este potencial se debe a corrientes naturales que ya posee el terreno y es necesario ser medido en el voltímetro antes de empezar con la toma de datos, para luego restar esta cantidad a los valores medidos durante el sondeo. Posteriormente se dispone a energizar el subsuelo con una corriente continua de intensidad I en mA (electrodos A y B) y se lee la diferencia de potencial ΔV en mV (electrodos M y N). Los valores medidos se registraron en un formato como el mostrado en la tabla 1, en la cual se calcula la variable de interés, resistividad aparente ρ_a ($\Omega \cdot m$).

Se tomaron de 15 a 16 mediciones, desde los 3.2 metros hasta 80 metros, tres lecturas de intensidad de corriente y tres lecturas para la diferencia de potencial, con el fin de promediarlas a la hora de hacer el procesamiento de dichos datos.

Tabla 1. Formato de adquisición de datos de Sondeo eléctrico vertical.

Fuente: Autor.

<i>PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA, SOGAMOSO, BOYACA</i>											
<i>SEV N° __</i>				<i>Dirección:</i>				<i>Fecha:</i>			
<i>Ubicación</i>				<i>Operario:</i>				<i>Equipo:</i>			
<i>X:</i>				<i>Observaciones:</i>							
<i>Y:</i>											
<i>MN/ 2 (m)</i>	<i>AB/2 (m)</i>	<i>I (mA)</i>			<i>Prom I (mA)</i>	<i>ΔU (mV)</i>			<i>Prom ΔU (mV)</i>	<i>K (m)</i>	<i>ρa (Ω. m)</i>
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>			
1	3.2										
1	4										
1	5										
1	6.4										
1	8										
1	10										
1	12.5										
1	16										
1	20										
1	25										
10	32										
10	40										
10	50										
10	64										
10	80										

Se utilizó la configuración tipo Schlumberger, ya antes expuesto. En una primera instancia, se ubicaron los electrodos de voltaje a una distancia de 2 metros entre ellos. Los electrodos de corriente se alejaron a distancias proporcionales cada vez con una máxima AB de 128-160 metros. Es decir que la profundidad de investigación teórica máxima es de 80 metros.

Se decidió aplicar 10 sondeos de los cuales se generaron tres cortes geológico-geofísicos a partir de la correlación entre estos. El terreno sobre el que se realizó el estudio geofísico como se mencionó en la sección de geomorfología, hace parte de un paisaje de planicie; lo cual permite que la aplicación del método ofrezca una información utilizable. El tendido del dispositivo se orientó en dirección N 45° E y la localización de cada sondeo se exhibe en el mapa.

3.5. PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Luego de completar la tabla de registro de resistividad medida en campo (Anexo A), se procedió a generar las curvas de resistividad a escala logarítmica con el empleo del software IPI2win®. Este programa fue desarrollado por per Alexei A. Bobachev Igor N. Nodin y Vladimir A. Shevnin para el departamento de Geofísica, Facultad de Geología de la Universidad Estatal de Moscú (Rusia)²² y opera bajo licencia autorizada de GEOSCAN-M Ltd.

Los algoritmos con los que trabaja este software permiten realizar una rápida comparación entre las curvas de campo con respecto a las teóricas, y se basa se basa en la interpretación automática de los S.E.V (Schlumberger o Wenner), mediante un método iterativo para ajustar las resistividades aparentes y los espaciamientos entre electrodos, a las resistividades reales, así como a las profundidades de las capas implicadas. El proceso interactivo es resuelto usando filtrado lineal.

El procesamiento consistió entonces, en el ingreso de los datos AB/2, MN Y pa al programa IPI2win® (Figura 14); las parejas de valores resistividad aparente/distancia OA se llevan a un gráfico logarítmico y de allí resulta una "curva de campo" o "curva real" (Figura 15). El software utilizado hace un ajuste a la curva de campo con respecto a una teórica, calculando así espesores y las resistividades reales para cada capa estimada. Se trabajó con un margen de error menor al 10% ya que es el máximo aceptado para este tipo de estudio y asegura la confiabilidad de los datos. En el "Anexo B" se presentan las curvas para cada sondeo con su respectivo corte geoelectrico.

²² Bobachev, Alexei et al. IPI2Win User's guide. Moscú: GeoScan-M Ltd, Moscow State University, Geological Faculty, Dept. of Geophysics, 2001. 25pp.

Figura 14. Ventana de ingreso de datos en el IPI2win®.
 Fuente: Interfaz del software IPI2win®.

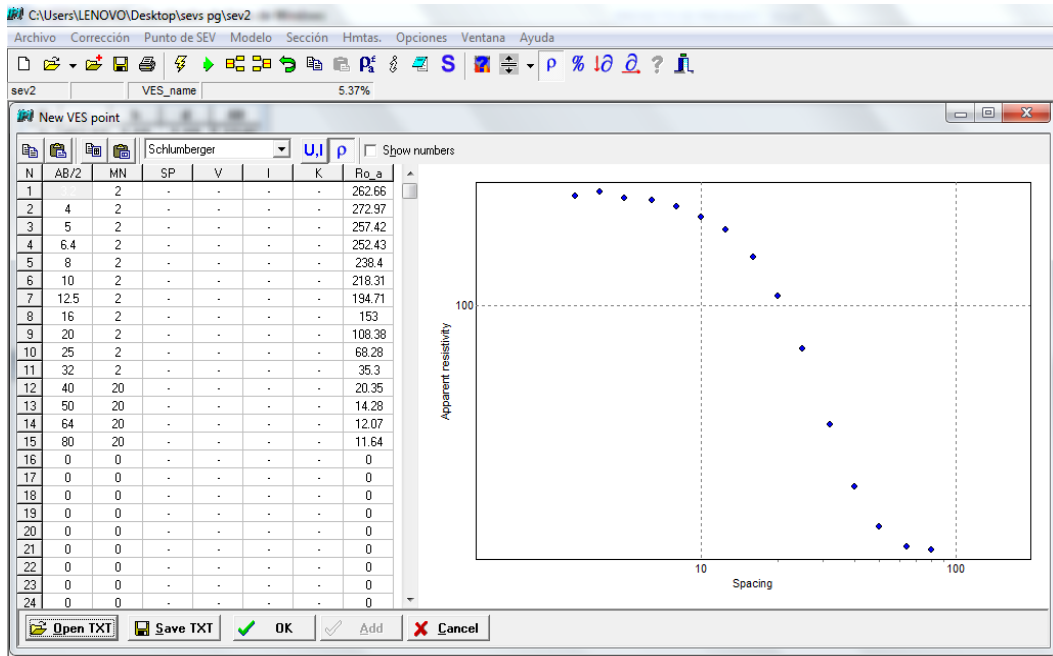
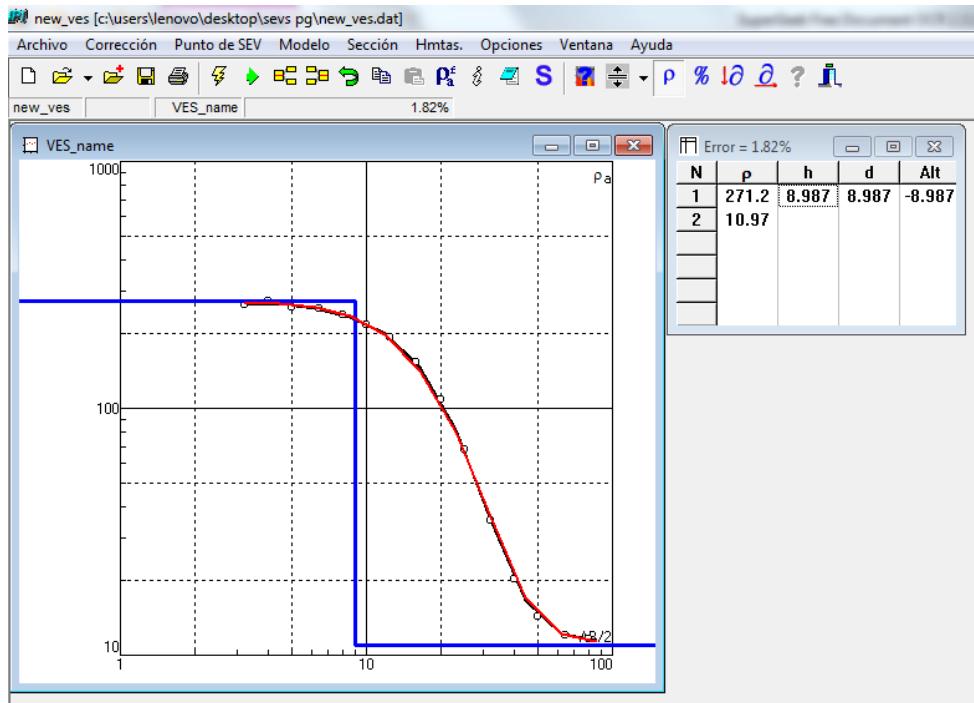


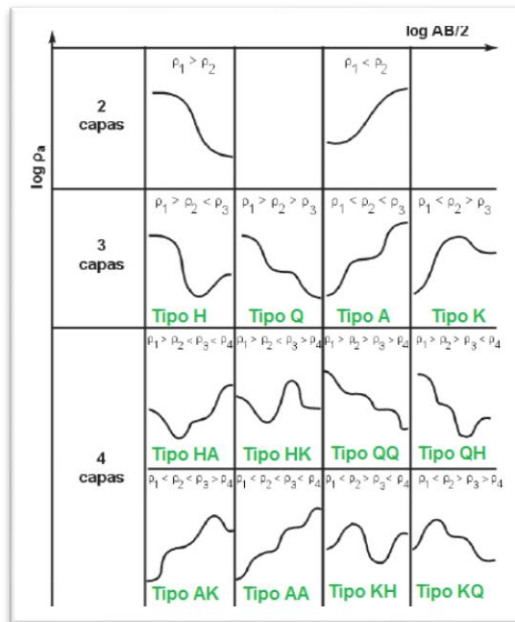
Figura 15. Grafica de resistividad ($\Omega \cdot m$) Vs profundidad AB/2 (m), valores de ρ_r y espesores h para las capas estimadas. En rojo la curva teórica, en negro la curva de campo y los ejes azules indican los espesores.
 Fuente: Interface del software IPI2win®.



A partir de las gráficas de resistividad obtenidas para cada sondeo, se procedió a hacer la interpretación estandarizada según el método de curvas patrón propuesto por Orellana y Mooney (Figura 16).

Figura 16. Curvas de resistividad para 2, 3 y 4 capas.

Fuente: Dr. AUGÉ, Miguel. Notas de clase.²³



De este modo que se logró establecer el número de capas y sus espesores, de acuerdo al tipo de curva generada en campo. Con lo anterior lograr definir la estructura del terreno a partir de comparación entre los contrastes entre las resistividades aparentes medidas y los rangos de resistividades promedio que caracterizan determinadas litologías presentes en el terreno investigado (Tabla 2).

Tabla 2. Resistividades de los materiales que componen el subsuelo del terreno estudiado.

Fuente: Autor.

Rango de Resistividades ρ	Litología
300.- 418 $\Omega \cdot m$	Suelo pedregoso de porosidad, humedad y permeabilidad variables.
91,2 .- 300 $\Omega \cdot m$	Arenas arcillosas y limosas.
5,52 - 10,97 $\Omega \cdot m$	Sedimentos arenosos y gravosos saturados.

²³ AUGÉ, Miguel. Notas de clase METODOS DE PROSPECCION DE AGUA SUBTERRANEA. Universidad de Buenos Aires, 2008, p. 10.

4. RESULTADOS

El objetivo de un estudio de sondeo eléctrico vertical, consistió en la obtención de la estructura del subsuelo, es decir la determinación de la geometría y la localización de la posible formación acuífera a una profundidad de investigación de 80 m. En el caso del presente proyecto dicha posibilidad de hallar un acuífero fue positiva debido a la naturaleza del depósito sobre el cual se realizó la prospección. El depósito fluvio-lacustre posee niveles importantes de tipo conglomerático y arenoso, que por su naturaleza detrítica, porosa y permeable posibilita el almacenamiento y la transmisibilidad del agua.

Las etapas que prosiguieron luego de ser evaluada la variación del parámetro de resistividad y su proyección hasta cierta profundidad a partir de los resultados definidos en campo para el punto central de medición (O) consisten en dos tareas claves. Estas tareas llevadas a cabo en la etapa de interpretación consisten en; a) la representación de la variación de la resistividad a medida que aumenta la profundidad de investigación por medio de cortes geoeléctricos. b) determinar el significado geológico de los valores de resistividad obtenidos a través de cortes geológico-geofísicos.

4.1. CORTES GEOELÉCTRICOS

En el Anexo C, se exhiben los perfiles geoeléctricos para cada sondeo, en ellos se pueden apreciar las capas geoeléctricas detectadas, sus respectivas resistividades ($\Omega \cdot m$), espesores y la representación a profundidad.

Para la confección de los cortes geoeléctricos se partió de los resultados arrojados en IPI2win®. Además se contó con el conocimiento de una columna estratigráfica mencionada por REYES CH. ITALO²⁴. Esta columna es aproximada del depósito fluvio-lacustre y presenta información de 43 metros de profundidad (Anexo D).

A continuación se expone la interpretación cuantitativa y su significado en cualidad de las litologías que conforman el subsuelo del terreno prospectado.

El S.E.V N° 1, ubicado en las coordenadas X: 1129752, Y: 1127250. La curva geoeléctrica representa el contraste entre dos capas resistivas. La primera capa

²⁴ REYES CH, ITALO. Observaciones sobre el Cuaternario del altiplano Tunja-Sogamoso.- Geol Colombiana, 17, pp. 151-157, 6 Figs., Bogotá. 1990.

geoeléctrica tiene un valor de resistividad promedio de 418 Ω *m, se correlaciona con la capa superficial del terreno. Caracteriza un suelo agrícola de porosidad, permeabilidad y humedad muy variable con sedimentos no consolidados. Esta primera capa tiene un espesor de 7,93 metros. La segunda capa muestra una resistividad promedio de 8,77 Ω *m, sugiere sedimentos finos, arenas en estado saturado con lentes de arcillosos.

El S.E.V N° 2, ubicado en las coordenadas X: 1129775, Y: 1127258. La curva geoeléctrica muestra el contraste claro entre dos capas. La primera capa obtenida tiene un espesor de 8,98 metros, muestra un valor promedio de resistividad de 271,2 Ω *m, valores asociados a material gravoso o suelo agrícola como el mencionado en el sondeo anterior. La capa subyacente muestra un valor de 10,97 Ω *m; sugiere una composición de sedimentos arenosos y gravosos, es un sector perspectivo desde el punto de vista acuífero.

El S.E.V N° 3, ubicado en las coordenadas X: 1129782, Y: 1127351. Existe el contraste de dos capas; de las cuales la primera muestra un valor de 247 Ω *m, al igual que la anterior sugiere un suelo areno-gravoso con contenido de arcilla; su espesor es de 7,21 metros. La segunda capa geoeléctrica presenta una resistividad de 5,52 Ω *m, un valor que se asocia a las arcillas; sin embargo se proponen unos sedimentos finos tipo arena fina con mayor contenido de limo-arcilla.

El S.E.V N° 4, ubicado en las coordenadas X: 1129800, Y: 1127300. Se detectaron dos capas. La primera exhibe una resistividad de 393 Ω *m, caracteriza a la capa superficial, un suelo agrícola "pedregoso" como se ha sugerido en los anteriores sondeos. El espesor estimado para la anterior capa descrita es de 6,52 metros. Por otro lado la segunda capa expresa una resistividad de 9,39 Ω *m, arenisca grano fino con arcillas saturadas.

El S.E.V N° 5, ubicado en las coordenadas X: 1130000, Y: 1127200. Primera capa detectada muestra resistividad de 91,2 Ω *m y su espesor es de 8,28 metros, podría tratarse de un material arenoso arcilloso, con cierto grado de compactación. La capa que subyace a la anterior mencionada exhibe un valor de 7,99 Ω *m, arenisca con algunos granos de grava en estado saturado.

El S.E.V N° 6, ubicado en las coordenadas X: 1130000, Y: 1127250. En este sondeo al igual que los anteriores se detectaron dos capas. Una primera con un valor de 220 Ω *m en su resistividad y 6,63 metros de espesor, se asocia a una litología arenosa-arcillosas. La segunda capa, 6,41 Ω *m, se correlaciona con la capa

inferior de los sondeos ya descritos ya que su valor de resistividad no varía notablemente.

El S.E.V N° 7, ubicado en las coordenadas X: 1130000, Y: 1127400. La capa superior tiene un espesor de 8,09 metros, y una resistividad de $197 \Omega \cdot m$, el material constituyente se propone una composición de arenas-arcillosas y/o limosas. La capa inferior presenta resistividad de $8,6 \Omega \cdot m$, el material se relaciona con el detectado por los anteriores sondeos, un sedimentos compuestos por arenas y gravas, con perspectiva acuífera.

El S.E.V N° 8, ubicado en las coordenadas X: 1130170, Y: 1127200. Capa superficial con un valor de resistividad de $194 \Omega \cdot m$, correlacionada con la capa del sondeo N° 7, arenas con limo-arcilla algo compactas; el espesor es de 6,6 metros. La capa inferior baja el valor en la resistividad a $6,78 \Omega \cdot m$, material compuesto por sedimentos finos tipo arena fina con mayor contenido de limo-arcilla.

El S.E.V N° 9, ubicado en las coordenadas X: 1130180, Y: 1127300. Primera capa con resistividad de $228 \Omega \cdot m$, material compuesto por arena arcillosa, su espesor es de 6,84 metros. La segunda capa $7,41 \Omega \cdot m$, sedimentos compuestos por arenas y gravas con poca arcilla pero saturados.

El S.E.V N° 10, ubicado en las coordenadas X: 1130192, Y: 1127310. Capa superior tiene resistividad de $300 \Omega \cdot m$ y espesor 6,58 metros. Se plantea un material areno arcilloso con significativa presencia de gravas. Capa inferior con un valor de $10,8 \Omega \cdot m$, sector saturado y de composición arena fina con algunas gravas y lentes de arcilla.

4.2. CORTE GEOLÓGICO-GEOFÍSICO

Se generaron tres cortes geológico-geofísicos a partir de los perfiles geoelectricos. Estableciendo relación entre las capas resistivas y su significado geológico para el terreno de estudio (Anexo E).

Se interpretó que la primera capa resalta valores de resistividad entre $91-418 \Omega \cdot m$, se establece una correlación para esta capa superficial con un suelo areno-arcilloso que presenta variaciones hacia un suelo pedregoso de porosidad, permeabilidad y humedad variables. La capa que subyace a la superficial presenta valores bajos a comparación a los de la primera capa, los cuales están en el rango de $5,52-10,97 \Omega \cdot m$. Estos valores según la literatura en geofísica corresponden a arcillas, más en

el caso presente se puede tener la hipótesis a que la composición mineral del agua subterránea provoca un descenso en el valor de resistividad que presenta el acuífero; aumentando la conductividad gracias a los iones electrolíticos.

A partir de la correlación con la columna descrita en una publicación de REYES CH. ITALO²⁵, se propone una litología para la capa inferior compuesta por sedimentos finos como arenas finas con lentes de arcillas en estado saturado. Pueden contener así mismo en menor cantidad sedimentos gruesos como gravas. Esta capa se relaciona con los sectores más perspectivas desde el punto de vista de las aguas subterráneas.

4.3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

Los cortes geoelectricos que se exponen en el Anexo E, muestran que para una profundidad promedio de 7,5 metros hacia abajo, se tiene la presencia de una capa de baja resistividad (5,52 - 10,97 $\Omega \cdot m$). Estos valores sugieren que se trata de la zona con más perspectiva desde el punto de vista acuífero. La litología interpretada para el material que es capaz de almacenar el agua, se relaciona con una composición detrítica, se piensa que son sedimentos arenosos y gravosos, y puede que hallan lentes de material arcilloso debido a los bajos valores en la resistividad. La anterior suposición se hace teniendo en cuenta la columna estratigráfica generalizada para el Cuaternario Fluvio-Lacustre mencionada por REYES CH, ITALO.

Las resistividades expresadas en la capa superficial, presentan valores que están en el rango de 91,2–418 $\Omega \cdot m$. Se ha interpretado que esta capa resistiva consiste en un material compuesto por arenas arcillosas con algo de limos. En esta misma capa se presenta la hipótesis de que existe una pequeña zona en la cual predomina el suelo pedregoso o de relleno. Esto último se exhibe en el corte geoelectrico 1 principalmente y para éste las resistividades corresponden a valores por encima de los 300 $\Omega \cdot m$.

Los materiales arenosos de matriz arcillosa-limosa que están sobre la capa de baja resistividad, actúan como un sello que protege la capa almacén, se podría proponer que el sistema es de tipo acuífero confinado o cautivo. En este caso el horizonte descrito que cubre el acuífero no es totalmente impermeable ya que existen zonas como ya se ha dicho antes, en las cuales hay predominio de “suelo pedregoso”; en

²⁵ REYES CH, ITALO. Observaciones sobre el Cuaternario del altiplano Tunja-Sogamoso.- Geol Colombiana, 17, pp. 151-157, 6 Figs., Bogotá. 1990.

este caso hay un comportamiento tipo acuitardo, en el cual el agua no se conduce con tanta facilidad, y tarda más tiempo en infiltrarse y llegar al medio más poroso.

De acuerdo a lo anterior la combinación de estas propiedades hidráulicas en el sistema permite especular sobre su clasificación en sentido general. El acuífero podría ser de tipo semiconfinado. Aunque cabe aclarar que ésta apreciación no es del todo válida ya que se requiere del conocimiento de otros parámetros hidráulicos, para alcanzar un mejor acercamiento al conocimiento real del acuífero.

5. CONCLUSIONES

- Mediante la consulta de informes y otros estudios ya elaborados en la zona de estudio, principalmente del POT del municipio; se pudo establecer que el predio en el cual se aplicó la prospección geoelectrica, si formaba parte de un área con posibilidad de potencial acuifero. Por otro lado se admitió que los habitantes de la vereda la Ramada son conscientes de la factibilidad del aprovechamiento de las aguas subterráneas, ya que la ha hecho uso de este recurso por medio de aljibes principalmente. Así mismo se conoció que el balance hídrico en esta zona de Sogamoso es positivo, lo cual garantiza la recarga de cantidades apropiadas de agua al sistema.
- El levantamiento geológico realizado permitió corroborar a escala regional (1:10000) y (escala local) 1:3500, las características estratigráficas, estructurales y morfológicas de las formaciones geológicas que afloran a los alrededores del área de estudio. El proceso de la etapa de reconocimiento fue útil para la ubicación de los sondeos eléctricos necesarios para el desarrollo del proyecto. El predio sobre el cual se aplicó el estudio se localiza sobre el Deposito Fluvio-Lacustre. Esta formación es mayoritaria y hacia el este de la zona de estudio se disponen las formaciones Picacho y Arcillas de Socha.
- La exploración geoelectrica consistió en la ejecución de diez sondeos eléctricos verticales distribuidos de manera equitativa dentro del predio del estudio. Los resultados mostraron un claro contraste entre dos capas resistivas. Una capa superficial la cual presento una resistividad promedio en rangos de 91,2–418 $\Omega \cdot m$, los cuales sugieren principalmente un suelo areno arcilloso con contenidos variables de limo. En tanto la otra capa subyacente presento valores de 5,52 - 10,97 $\Omega \cdot m$. Ésta última debido a su baja resistividad se interpretó como la zona con mayor perspectiva acuifera. Se propuso una litología compuesta por sedimentos arenosos y gravosos en estado de saturación.
- Los perfiles geológico-geofísicos fueron generados a partir de los perfiles geoelectricos, los cuales permitieron mostrar la disposición de las dos capas detectadas por los sondeos. Las capas mencionadas se presentan un comportamiento casi homogéneo a lo largo del terreno estudiado. En este

caso los perfiles permitieron indicar el acuífero, el cual se localiza por debajo de los 7,5 metros de profundidad en promedio.

- El presente proyecto empleó exclusivamente el método geoelectrico de sondeo eléctrico vertical, el cual permitió diferenciar dos capas en una profundidad de 80 metros. De este modo el presente proyecto permitió indicar el acuífero. La ubicación de la perforación para la disposición del pozo de bombeo más adecuada esta en el punto en el cual se realizó el sondeo n° 4. Sobre la zona mencionada según las características geológicas se presenta una mejor recarga al sistema debido a su cercanía con el depósito fluvial.

6. RECOMENDACIONES

- Se propone el empleo de otros métodos geofísicos como la sísmica de reflexión y refracción o también el de tomografía eléctrica. Con el fin de lograr obtener una mejor definición de las capas del subsuelo, ya que el área de estudio se localiza sobre un Deposito Fluvio-Lacustre. Con esto se podría ya lograr un mejor convencimiento sobre la localización par las obras de perforación.
- Es aconsejable realizar un cálculo de balance hídrico para la zona, para tener evaluadas las cantidades de agua que entran y salen del sistema. Para prever la manera como se va a diseñar el pozo de bombeo y su posterior uso.
- Es importante también evaluar la calidad del agua del acuífero para saber su posible utilización.

BIBLIOGRAFIA

- [1] SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DAPLAM. Plan de ordenamiento territorial del municipio de Sogamoso. (Mapas geológico e hidrogeológico escala 1:25000). Año 2000.
- [2] INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZI (IGAC). Plancha topográfica 172 III C. Año 1988.
- [3] REYES CH, ITALO. Observaciones sobre el Cuaternario del altiplano Tunja-Sogamoso.- Geol Colombiana, 17, pp. 151-157, 6 Figs., Bogotá. 1990.
- [4] MARTHA GIL, ANA RODRIGUEZ. Estudio hidrogeológico y pre-diseño de un pozo para extracción de agua subterránea en el área de la UPTC facultad seccional Sogamoso. Sogamoso [Boyacá, Colombia], 2001.
- [5] PATIÑO, Diana Catalina; RAMÍREZ, Yeimy Viviana. Exploración geológica - geofísica para la ubicación de un pozo profundo de aguas subterráneas, Finca La Esperanza, vereda San Onofre, Cómbita - Boyacá. Sogamoso [Boyacá, Colombia]: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad Seccional Sogamoso, 2010.
- [6] FLORES, Leonardo Ivan; TOCA, Jorge Arturo. Prospección geoeléctrica para la exploración de aguas subterráneas en la vereda Guinita, municipio de Oicatá, Boyacá. Sogamoso [Boyacá, Colombia]: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de Ingeniería Geológica, 2001.
- [7] CANTOS, José. Tratado de geofísica aplicada. Segunda Edición. Librería Ciencia – Industria. Madrid, 1974.
- [8] VELEZ OTALVARO. María Victoria; ORTIZ PIMIENTA. Carolina; VARGAS QUINTERO. María Consuelo, Las aguas subterráneas: un enfoque práctico, Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS, Bogotá, Colombia, 2011, pgs. 51-58.
- [9] GARCIA. Rodolfo F, Método eléctrico Principios y leyes fundamentales, prospección, tendidos, presentación e interpretación. Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina, 2013.
- [10] Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS , LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS: UN ENFOQUE PRÁCTICO, Bogotá, Colombia, 2011.

[11] Universidad Nacional de Colombia Departamento de Geociencias, INVENTARIO, INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y GEOQUÍMICA DEL BLOQUE SOAPAGA, Cartilla informativa, Bogotá D.C, Colombia.

[12] GEOFISICA 1. Editorial pueblo y Educación, Min. De Educación. La Habana Cuba. 1978. P 63-90.

[13] ORESTES, M. Geofísica 1. Ciudad de La Habana 1980.

ANEXO A

PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA, SOGAMOSO, BOYACA

PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA, SOGAMOSO, BOYACA

Ubicación

Operario:

Equipo: PASI

SEV N° 75

Dirección: N45°E

Fecha:

Ubicación

Operario:

Equipo: PASI

MN/2 (m)	AB/2 (m)	I (mA)			Prom I (mA)	ΔU (mV)			Prom ΔU (mV)	K (m)	ρa (Ω.m)
		2	3	4		1	2	3			
	X: 1129752 Y: 1127250	75	76	76	75.67	1369.0	497.0	1369.0	497.0	14.51	262.66
		85	80	83	82.67	957.7	957.7	957.7	957.7	23.56	192.07
1	3.2	69	68	68	68.33	486.6	486.6	486.6	486.6	14.74	499.89
1	6.4	84	79	84	83.67	234.7	234.7	234.7	234.7	28.67	393.46
1	8	88	88	88	88.00	212.0	212.0	212.0	212.0	36.98	438.40
1	9.6	83	92	85	86.67	222.0	222.0	222.0	222.0	65.59	218.91
1	12.5	89	83	86	85.67	277.0	267.1	267.3	267.4	94.60	344.99
1	16	120	124	122	122.00	46.6	46.6	46.6	46.6	140.98	353.86
1	12.6	126	123	124	124.33	29.9	29.9	29.9	29.9	242.65	468.38
1	16	129	134	126	129.33	26.0	26.0	26.0	26.0	408.54	184.26
1	30	109	105	105	108.33	24.4	24.4	24.4	24.4	625.74	135.36
10	40	144	146	145	146.00	10.7	10.7	10.7	10.7	989.62	20.99
10	30	97	102	102	100.33	31.0	31.0	31.0	31.0	147.63	34.28
10	44	130	147	141	104.00	2.0	2.0	2.0	2.0	225.60	15.04
10	80	102	102	102	102.00	3.2	3.2	3.2	3.2	368.86	10.64
10	64	96	97	96	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	627.692	9.77
10	80	94	97	95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	989.604	9.34

Tabla 3. Registro de datos del Sondeo 3.

PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA, SOGAMOSO, BOYACA											
SEV N° 4					Dirección: N45°E				Fecha:		
Ubicación					Operario:				Equipo: PASI		
X: 1129800					Observaciones:						
Y: 1127300											
MN/2 (m)	AB/2 (m)	I (mA)			Prom I (mA)	ΔU (mV)			Prom ΔU (mV)	K (m)	ρa (Ω.m)
		1	2	3		1	2	3			
1	3.2	126	117	126	123.00	3271.59	3271.59	3271.59	3271.59	14.51	386.05
1	4	123	116	125	121.33	1949.98	1949.98	1949.98	1949.98	23.56	378.67
1	5	120	131	126	125.67	1225.00	1225.00	1225.00	1225.00	37.70	367.49
1	6.4	98	93	93	94.67	499.04	499.04	499.04	499.04	62.77	330.89
1	8	84	84	83	83.67	254.05	254.05	254.05	254.05	98.96	300.49
1	10	79	87	83	83.00	129.73	129.73	129.73	129.73	155.51	243.06
1	12.5	77	82	79	79.33	60.37	60.37	60.37	60.37	243.87	185.57
1	16	87	96	92	91.67	27.00	27.00	27.00	27.00	400.55	117.98

**PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA,
SOGAMOSO, BOYACA**

SEV N° 3					Dirección: N45°E				Fecha:		
Ubicación					Operario:				Equipo: PASI		
X: 1129782					Observaciones:						
Y: 1127351											
MN/2 (m)	AB/2 (m)	I (mA)			Prom I (mA)	ΔU (mV)			Prom ΔU (mV)	K (m)	ρa (Ω.m)
		1	2	3		1	2	3			
1	3.2	95	95	95	95.00	1561.8 5	1561.8 5	1561.8 5	1561.85	14.51	238.62
1	4	71	72	71	71.33	694.77	694.77	694.77	694.77	23.56	229.49
1	5	73	66	70	69.67	424.49	424.49	424.49	424.49	37.70	229.71
1	6.4	86	86	86	86.00	292.00	292.00	292.00	292.00	62.77	213.12
1	8	115	115	115	115.00	242.29	242.29	242.29	242.29	98.96	208.50
1	10	83	83	83	83.00	95.53	95.53	95.53	95.53	155.51	178.99
1	12.5	78	80	79	79.00	43.35	43.35	43.35	43.35	243.87	133.82
1	16	92	92	92	92.00	21.73	21.73	21.73	21.73	400.55	94.61
1	20	72	74	73	73.00	6.42	6.42	6.42	6.42	626.75	55.12
1	25	60	53	56	56.33	1.85	1.85	1.85	1.85	980.18	32.19
1	32	74	81	77	77.33	7.05	7.05	7.05	7.05	145.14	13.23
10	40	93	99	95	95.67	3.07	3.07	3.07	3.07	235.62	7.56
10	50	90	90	100	93.33	1.52	1.52	1.52	1.52	376.99	6.14
10	64	68	72	68	69.33	0.63	0.63	0.63	0.63	627.69	5.70
10	80	138	133	131	134.00	0.80	0.80	0.80	0.80	989.60	5.91
1	20	107	106	101	104.67	12.05	12.05	12.05	12.05	626.75	72.16
1	25	98	98	98	98.00	3.67	3.67	3.67	3.67	980.18	36.71

10	32	88	84	86	86.00	9.88	9.88	9.88	9.88	145.14	16.67
10	40	117	107	110	111.33	5.36	5.36	5.36	5.36	235.62	11.34
10	50	143	152	153	149.33	4.10	4.10	4.10	4.10	376.99	10.35
10	64	84	81	83	82.67	1.28	1.28	1.28	1.28	627.69	9.72
10	80	102	111	111	108.00	1.06	1.06	1.06	1.06	989.60	9.71

**PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA,
SOGAMOSO, BOYACA**

SEV N° 5					Dirección: N45°E				Fecha:		
Ubicación					Operario:				Equipo: PASI		
X: 1130000					Observaciones:						
Y: 1127200											
MN/2 (m)	AB/2 (m)	I (mA)			Prom I (mA)	ΔU (mV)			Prom ΔU (mV)	K (m)	ρa (Ω.m)
		1	2	3		1	2	3			
1	3.2	110	109	109	109.33	691.81	691.81	691.81	691.81	14.51	91.84
1	4	182	177	179	179.33	710.41	710.41	710.41	710.41	23.56	93.34
1	5	157	151	153	153.67	340.13	340.13	340.13	340.13	37.70	83.44
1	6.4	153	148	151	150.67	197.10	197.10	197.10	197.10	62.77	82.11
1	8	128	117	123	122.67	95.46	95.46	95.46	95.46	98.96	77.01
1	10	137	139	138	138.00	64.50	64.50	64.50	64.50	155.51	72.68
1	12.5	90	88	89	89.00	22.97	22.97	22.97	22.97	243.87	62.94
1	16	104	104	104	104.00	12.95	12.95	12.95	12.95	400.55	49.88
1	20	68	72	70	70.00	3.98	3.98	3.98	3.98	626.75	35.64
1	25	92	84	88	88.00	2.21	2.21	2.21	2.21	980.18	24.62
10	32	67	67	67	67.00	6.58	6.58	6.58	6.58	145.14	14.25
10	40	112	112	111	111.67	4.98	4.98	4.98	4.98	235.62	10.51

10	50	106	106	106	106.00	2.51	2.51	2.51	2.51	376.99	8.93
10	64	95	92	93	93.33	1.31	1.31	1.31	1.31	627.69	8.81
10	80	99	91	95	95.00	0.82	0.82	0.82	0.82	989.60	8.54

**PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA,
SOGAMOSO, BOYACA**

SEV N° 6					Dirección: N45°E				Fecha:		
Ubicación					Operario:				Equipo: PASI		
X: 1130000					Observaciones:						
Y: 1127250											
MN/2 (m)	AB/2 (m)	I (mA)			Prom I (mA)	ΔU (mV)			Prom ΔU (mV)	K (m)	ρa (Ω.m)
		1	2	3		1	2	3			
1	3.2	132	136	70	1773.0	1773.0	1776.0	1774.0	1774.33	14.51	228.58
1	4	120	119	119	1052.0	1052.0	1052.0	1050.0	1051.33	23.56	207.58
1	5	123	113	118	629.0	629.0	628.0	629.0	628.67	37.70	200.85
1	6.4	116	105	117	329.0	329.0	329.0	329.5	329.17	62.77	183.39
1	8	114	118	116	194.0	194.0	197.0	195.0	195.33	98.96	166.64
1	10	118	116	117	104.0	104.0	104.0	104.0	104.00	155.51	138.23
1	12.5	90	95	93	42.0	42.0	43.0	43.0	42.67	243.87	112.28
1	16	97	87	92	15.0	15.0	15.6	15.3	15.30	400.55	66.61
1	20	143	139	140	10.0	10.0	10.1	10.1	10.07	626.75	44.85
1	25	141	132	139	3.5	3.5	3.5	3.4	3.47	980.18	24.74
10	32	98	93	95	6.7	6.7	6.8	6.9	6.80	145.14	10.35
10	40	127	127	127	4.4	4.4	4.2	4.3	4.30	235.62	7.98
10	50	98	106	106	1.9	1.9	1.9	1.7	1.83	376.99	6.69
10	64	125	120	126	1.9	1.9	1.2	1.1	1.40	627.69	7.11

Tabla 7. Registro de datos del Sondeo 7.

PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA, SOGAMOSO, BOYACA											
SEV N° 7					Dirección: N45°E				Fecha:		
Ubicación					Operario:				Equipo: PASI		
X: 1130000					Observaciones:						
Y: 1127400											
MN/2 (m)	AB/2 (m)	I (mA)			Prom I (mA)	ΔU (mV)			Prom ΔU (mV)	K (m)	ρa (Ω.m)
		1	2	3		1	2	3			
1	3.2	112	112	112	112.00	1568.0	1567.0	1571.0	1568.67	14.51	203.29
1	4	85	92	88	88.33	763.0	761.0	762.0	762.00	23.56	203.26
1	5	91	90	91	90.67	456.0	455.0	456.0	455.67	37.70	189.47
1	6.4	105	104	104	104.33	291.0	292.0	292.0	291.67	62.77	175.47
1	8	97	96	96	96.33	160.0	159.0	160.0	159.67	98.96	164.02
1	10	110	115	104	109.67	97.0	97.2	97.1	97.10	155.51	137.69
1	12.5	121	118	120	119.67	56.6	56.5	56.8	56.63	243.87	115.41
1	16	125	117	119	120.33	30.6	30.2	30.4	30.40	400.55	101.19
1	20	119	118	118	118.33	13.4	13.9	13.1	13.47	626.75	71.33
1	25	113	106	109	109.33	4.8	4.8	4.8	4.80	980.18	43.03
1	32	94	84	85	87.67	8.7	8.8	8.7	8.73	235.62	17.59
10	32	117	117	117	117.00	4.3	4.5	4.2	4.33	376.99	13.28
10	40	127	119	123	123.00	1.7	1.5	1.7	1.63	627.69	10.87
10	50	99	90	94	94.33	1.1	0.9	0.8	0.93	989.60	8.55
10	64	108	111	105	108.00	0.7	0.8	0.7	0.73	1555.0 9	8.98
10	80	125	128	128	127.00	1568.0	1567.0	1571.0	1568.67	14.51	203.29

**PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA,
SOGAMOSO, BOYACA**

SEV N° 8					Dirección: N45°E				Fecha:		
Ubicación					Operario:				Equipo: PASI		
X: 1130170					Observaciones:						
Y: 1127200											
MN/2 (m)	AB/2 (m)	I (mA)			Prom I (mA)	ΔU (mV)			Prom ΔU (mV)	K (m)	ρa (Ω.m)
		1	2	3		1	2	3			
1	3.2	110	113	111	111.33	1433.0	1434.0	1435.0	1434.00	14.51	186.95
1	4	127	124	125	125.33	994.0	996.0	995.0	995.00	23.56	187.05
1	5	121	118	120	119.67	572.0	570.0	578.0	573.33	37.70	180.62
1	6.4	124	122	123	123.00	400.0	309.0	309.0	339.33	62.77	173.17
1	8	132	129	130	130.33	195.0	198.0	201.0	198.00	98.96	150.34
1	10	129	129	129	129.00	98.0	102.0	101.0	100.33	155.51	120.95
1	12.5	114	104	108	108.67	41.7	41.4	41.5	41.53	243.87	93.21
1	16	233	233	233	233.00	40.8	40.1	40.7	40.53	400.55	69.68
1	20	68	67	67	67.33	3.8	3.7	4.1	3.87	626.75	35.99
1	25	97	97	97	97.00	1.9	2.3	1.9	2.03	980.18	20.55
10	32	79	78	78	78.33	6.2	6.1	6.3	6.20	145.14	11.49
10	40	70	72	71	71.00	2.3	2.8	2.6	2.57	235.62	8.52
10	50	83	75	78	78.67	1.3	1.9	1.1	1.43	376.99	6.87
10	64	99	105	103	102.33	1.4	1.0	0.9	1.10	627.69	6.75
10	80	109	121	115	115.00	0.9	0.7	0.9	0.83	989.60	7.17

**PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA,
SOGAMOSO, BOYACA**

SEV N° 9					Dirección: N45°E				Fecha:		
Ubicación					Operario:				Equipo: PASI		
X: 1130180					Observaciones:						
Y: 1127300											
MN/2 (m)	AB/2 (m)	I (mA)			Prom I (mA)	ΔU (mV)			Prom ΔU (mV)	K (m)	ρa (Ω.m)
		1	2	3		1	2	3			
1	3.2	235	235	234	234.67	3730.0	3760.0	3730.0	3740.00	14.51	231.32
1	4	159	167	162	162.67	1594.0	1591.0	1592.0	1592.33	23.56	230.65
1	5	140	140	140	140.00	803.0	809.0	805.0	805.67	37.70	216.95
1	6.4	158	155	156	156.33	492.0	499.0	492.0	494.33	62.77	198.48
1	8	153	154	153	153.33	284.0	280.0	284.0	282.67	98.96	182.43
1	10	156	161	158	158.33	145.0	146.0	145.0	145.33	155.51	142.74
1	12.5	160	154	157	157.00	68.9	68.6	68.8	68.77	243.87	106.81
1	16	127	135	131	131.00	25.9	25.5	25.3	25.57	400.55	78.17
1	20	136	136	136	136.00	11.8	11.9	11.8	11.83	626.75	54.53
1	25	90	85	87	87.33	2.3	2.7	2.0	2.33	980.18	26.19
10	32	82	79	81	80.67	7.1	7.5	7.3	7.30	145.14	13.13
10	40	79	79	79	79.00	3.5	3.5	3.5	3.50	235.62	10.44
10	50	74	76	75	75.00	1.6	1.5	1.6	1.57	376.99	7.87
10	64	90	98	89	92.33	1.6	0.8	0.8	1.07	627.69	7.25
10	80	79	77	78	78.00	0.5	0.7	0.6	0.60	989.60	7.61

**PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA,
SOGAMOSO, BOYACA**

SEV N° 10					Dirección: N45°E				Fecha:		
Ubicación					Operario:				Equipo: PASI		
X: 1130192					Observaciones:						
Y: 1127310											
MN/2 (m)	AB/2 (m)	I (mA)			Prom I (mA)	ΔU (mV)			Prom ΔU (mV)	K (m)	ρa (Ω.m)
		1	2	3		1	2	3			
1	3.2	68	68	68	68.00	1288.0	1289.0	1286.0	1287.67	14.51	274.84
1	4	63	63	63	63.00	736.0	734.0	735.0	735.00	23.56	274.89
1	5	57	57	57	57.00	406.0	401.0	404.0	403.67	37.70	266.98
1	6.4	64	69	65	66.00	275.0	278.0	276.0	276.33	62.77	262.81
1	8	50	51	50	50.33	121.0	121.8	121.4	121.40	98.96	238.68
1	10	57	47	52	52.00	67.8	67.9	67.8	67.83	155.51	202.86
1	12.5	50	53	51	51.33	34.4	33.9	34.0	34.10	243.87	162.00
1	16	70	75	73	72.67	20.0	20.8	20.9	20.57	400.55	113.37
1	20	67	66	66	66.33	5.9	5.1	5.0	5.33	626.75	50.39
1	25	59	52	56	55.67	1.5	1.9	1.7	1.70	980.18	29.93
10	32	54	53	53	53.33	6.2	6.7	6.9	6.60	145.14	17.96
10	40	50	45	43	46.00	2.9	2.6	2.4	2.63	235.62	13.49
10	50	56	57	56	56.33	1.9	1.9	1.3	1.70	376.99	11.38
10	64	57	48	48	51.00	0.9	0.8	0.9	0.87	627.69	10.67
10	80	50	56	52	52.67	0.4	0.7	0.7	0.60	989.60	11.27

ANEXO B

Figura 1. Curva de resistividad S.E.V. N° 1

Fuente: Autor. A partir de procesamiento en IPI2win®.

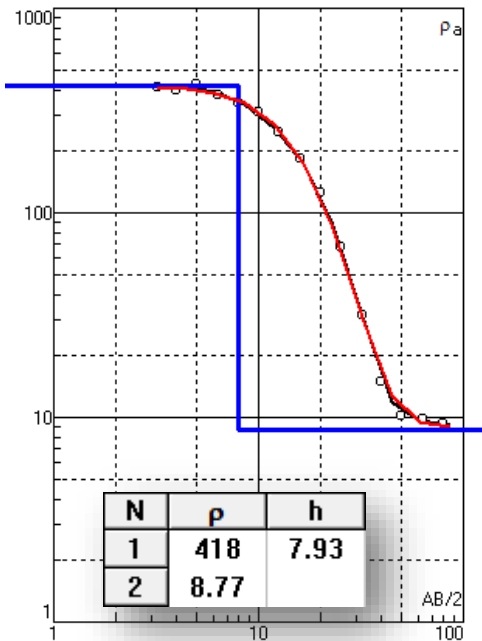


Figura 3. Curva de resistividad S.E.V. N° 3

Fuente: Autor. A partir de procesamiento en IPI2win®.

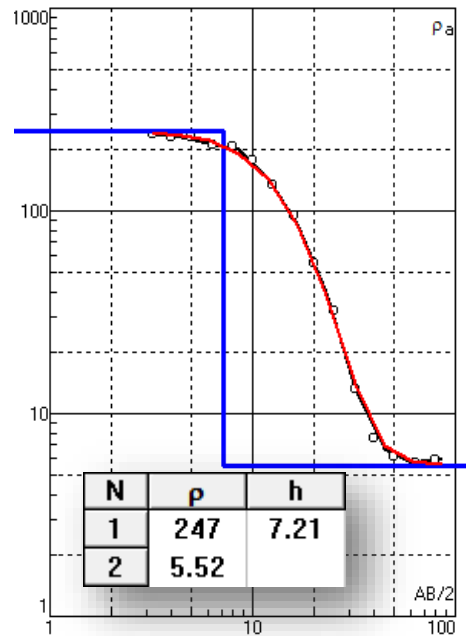


Figura 2. Curva de resistividad S.E.V. N° 2

Fuente: Autor. A partir de procesamiento en IPI2win®.

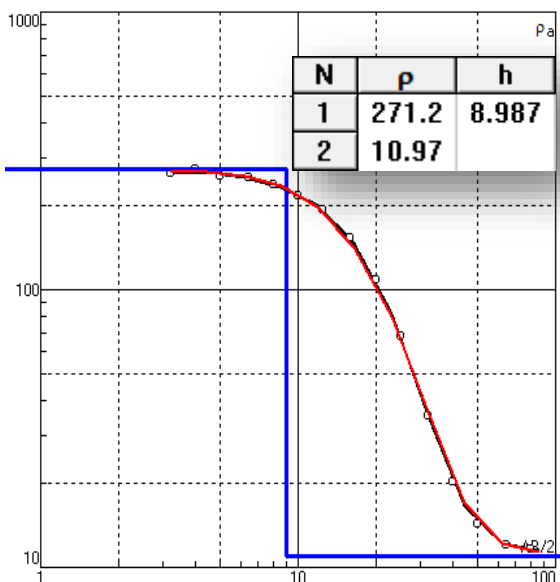


Figura 4. Curva de resistividad S.E.V. N° 4

Fuente: Autor. A partir de procesamiento en IPI2win®.

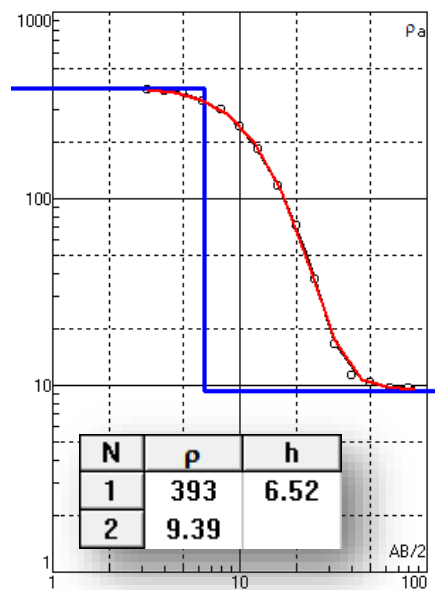


Figura 5. Curva de resistividad S.E.V. N° 5

Fuente: Autor. A partir de procesamiento en IPI2win®.

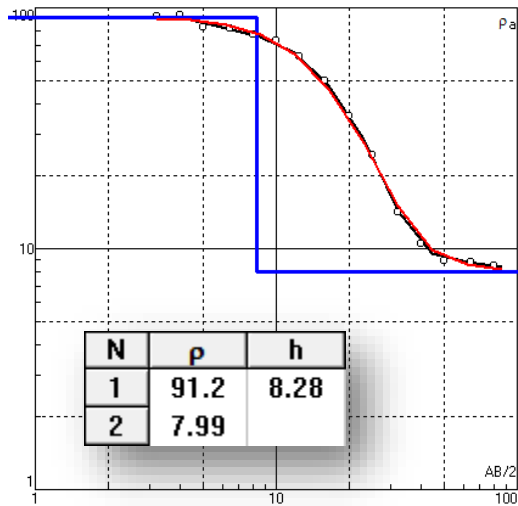


Figura 6. Curva de resistividad S.E.V. N° 6

Fuente: Autor. A partir de procesamiento en IPI2win®.

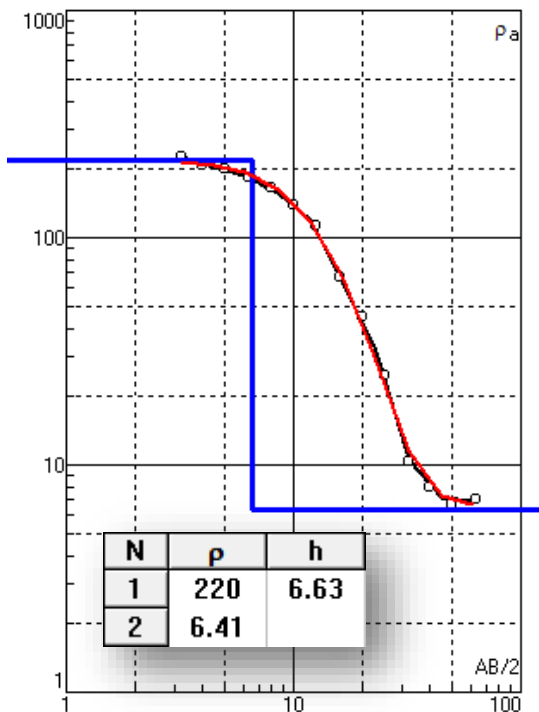


Figura 7. Curva de resistividad S.E.V. N° 7

Fuente: Autor. A partir de procesamiento en IPI2win®.

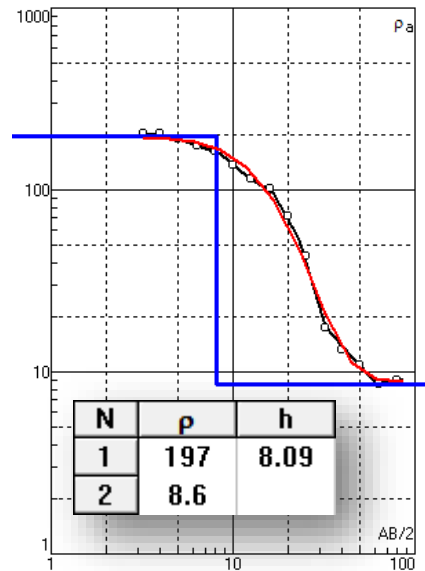


Figura 8. Curva de resistividad S.E.V. N° 8

Fuente: Autor. A partir de procesamiento en IPI2win®.

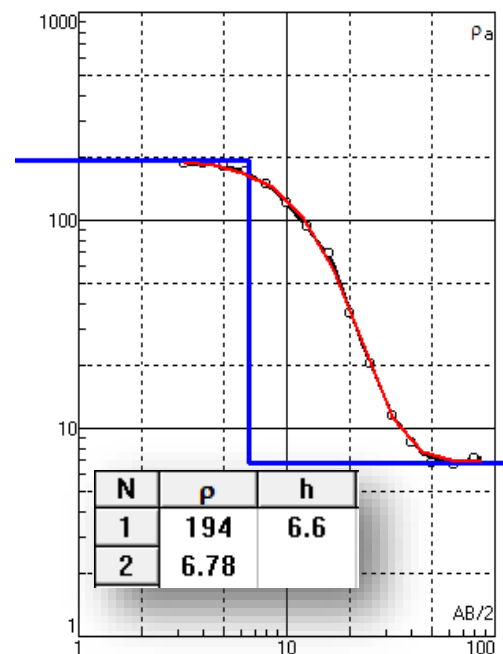


Figura 9. Curva de resistividad S.E.V. N° 9

Fuente: Autor. A partir de procesamiento en IPI2win®.

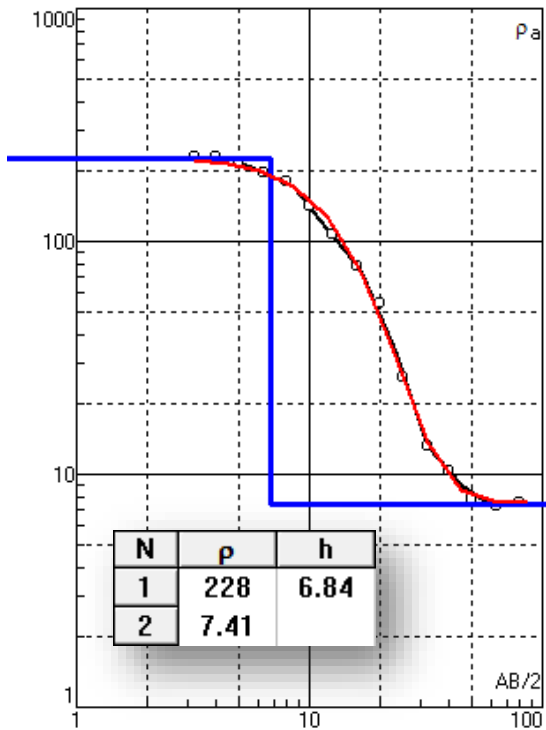
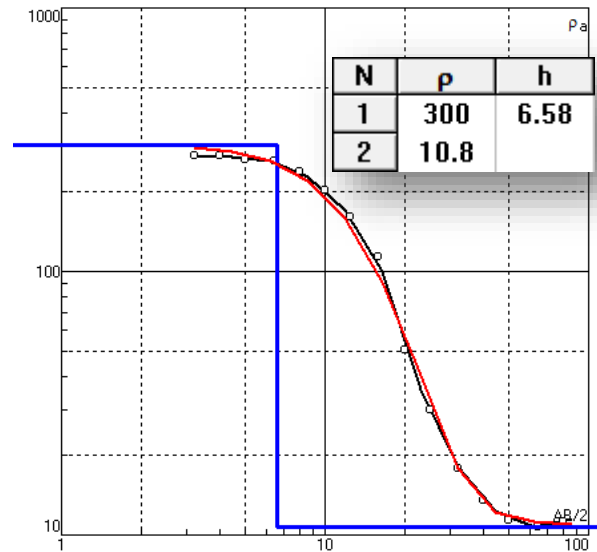


Figura 10. Curva de resistividad S.E.V. N° 10

Fuente: Autor. A partir de procesamiento en IPI2win®.



ANEXO C

CORTE GEOELECTRICO N° 1

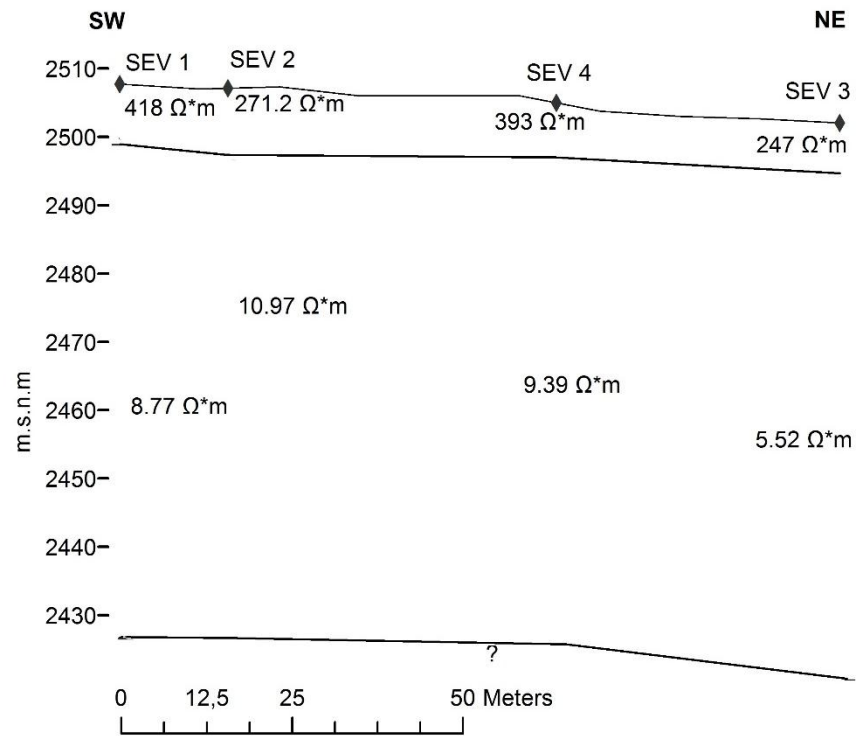


Figura 1. Corte geoelectrico 1. Correlación entre los sondeos eléctricos 1, 2,3 y 4.

Fuente: El Autor.

CORTE GEOELECTRICO N° 2

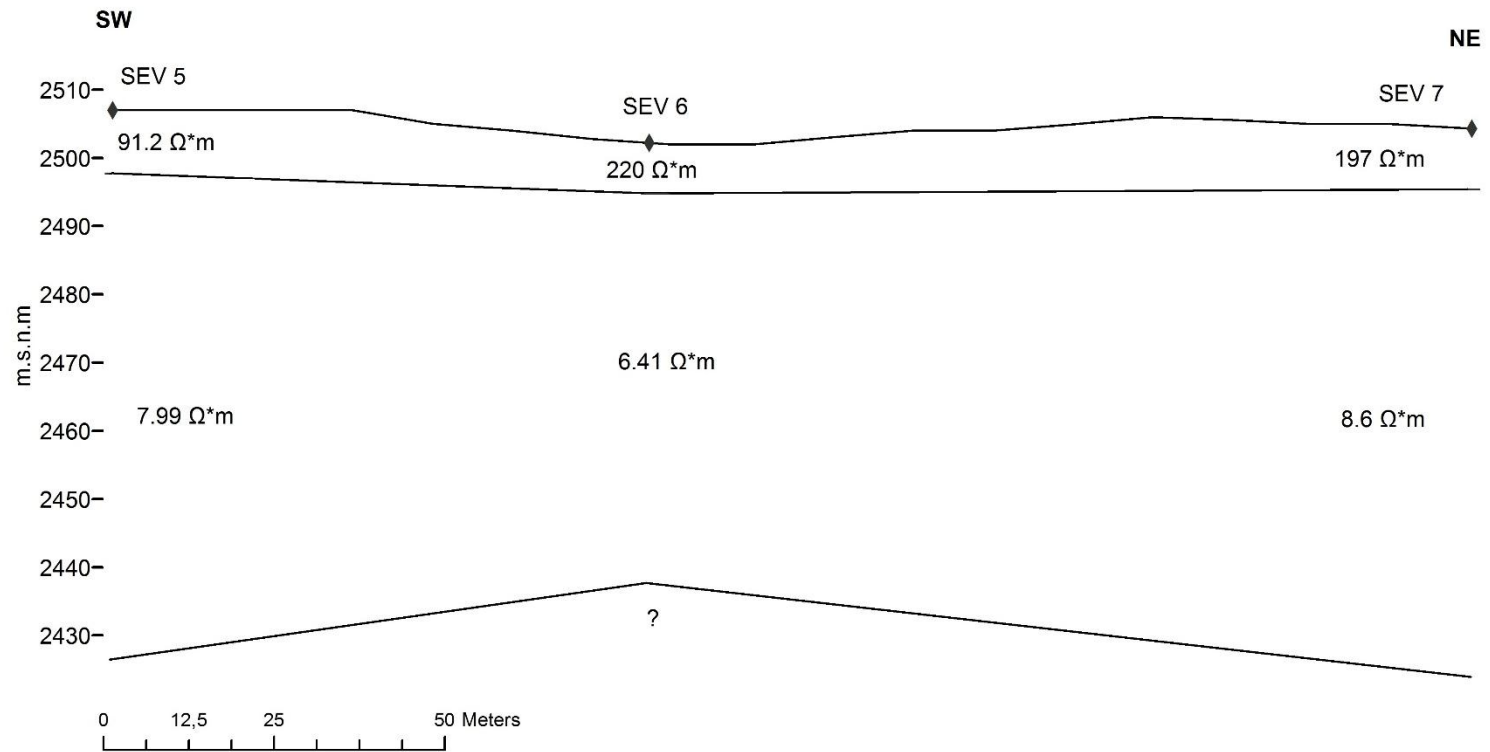


Figura 2. Corte geoelectrico 2. Correlación entre los sondeos eléctricos 5, 6 y 7.
Fuente: El Autor.

CORTE GEOELECTRICO N° 3

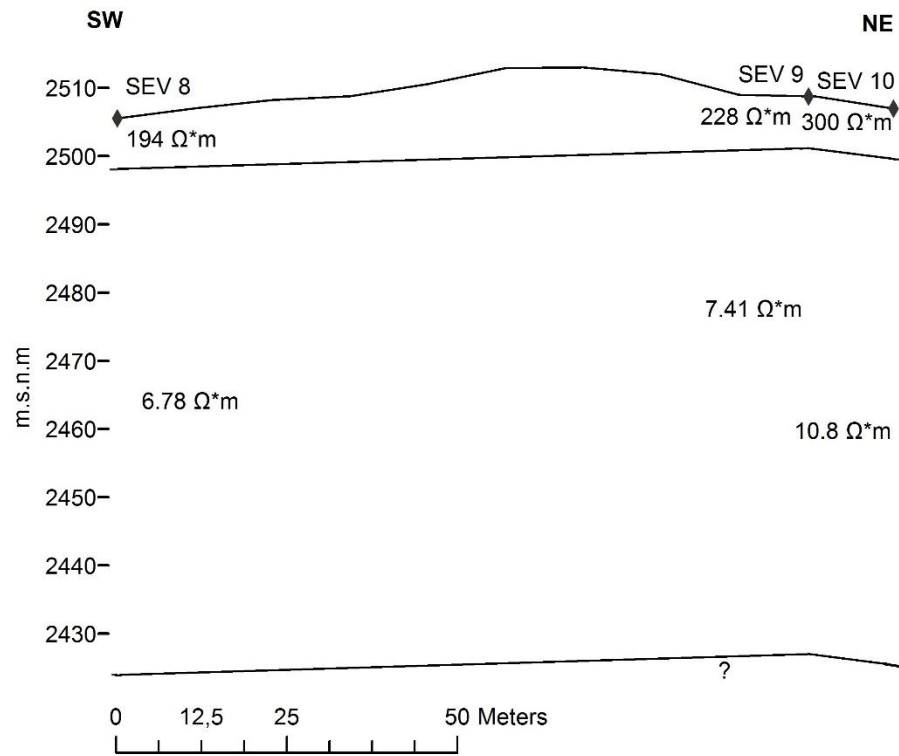
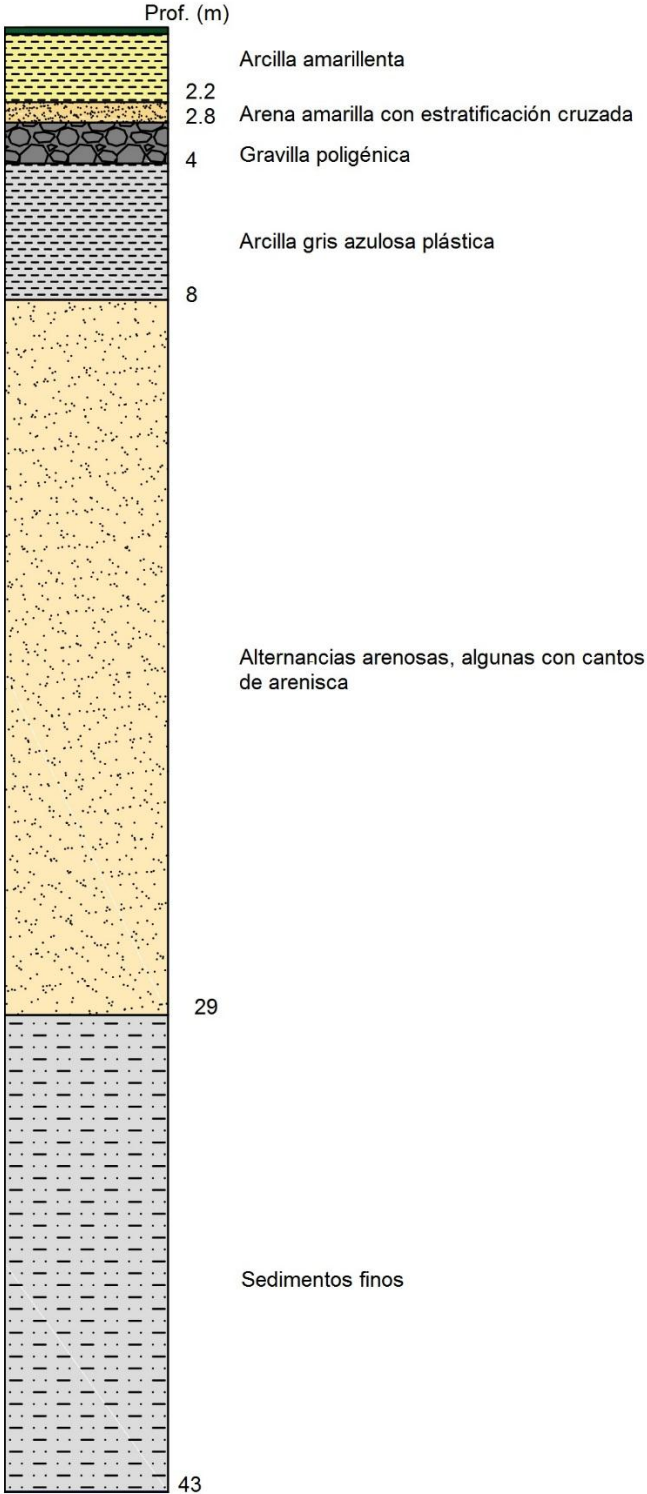


Figura 3. Corte geoelectrico 3. Correlación entre los sondeos eléctricos 8, 9 y 10.
Fuente: El Autor.

ANEXO D

Figura 1. Columna estratigráfica de la Formación Qpl. (Valle de Sogamoso, sector norte)

Fuente: Imagen elaborada por la Autora. Información tomada de REYES CH, ITALO. Observaciones sobre el Cuaternario del altiplano Tunja-Sogamoso.- Geol Colombiana, 17, pp. 151-157, 6 Figs., Bogotá. 1990.



ANEXO E

CORTE GEOLÓGICO-GEOFÍSICO N°1

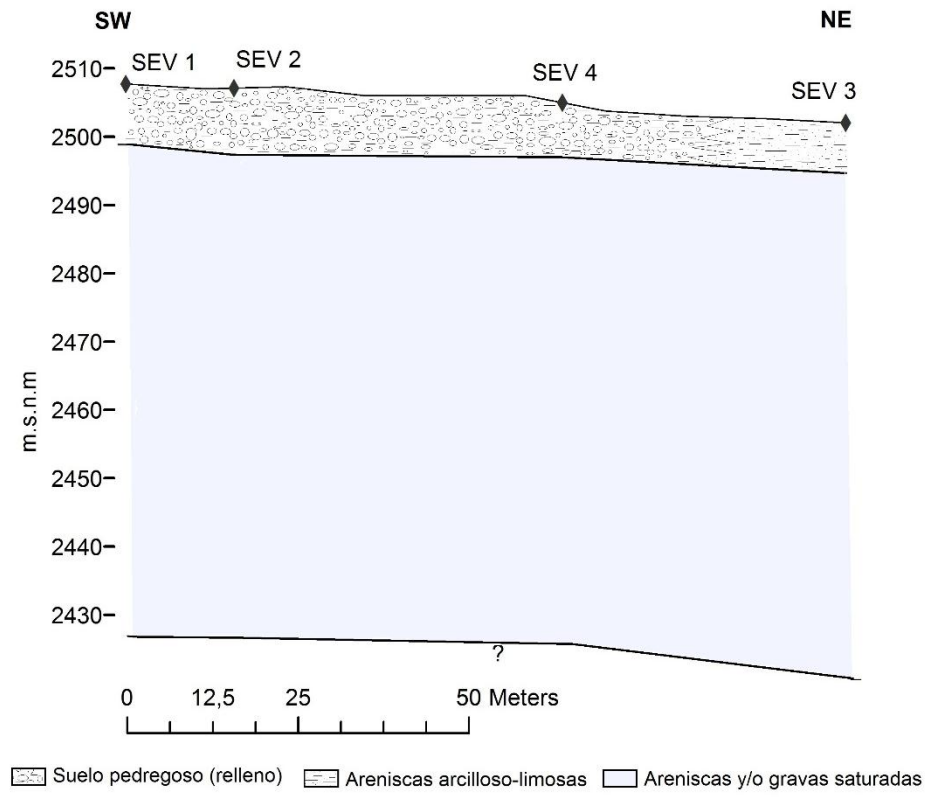


Figura 1. Corte geológico-geofísico 1.
Fuente: El Autor.

CORTE GEOLÓGICO-GEOFÍSICO N° 2

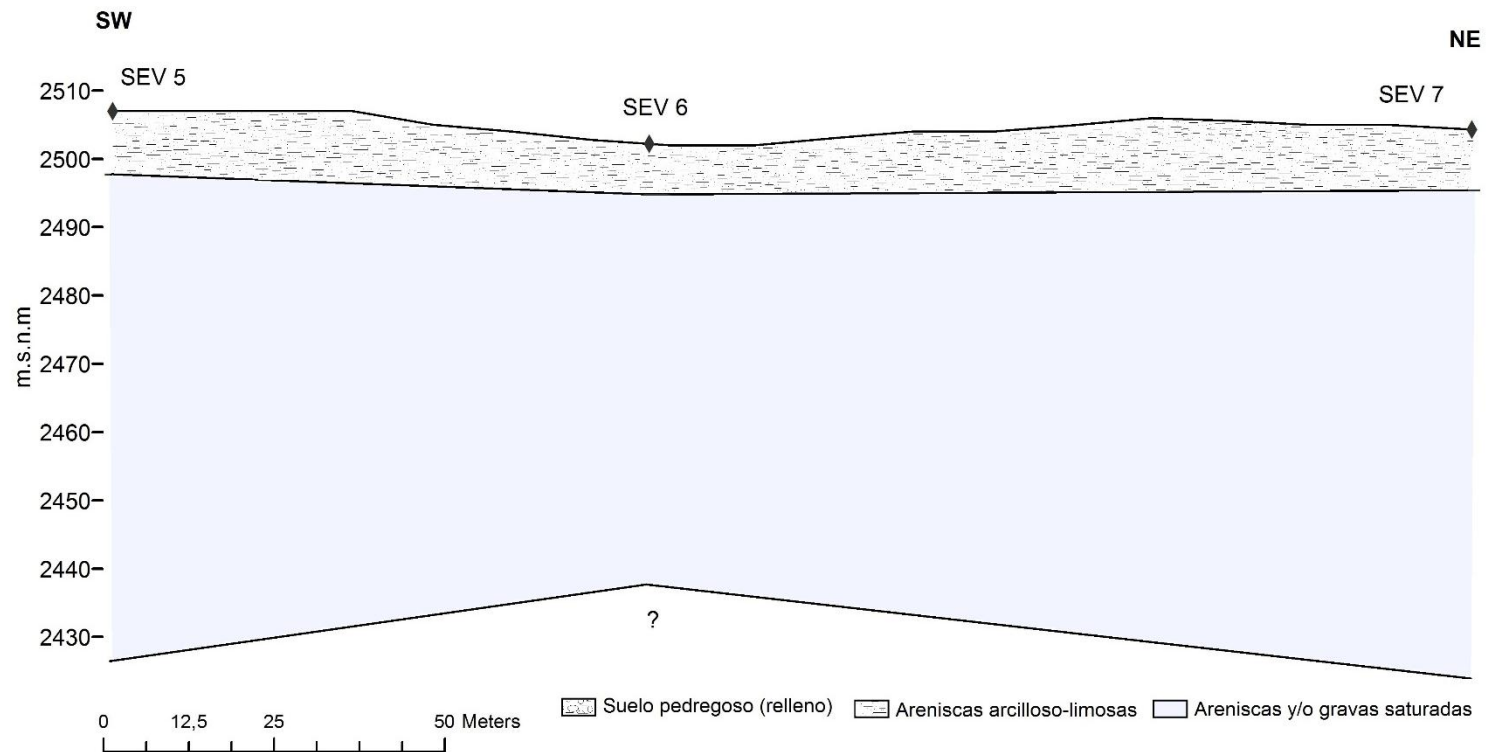


Figura 2. Corte geológico-geofísico 2.
Fuente: El Autor.

CORTE GEOLÓGICO-GEOFÍSICO N° 3

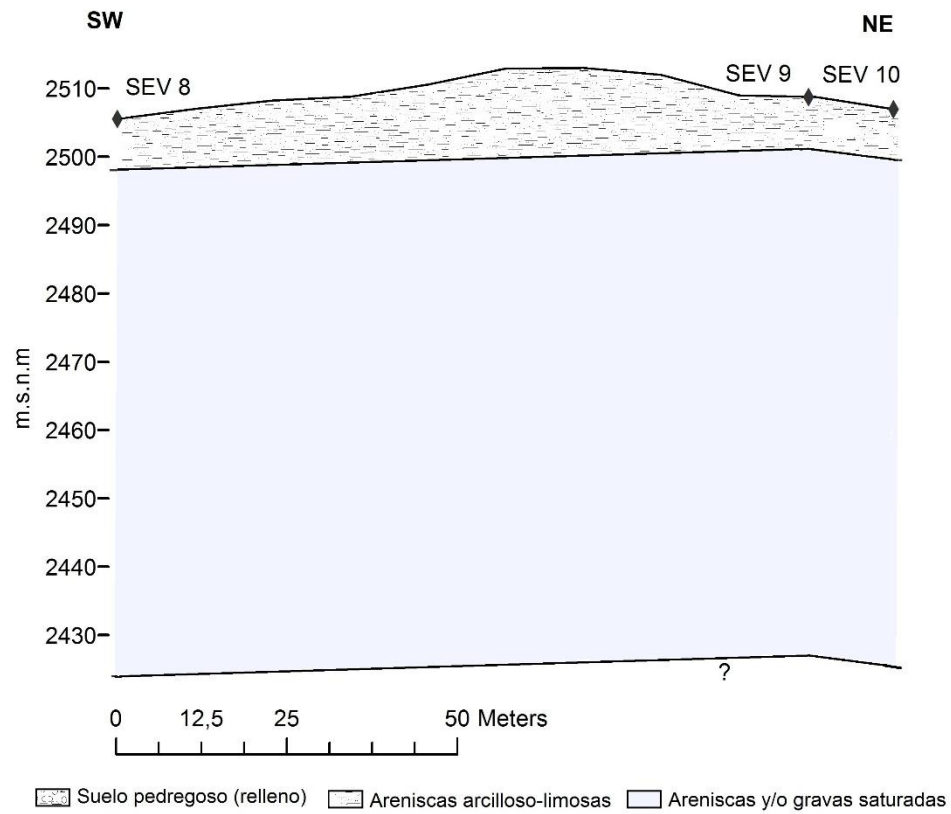
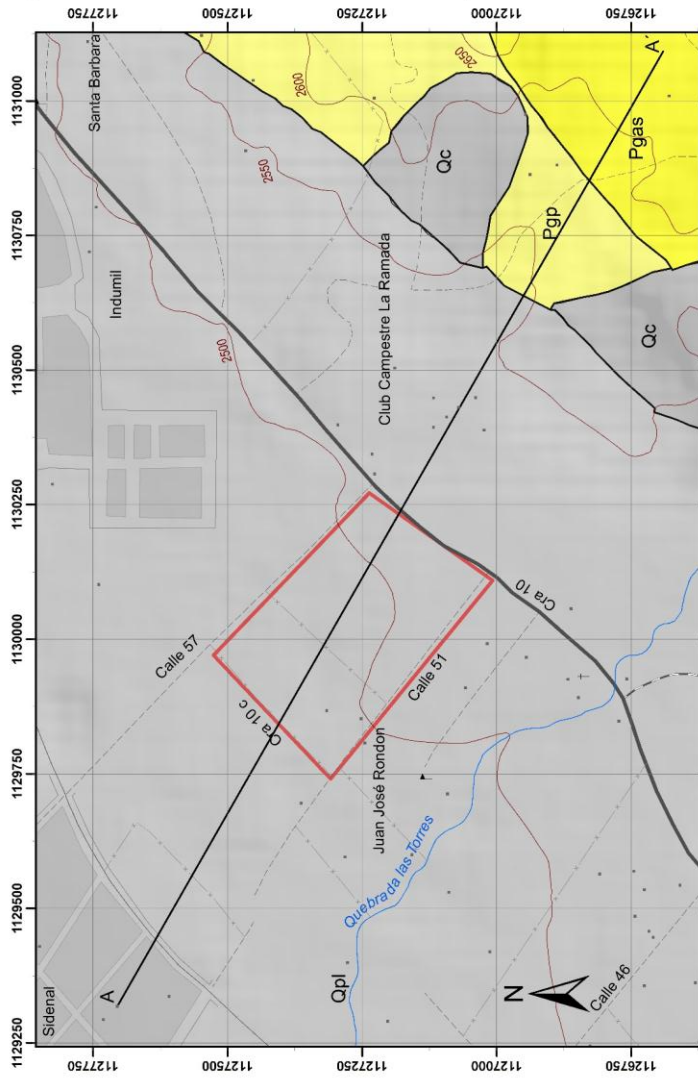


Figura 3. Corte geológico-geofísico 3.

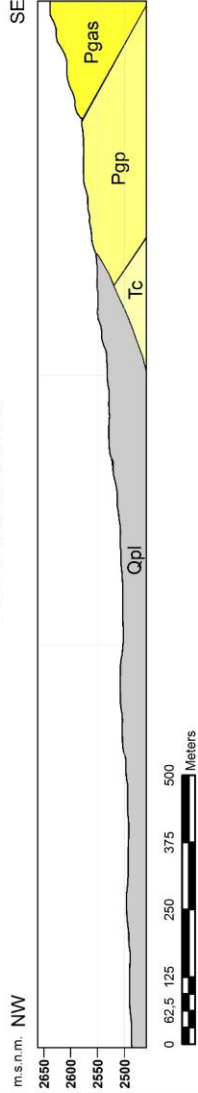
Fuente: El Autor.

ANEXO F

MAPA GEOLOGICO REGIONAL



PERFIL GEOLOGICO AA'



LEYENDA GEOLOGICA

Qpl
CUATERNARIO FLUVOGLACIESTRE
Capas azules de color amarillizo azulado con intercalaciones de arenas finas, gravas y limos.

Qc
CUATERNARIO COLUVIAL
Bloques de roca arenisca en matriz arcillo-arenosa, incluye depósitos de lamas y arcillas.

Pgp
FORMACION ARCILLAS DE BOGOTA
Areniscas de grano grueso, fragmentadas con fragmentos finos de grutas de cuarzo de poco espesor.

Pgas
FORMACION ARCILLAS DE BOGOTA
Areniscas de grano grueso con intercalaciones de arcillas de poco espesor.

CONVENCIONES

CONSTRUCCIONES
IGLESIA
CERCA
DRENALNE NO PERMANENTE
CURVA DE NIVEL
VIA FERREA
VIA DESTAPADA
VIA PRINCIPAL
LIMITE VIA APROXIMADO
LIMITE VIA DEFINIDO INTERNO
ZONA DE ESTUDIO

Uptc
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGOMOSO
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA

Tomado de: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DAPLAM.
Plan de ordenamiento territorial del municipio de SOGOMOSO.
(Mapas geológico e hidrogeológico escala 1:25000.)
Año 2000.

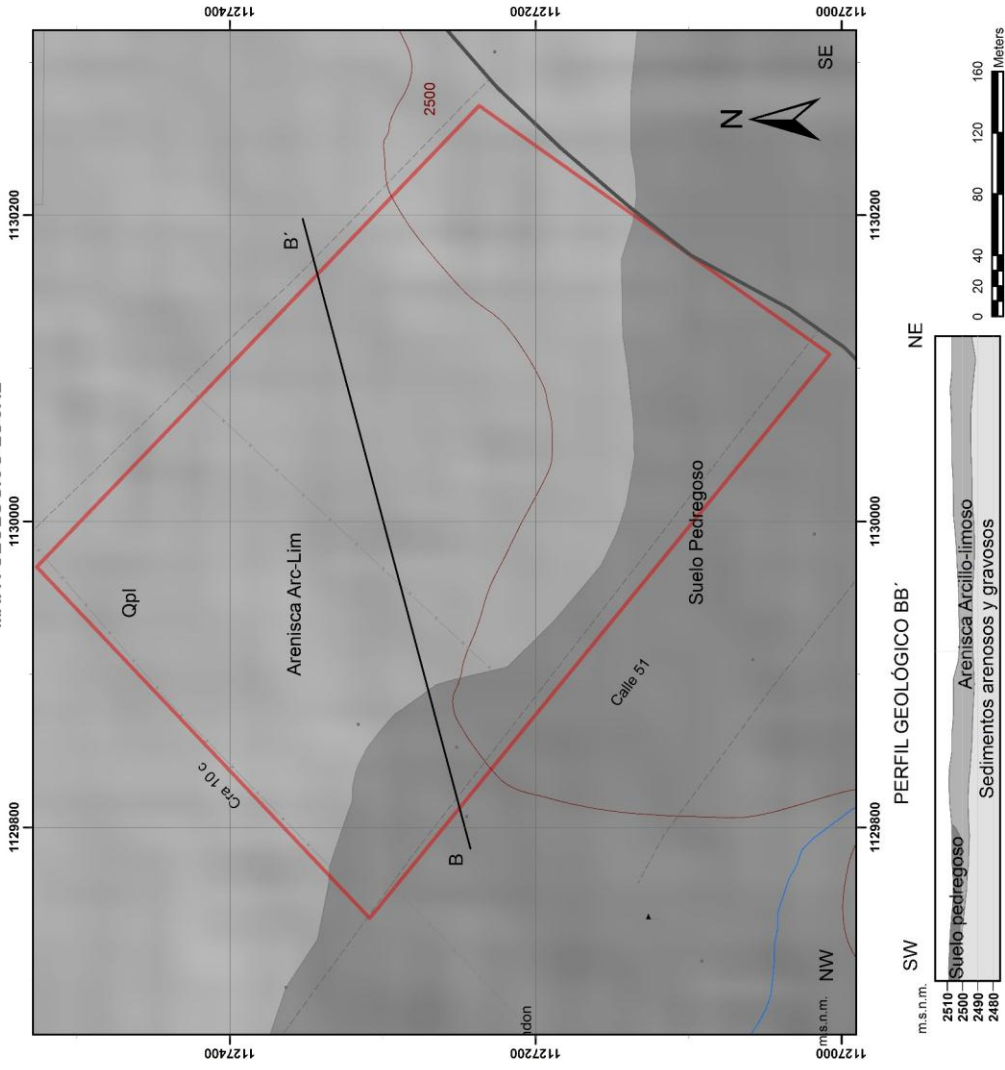
Actualizó: María Alejandra Galvis Niño

Proyecto: PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA, SOGOMOSO, BOYACA
2016

MAPA GEOLOGICO REGIONAL
1:10,000
0 62.5 125 250 375 500
Meters

ANEXO G

MAPA GEOLÓGICO LOCAL



LITOLOGIA

- Suelo pedregoso (Relleno)
- Areniscas arcillo-limosas

CONVENIONES

- CONSTRICCIONES
- ISLETA
- CERCA
- DRENALJE NO PERMANENTE
- CURVA DE NIVEL
- VIA FERREA
- VIA DESTAFADA
- VIA PRINCIPAL
- LMITE VIA APROXIMADO
- LMITE VA DEFINIDO INTERNO
- ZONA DE ESTUDIO

Upic
 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
 FACULTAD SECCIONAL SOGOMOSO
 ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

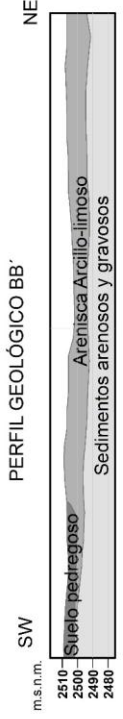
Tomado de: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DNPLMI.
 Plan de ordenamiento territorial del municipio de Soгамoso, Boyaca, Colombia.
 (Mapas geológicos hidrogeológico escala 1:25000.)
 Año 2000.

Realizó: Maria Alejandra Galvis Niño

Proyecto: PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA, SOGOMOSO, BOYACA
 2016

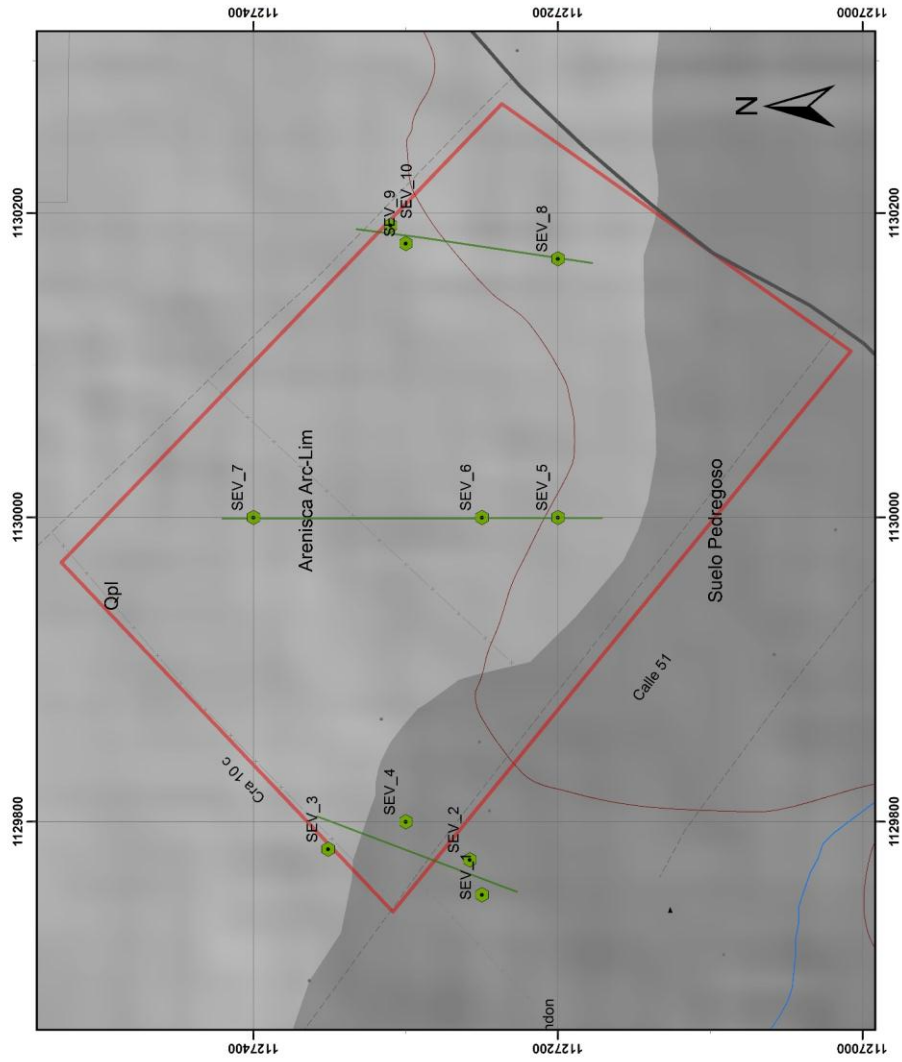
MAPA GEOLÓGICO LOCAL
 1:3.500

0 20 40 80 120 160 Meters



ANEXO H

UBICACION DE LOS S.E.V.



LITOLOGÍA

- Suelo pedregoso (Releno)
- Areniscas arcillo-limosas

CONVENCIONES

- CONSTRUCCIONES
- IGLESIA
- CERCA
- DRENAJE NO PERMANENTE
- CURVA DE NIVEL
- VIA FERREA
- VIA DESTAPADA
- VIA PRINCIPAL
- LMITE VIA APROXIMADO
- LMITE VIA DEFINIDO INTERNO
- ZONA DE ESTUDIO
- S.E.V.
- LINEA DEL DORTE

Uptc
 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
 Facultad Seccional Soгамoso
 Escuela de Ingeniería Geológica

Tomado de: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DAFLAM.
 Plan de ordenamiento territorial del municipio de Soгамoso.
 (Mapas geológicos y geotécnicos escala 1:25.000.)
 Año 2000.

Realizó: María Alejandra Galvis Niño

Proyecto: PROSPECCION GEOELECTRICA DEL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO EN LA VEREDA LA RAMADA, SOGAMOSO, BOYACA
 2016

UBICACION DE LOS S.E.V.
 1:3.500