

# ESTUDIO GEOFISICO INTEGRADO DEL SUBSUELO DE SOGAMOSO

*Fonseca Benítez, Fredy Alexander*

*Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.*

*Email: [frefonseca@yahoo.com](mailto:frefonseca@yahoo.com)*

## **Resumen:**

En la presente publicación se muestran los resultados de la investigación geofísica combinada en el subsuelo de Sogamoso, realizada a partir de la implementación de varios métodos eléctricos (SEV y Telurometría) y el método de sismica de refracción. En este texto se expone el marco geológico de la zona de estudio en la cual se realizó la exploración geofísica así como los fundamentos físico – geológicos, la metodología de los trabajos de campo y los resultados obtenidos a partir de la implementación de métodos eléctricos y el método de sismica de refracción.

A partir de la aplicación de los métodos geofísicos se construyeron mapas de isohomas a tres profundidades distintas así como cuatro cortes geológicos – geofísicos y cuatro pseudosecciones de resistividad aparente, de igual forma se determinó un modelo geofísico complejo a partir de la integración de toda la información anteriormente mencionada.

**Palabras clave:** Geofísica, Integrado, Sogamoso.

## **Abstract:**

In present he expose the result findings of the evidence geophysics investigation combined at Sogamoso's subsoil sold carried as from the implementation of varied electric methods (VES and Telurometric) and the method of seismic of refraction.

In this text he exposes the geological mark of the interesting zone, in the area himself I realize the geophysical exploration as well as physical basics – geological, the methodology of fieldworks and results obtained as from the implementation of electric methods and the method of seismic of refraction.

As from the application of geophysical methods they built for isohomas's maps to three distinct depths as well as four geological - geophysicists courts and four pseudosecciones of apparent resistivity, just the same himself determine a model complex geophysicist as from the integration of all the mentioned before methods.

**Key words:** Geophysics, Integrated, Sogamoso.

## **1. INTRODUCCION**

Con el objetivo de conocer el comportamiento de las propiedades eléctricas y sísmicas en el subsuelo del municipio de Sogamoso y poder realizar una caracterización geológico - geofísica así como identificar la variación de dichos parámetros físicos en el espacio se determinó realizar la toma, análisis e interpretación de datos en el área urbana de Sogamoso inicialmente y elaborar un modelo geofísico integrado.

La presente investigación se adelanto en el marco de la beca pasantía realizada por el autor en el año 2011 en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

En la ejecución del proyecto se contó con el equipamiento geofísico, el recurso humano de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y la valiosa colaboración del grupo de investigación INGEOFISICA.

Dicho estudio es de gran importancia en la realización de proyectos posteriores en los cuales se haga necesario conocer el subsuelo y sus respectivas propiedades físico – geológicas y de gran aporte en la caracterización geofísica de las formaciones geológicas presentes en el departamento de Boyacá con el fin de conocer las características geofísicas del departamento lo cual es de gran interés en la aplicación de cualquier ciencia relacionada con la tierra.

La investigación comprendió un análisis bibliográfico acerca de los métodos geofísicos eléctricos y sísmicos de igual manera que los estudios realizados en el municipio de Sogamoso, recolección de datos, procesamiento e interpretación de los resultados. El procesamiento contó con la interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales con el software IPI2win y por su parte en la construcción de mapas y modelos el software SURFER 9.0.

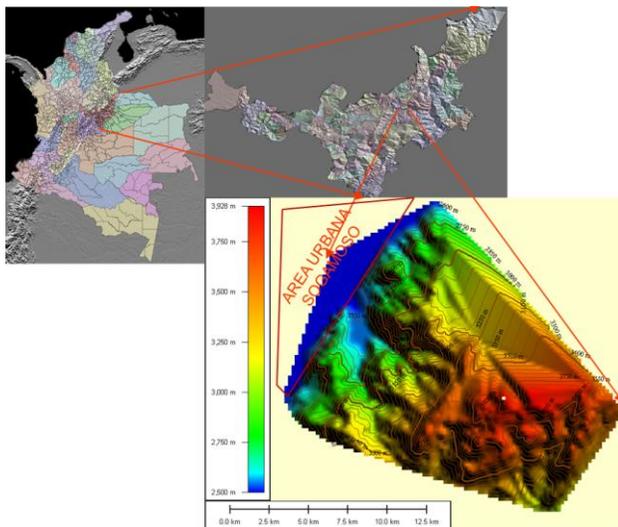
La interpretación tuvo como fin determinar la relación entre el modelo geofísico y la geología del subsuelo de la zona de estudio.

El área de estudio se encuentran ubicada en el flanco este de la cordillera oriental en el municipio de Sogamoso el cual se ubica en la zona central del departamento de Boyacá, en Colombia. Sogamoso Dista de Tunja la capital del departamento 78 km y de Bogota la capital Colombiana 210 km.

La zona de interés se encuentra localizada entre las coordenadas:

Coordenadas en X: 1123000- 1128000

Coordenadas en Y: 1120000- 1128000



**Figura 1.** Figura de localización geográfica.

## CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

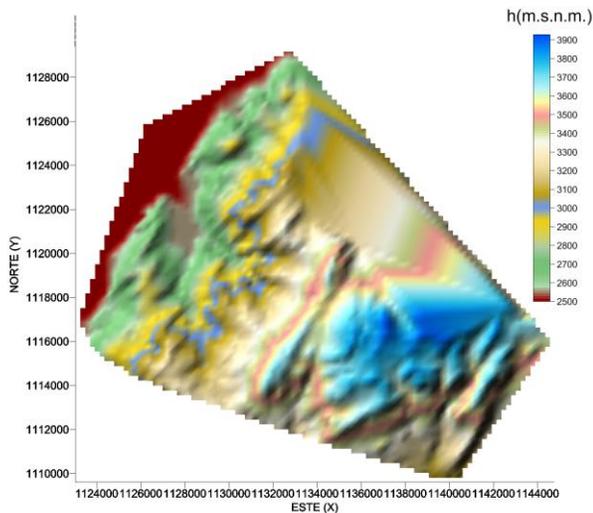
En general, en la zona de estudio se encuentran rocas del cretáceo, paleógeno y el cuaternario, representada por; Formación Churuvita (Ksch), la cual presenta tres conjunto; el inferior compuesto de una alternancia de areniscas y calizas con intercalaciones de arcillolitas y limolitas, el conjunto intermedio constituido por bancos lumaquéllicos calcáreos, en sucesión con arcillolitas o limolitas y areniscas cuarzosas y el conjunto superior presenta una alternancia de arcillolitas, limolitas con bancos macizos de arenisca; Formación Conejo (Kscn), Constituida

por shales con intercalaciones de limolitas; areniscas y calizas lumaquéllicas; Formación Labor y Tierna (Kst), compuesta por potentes bancos de areniscas con intercalaciones de shales; Formación Guaduas (Kpgg), la cual se encuentra constituida por una secuencia de arcillolitas, lutitas con intercalaciones de areniscas y la presencia de mantos de carbón; Formación Areniscas de Socha (Pgars), mayormente es arenosa, en su parte superior consta de areniscas cuarzosas y pequeñas intercalaciones de arcillolitas, en la parte inferior presenta alternancia de arcillolitas, limolitas y areniscas. Formación Arcillas de Socha (Pgas), conformada esencialmente de arcillolitas con algunas intercalaciones de arenisca.; Formación Picacho (Pgars), predominantemente arenosa, conformada por tres miembros; el inferior y el medio constituido por areniscas, el nivel superior consta de arcillolitas con intercalaciones de areniscas; Formación Concentración (Pgc), contiene una sucesión de arcillolitas bastante monótonas algunas de carácter arenoso.

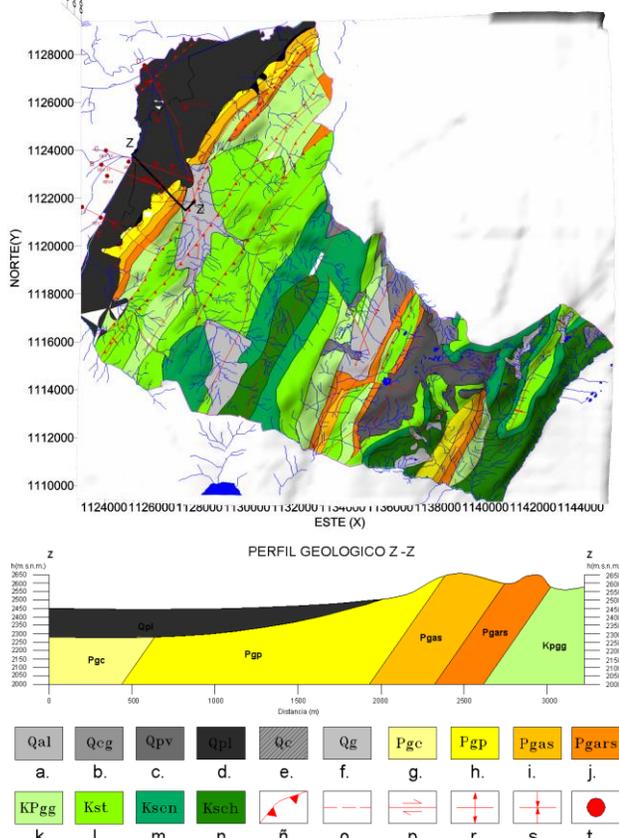
De igual forma, en el área de estudio se encuentran Depósitos Cuaternarios de diferentes tipos como; Glacial (Qg), Coluvial (Qc), Fluvio – Lacustre (Qpl), Aluvial Antiguo (Qpv), aluvial reciente (Qal), Coluvio Glacial.

Tectónicamente, se destaca la Falla de Soapaga la cual atraviesa la zona en dirección NE – SW y es de carácter inverso y regional, divide en dos provincias geológicas; la del occidente, sucesión comprendida entre el paleozoico superior y el cretácico superior y la secuencia estratigráfica oriental que se encuentra entre el cretácico superior y el paleógeno.

De igual manera, se destacan las fallas inversas; Gámeza, Monguí, Tópaga, Monquirá, Matayeguas y un sistema de fallas de rumbo con dirección predominantemente NW – SE mas reciente que el sistema de fallas inversas y afectando rocas del paleógeno. Localmente se destacan las fallas de Chacón y Venecia.



**Figura 2.** Modelo Digital de Elevación. Sector de Estudio.



**Figura 3.** Modelo geológico de superficie y corte geológico dirección NW - SE. Sector de Estudio.

- a.** Cuaternario aluvial. **b.** Cuaternario coluvio - glacial. **c.** Cuaternario aluvial antiguo. **d.** Cuaternario Fluvio - lacustre. **e.** Cuaternario Coluvial. **f.** Cuaternario glacial. **g.** Formación Concentración. **h.** Formación Picacho. **i.** Formación arcillas de Socha. **j.** Formación areniscas de Socha. **k.** Formación Guaduas. **l.** Formación Labor y tierna. **m.** Formación Conejo. **n.** Formación Churuvita. **ñ.** Falla Inversa. **o.** Falla Inferida. **p.** Falla de rumbo. **r.** anticlinal. **s.** Sinclinal. **t.** SEV.

## 2. MATERIALES Y METODOS

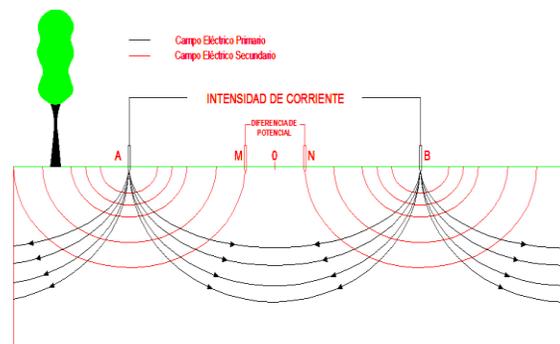
En la ejecución del proyecto se realizó el siguiente conjunto de actividades:

- ✓ Recopilación Bibliográfica
- ✓ Realización de visitas geológicas de campo con el fin de verificar contactos, ubicación de estructuras y demás información geológica.
- ✓ Elaboración del mapa geológico.
- ✓ Levantamiento geoelectrico mediante los métodos de Sondeo Eléctrico Vertical (S.E.V.) y Teluometría.
- ✓ Levantamiento con el método de sismica de refracción.
- ✓ Procesamiento representación e interpretación de datos de S.E.V., Teluometría y sismica de refracción.
- ✓ Confección de cortes, mapas y modelos geológicos – geofísicos representativos.
- ✓ Elaboración del informe final.

### SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL

Los Sondeos Eléctricos Verticales se realizaron con el objetivo de determinar las variaciones de resistividad de los materiales por debajo de los puntos de observación, así como determinar los espesores de esas capas, y evaluar dentro de lo posible, la profundidad del material debajo de la superficie en cada punto (Figura 8,9, 11 y 12).

Los fundamentos físicos - geológicos del SEV se basan en el estudio de la respuesta del medio geológico al paso de la corriente a través de dos electrodos de alimentación (A y B), que mantienen un circuito cerrado. Este dispositivo fue creado por C. M. Schlumberger. (Figura 4).



**Figura 4.** Funcionamiento de la corriente en el dispositivo Schlumberger. (Fuente: FONSECA, 2008)

Los trabajos de campo del SEV consisten en medir repetidas veces en un punto central de observación la diferencia de potencial ( $\Delta U$ ) y la intensidad de corriente ( $I$ ), para una sola posición de los electrodos de medición, variando la distancia entre los electrodos de alimentación, como se aprecia en la Figura 5.



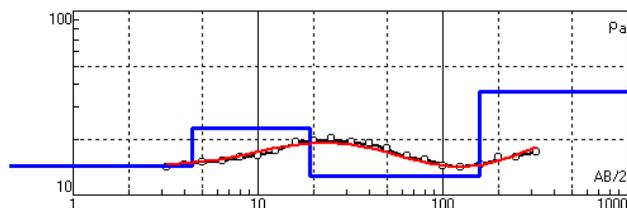
**Figura 5.** Esquema de ubicación del dispositivo de electrodos de SEV. (Fuente: FONSECA 2008)

Los sondeos eléctricos verticales se localizaron con la ayuda de un GPS, (Global Positioning System). El equipamiento estuvo compuesto por un resistivímetro y un energizador marca DIAPIR VP, con sus accesorios, según se muestra en la foto 1.



**Foto 1.** Equipamiento Geoelectrico.

Se obtuvieron tres datos de diferencia de potencial  $\Delta U$  (mV) e intensidad de corriente  $I$  (ma) en cada punto de observación. Los datos de campo obtenidos sirvieron para calcular los valores de resistividades aparentes e interpretar las curvas de campo mediante el programa de IPI2win (Figura 6).



**Figura 6.** Curva de SEV interpretada en el software ipi2win.

Con los tres valores obtenidos, se calculó un promedio de  $\Delta U$  e  $I$ , y finalmente, las resistividades aparentes mediante la fórmula:

$$\rho_a = K \times \Delta U_{MN} / I_{AB} \quad [\text{Ohm} \times \text{m}] \quad (1)$$

La interpretación de las curvas de SEV y sus respectivos, permitieron confeccionar cortes mapas y modelos geológicos – geofísicos.

## TELUROMETRÍA

La resistividad del terreno se mide fundamentalmente para encontrar la posible ubicación de fallas y de contactos verticales.

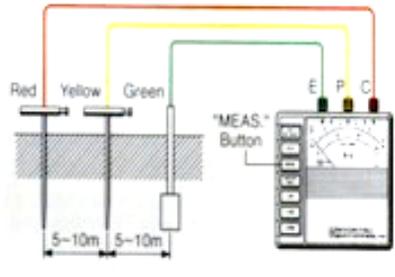
Para medir la resistividad del suelo se requiere de un terrómetro (llamado en otros países: telurómetro) o *Megger* de tierras de cuatro terminales.

Los aparatos de mayor uso, de acuerdo a su principio de operación, pueden ser de 2 tipos: del tipo de compensación de equilibrio en cero y el de lectura directa.

Los terrómetros son analógicos o digitales y deben contener 4 carretes de cable calibre 14 AWG normalmente. Para enrollamiento rápido se recomienda construir un sistema devanador que permita reducir el tiempo de la medición. También traen 4 electrodos de material con la dureza suficiente para ser hincados en la tierra por medio de un martillo. Son de una longitud aproximada de 60 cm y un diámetro de 16 mm. Además de lo anterior se hace necesario contar con una cinta no metálica de 50 m aproximadamente.

Los terrómetros tienen cuatro terminales 2 de corriente (C1, C2) y 2 de potencial (P1, P2) y están numerados en el aparato C1 P1 P2 C2. Los terrómetros deben estar certificados y probados en el campo con una resistencia antes de realizar las mediciones.

En el municipio de Sogamoso, se midió la resistencia eléctrica del terreno con un electrodo de corriente (C), un electrodo de potencial (P) y un electrodo de polo a tierra (E). La distancia entre electrodos es de 5 metros. El dispositivo de medición utilizado se indica a continuación (ver Figura 7).



**Figura 7.** Dispositivo de medición de la resistencia eléctrica del terreno.



**Foto 2.** Equipamiento utilizado en la medición de resistencia eléctrica.

### Perfil de resistencia y voltaje

Para obtener el perfil de resistividad en un punto dado, se utiliza el Método de Wenner con espaciamentos entre electrodos de prueba cada vez mayores.

La gráfica resultante de trazar el promedio de las mediciones de resistividad (R) y Voltaje (V) contra distancia entre puntos de medición (X) se denomina perfil de resistencia eléctrica y voltaje del terreno.

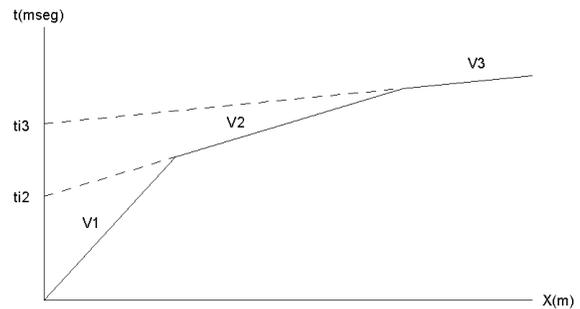
### SISMICA DE REFRACCION

Los puntos de sísmica de refracción se realizaron con el objetivo de determinar las velocidades de propagación de las ondas mecánicas de los materiales existentes por debajo de los puntos de observación, así como determinar los espesores de esas capas.

Este método se basa en la ley física de Snell y los fundamentos físicos - geológicos del método se apoyan en el estudio de la respuesta del medio geológico al paso de una onda mecánica la cual es generada en este caso, por medio de

golpes, la cual es percibida por los geófonos (transductores electromecánicos) que convierten la onda en una señal eléctrica, que se grafica en forma de sismograma.

Para calcular las velocidades de propagación de las ondas en cada uno de los medios debe realizarse un gráfico de X (m) vs tiempo (mseg) y de esta forma, se obtienen las pendientes de cada uno de los segmentos de la recta y posteriormente las velocidades de propagación.



**Figura 8.** Gráfico de X (m) vs. t (mseg) (Dromocrona) para tres medios.

Para determinar el espesor de cada una de las capas es necesario aplicar la siguiente expresión; basándose en el principio de superposición de estratos, a partir del cual son asumidos los límites de capas horizontales.

$$h_1 = \frac{ti_2}{2} \frac{V_1 * V_2}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \quad (2)$$

$$h_2 = \frac{ti_3}{2} \frac{V_2 * V_3}{\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} \quad (3)$$

donde:

h<sub>1</sub>: espesor del primer medio.

h<sub>2</sub>: espesor del segundo medio.

ti<sub>2</sub>: tiempo de intersección del segundo medio.

ti<sub>3</sub>: tiempo de intersección del tercer medio.

V<sub>1</sub>: velocidad del primer medio.

V<sub>2</sub>: velocidad del segundo medio.

V<sub>3</sub>: velocidad del tercer medio.

El equipamiento utilizado estuvo compuesto por un Sismógrafo marca PASI y todos sus accesorios.



Foto 3. Sismógrafo de refracción marca PASI.

### 3. RESULTADOS

Se exponen dos gráficos de Voltaje (V) vs. X (m), dos dromocronas, cuatro cortes geológicos - geofísicos y sus representativas pseudosecciones así como tres mapas de isohomas a tres profundidades distintas, se pueden apreciar las fallas y contactos determinados. Por otra parte, se presentan los modelos geofísicos 3D de los parámetros físicos medidos y un modelo geofísico integrado.

Los rangos de resistividades aparentes, Voltajes y velocidades de propagación asociados a las litologías presentes en la zona de estudio, se presentan en la Tabla No.1.

litología	$\rho_a(\Omega^*m)$	Voltaje (V)	$V_p(m/mseg)$
Limo	0 – 16	0.1 – 0.2	1.49 - 2
Arcilla limosa	16 – 25	0.2 – 0.3	-
Arcilla	25 - 70	0.3 – 0.4	-
Arena	>70	0.4 – 0.8	-

Tabla No 1. Rangos de variación de resistividades, voltajes y velocidades de propagación de las litologías en el sector de estudio.

### CORTE GEOLOGICO GEOFISICO A - A

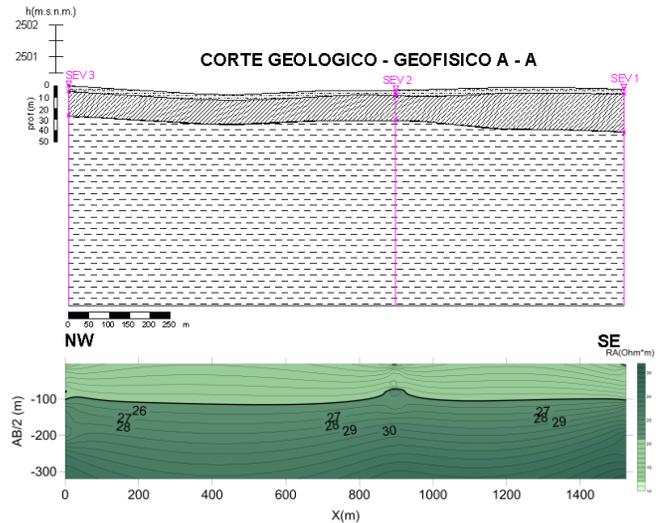


Figura 9. Corte Geológico – Geofísico y pseudosección de resistividad aparente A - A.

Con base en la interpretación geológica – geofísica de los datos obtenidos en campo se logró determinar la existencia de tres capas las cuales presentan continuidad a los largo del perfil y corresponden a limo (Superficie), Arcilla limosa, Arcilla (profunda). Por su parte la pseudosección presenta tres zonas comprendidas entre los 14 – 16, 16 – 25 y 25 – 41  $\Omega^*m$  correspondientes a las litologías mencionadas arriba respectivamente (Figura 9).

### CORTE GEOLOGICO GEOFISICO B - B

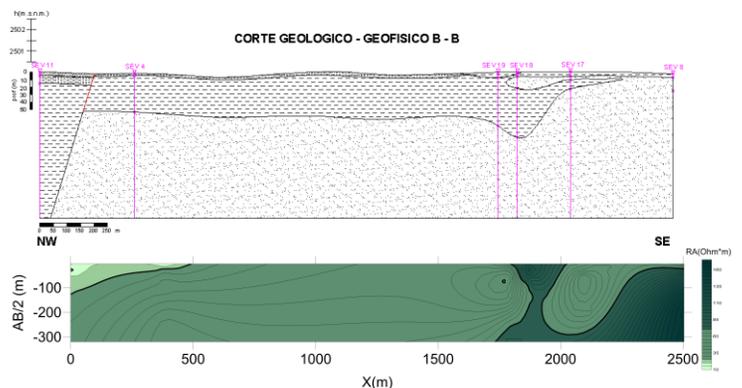


Figura 10. Corte Geológico – Geofísico y pseudosección de resistividad aparente B - B.

A partir de la interpretación geológica – geofísica de los datos obtenidos en campo se logró identificar la ubicación posible de una Falla entre los SEV 11 y 4. (Figura 10).

De la misma manera la pseudosección presenta cuatro zonas comprendidas entre los 10 – 16, 16 – 25, 25 – 70 y > 70 Ω\*m.

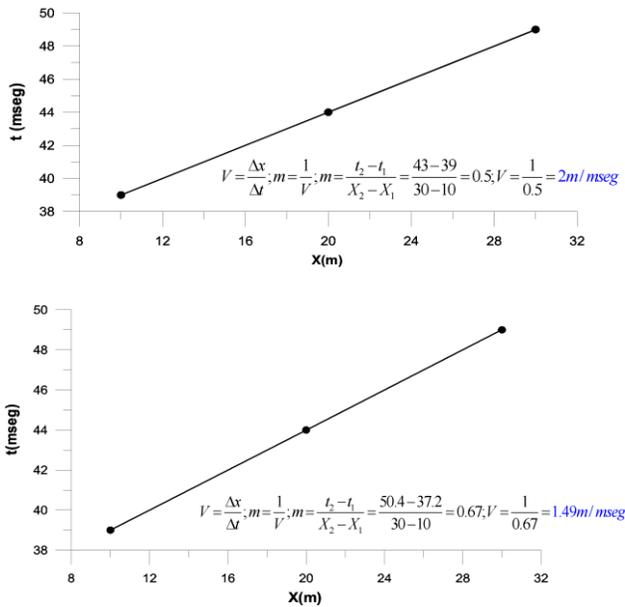


Figura 11. Dromocronas de los puntos sísmicos 1 (Superior) y 2 (Inferior).

Por su parte la sísmica de refracción representada por los puntos sísmicos 1 y 2 (Figura 11) realizados conjuntamente a los SEV 18 y 19 nos muestra una capa superficial con una velocidad de propagación que oscila entre 1.49 – 2 m/mseg esta velocidad se asocia a un limo.

### CORTE GEOLOGICO GEOFISICO C - C

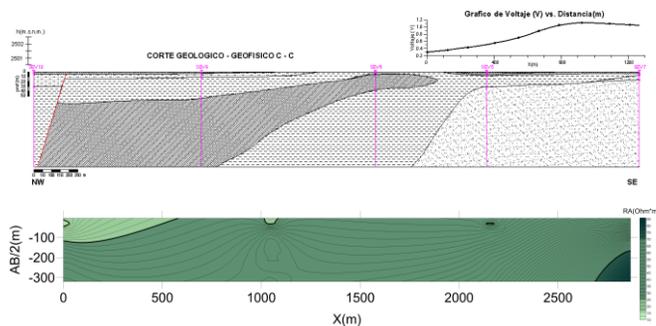


Figura 12. Grafico de X (m) vs. Voltaje (V), Corte Geológico – Geofísico y pseudosección de resistividad aparente C - C.

Mediante la interpretación geológica – geofísica de los datos obtenidos en campo se logró determinar una Falla ubicada entre los SEV 10 y 9. En el grafico de X (m) vs. Voltaje (V) se puede observar el contacto entre una capa de voltaje intermedio (Arcilla) y otra con alto voltaje (Arena), marcado claramente por el punto de inflexión. (Figura 12)

De igual manera la pseudosección presenta cuatro zonas comprendidas entre los 10 – 16, 16 – 25, 25 – 70 y 70 - 85 Ω\*m.

### CORTE GEOLOGICO GEOFISICO D - D

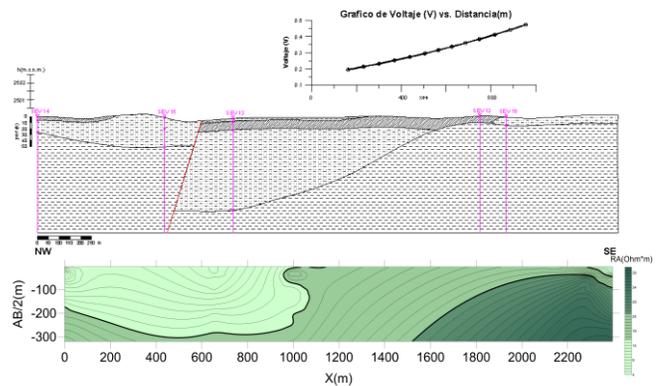


Figura 13. Grafico de X (m) vs. Voltaje (V), Corte Geológico – Geofísico y pseudosección de resistividad aparente D - D.

Por medio de la interpretación geológica – geofísica de los datos obtenidos en campo se logró determinar la posible ubicación de una Falla entre los SEV 15 y 13 (Figura 13). En el grafico de X (m) vs. Voltaje (V) se puede observar el contacto entre una capa de bajo voltaje (limo) y otra con voltaje intermedio (Arcilla), identificado claramente por el punto de inflexión.

La pseudosección presenta tres zonas comprendidas entre los 4 – 16, 16 – 25 y 25 – 40 Ω\*m.

- LIMO
- ARCILLA LIMOSA
- ARCILLA
- ARENA
- SONDEO ELECTRICO VERTICAL
- FALLA

Figura 14. Convenciones de los cortes geológicos - geofísicos.

## MODELACION GEOFISICA A 10M DE PROFUNDIDAD

En el modelo se observan cuatro zonas, con mayor frecuencia existen dos zonas, en las cuales la resistividad aparente fluctúa entre 5 - 16 y 25 - 70  $\Omega \cdot m$  respectivamente. La zona menos frecuente fue la contemplada entre los valores de 16 - 25 y mayor a 70  $\Omega \cdot m$  (Figura 15).

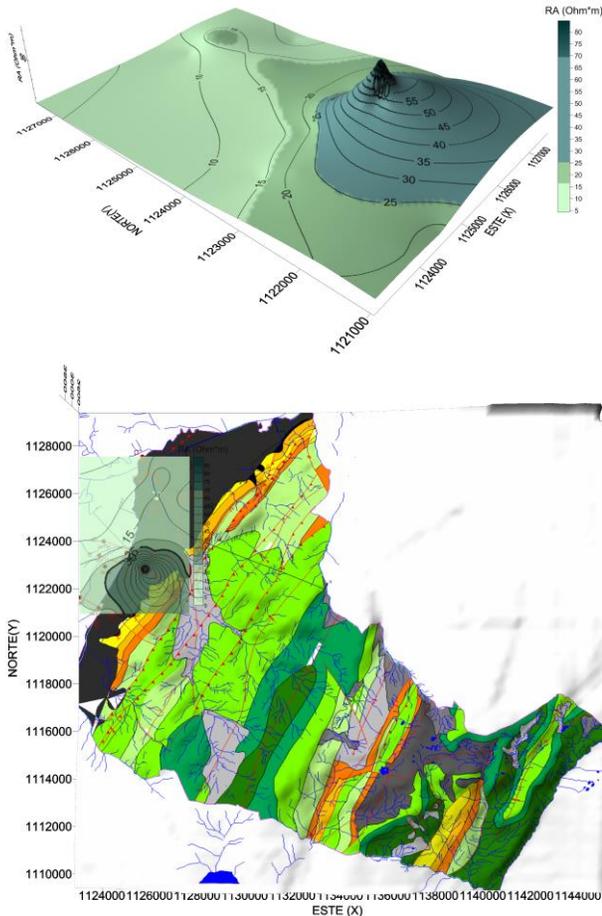


Figura 15. Modelo geofísico de resistividad aparente a 10m de profundidad.

## MODELACION GEOFISICA A 50 M DE PROFUNDIDAD

En el modelo se observan cuatro zonas, con mayor frecuencia la zona con resistividad aparente entre 25 - 70. La zona menos frecuente fue la que presenta valores de resistividad aparente mayores a 70. (Figura 16)

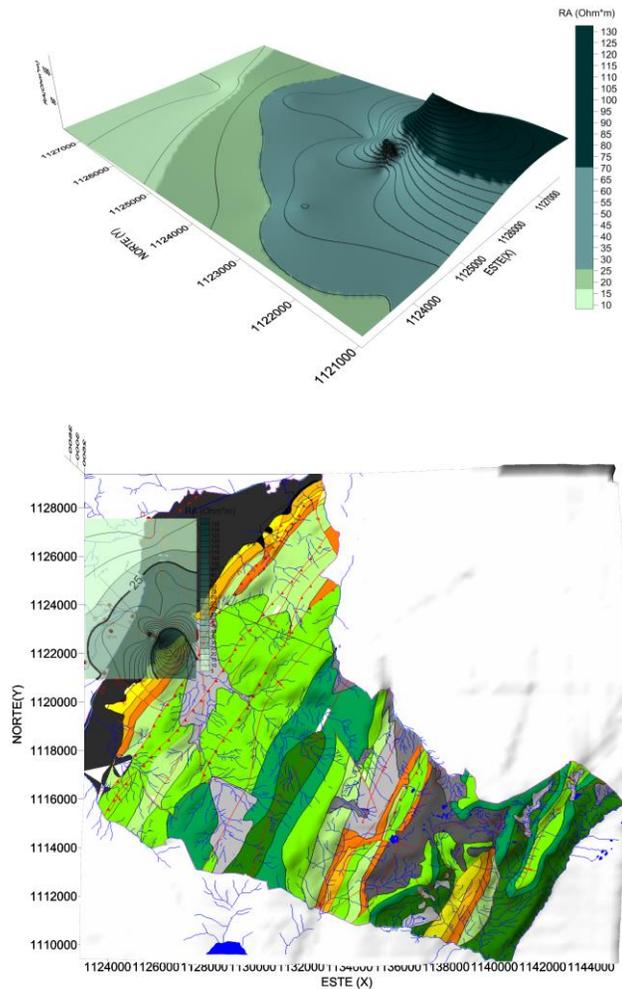
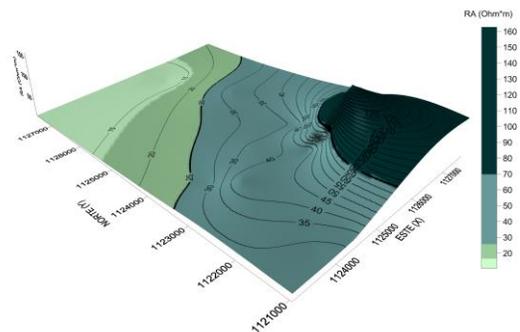
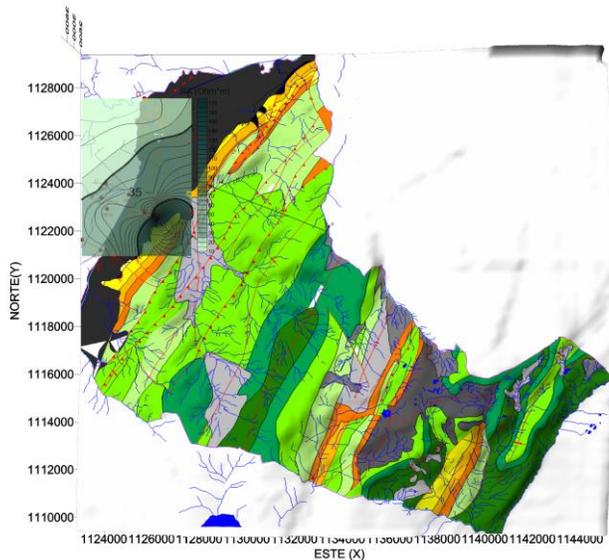


Figura 16. Modelo geofísico de resistividad aparente a 50m de profundidad.

## MODELO GEOFISICO A 100M DE PROFUNDIDAD

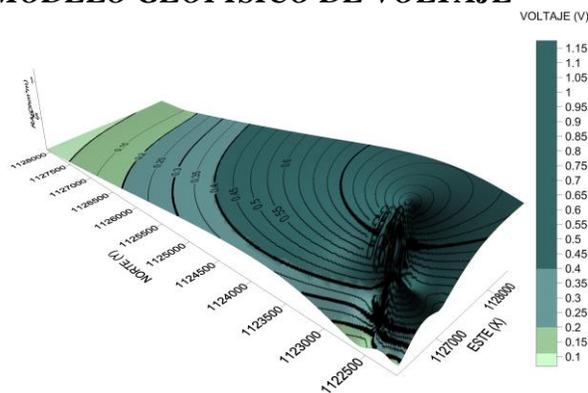
En el modelo se observan cuatro zonas, con mayor frecuencia la zona con resistividad aparente entre 25 - 70. La zona menos frecuente fue la que presenta valores de resistividad aparente mayores a 70.





**Figura 17.** Modelo geofísico de resistividad aparente a 100m de profundidad.

### MODELO GEOFISICO DE VOLTAJE



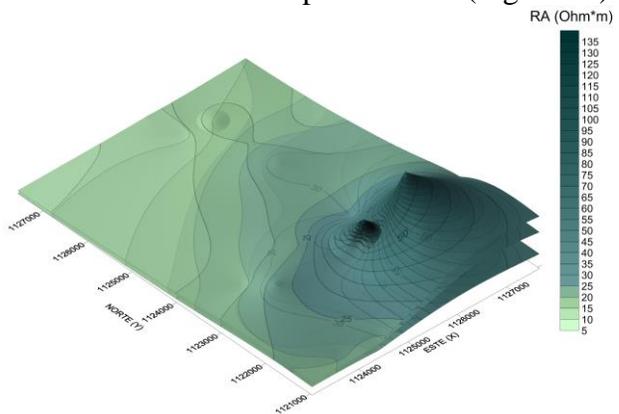
**Figura 18.** Modelo geofísico de resistividad aparente a 10m de profundidad.

En el modelo se observan cuatro zonas, con mayor frecuencia la zona con voltaje  $< 0.4$  V. La zona menos frecuente fue la que presenta valores de voltaje menores a  $0.1V$  (Figura 18).

### MODELO GEOFISICO INTEGRADO

Por ultimo se construyó el modelo geológico – geofísico final el cual muestra que en superficie la zona de resistividad aparente baja ( $< 16 \Omega \cdot m$ ) asociada a limo y arcilla limosa es frecuente y dicha frecuencia disminuye en profundidad.

Por su parte la zona con resistividades aparentes intermedias y altas ( $> 16 \Omega \cdot m$ ) correspondiente a arcillas y arenas son poco frecuentes en superficie y su frecuencia aumenta en profundidad (Figura 19).



**Figura 19.** Modelo geológico - geofísico a los 17m de profundidad.

### 4. CONCLUSIONES

1. La realización de los sondeos eléctricos verticales permitió conocer de manera detallada la geología del subsuelo cercano a los 213 m, lo cual estuvo dado por el AB máx de 640 m.
2. Al realizar los perfilajes de teluometría en el área se logró determinar con mayor precisión la ubicación de los contactos y las zonas de fallas. Esto está dado porque es un método de perfilaje que se desplaza a lo largo de líneas o perfiles de estudio lo que determina los contactos verticales.
3. Se pudo comprobar la efectividad de la aplicación conjunta del método de Teluometría con el Sondeo Eléctrico Vertical y Sísmica de refracción, porque los

datos no excedieron un 10 % del error medio cuadrático del levantamiento.

4. Se recomienda perforar y tomar registros de carácter eléctrico y sónico, lo que corroboraría la información obtenida en superficie.

5. El método de sísmica de refracción solo nos permitió identificar la velocidad de propagación de la primera capa, lo que está dado por la distancia de la línea de medición de 40 m lo que permite obtener información superficial.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

**Fonseca, F. A.,** (2008). Caracterización geológico – geoelectrica de las litologías presentes en la zona centro de Boyacá. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sede Sogamoso. pp. 1-70.

**Fuentes, M. C.,** (2007). Estudios Geoelectricos en las zonas centro y norte del departamento de Boyacá para el Convenio de Cooperación Acuerdo 015 del 2007, entre INGEOMINAS y la UPTC, Sede Sogamoso, pp. 1-120.

**Geofísica 1.** (1978). Editorial Pueblo y Educación, Ministerio de Educación. La Habana Cuba.

**Reyes, Ch. I.** (1984). Geología de la Región de Duitama - Sogamoso – Paz del Río (departamento de Boyacá) Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia – Belencito.

**Van der Hammen, TH.** (1958). Estratigrafía del terciario y Maestrihtiano, continentales y Tectogénesis de los andes Colombianos.