

**CARACTERIZACIÓN GEOELECTRICA EN LA VEREDA "LA ESPERANZA "
SECTOR DE LA MESA DE LOS SANTOS, MUNICIPIO DE PIEDECUESTA,
SANTANDER**

**LARRY WILCHES SÁNCHEZ
ANDRÉS FELIPE CORZO FARFÁN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2015

CARACTERIZACIÓN GEOELECTRICA EN LA VEREDA "LA ESPERANZA "
SECTOR DE LA MESA DE LOS SANTOS,
MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER

LARRY WILCHES SÁNCHEZ
ANDRÉS FELIPE CORZO FARFÁN

Trabajo de Grado para optar al título de
Geólogo.

Director
JORGE LEONARDO CHAPARRO
Geólogo

Asesor
CARLOS M. WANDURRAGA
Geólogo Especialista en Hidrogeología

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA

2015

DEDICATORIA

A mi Dios por darme tanto, guiar mis pasos y nunca dejarme solo, a mi madre, Margarita Sánchez a quien le agradezco todo su apoyo, y a mi hija Sofia para que se sienta orgullosa de su papa.

A mi novia, por darme tantos momentos felices y ser un apoyo incondicional.

A mis amigos, que me dejan los mejores momentos de mi carrera, y mi vida a los cuales les dedico todos mis logros, sin ellos nada sería posible, Carlos Becerra, Silvia Chaparro, Geoffrey Viviescas, Yalons Ardila, Yemi Martínez, Ronni Medina, Paola lievanno, Ana correa, Sergio Crofot, gracias por su complicidad, aventuras y por tanta paciencia.

A la familia Sánchez, y mis hermanos, Leonardo Sánchez, Omar Sánchez a quien respeto y admiro, a Hugo Trujillo, Carlos Trujillo, Sergio Sánchez, Jenny Carolina Sánchez, Martha Liliana Sánchez, Mayerly Rivera, Carlos Rivera, Leidy Tatiana Sánchez, Yadira Sánchez.

Finalmente a la Universidad Industrial de Santander, de la que estoy orgulloso y con la que estoy inmensamente agradecido.

Con agradecimiento desde el Corazón.

Copetín, Un Payaso feliz.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios, a quien le agradezco la virtud de superar con éxito esta etapa y me indica el mejor camino para lograr mis metas.

A la Universidad Industrial de Santander (UIS), especialmente a la Escuela de Geología y de Petróleos, quienes hicieron parte de una de las etapas más importante de mi vida.

A la empresa TRAPPENKAMP, por su apoyo y colaboración en las actividades realizadas para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos propuestos en la tesis; y a la empresa INGEOEXPLORACIONES, el gerente Señor Carlos Wandurraga quien depositó su confianza en mí y me brindó sus conocimientos y valores adquiridos.

A Sonia Sánchez la secretaria más bonita de la escuela.

Al profesor Luis Carlos Mantilla, Juan de Jesús, y Leonardo Chaparro, que contribuyeron a mi formación académica, profesional, ética, moral y personal y su seguimiento constante durante el desarrollo y realización de en mi formación como Geólogo en la UIS.

Larry Wilches Sánchez

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	20
1. OBJETIVOS.....	21
1.2 OBJETIVO GENERAL	21
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
2. JUSTIFICACIÓN.....	22
3. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	23
4. MARCO GEOLÓGICO.....	24
5. MARCO ESTRATIGRÁFICO	26
5.1 ROCAS SEDIMENTARIAS	26
5.1.1 Formación Jordán.....	26
5.1.2 Formación Girón.....	27
5.1.3 Formación los Santos.....	27
5.1.3.1 Miembro Inferior.....	28
5.1.3.2 Miembro Medio.....	28
5.1.3.3 Miembro Superior.....	28
6. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	30
6.1 FALLA EL DUENDE.....	32
7. GEOMORFOLOGÍA.....	34
7.1 FORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL ESTRUCTURAL.....	34
7.1.1 Escarpes de falla y escarpe de línea de falla.....	34

7.1.2 Mesas/planicies estructuralmente controladas.	34
7.1.3 Topografía de lomos y vertientes onduladas rizadas con sistema de drenaje predominantemente relacionada a afloramientos de rocas estratificadas.	34
7.2 FORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL	34
7.2.1 Peneplanicies /mesetas.	35
7.2.2 Colinas y pendientes denudacionales.....	35
8. MARCO TEÓRICO	36
8.1 RESISTIVIDAD	36
8.2 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS ROCAS.....	36
8.3 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV)	37
8.4 DISPOSITIVOS TETRAELECTRÓDICOS LINEALES BÁSICOS.....	38
8.4.1 Dispositivo Wenner.	39
8.4.2 Dispositivo Schlumberger.	39
8.4.3 Dispositivos Dipolares.....	40
8.5 CURVAS DE RESISTIVIDAD	41
8.6 SOFTWARE DE PROCESAMIENTO (IPI2WIN).....	42
9. METODOLOGÍA	44
9.1 ADQUISICIÓN DE DATOS	44
9.2 METODOLOGIA DE LA ADQUISICION	47
9.2.1 Ubicación y disposición del equipo	47
9.2.2 Ubicación y disposición de los electrodos.....	48
9.2.3 Conexiones eléctricas.....	49
9.2.4 Toma de datos en el equipo.....	50
9.2.5 Libreta de campo	51
9.3 PROCESAMIENTO DE DATOS	52
9.4 ANALISIS DE LA CONDUCTANCIA LONGITUDINAL Y RESISTIVIDAD TRANSVERSAL.....	54
9.5 INTERPRETACIÓN DE LAS RESISTIVIDADES	55

9.6 GENERACION E INTERPRETACION DE LA PSEUDOSECCION	57
9.7ANÁLISIS DE RIPIOS.....	59
9.8 RECONOCIMIENTO DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS DE LA ZONA	61
9.9 ELABORACIÓN DE MAPAS DE ISORRESISTIVIDADES	65
10. RESULTADOS.....	66
10.1 GENERACIÓN Y USO DE LA TABLA DE INTERPRETACIÓN DE LAS RESISTIVIDADES Y COMPOSICION LITOLÓGICA DEL AREA.....	66
10.2 INTERPRETACION DE LOS SONDEOS REALIZADOS.....	67
10.2 ANALISIS CUALITATIVO DE LOS MAPAS DE CONDUCTANCIA LONGITUDINAL Y RESISTIVIDAD TRANSVERSAL.....	95
10.3 PSEUDOSECCION	97
10.5 COLUMNA LITOLÓGICA DE LOS RIPIOS EXTRAIDOS.....	101
10.6 GENERACION E INTERPRETACIÓN DE MAPAS DE ISORRESISTIVIDAD	104
10.7 MODELO EN 3D DE LOS MAPAS DE ISORRESISTIVIDADES DE DIFERENTES AB/2.	110
10.8 MODELO GEOELECTRICO EN 3D DE LOS MAPAS DE PROFUNDIDAD	113
11. CONCLUSIONES	116
12. RECOMENDACIONES.....	118
BIBLIOGRAFIA.....	119
ANEXOS.....	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio. Vereda "La Esperanza", sector Mesa de los Santos, municipio de Piedecuesta, Santander.	23
Figura 2. Zona de estudio y sus límites.	25
Figura 3. Mapa generalizado de la zona de estudio	26
Figura 4. Mapa de distribución de diaclasas abiertas y cerradas en la Mesa de Los Santos	32
Figura 5. Mapa del potencial hidrogeológico de la Mesa de Los Santos.	35
Figura 6. Esquema generalizado de resistividad y conductividad de materiales geológicos comunes en el subsuelo.	37
Figura 7. Dispositivo Wenner	39
Figura 8. Dispositivo Schlumberger.	40
Figura 9. Arreglo ecuatorial y axial.	40
Figura 10. Arreglo Schlumberger, donde A y B se abren continuamente dejando estático el centro O.	41
Figura 11..Curvas de resistividad para diferentes estructuras resistivas.	42
Figura 12. Interfaz gráfica del Software IPI2WIN.	43
Figura 13. Mapa geológico de la zona de estudio con los SEV realizados.	45
Figura 14. Imagen en Google Earth de las líneas de los sondeos realizados.	46
Figura 15. Imagen en Google Earth de los sondeos realizados.	46
Figura 16. Equipo de Geoeléctrica.	47
Figura 17. Montaje inicial y disposición del equipo central y los carretes.	48
Figura 18. Ubicación de electrodos.	49
Figura 19. Arreglo de AB y MN al equipo. Las conexiones C1 y C2 van con los M y N respectivamente. Las conexiones P1 y P2 van con los A y B respectivamente.	50
Figura 20. Componentes y partes del equipo.	51
Figura 21. Formato de sondeo en la introducción de los datos en IPI2WIN.	53

Figura 22. Curva generada por el software IPI2WIN.	54
Figura 23. Archivo dat. Con 4 sondeos.	58
Figura 24. Opciones de ajuste para pseudosecciones.	59
Figura 25. Fotografía del Equipo de perforación ubicada en la zona de estudio	60
Figura 26. Fotografía de la extracción de ripios.	60
Figura 27. Ripios adquiridos durante la perforación en la zona de estudio.	61
Figura 28. Fotografía de las muestra SAN 1 (Formación Jordán)	62
Figura 29. Fotografía de la muestra SAN 2 (formación Girón)	63
Figura 30. Fotografía de la muestra SAN 3 (Formación Girón)	63
Figura 31. Fotografía de la muestra SAN 4 (FormaciónGirón)	64
Figura 32. Fotografía de la muestra 5 (Formación Los Santos)	64
Figura 33. Interpretación SEV1. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.	68
Figura 34. Estadística SEV 1 MESA 1.	69
Figura 35. Interpretación SEV2. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.	70
Figura 36. Estadística SEV 2 MESA 2	71
Figura 37. Interpretación SEV3. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.	73
Figura 38. Estadística SEV 3 MESA 3	74
Figura 39. Interpretación SEV4. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.	75
Figura 40. Estadística SEV 4 MESA 4	76
Figura 41. Interpretación SEV5. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.	78
Figura 42. Estadística SEV 5 MESA 5	79
Figura 43. Interpretación SEV6. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.	80
Figura 44. Interpretación SEV7. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico	82

Figura 45. Estadística SEV 7 MESA 7	83
Figura 46. Interpretación SEV8. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico	84
Figura 47. Estadística SEV 8 MESA 8	85
Figura 48. Interpretación SEV9. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico	86
Figura 49. Estadística SEV 9 MESA 9	87
Figura 50. Interpretación SEV10. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.	88
Figura 51. Estadística SEV 10 MESA 10	90
Figura 52. Interpretación SEV11. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.	91
Figura 53. Estadística SEV 11 MESA 11	92
Figura 54. Interpretación SEV12. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.	93
Figura 55. Mapa de Conductancia Longitudinal	95
Figura 56. Mapa de Resistividad Transversal	96
Figura 57. Pseudosección de los sondeos SEV 1-2-7-8	97
Figura 58. Pseudosección de los sondeos SEV 8-10-11	99
Figura 59. Pseudosección de los sondeos SEV 5-11	100
Figura 60. Columna litologica.	103
Figura 61. Mapa de isorresistividades AB/2=6 metros.	104
Figura 62. Mapa de isorresistividades AB/2 igual a 15 metros:	105
Figura 63. Mapa de isorresistividades AB/2 igual a 30 metros:	106
Figura 64. Mapa de isorresistividades AB/2 igual a 50 metros:	107
Figura 65. Mapa de isorresistividades AB/2 igual a 100 metros:	108
Figura 66. Mapa de isorresistividades AB/2 igual a 200 metros:	109
Figura 67. Capas de diferentes isorresistividades para crear modelo 3D.	110
Figura 68. Modelo en 3D de los mapas de isorresistividades de diferentes AB/2.	111

Figura 69. Modelo en 3D de los mapas de isorresistividades en orientación E-W	112
Figura 70. Modelo en 3D de los mapas de isorresistividades en orientación S-N	113
Figura 71. Capas de los topes de las diferentes profundidades.	114
Figura 72. Modelo en 3D de la interpolación de capas de profundidad de los diferentes sondeos.	115

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Formaciones aflorantes de la zona de estudio.	29
Tabla 2. Coordenadas geográficas Origen Bogotá de cada SEV adquirido.	45
Tabla 3. Planilla de campo.	52
Tabla 4. Tabla de resistividades típicas en la zona de la Mesa de los Santos.	57
Tabla 5. Coordenadas de las muestras tomadas en el escarpe de la zona.	61
Tabla 6. Escarpe de la mesa de los santos donde se extrajeron las muestras de las 3 formaciones	62
Tabla 7. Tabla de correlación de resistividades y composición litológica de las unidades geotectónicas.	66
Tabla 8. Columna litológica generada del análisis macroscópico de las muestras de los rípios.	101

ANEXOS

ANEXO A. Histograma y estadística de datos de mapa de isorresistividades AB/2=6m	121
ANEXO B. Histograma y estadística de datos de mapa de isorresistividades AB/2=15m	122
ANEXO C. Histograma y estadística de datos de mapa de isorresistividades AB/2=30m	123
ANEXO D. Histograma y estadística de datos de mapa de isorresistividades AB/2=50m	124
ANEXO E. Histograma y estadística de datos de mapa de isorresistividades AB/2=100m	125
ANEXO F. Histograma y estadística de datos de mapa de isorresistividades AB/2=50m	126
Anexo G. Sondeo 1	127
Anexo H. Sondeo 2	128
Anexo I. Sondeo 3	129
Anexo J. Sondeo 4	130
Anexo K. Sondeo 5	131
Anexo L. Sondeo 6	132
Anexo M. Sondeo 7	133
Anexo N. Sondeo 8	134
Anexo O. Sondeo 9	135
Anexo P. Sondeo 10	136
Anexo Q. Sondeo 11	137
Anexo R. Sondeo 12	138
Anexo S. Tabla de Conductancias Longitudinales.	139
Anexo T. Tabla de Resistividades Transversales.	140

RESUMEN

TÍTULO:

CARACTERIZACIÓN GEOELÉCTRICA EN LA VEREDA "LA ESPERANZA " SECTOR DE LA MESA DE LOS SANTOS, MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER *

AUTORES:

CORZO Farfán Andrés Felipe
LARRY Wilches Sánchez **

PALABRAS CLAVE:

Sondeos eléctricos verticales, SEV, Mesa de los Santos, acuífero, resistividad.

DESCRIPCIÓN:

En el presente trabajo se muestra la adquisición, procesamiento e interpretación para el método geofísico denominado "Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)" con el fin de caracterizar geoelectricamente el subsuelo y relacionar este con la geología de la zona. Este estudio mejora la comprensión del modelo geológico en la vereda de "La Esperanza", municipio de piedecuesta, Santander, el cual se ve afectado en el verano por la escasez del recurso hídrico.

Durante el. Lo anterior se realizó, con el fin de poder relacionar sus resultados para obtener una pseudosección.

Una vez interpretados los datos, se observa que el método arroja datos confiables al mostrar resistividades correspondientes con las litologías de las unidades geológicas donde se trabajó. En algunas zonas se pudo comparar con afloramientos de fácil acceso o incluso con rípios de perforación de pozos de agua presentes en los alrededores. En otras zonas, solo se tiene la información obtenida por los SEV's. Estos datos ayudan a entender el modelo hidrogeológico presente en el municipio de Pesca, sin embargo, se recomienda la aplicación de otros métodos geofísicos para aumentar la comprensión del subsuelo en el área.

En la interpretación de los resultados se evidenció que la resistividad del terreno varía ampliamente a lo largo y ancho del subsuelo según las condiciones de composición, estratigrafía, granulometría, humedad, temperatura y compactación del suelo sondeado. Por otro lado, la correlación de la continuidad lateral tiene un alto grado de incertidumbre debido a las condiciones anteriormente mencionadas además de la variación de la profundidad alcanzada por cada sondeo.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Jorge Leonardo Chaparro Cordón Geólogo

ABSTRACT

TITLE:

GEOELECTRIC CHARACTERIZATION AT "LA ESPERANZA" LANE, IN LA MESA DE LOS SANTOS SECTOR, PIEDECUESTA – SANTANDER

AUTHORS:

CORZO Farfán Andrés Felipe
LARRY Wilches Sánchez **

KEYWORDS:

Vertical electricprobe, SEV, Mesa de los Santos, aquifer, resistivity

DESCRIPTION:

This thesis project shows the acquisition, process and interpretation of the geophysical method called "Vertical Electrical Sounding (VES), which characterizes geoelectrically the subsurface and correlates it to the geology of the area. This study helps to provide a better comprehension of the geological model in the town of "La Esperanza", Santander, where water resources are diminished due to the summer season.

Throughout this project, 12 VES acquisitions were located in different geological units; The previous experiments were done to connect the results and to obtain a pseudosection. Undoubtedly, after the data interpretation, it is evident that the method gives reliable results because the real resistivities correspond to the lithologies of the geological units in the area. In some areas, it was possible to compare them with accessible outcrops or rock fragments of wells located in the surroundings. In other areas, only the VES results were analyzed. These data helps to understand the hydrogeological model present in the town of "La Esperanza", nevertheless, the application of other geophysical methods is recommended to increase the understanding of the subsurface in the area.

In the interpretation of the results was evident that soil resistivity varies widely throughout the subsoil under the terms of composition, stratigraphy, grain size, moisture, temperature and soil compaction of the area sounding. Furthermore, the correlation of the lateral continuity is highly uncertain due to the conditions mentioned above plus the variation of the depth reached by each SEV

* Work Degree

** Faculty. Engineering's Physicochemical. School Geology . Director: Jorge Leonardo Chaparro Cerdón. Geólogo

INTRODUCCIÓN

La exploración eléctrica ha sido uno de los principales métodos geofísicos para la caracterización del subsuelo y dentro de estos métodos, existen diversas técnicas geofísicas eléctricas que miden la resistividad de los materiales u otros parámetros físicos. Para este trabajo se realizaron Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) debido a su bajo costo, su buena resolución a poca profundidad y a la facilidad de contar con un equipo de propiedad de la Escuela de Geología.

El área de estudio comprende un área de aproximadamente 6 Km² y se encuentra ubicada en la vereda “La Esperanza”, sector de la Mesa de los Santos, municipio de Piedecuesta entre las coordenadas (con origen Bogotá, Gauss central) X: 1'255.211 - 1'253.962 y Y:1'110.399 - 1'112.049 .Se adquirieron 11 SEV entre los meses de Noviembre de 2014 y Enero de 2015 para su posterior interpretación y análisis en la etapa de oficina.

La vereda “La Esperanza”, sector de la Mesa de los Santos es nuestra zona de interés en este proyecto por sus característicaslitoestratigraficas, las cuales reflejan un ambiente propicio para la acumulación de agua en las fracturas de las rocas.

1. OBJETIVOS

1.2 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar eléctricamente el subsuelo en el área de la Vereda “La Esperanza” del sector de la Mesa de los Santos, Municipio de Piedecuesta a través de la adquisición, procesamiento e interpretación de Sondeos Eléctricos Verticales

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Adquirir los datos geoelectricos en la zona de estudio a partir del método de Sondeos eléctricos Verticales para determinar la resistividad de las capas dispuestas en el subsuelo.**
- **Procesar los datos adquiridos para generar las curvas de resistividades aparentes y obtener las resistividades reales y el espesor de las capas para cada sondeo eléctrico.**
- **Interpretar el comportamiento eléctrico de las rocas presentes, al ser estimuladas eléctricamente.**
- **Realizar una columna litológica del pozo perforado.**
- **Correlacionar las resistividades calculadas con la litología en profundidad de los ripios obtenidos durante una perforación.**
- **Elaborar mapas de iso-resistividades del subsuelo.**
- **Correlacionar los sondeos eléctricos verticales entre sí, para determinar la variación de espesores, litología y continuidad de las capas atravesadas, mediante la interpretación de pseudosecciones, mapas y modelos de iso-resistividades.**

2. JUSTIFICACIÓN

La Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Geología recientemente han adquirido el equipo de geoelectrica Terrameter SAS 1000/4000 de la marca sueca ABEM precisamente para que tanto estudiantes como cuerpo docente tengan una herramienta más en los estudios de geofísica y de geoelectrica.

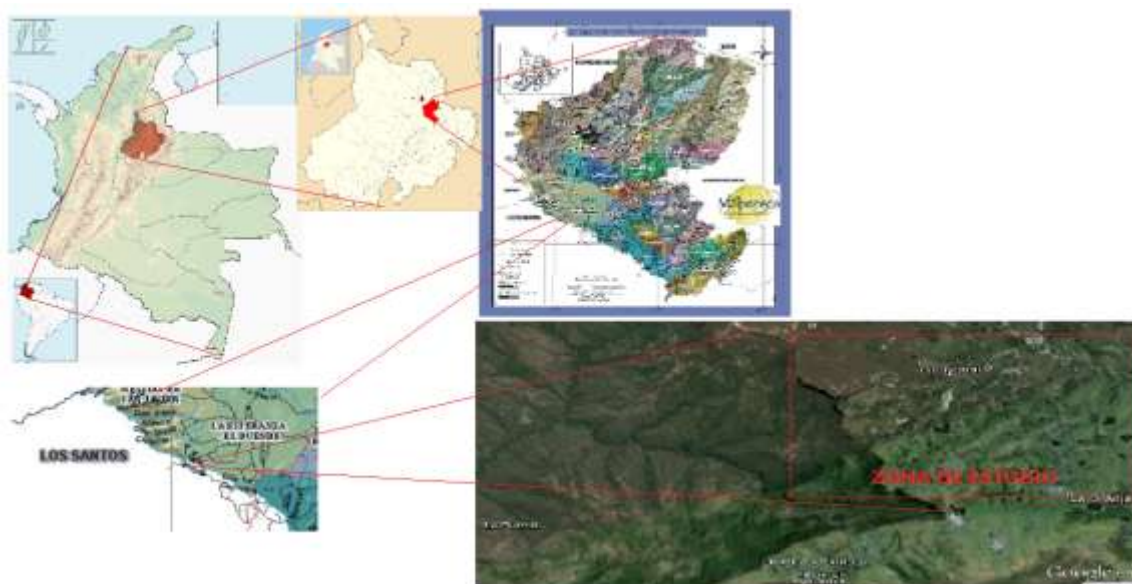
El presente trabajo se realiza con el fin utilizar esta herramienta para la caracterización geoelectrica en la Vereda “La Esperanza”, para la identificación y delimitación de cortes geoelectricos y litologías presentes, y de esta manera se intenta generar un modelo geoelectrico del subsuelo en el sector de interés involucrando para ello las etapas implícitas en estas técnicas, como son la determinación de patrones resistivos, su comportamiento y posterior interpretación en esta zona de interés, con la finalidad de aportar a un mayor conocimiento en el estudio y la comprensión del subsuelo.

3. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de interés para este trabajo de grado se localiza sobre las estribaciones del flanco occidental de la cordillera oriental, en la vereda “La Esperanza” (Municipio de Piedecuesta) cercana al sector de la Mesa de los Santos. De acuerdo con la nomenclatura del IGAC, esta zona se localiza dentro de la plancha 120-IV-B a escala 1:25.000 en Sistema de Referencia Magna Sirgas con Origen Central (Figura 1).

Durante la fase de campo, se realizaron Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) los cuales se adquirieron en la zona delimitada por las coordenadas $N=1'254.821 - 1'253.920$; $E=1'110.301 - 1'112.303$ cuya ubicación se muestra en la siguiente figura.

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio. Vereda "La Esperanza", sector Mesa de los Santos, municipio de Piedecuesta, Santander.



4. MARCO GEOLÓGICO

La zona de estudio se encuentra ubicada al SW del municipio de Piedecuesta, sector de La Mesa de Los Santos la cual está localizada en la región central del Departamento de Santander, al nororiente del país, en la vertiente occidental de la Cordillera Oriental, Los Montes; al noreste por el río Manco hasta su desembocadura en el río Chicamocha, el cual se encuentra limitando esta zona hacia el sur y al oeste por el río Segamos, desde el sitio conocido como Las Juntas, lugar donde se unen los ríos Chicamocha y Suárez para formar el Sogamoso. La vereda la esperanza se encuentra al noroeste de la mesa de los santos y se encuentra delimitada al norte por la quebrada las quebraditas, al sur por la quebrada la honda; al oeste por el escarpe del salto del duende; y al oriente por la vereda el guayabal.

La Mesa de Los Santos se encuentra fisiográficamente ubicada en el costado occidental de la Cordillera Oriental, entre el piedemonte cordillerano y el Valle del Magdalena Medio, con una variación altimétrica que oscila entre los 300 y 1800 msnm. Se caracteriza por tener una morfología plana y pendientes suaves con pequeñas colinas hacia la parte central del área y laderas con pendientes moderadas a altas y escarpes hacia los bordes de la Mesa.

Los controles estructurales y los patrones de diaclasamiento en la Mesa de Los Santos condicionan la porosidad secundaria por fracturamiento y la dirección del flujo, según la presencia de diaclasas, fallas, o pliegues. Algunas de estas estructuras permiten la infiltración y circulación del agua, y la recarga del acuífero, siempre y cuando exista mayor densidad de fracturas que afloren en

superficie, que se encuentren interconectadas y que tengan una apertura mínima, menor de 20 cms (Contreras, 2008).

Figura 2. Zona de estudio y sus límites.

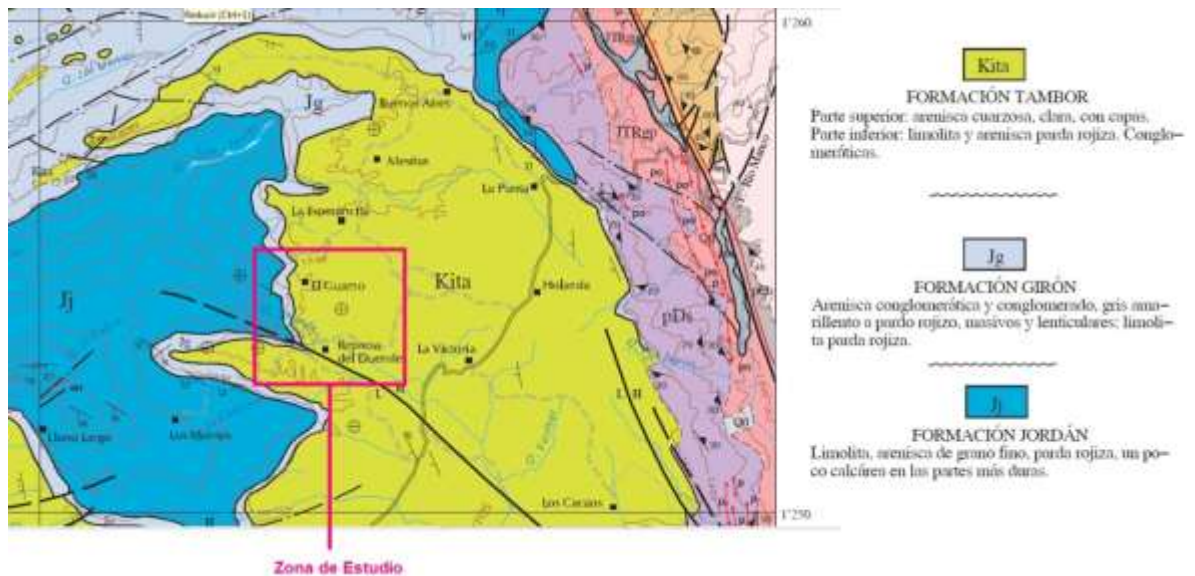


Fuente: Tomado y modificado de www.igac.gov.co

5. MARCO ESTRATIGRÁFICO

En el área de estudio afloran rocas que van desde el jurásico superior tardío hasta el cretácico inferior. Estas corresponden a rocas sedimentarias y depósitos no consolidados.

Figura 3. Mapa generalizado de la zona de estudio



Fuente: Tomado y modificado del mapa geológico del cuadrángulo H-12, Bucaramanga; Ingeominas.

5.1 ROCAS SEDIMENTARIAS

5.1.1 Formación Jordán. La Formación Jordán aflora en el escarpe que se encuentra en la zona de estudio, pero esta nunca se logra identificar con los registros. La unidad se encuentra hacia el NE del área, donde afloran limolitas de color marrón rojizo con contenido de carbonatos intercaladas con areniscas limosas de grano fino, bien estratificadas y areniscas de grano grueso de color gris

verdoso en capas de hasta un metro de espesor con ciertos niveles conglomeráticos y conglomerados líticos hacia la base; el contacto superior con la Formación Girón es discordante.

Se le asigna una edad Jurásica Inferior, basada en los conglomerados inferiores en el área de Piedecuesta, los cuales contienen guijos de la fase porfirítica del granito de Pescadero, del cual se obtuvo por datación radiométrica de 193 +/- 6 millones de años (Ward et al, 1973). Presenta baja porosidad primaria interpartícula y aumento de porosidad secundaria por alta densidad de fracturas abiertas en dirección NW-SE. La permeabilidad media de la secuencia litológica que aflora en esta zona la define como un posible acuífero fracturado.

5.1.2 Formación Girón. Se caracteriza por lodolitas claras alternando con areniscas rojizas de granomedio a grueso, areniscas amarillas de grano medio a grueso, arcósicas y areniscas conglomeráticas rojizas. El contacto Girón - Los Santos es gradacional, desde facies areniscas de grano medio rojizas de los Santos a areniscas de granogruoso conglomeráticas y conglomerados rojos de la formación Girón. Edad Jura-Triásico con base en dataciones hechas sobre ostrácodos (Rabe, 1974 en Pulido, 1979).

5.1.3 Formación los Santos. Esta formación es la más extensa del municipio, consta de areniscas de grano medio a grueso de color blancas amarillentas, areniscas cuarzosas conglomeráticas, lodolitas con algunos guijos de cuarzo y caliche, en capas con geometría tabular, laminación paralela, bioturbación en algunos niveles (Cediel, 1968). La naturaleza terrígena de los sedimentos y el tipo de estratificación permiten deducir un ambiente de depositación continental, lo que está de acuerdo con Clavijo y Laverde (1985), quien interpreta las facies de la formación los Santos como un depósito de corrientes trenzadas, meandriiformes y llanuras de inundación.

La edad de esta formación ha sido determinada por Etayo y Rodríguez (1985) con base en dataciones sobre fragmentos de rocas volcánicas, según el método K/Ar lo cual sugiere que los sedimentos de esta formación se acumularon en el Cretáceo Inferior (Berriasiana).

La formación Los Santos se divide en tres miembros:

5.1.3.1 Miembro Inferior. Esta secuencia se constituye hacia la base por intercalaciones de conglomerados arcillo arenosos, con areniscas conglomeráticas arcillo arenosas, y hacia el tope se compone de areniscas de grano fino a muy grueso con intercalaciones de areniscas conglomeráticas y conglomerados. En general, el Miembro Inferior presenta alto contenido de matriz arcillo arenosa de composición íltica (50-90%) que reduce notoriamente la permeabilidad y lo definen como un posible acuitardo (Díaz, 2008)

5.1.3.2 Miembro Medio. Esta sucesión está conformada por intercalaciones de capas delgadas de areniscas de grano muy fino a fino, con capas medias de arcillolita a limolitas con ilita (60-90%). Hacia el tope se encuentran areniscas de grano fino a muy fino, con capas medias de arcillolita. Generalmente, este miembro presenta baja porosidad primaria debido al alto contenido de matriz arcillosa; se define como un posible acuitardo. Hacia el este y oeste de la zona donde aflora el Miembro Medio, se presenta un aumento en la permeabilidad asociada a la porosidad secundaria por fracturamiento y le confiere carácter de un posible acuífero fracturado (Díaz, 2008)

5.1.3.3 Miembro Superior. El miembro está conformado hacia la base por capas medias de areniscas de grano fino, con esporádicas y delgadas intercalaciones de areniscas de grano grueso. Hacia el techo se presentan intercalaciones de capas medias de areniscas de grano medio con capas finas de areniscas de grano fino. En el norte de la zona, este miembro presenta matriz arcillo arenosa, reduciendo un poco la permeabilidad de la roca. Debido a su bajo grado de compactación

puede ser lavado fácilmente. Hacia el este y el oeste presenta alto contenido de cemento silíceo y permeabilidad media, así como porosidad secundaria media asociada al fracturamiento (Díaz, 2008)

Tabla 1. Formaciones aflorantes de la zona de estudio.

EDAD	FORMACIÓN	LITOLÓGÍA
CRETÁCEO	LOS SANTOS	Areniscas de grano medio a grueso, areniscas cuarzosas conglomeráticas, Lodolitas con guijos de cuarzo y caliche. Kils
JURÁSICO	GIRÓN	Lodolitas claras intercaladas con areniscas rojizas medias a gruesas, areniscas arcósicas amarillas y areniscas conglomeráticas rojas. Jg
JURASICO	JORDÁN	Limolitas marrón rojizo, areniscas de grano muy fino y areniscas de grano grueso con niveles conglomeráticos. Jj

6. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

En la mesa de los Santos se manifiesta una tectónica de fallas y flexiones. El municipio se encuentra entre dos de estas fallas, la falla de Bucaramanga al Este y la falla del Suárez al Oeste. (Julivert y Navas, 1964).

La falla del Suárez es un elemento regional, con una longitud cercana a los 100Km, de rumbo promedio N30E y buzamiento aproximado de 69°W. Su trazo es sinuoso y con ramificaciones (Díaz y Suárez, 1998). Esta falla está representada por una fractura que se orienta paralela al río Suárez a poca distancia de su cauce y por su margen izquierda. La falla del Suárez hunde su labio Este y tiene un juego muy reciente expresado en su marcada influencia en la morfología y en la red hidrográfica. (Julivert, 1961). La falla del Suárez presenta un desplazamiento sinistral, el cual es transmitido de manera regional a las fallas presentes en el municipio de los Santos.

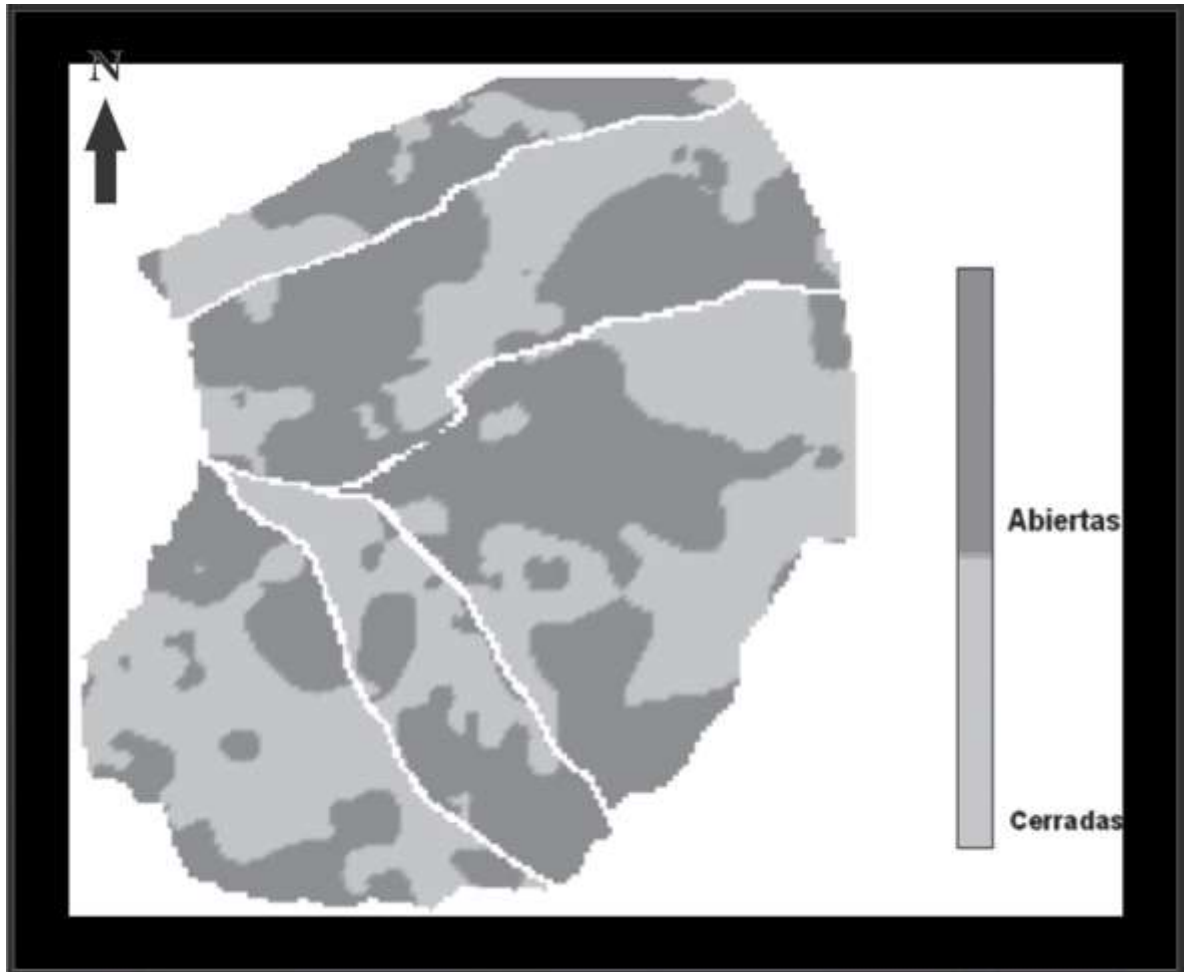
La Mesa de Los Santos se encuentra limitada por la Falla del Suárez al W, la Falla Bucaramanga al E y la Falla Los Montes al N. La zona presenta fallas con tres orientaciones principales: con dirección NW en su mayoría paralelas, mostrando un alto grado de penetrabilidad; fallas paralelas entre sí con dirección NE y fallas menores con dirección EW (Pinto et al, 2008). Localmente se encuentra afectada por un esfuerzo compresivo N-S y un esfuerzo distensivo E-W, con valores de σ_1 : 345/14 y σ_3 : 81/21, respectivamente. Estos esfuerzos generan un elipsoide de deformación que se ajusta al trazo de las fallas de la Mesa, y que presentan dos orientaciones principales NW y NE (Pinto et al, 2008). Los controles estructurales y los patrones de diaclasamiento en la Mesa de Los Santos condicionan la porosidad secundaria por fracturamiento y la dirección del flujo, según la presencia de diaclasas, fallas, o pliegues. Algunas de estas estructuras permiten la infiltración y circulación del agua, y la recarga del acuífero, siempre y cuando

exista mayor densidad de fracturas que afloren en superficie, que se encuentren interconectadas y que tengan una apertura mínima.

El mapa de distribución de apertura de las diaclasas refleja las áreas de mayor dominio de diaclasas abiertas o diaclasas cerradas. Las diaclasas abiertas se concentran principalmente en el noreste, centro y en los escarpes de la Mesa. Por el contrario, el diaclasamiento cerrado se presenta al suroeste y este de la Mesa (FIGURA 3). Las áreas con mayor presencia de diaclasas abiertas tienen mayor importancia hidrogeológica, pues la infiltración y el flujo de agua son mejores que en las áreas con diaclasamiento cerrado, donde el flujo es lento.

La distribución espacial de la densidad muestra altas concentraciones de fracturamiento en los escarpes hacia el este de la Mesa de Los Santos, en la cuenca remontante de la Vereda La Purnia y la cuenca colgante de la Quebrada Potrereros. Las bajas densidades de fracturamiento dominan el suroeste, norte y parte del centro de la Mesa de Los Santos.

Figura 4. Mapa de distribución de diaclasas abiertas y cerradas en la Mesa de Los Santos



Fuente: (Tomado de Pinto et al, 2008)

6.1 FALLA EL DUENDE.

Se extiende a lo largo de la quebrada Honda, controlando su cauce y delimitando estructuralmente la zona en su parte nor-oriental. Presenta una dirección subparalela a la falla Potreros-Espinal. Igualmente el bloque Este está hundido y el bloque Oeste levantado.

En este trabajo, esta falla es de vital importancia debido a que atraviesa la zona de estudio marcando un patrón estructural y de fracturamiento que a la postre servirá de parámetro para la presencia o no de acuíferos, dando más posibilidades de existencia en las zonas a lo largo de esta falla local donde la roca esta mas fracturada.

7. GEOMORFOLOGÍA

7.1 FORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL ESTRUCTURAL

Son aquellas formas del terreno con procesos denudacionales actuales y con control estructural. Las unidades identificadas de esta categoría son las siguientes.

7.1.1 Escarpes de falla y escarpe de línea de falla. Pendientes moderadamente empinadas, moderadamente a severamente disectadas. Esta unidad se encuentra en el sitio conocido como el salto del Duende, en rocas de la formación Jordán y en el cañón de los ríos Chicamocha y Sogamoso.

7.1.2 Mesas/planicies estructuralmente controladas. Topografía plana a ondulada, aproximadamente horizontal a suavemente empinado sobre la planicie y muy empinado en las zonas de escarpe. Esta unidad forma la denominada Mesade los Santos, es la más extensa; se encuentra en rocas de la formación los Santos.

7.1.3 Topografía de lomos y vertientes onduladas rizadas con sistema de drenaje predominantemente relacionada a afloramientos de rocas estratificadas. Topografía con pendientes moderadamente empinadas a muy empinadas con patrón lineal. Se encuentra a lo largo del cañón del río Chicamocha, bordeando el municipio en la parte sur, este y Norte. Las rocas que la conforman y pertenecen a las formaciones Jordán, Girón y los Santos.

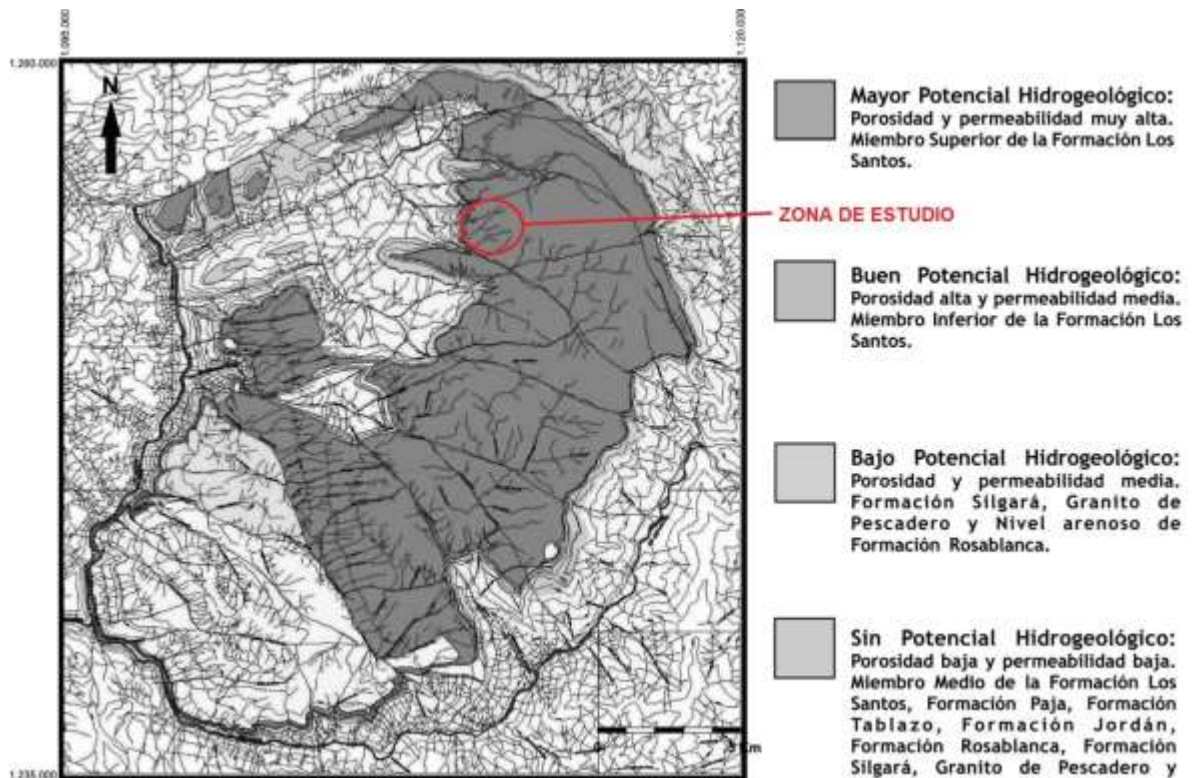
7.2 FORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL

Tienen que ver con el conjunto de procesos que han actuado y continúan actuando sobre el paisaje terrestre. Las unidades reconocidas en esta categoría son las siguientes:

7.2.1 Peneplanicies /mesetas. Aproximadamente planas, con topografía ondulada a rizada. Ligeramente a moderadamente disectada. Se localiza en la vereda “Las Delicias” en rocas de la formación Los Santos y Girón.

7.2.2 Colinas y pendientes denudacionales. Pendientes suaves amoderadamente empinadas, topografía ondulante a rizada, ligeramente amoderadamente disectada. Se encuentra en la parte Este del municipio de los Santos en la vereda “San Rafael” sobre rocas de la formación Silgará y Jordán y en la parte norte en la vereda Llanadas sobre rocas de la formación Los Santos y Girón.

Figura 5. Mapa del potencial hidrogeológico de la Mesa de Los Santos.



Fuente: Tomado de Contreras et al, 2009.

8. MARCO TEÓRICO

8.1 RESISTIVIDAD

Como primera medida para poder entender el método geoelectrico tuvimos que entender que la resistividad se define a partir de un cubo eléctricamente uniforme, de lado de longitud L a través del cual pasa una corriente (I). El material dentro del cubo resiste el paso de la corriente eléctrica a través de él, resultando así en una caída de potencial (V) entre las caras opuestas de este. La resistencia es proporcional a la longitud (L) del material resistivo e inversamente proporcional al área (A). La constante de proporcionalidad es la resistividad verdadera que se denota con el símbolo ρ . De aquí se tiene que la resistencia a través de un volumen unitario está dada por:

$$R=L/A$$

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

$$R= V/I$$

Estas ecuaciones se combinan para tener una expresión para la resistividad, que resulta:

$$\rho = VA/IL$$

Cuyas unidades son ohm-metro ($\Omega.m$).

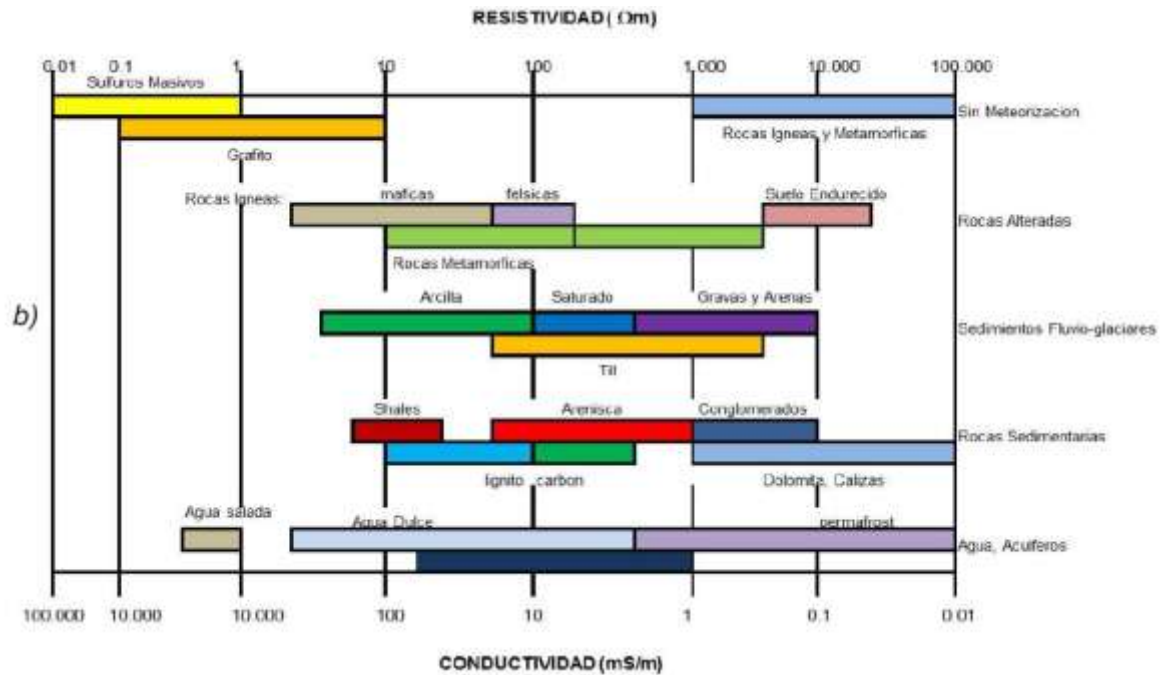
8.2 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS ROCAS

Después consultamos que la resistividad eléctrica de cualquier sustancia se determina numéricamente por la resistencia que se obtiene en un centímetro cúbico de esa sustancia, tomado en forma de cubo, a la corriente eléctrica dirigida perpendicularmente a una de las aristas de ese cubo. (LakubovskiiyLiajov, 1980).

Las relaciones entre la resistividad, porosidad y textura de la roca son fundamentales para este estudio geoelectrico, a su vez, la resistividad también varía de acuerdo a la movilidad, concentración y disociación de los iones presentes en el agua, contenida en los intersticios en la roca. (Ramírez, 2010).

A una roca, como conductor de la corriente eléctrica, se le puede considerar como un agregado que consta de un esqueleto sólido mineral, de líquidos y gases. La resistividad del terreno varía ampliamente a lo largo y ancho del subsuelo.

Figura 6. Esquema generalizado de resistividad y conductividad de materiales geológicos comunes en el subsuelo.



Fuente: Tomado de Gómez J, 2014.

8.3 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV)

Luego de entender el comportamiento de la resistividad eléctrica en las rocas, ahora consultamos acerca de los sondeos eléctricos verticales, los cuales son

una serie de determinaciones de resistividad aparente, cuya finalidad es averiguar la distribución de resistividades bajo el punto sondeado. La calidad de los datos registrados en cada sondeo aumenta si el terreno está compuesto por capas lateralmente horizontales o con una inclinación máxima de 30° (Arias, 2011).

Una gran limitante en este método geoelectrico, es la alta sensibilidad a mínimas variaciones de la conductividad cercanas a la superficie, ya sea por la humedad, vegetación, etc. Una topografía accidentada puede tener un efecto similar al de la meteorización y la humedad, debido al flujo de corriente que se concentra en los valles y se dispersa en las colinas. Como resultado se distorsionan las superficies equipotenciales produciendo falsas anomalías debido solo a topografía (Arias, 2011).

Durante la ejecución del SEV, los impulsos eléctricos son enviados al terreno mediante dos electrodos de emisión A y B, a través de los cuales se hace circular cierta intensidad de corriente (I) por el subsuelo. El circuito se cierra mediante otros dos electrodos M y N denominados de potencial, en los que se percibe la respuesta del campo eléctrico generado por los primeros. De este modo se obtiene una diferencia de potencial (ΔV) que se manifiesta mientras perdure el campo.

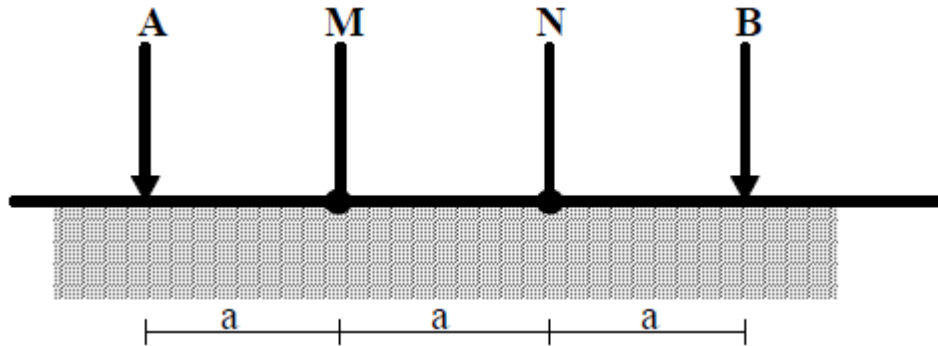
8.4 DISPOSITIVOS TETRAELECTRÓDICOS LINEALES BÁSICOS

En cualquier dispositivo electródico, si conocemos el factor geométrico k, la corriente eléctrica I inyectada por los electrodos A y B, y la diferencia de potencial entre los electrodos M y N, podemos calcular la resistividad aparente mediante $\rho = k \Delta V / I$.

Los dispositivos tetraelectródicos lineales más utilizados en la geoelectrificación son los siguientes:

8.4.1 Dispositivo Wenner. Los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB.

Figura 7. Dispositivo Wenner

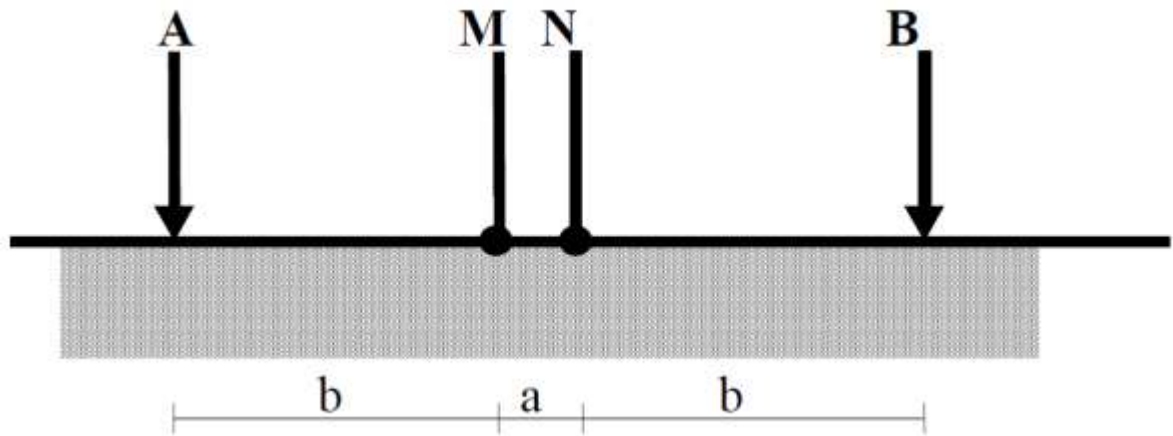


Fuente: Tomado de Ramirez, 2011.

También es un dispositivo simétrico pero los elementos se mantienen equidistantes.

8.4.2 Dispositivo Schlumberger. Se trata de una composición simétrica de los electrodos AMNB dispuestos en línea, donde la distancia de los electrodos detectores MN es mucho menor que la de los inyectores AB (ver figura 7). En la práctica, $AB > 5MN$. 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 8. Dispositivo Schlumberger.

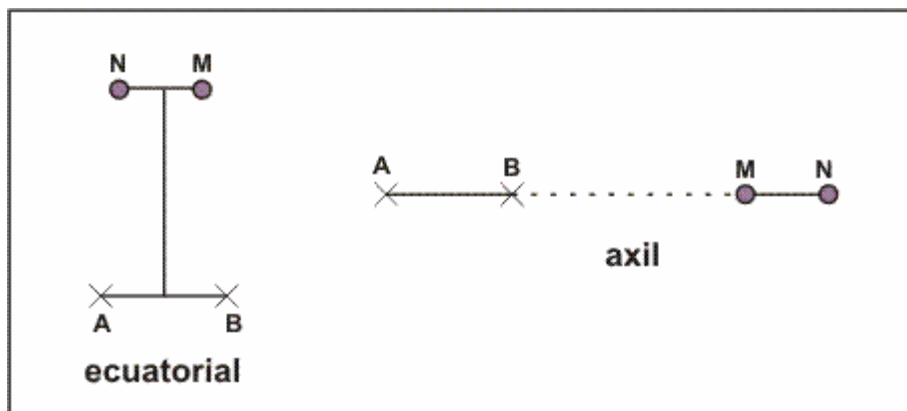


Fuente: Tomado de Ramirez, 2011.

La idea del dispositivo Schlumberger consistió, en utilizar una distancia MN muy corta, de tal modo que pudiera tomarse como válida la ecuación anterior. Además, se observó que la precisión de las mediciones geoelectricas de campo está muy limitada por heterogeneidades irrelevantes del terreno.

8.4.3 Dispositivos Dipolares. En esta disposición, AB y MN se ubican mucho más cerca de la distancia que los separa entre sí. En la práctica, las configuraciones más frecuentes son la ecuatorial y la axial.

Figura 9. Arreglo ecuatorial y axial.

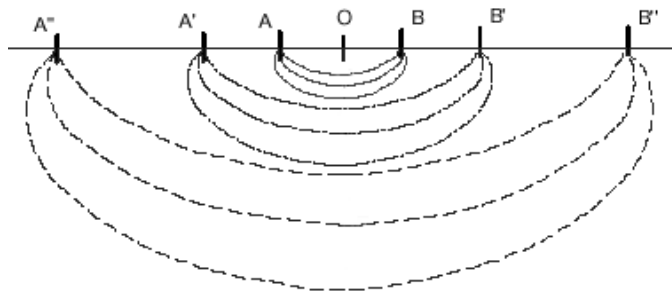


Fuente: Tomado de Ramirez, 2011.

Los dispositivos dipolares (DD) requieren intensidades de corrientes mucho mayores que los lineales (SEV), por lo tanto no se utilizó en esta práctica. Solamente se utiliza para investigaciones geoelectricas profundas.

En este trabajo se usó el arreglo Schlumberger ya que es el más común, en cuanto a la logística de mover solo dos electrodos se facilita más y es sensible tanto para estructuras horizontales como verticales el cual es el indicado para usarse en zonas donde la geología no es muy conocida, o si se necesita buena resolución tanto en la horizontal como en la vertical.

Figura 10. Arreglo Schlumberger, donde A y B se abren continuamente dejando estático el centro O.



Fuente: Tomado de Estrada. L, 2012.

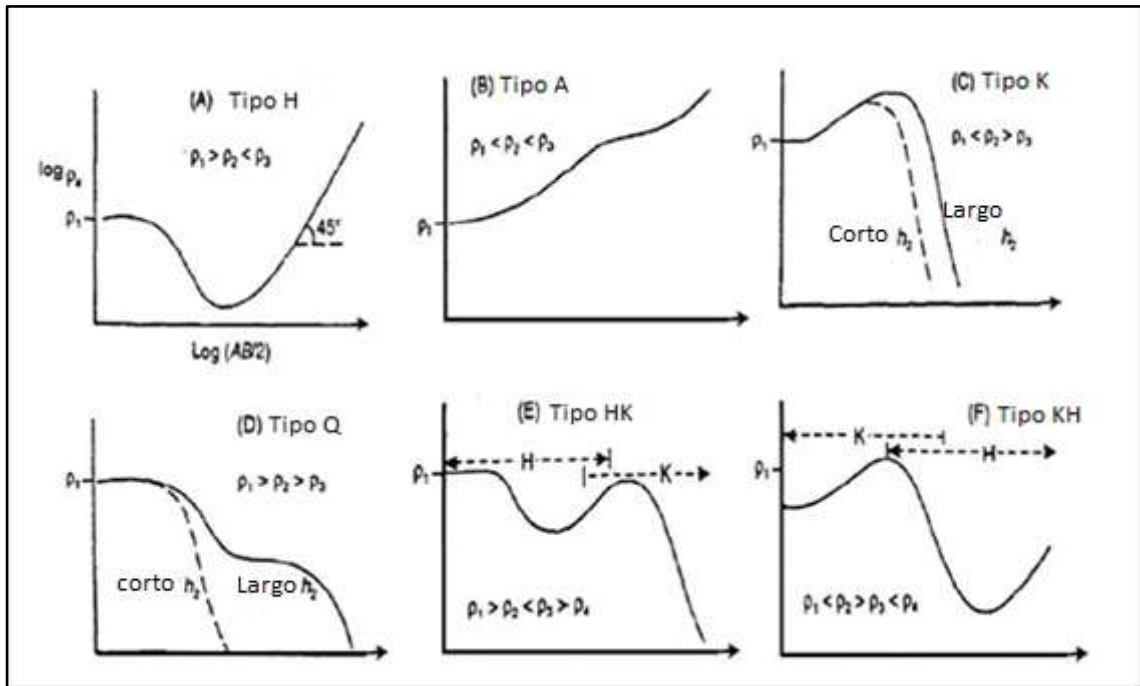
8.5 CURVAS DE RESISTIVIDAD

Se emplearon las curvas de resistividad como un patrón estándar para comparar e interpretar más fácilmente las curvas obtenidas en campo. Estas curvas de resistividad aparente se acercan de forma asintótica a los valores de resistividad dados en la primera y última capa del subsuelo (Pinilla, 2014)

El número de capas que posiblemente tuvo el terreno se determinó por el número de puntos de inflexión que posee la curva de resistividad aparente, aumentando en uno. Las resistividades aparentes se graficaron en las ordenadas, y en las

abscisas las distancias $AB/2$, con ambos ejes en escala logarítmica. En la Figura se observan las gráficas que describe el comportamiento resistivo en teoría del subsuelo:

Figura 11. Curvas de resistividad para diferentes estructuras resistivas.



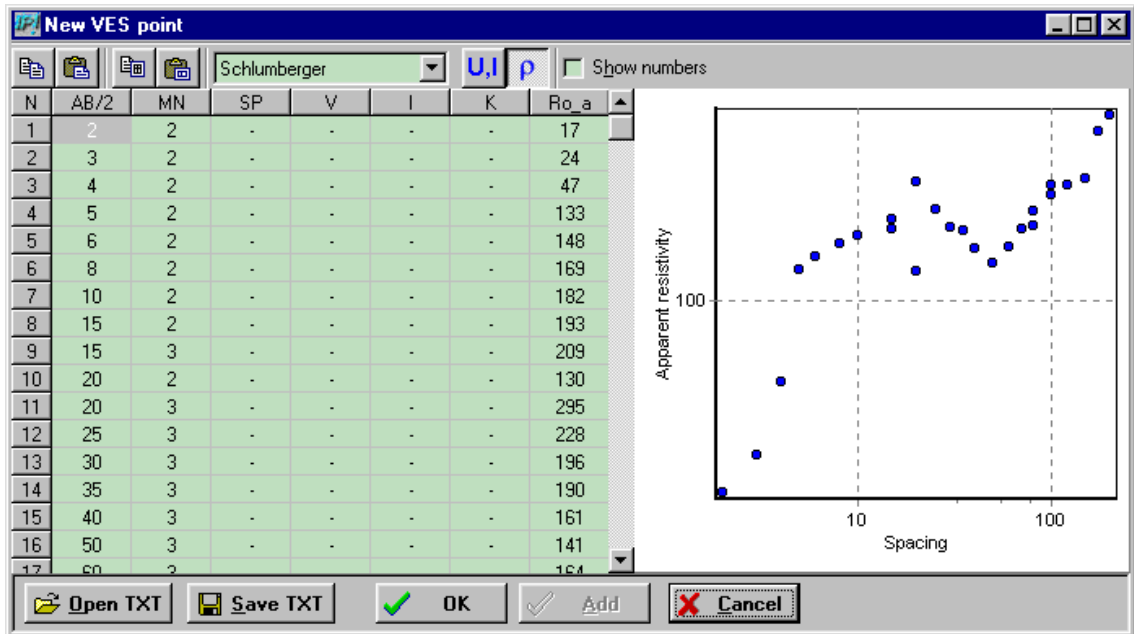
Fuente: Tomado de Reynolds, 1997.

8.6 SOFTWARE DE PROCESAMIENTO (IPI2WIN)

Es un programa diseñado para el procesamiento e interpretación de perfiles geoelectricos, con varios de los arreglos comúnmente utilizados: Wenner, Schlumberger y Dipolo-dipolo, entre otros, Está diseñado para la interpretación automática o semiautomática de datos de Sondeos Eléctricos Verticales obtenidos soportando varias configuraciones de campo, y fue elaborado por AlexeiBoabachev, Igor Modin y Vladimir Shevnin en el año 2000 en Moscú, Rusia.

Este software es usado para la interpretación de curvas obtenidas en campo, a partir de los valores de AB/2 vs. Resistividad aparente en el cual se introducen los datos en forma manual o mediante un formato, posteriormente se ajustan las condiciones para el procesamiento y finalmente arroja la visualización del sondeo interpretado en el cual se muestra el número de capas que se obtuvieron y su valor correspondiente de resistividad.

Figura 12. Interfaz gráfica del Software IPI2WIN.



9. METODOLOGÍA

9.1 ADQUISICIÓN DE DATOS

La toma de datos en campo fue realizada en la vereda la Esperanza (Municipio de Piedecuesta) cercana al sector de la Mesa de los Santos. Para la adquisición de datos, fueron asignados 11 SEV con coordenadas geográficas presentadas en la (Tabla 2) y representadas en el mapa (Figura 12, 13 y 14).

Se utilizó el método de SEV para investigar las condiciones del subsuelo bajo la configuración Schlumberger ya que este método es el más sensible a la hora de localizar capas, fracturas y fallas. La máxima separación de los electrodos de corriente AB/2 fue de 700m dependiendo de las condiciones del terreno y se utilizaron 5 diferentes aperturas de MN a medida que se iba separando los electrodos AB. Cada medida fue registrada en la memoria interna del equipo ABEM TERRAMETER y en un formato en Excel para un mejor control de calidad de los datos y donde se encuentra las coordenadas del centro, dispositivo e instrumento utilizado, apertura de electrodos y su correspondiente medida de resistividad aparente.

Tabla 2. Coordenadas geográficas Origen Bogotá de cada SEV adquirido.

SEV	NORTE	ESTE	ALTURA
MESA 1	1.254.628	1.110.344	1.632
MESA 2	1.254.780	1.110.246	1.623
MESA 3	1.253.284	1.110.169	1.589
MESA 4	1.253.962	1.112.049	1.624
MESA 5	1.254.845	1.111.324	1.646
MESA 6	1.254.851	1.110.854	1.600
MESA 7	1.254.706	1.110.303	1.623
MESA 8	1.254.539	1.110.508	1.619
MESA 9	1.255.211	1.110.399	1.634
MESA 10	1.254.710	1.110.644	1.639
MESA 11	1.254.863	1.110.759	1.638
POZO	1.255.626	1.115.892	1.693

Figura 13. Mapa geológico de la zona de estudio con los SEV realizados.



Figura 14. Imagen en Google Earth de las líneas de los sondeos realizados.



Figura 15. Imagen en Google Earth de los sondeos realizados.



9.2 METODOLOGIA DE LA ADQUISICION

9.2.1 Ubicación y disposición del equipo. El Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) se hizo con el equipo de prospección geoelectrica (TerrameterSystemSAS 1000/4000 de la marca Sueca ABEM (Figura 15) para la adquisición de datos. El equipo de geoelectrica y sus respectivos carretes deben estar alineados, uno al frente del otro. El SEV que se va a tomar es justamente debajo del equipo central, debido a que este nunca se va a mover de su disposición original como lo muestra la (Figura 16).

Figura 16. Equipo de Geoelectrica.



Fuente: Tomado de www.abem.se

Figura 17. Montaje inicial y disposición del equipo central y los carretes.



9.2.2 Ubicación y disposición de los electrodos. Los electrodos se introducen al suelo, con una distancia ya predeterminada de 0.5m para MN y 1.5m para AB. De ahí en adelante se siguen moviendo a una distancia ya predeterminada en las tablas de campo.

Figura 18. Ubicación de electrodos.



Fuente: Tomado de [http:// www.okmmetaldetectors.com](http://www.okmmetaldetectors.com)

9.2.3 Conexiones eléctricas. Una vez el equipo y los carretes están ubicados de la manera correcta, se continúa con realizar las conexiones de los carretes al equipo y del equipo a la batería, (ver figura 18).

Figura 19. Arreglo de AB y MN al equipo. Las conexiones C1 y C2 van con los M y N respectivamente. Las conexiones P1 y P2 van con los A y B respectivamente.



Fuente: Modificado de <http://www.abem.se>

9.2.4 Toma de datos en el equipo. Una vez se tiene el arreglo del equipo y los carretes, se verifican las conexiones eléctricas. Al momento de encender el equipo se ajustan los valores y arreglos que deseamos utilizar, en este caso siempre se utilizó el arreglo Schlumberger en la opción de “resistividad”. A medida que se

toman los datos que aparecen en pantalla y se anotan en la libreta de campo, una vez finalizada la toma del dato usando el botón de corriente (ver Figura 19), se procede a mover los electrodos exteriores AB e inmediatamente se modifica la distancia en el equipo con los botones de desplazamiento.

Se sigue el mismo procedimiento hasta acabar con el sondeo eléctrico vertical (SEV) a la abertura de electrodos deseada.

Figura 20. Componentes y partes del equipo.



Fuente: Tomado de <http://www.abem.se>

9.2.5 Libreta de campo. Para el procesamiento de los datos geoelectricos obtenidos en cada sondeo, se hace uso de hojas de cálculo (en este caso Excel 2010) que automatizan el proceso de obtención de las resistividades aparentes por medio de la realización de cálculos matemáticos previamente programados para cada una de las mediciones del sondeo.

El resultado de dicho procesamiento se representa a manera de ejemplo en la tabla a continuación.

Tabla 3. Planilla de campo.

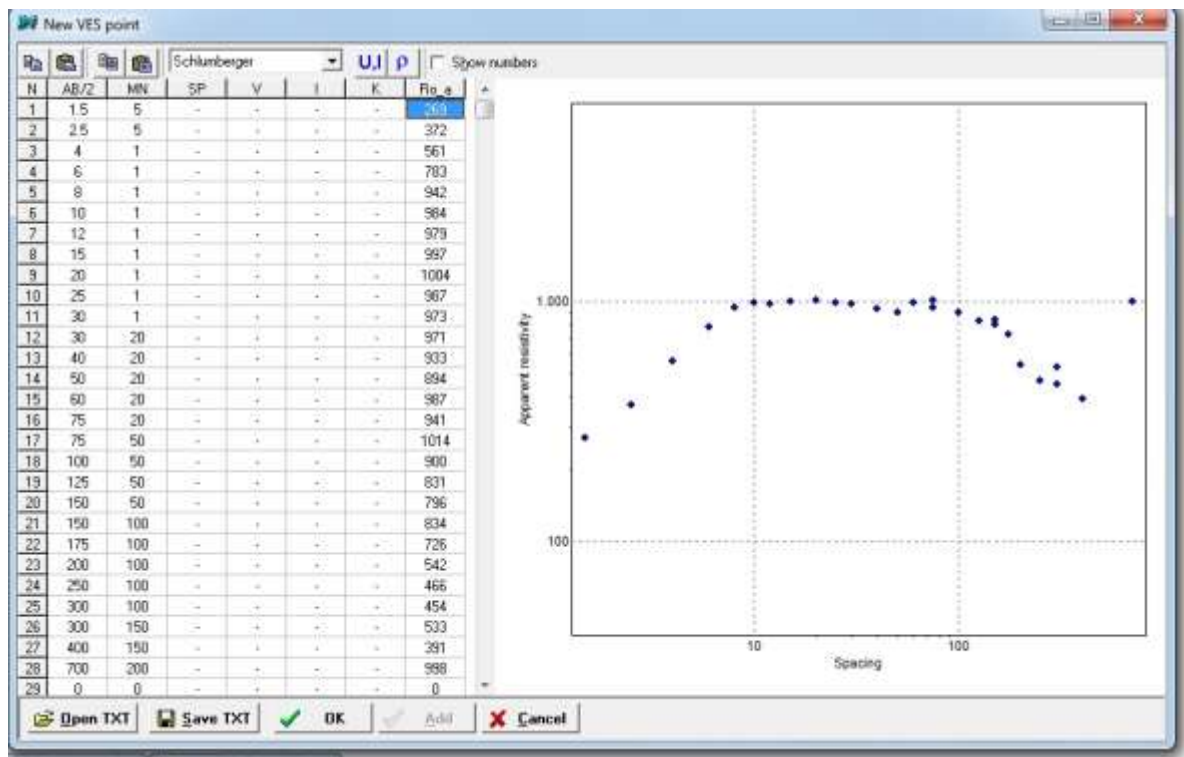
Sondeos Eléctricos Verticales			
Estudiantes : Larry Wilches - Andrés Corzo			
SEV: 1		Zona: La esperanza	Fecha: noviembre 18 de 2014
Orientación-S W	Instrumento: ABEM TERRAMETER		Arreglo: Schlumberger
	Punto A	Punto B	Centro
Coodenadas X	1110380	1110301	1110344
Coodenadas Y	1254720	1254538	1254628
Altura msnm	1632	1630	1632
N°	AB/2	MN	pa
			ohm.m
1	1.5	1	1941.4
2	2.5	1	1942.4
3	4	1	1888.4
4	6	1	2314.8
5	8	1	1964.5
6	10	1	1738.2
7	12	1	1541.4
8	15	1	1383.7
9	20	1	1284.1
10	25	1	1261.5
11	30	1	1484.5
12	30	20	2202.9
13	40	20	2469.5
14	50	20	2487.4
15	60	20	2546.2
16	75	20	2459.4
17	75	50	2394.0
18	100	50	1270.6

9.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de los datos obtenidos en campo fue realizado con el software IPI2Win. Como primer paso, se introdujeron los datos de cada sondeo en el formato correspondiente y se realizó un control de calidad en el cual fueron

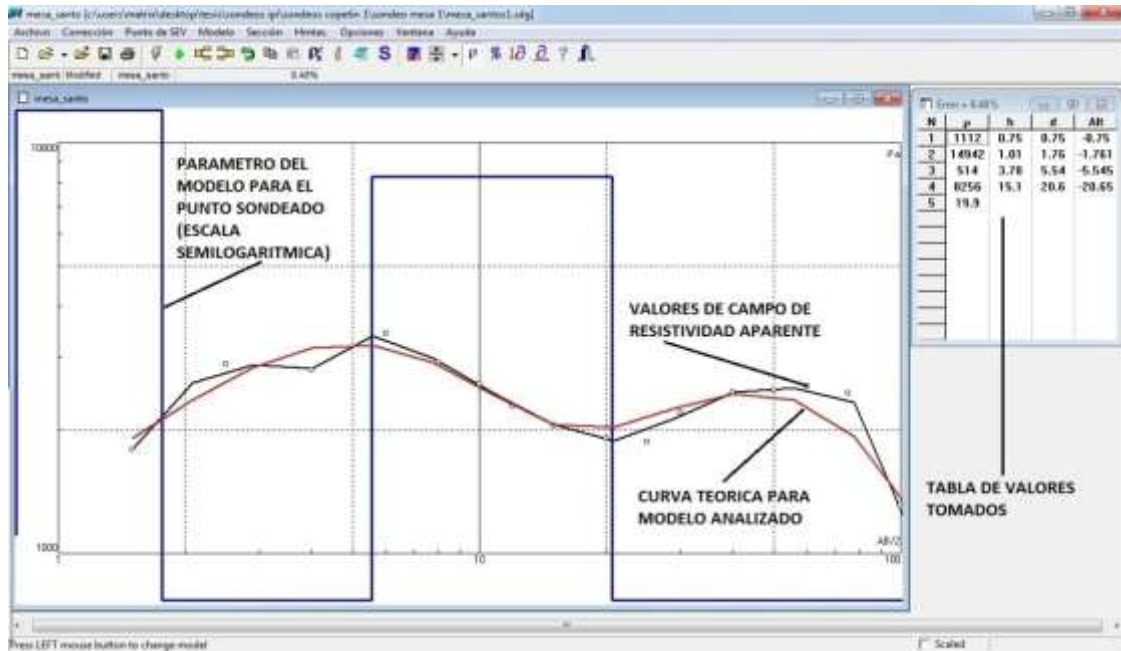
eliminados aquellos que datos considerados “ruido” y que no seguían el patrón de la curva de campo. Cada formato de sondeo contiene la información de la apertura de los electrodos de corriente (AB), la apertura de los electrodos de potencial (MN) y su correspondiente resistividad aparente (ρ_a) en Ohm.m (ver Figura 20).

Figura 21. Formato de sondeo en la introducción de los datos en IPI2WIN.



Una vez realizado el control de calidad de los datos, se graficaron las curvas de campo y se les realizó un proceso de inversión automática para conocer sus resistividades verdaderas y el número de capas presentes. En el eje de las ordenadas se presenta cada apertura de AB/2 y en las abscisas la resistividad aparente calculada (Figura 21).

Figura 22. Curva generada por el software IPI2WIN.



9.4 ANALISIS DE LA CONDUCTANCIA LONGITUDINAL Y RESISTIVIDAD TRANSVERSAL

Se realizan mapas de conductancia en el Software Surfer versión 10 para determinar el comportamiento de la permeabilidad en el área de estudio, lo cual a su vez se puede correlacionar con el tipo de material predominante. Estos mapas se realizan por medio de la interpolación de los valores de resistencia transversal y conductancia longitudinal calculados para cada sondeo realizado en el área de estudio. El mapa consiste en una degradación de colores que van del rojo al azul indicando los diferentes intervalos de resistividades y conductancias interpoladas respectivamente.

Los valores de conductividad y resistividad se calculan para cada sondeo y para cada estrato que se encuentra a una profundidad determinada.

Para calcular la conductancia longitudinal (**c**) se divide el espesor (**e**) a considerar entre la resistividad (**p**) de los estratos obtenidos para cada perfil litológico.

$$C=e/p$$

Para calcular la resistividad transversal (**T**) se multiplica el espesor (**e**) a considerar por la resistividad (**p**) de los estratos obtenidos para cada perfil litológico.

$$T=e*p$$

Para el SEV 1 del estrato 1 los valores de resistividad y conductancia respectivamente son:

$$C=e/p C=0,75m/1112ohm=0,00067446$$

$$T=e*p T=0,75m*1112ohm=834$$

Se puede observar que ambas propiedades son inversamente proporcionales entre sí. Véase en el (Anexo S y T) las tablas completas de resistencias transversales y conductancias longitudinales calculadas para cada estrato de cada sondeo.

9.5 INTERPRETACIÓN DE LAS RESISTIVIDADES

En la interpretación de los datos se uso una tabla de resistividad generada (Tabla 5) a partir de las diferentes tablas de resistividades consultadas (Tabla 4), pero teniendo en cuenta la geología de la zona de estudio y la litología de los ripios adquiridos en la perforación.

Se desarrollo una tabla de resistividades (Tabla 5) que sirvió de patrón para correlacionarla información de resistividades en ohm con la litología

correspondiente en el área de estudio. Esta tabla representa las resistividades características del área de estudio según la litología existente para correlacionar los materiales que conforman los estratos del subsuelo.

El proceso para la elaboración de la tabla de resistividades se resume en:

1. Considerar las resistividades obtenidas en los espesores calculados por el
2. programa IPI2WIN en cada sondeo.
3. Comparar las resistividades obtenidas con las resistividades generales establecidas a partir de las diferentes tablas de resistividades consultadas (Tabla 4) pero teniendo en cuenta la litología de los ripios adquiridos en la perforación.
4. Usar el conocimiento geológico subyacente sobre tipos de rocas en relación a lo que se encuentra en el área de estudio.
5. Determinar asociaciones y relaciones lógicas que se adapten mejor dentro de los intervalos de resistividades que caracterizan litológicamente al sector
6. Establecer valores de resistividades para las diferentes litologías encontradas de acuerdo a su estado saturado o seco.

Tabla 4. Tabla de resistividades típicas en la zona de la Mesa de los Santos.

RESISTIVIDAD ($\Omega.m$)	INTERPRETACIÓN
1 a 5	Arcillas, margas, arcillolitas y limolitas saturadas, suelos residuales saturados.
5 a 12	
12 a 30	
30 a 80	Arcillolitas y limolitas moderadamente saturadas. Areniscas altamente fracturadas saturadas.
80 a 200	Areniscas fracturadas con media saturación de agua. Calizas fracturadas saturadas.
200 a 490	Areniscas fracturadas con media a moderada saturación de agua. Calizas moderadamente saturadas.
490 a 1220	Areniscas moderadamente fracturadas y/o con moderada a baja saturación de agua Calizas con baja saturación y fracturamiento.
1220 a 3050	Areniscas pobremente fracturadas con baja saturación de agua. Calizas masivas.
3050 a 7630	Areniscas masivas secas a pobremente saturadas
Mayores a 7630	Rocas masivas secas

Fuente: Prospección geoelectrica en la mesa de los santos, Santander, Ingeominas, 2010.

9.6 GENERACION E INTERPRETACION DE LA PSEUDOSECCION

Esta etapa de la metodología se permitió visualizar variaciones laterales de la resistividad en los sondeos geoelectricos. Estas generaron información sobre zonas o cuerpos “más” o “menos” resistivos, donde los valores de resistividad estuvieron asociados a tipos de litología y posible contenido de fluidos.

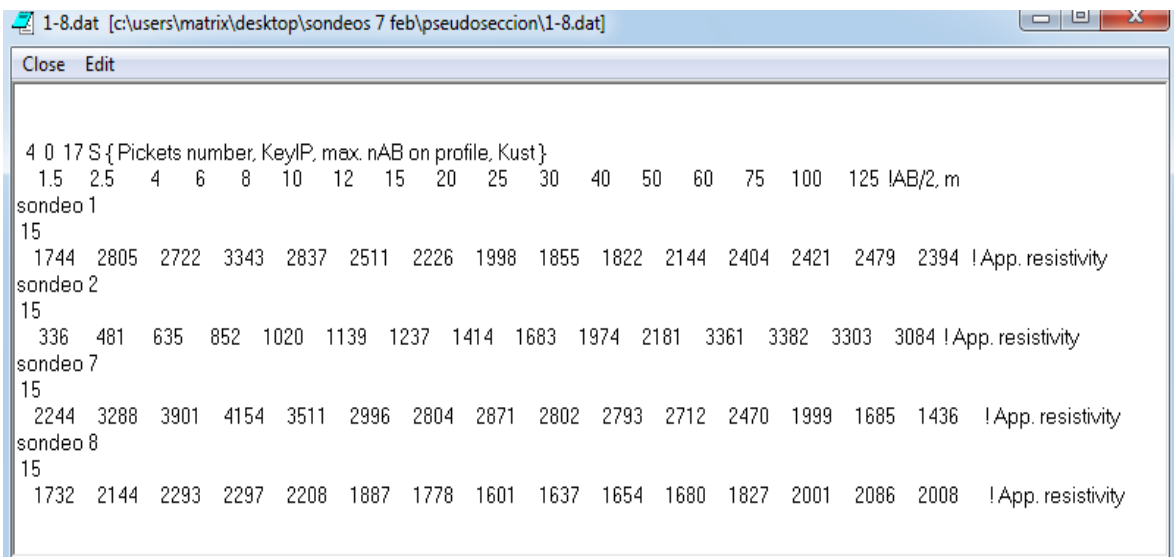
Se realizan 3 secciones entre los diferentes sondeos a partir de los sondeos totales que se encuentran en el área de estudio; algunas con 2 sondeos y otras utilizando 3 y 4 sondeos.

El procedimiento para realizar pseudo-secciones es el siguiente: 1. Se agrupan los datos de los sondeos en un mismo archivo .dat, ver figura 22.

2. Se abre el archivo .dat en el programa IPI2WIN, y se generan dos figuras: la pseudo-sección y la sección de resistividad verdadera en la parte inferior.

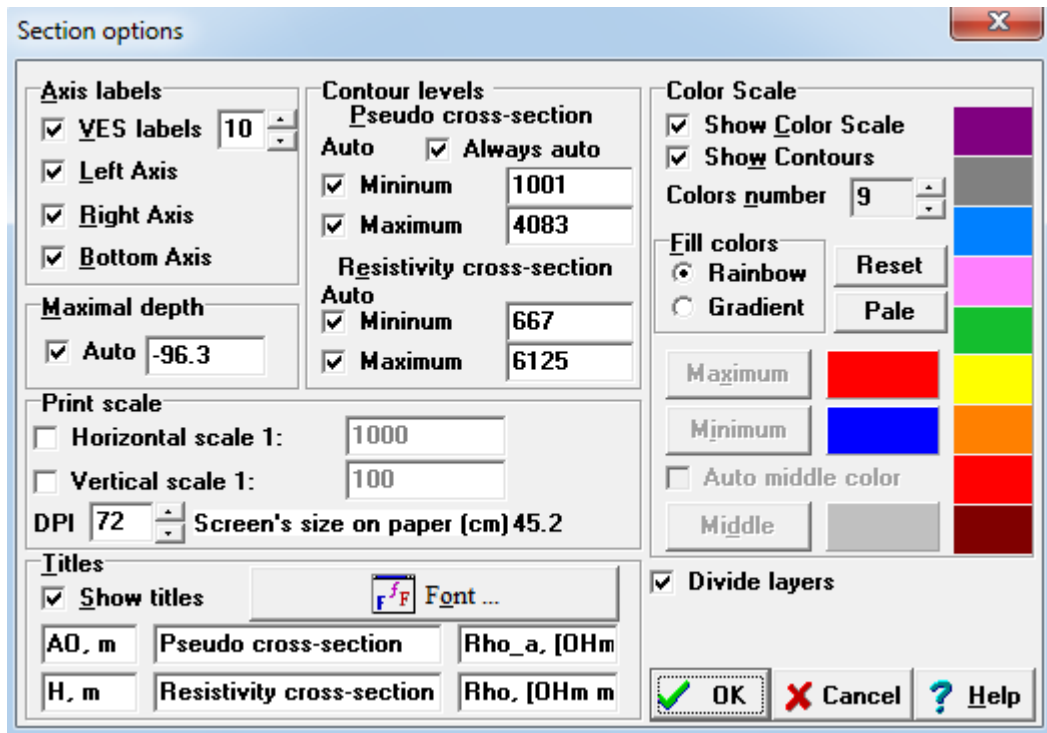
3. Se manipulan los datos de opciones de parámetro para asignar la paleta de colores y establecer los valores mínimos y máximos de las resistividades, ver figuras 23.

Figura 23. Archivo dat. Con 4 sondeos.



```
1-8.dat [c:\users\matrix\desktop\sondeos 7 feb\pseudoseccion\1-8.dat]
Close Edit
4 0 17 S { Pickets number, KeyIP, max. nAB on profile, Kust }
1.5 2.5 4 6 8 10 12 15 20 25 30 40 50 60 75 100 125 IAB/2, m
sondeo 1
15
1744 2805 2722 3343 2837 2511 2226 1998 1855 1822 2144 2404 2421 2479 2394 !App. resistivity
sondeo 2
15
336 481 635 852 1020 1139 1237 1414 1683 1974 2181 3361 3382 3303 3084 !App. resistivity
sondeo 7
15
2244 3288 3901 4154 3511 2996 2804 2871 2802 2793 2712 2470 1999 1685 1436 !App. resistivity
sondeo 8
15
1732 2144 2293 2297 2208 1887 1778 1601 1637 1654 1680 1827 2001 2086 2008 !App. resistivity
```

Figura 24. Opciones de ajuste para pseudosecciones.



9.7 ANÁLISIS DE RIPIOS

Se correlacionaron las resistividades calculadas del sondeo (SEV POZO) hecho en la zona, con los ripios que se extrajeron cada metro con ayuda de un taladro de perforación especial para la búsqueda de aguas subterráneas (Figura 14, 23 y 24). Este pozo se perforó en el lugar donde se realizó el SEV 5 con coordenada N: 1'254.914, E: 1'111.324 y altura de 1646msnm, ya que este lugar se encuentra en una zona altamente fracturada y de acuerdo a la interpretación del sondeo se esperaba encontrar un nivel saturado a los 65 metros conformado por areniscas ya que estas tienen abundante espacios intergranulares producidos por los fenómenos orogénicos del terciario. Posteriormente se describieron los ripios y se clasificaron según su litología (Tabla 6 y Figura 46).

Figura 25. Fotografía del Equipo de perforación ubicada en la zona de estudio



Figura 26. Fotografía de la extracción de ripios.



Figura 27. Ripios adquiridos durante la perforación en la zona de estudio.



9.8 RECONOCIMIENTO DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS DE LA ZONA

Tomamos datos 7 estaciones en “Global Position System - GPS” utilizando 8 satélites (Tabla 4), y con sus respectivas muestras del escarpe que se encuentra en la zona de estudio, y se lograron identificar las 3 diferentes formaciones que se habían tratado en el marco geológico (Tabla 1), y las cuales afloran en el área; Formación los santos, Formación girón y Formación Jordán.

Tabla 5. Coordenadas de las muestras tomadas en el escarpe de la zona.

ESTACION	COORDENADAS		ALTURA mts	FORMACION	MUESTRA
	ESTE	NORTE			
SAN 1	1.109.824	1.254.231	1.300	JORDAN	M1-SAN 1
SAN 2	1.110.003	1.254.241	1.350	GIRON	M2-SAN 2
SAN 3	1.109.977	1.254.231	1.355		
SAN 4	1.109.984	1.254.288	1.365	GIRON	M3-SAN 3
SAN 5	1.109.996	1.254.289	1.373		
SAN 6	1.110.066	1.254.380	1.401	GIRON	M4-SAN 6
SAN 7	1.110.161	1.254.479	1.490		
SAN 8	1.110.234	1.254.409	1.541	SANTOS	M5-SAN 8

Tabla 6. Escarpe de la mesa de los santos donde se extrajeron las muestras de las 3 formaciones

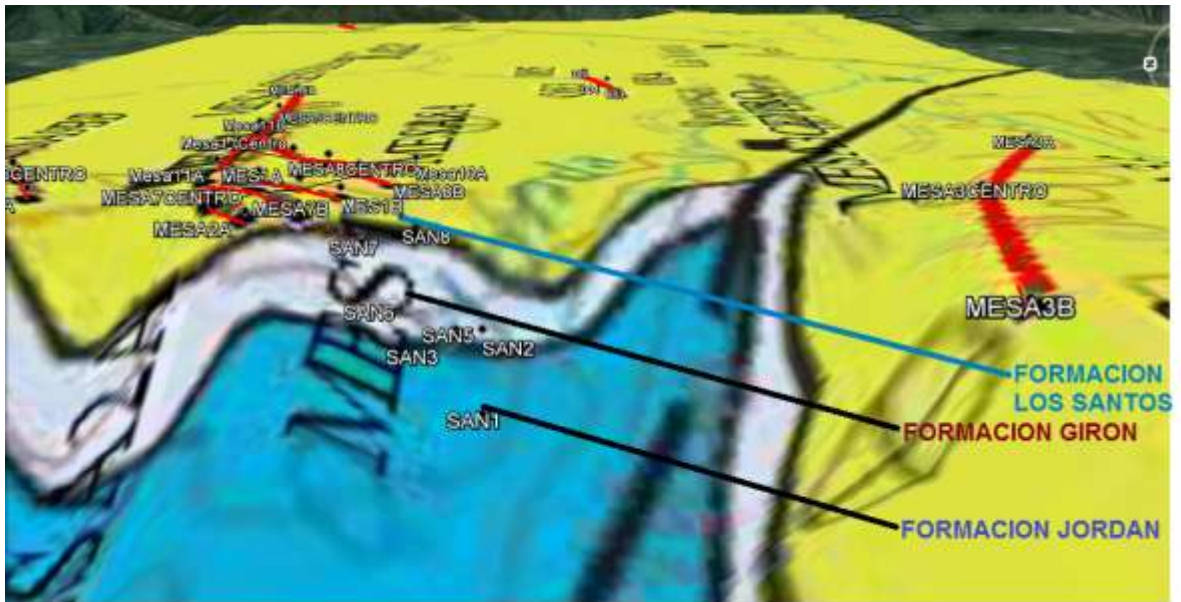


Figura 28. Fotografía de las muestra SAN 1 (Formación Jordán)



Figura 29. Fotografía de la muestra SAN 2 (formación Girón)



Figura 30. Fotografía de la muestra SAN 3 (Formación Girón)



Figura 31. Fotografía de la muestra SAN 4 (FormaciónGirón)



Figura 32. Fotografía de la muestra 5 (Formación Los Santos)



9.9 ELABORACIÓN DE MAPAS DE ISORRESISTIVIDADES

Para la elaboración de los mapas de isorresistividades, se utilizaron los valores de las resistividad adquiridos en cada sonde eléctrico vertical. En el programa Surfer(versión 10), se cargaron los datos de posición geográfica de cada SEV y el valor de resistividad observado a las distancias $AB/2= 4, 8, 16, 32$ y 64 m; a fin de hacer una evaluación cualitativa de zonas de baja y alta resistividad aparente a diferentes niveles.

10. RESULTADOS

10.1 GENERACIÓN Y USO DE LA TABLA DE INTERPRETACIÓN DE LAS RESISTIVIDADES Y COMPOSICION LITOLÓGICA DEL AREA

Para la interpretación de los resultados se uso la tabla 5, la cual a partir de la información de las propiedades eléctricas de los materiales existentes en la zona y de información bibliográfica, la geología de la zona de estudio, la identificación de las muestras extraídas en el escarpe y el análisis de los ripios adquiridos durante la perforación, se pudieron deducir valores típicos de resistividad de las principales unidades litológicas en la zona de estudio, los cuales se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 7. Tabla de correlación de resistividades y composición litológica de las unidades geotectónicas.

ESTIMACION LITOLÓGICA	RANGO DE RESISTIVIDAD ($\Omega.m$)
ARCILLOLITA Y LIMOLITAS SATURADAS	1-30
ARCILLOLITAS Y LIMOLITAS MODERADAMENTE SATURADAS	30-70
ARENISCAS ALTAMENTE FRACTURADAS SATURADAS	70-100
ARENISCAS FRACTURADA CON MEDIA SATURACION DE AGUA	100-200
ARENISCA FRACTURADA CON MEDIA A MODERADA SATURACION DE AGUA	200-500
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	500-1500
ARENISCAS POBREMENTE FRACTURADAS CON BAJA SATURACION DE AGUA	1500-3000
ARENISCAS MASIVAS SECAS A POBREMENTE SATURADAS	3000-8000
ARENISCAS MASIVAS SECAS	Mayores a 8000

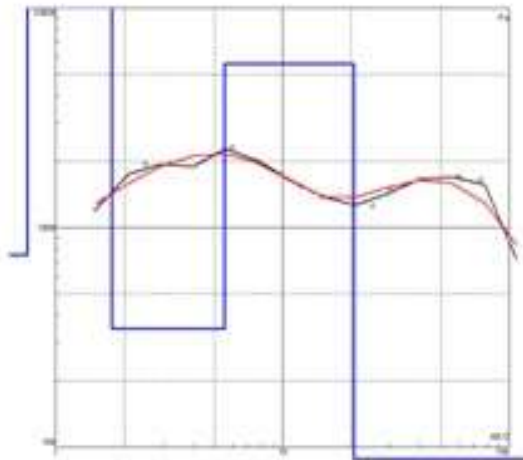
10.2 INTERPRETACION DE LOS SONDEOS REALIZADOS

Mediante la realización de sondeos eléctricos verticales (SEV) se logró caracterizar el subsuelo del área de estudio. El modelo geoelectrico simplificado obtenido con IPI2WIN permitió la realización de perfiles de resistividad así como pseudosecciones eléctricas.

El producto final de los datos adquiridos es la interpretación cuantitativa y cualitativa. A continuación se muestra cada SEV interpretado donde se muestra la curva de resistividades y el modelo de capas, y la columna litológica interpretada.

Figura 33. Interpretación SEV1. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.

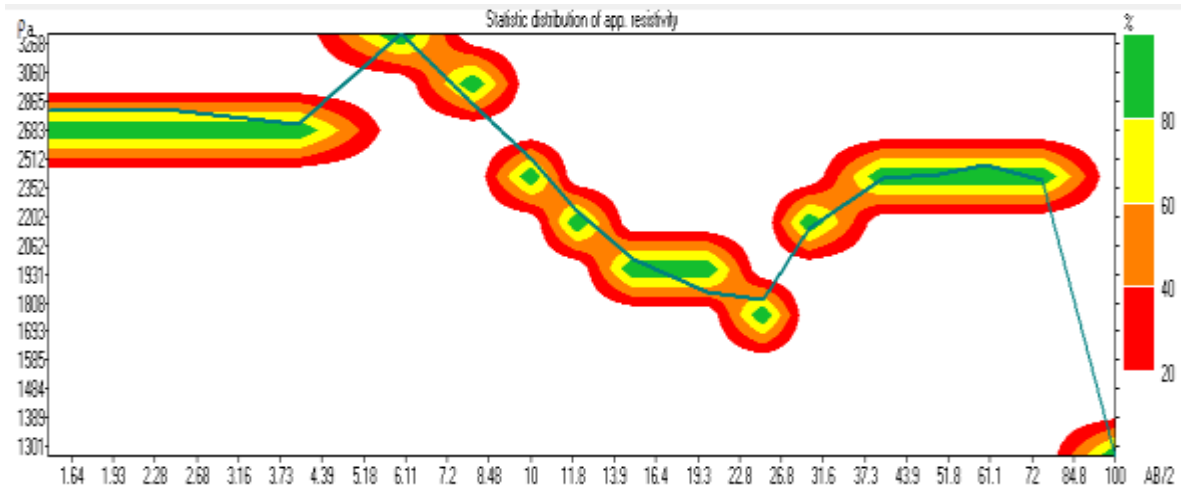
SEV1 -MESA1



SEV: MESA 1	ERROR DE AJUSTE	LONGITUD DEL TENDIDO	ALTURA	
	8.48%	200m	1632	
ESTIMACION LITOLOGICA	RESISTIVIDAD ($\Omega \cdot m$)	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	COTA BASE (m)
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	1112	0.75	0.75	1631.25
ARENISCAS MASIVAS SECAS	14942	1.01	1.76	1630.2
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	514	3.78	5.54	1626.4
ARENISCAS MASIVAS SECAS	8256	15.1	20.6	1611.3
ARCILLOLITA Y LIMOLITAS SATURADAS	19.9			

El sondeo SEV MESA 1 (Figura 33) fue realizado con una apertura máxima AB/2 de 200m .En este sondeo se logró alcanzar una profundidad de 20m, y se establecieron cuatro unidades geoelectricas con un error del 8.48%. La primera unidad corresponde a suelo residual por su poco espesor (0.75m) y alta resistividad (1112 Ω m) posiblemente debido a su poco contenido de agua. Posteriormente se encuentra una capa de arenisca muy masiva y seca debido a su alto valor de resistividad (14942 Ω m) de aproximadamente (1m) de espesor. La siguiente capa muestra una resistividad de (514 Ω m) con un espesor de (4m) aproximadamente. Muy posiblemente, es en esta capa moderadamente fracturada donde se encuentra el nivel freático (N.F) con una saturación de agua de rango medio. La última capa interpretada corresponde a una arenisca muy dura y seca con un espesor aproximado de 15 m y una resistividad de (8256 Ω m).

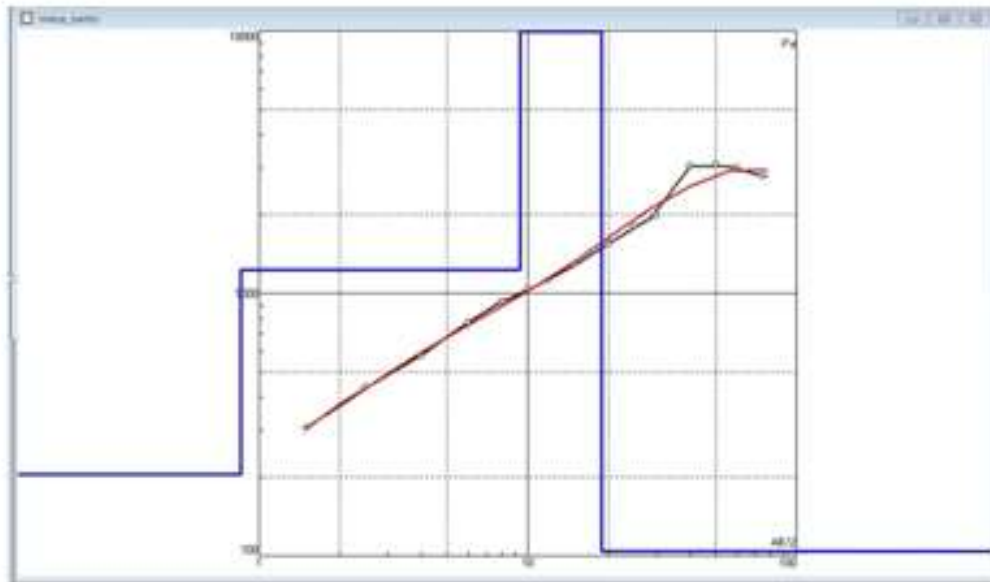
Figura 34. Estadística SEV 1 MESA 1.



Los datos tomados en campo en su gran mayoría coinciden con la zona verde, que es el porcentaje ideal, en conclusión las resistividades son de buena calidad, como se muestra en la figura anterior.

Figura 35. Interpretación SEV2. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.

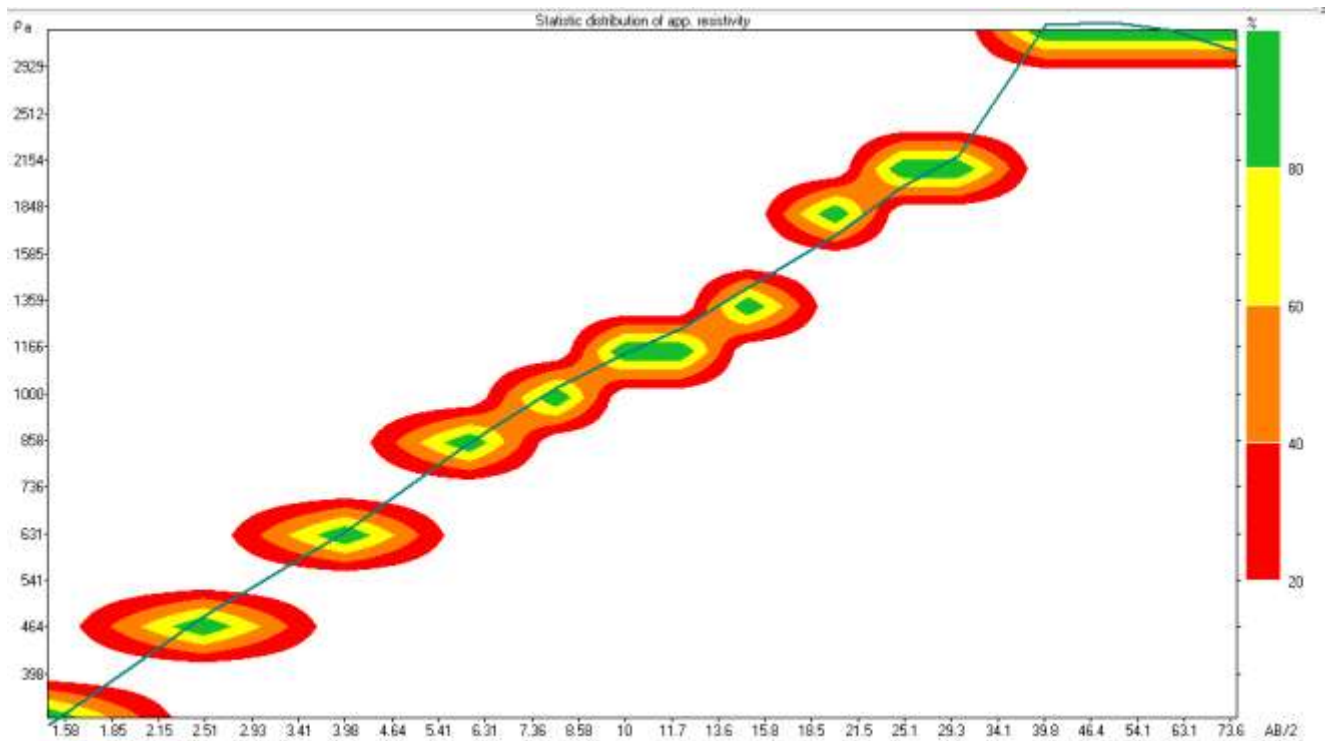
SEV2 – MESA2



SEV: MESA 2	ERROR DE AJUSTE	LONGITUD DEL TENDIDO	ALTURA	
	6.18%	150m	1623	
ESTIMACION LITOLOGICA	RESISTIVIDAD (ρ_m)	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	COTA BASE (m)
ARENISCA FRACTURADA CON MEDIA A MODERADA SATURACION DE AGUA	205	0.854	0.854	1622.1
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	1230	8.52	9.38	1613.6
ARENISCAS MASIVAS SECAS	24924	9.41	18.8	1604.2
ARENISCAS FRACTURADA CON MEDIA SATURACION DE AGUA	104			

El sondeo SEV MESA 2 (Figura 35) fue realizado con una apertura máxima AB/2 de 150m. En este sondeo se logró alcanzar una profundidad de 19m, y se establecieron tres unidades geoelectricas con un error del 6.18% La primera unidad corresponde a suelo residual por su poco espesor (0.85m) y baja resistividad (205 Ω m) Muy posiblemente, es en esta capa moderadamente fracturada donde se encuentra el nivel freático (N.F) con una saturación de agua de rango moderado. Posteriormente se encuentra una capa de arenisca moderadamente fracturada con bajos contenidos de agua debido a su alto valor de resistividad (1230 Ω m) de aproximadamente (9m) de espesor. La siguiente capa muestra una resistividad de (24924 Ω m) con un espesor de (9.5m) aproximadamente. La última capa interpretada corresponde a una arenisca fracturada y con media saturación de agua y una resistividad de (104 Ω m).

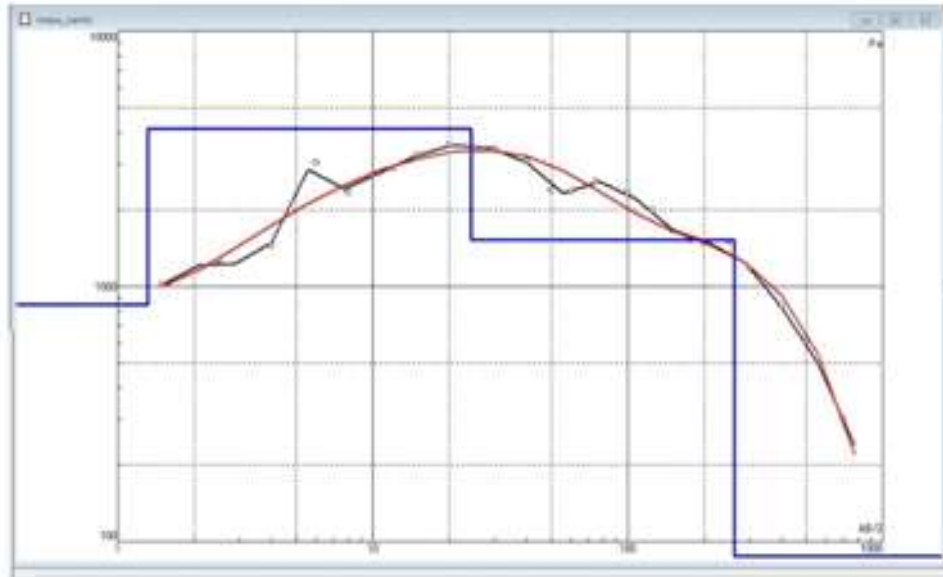
Figura 36. Estadística SEV 2 MESA 2



Los datos tomados en campo en su gran mayoría coinciden con la zona verde, que es el porcentaje ideal, en conclusión las resistividades son de buena calidad, como se muestra en la figura anterior.

Figura 37. Interpretación SEV3. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.

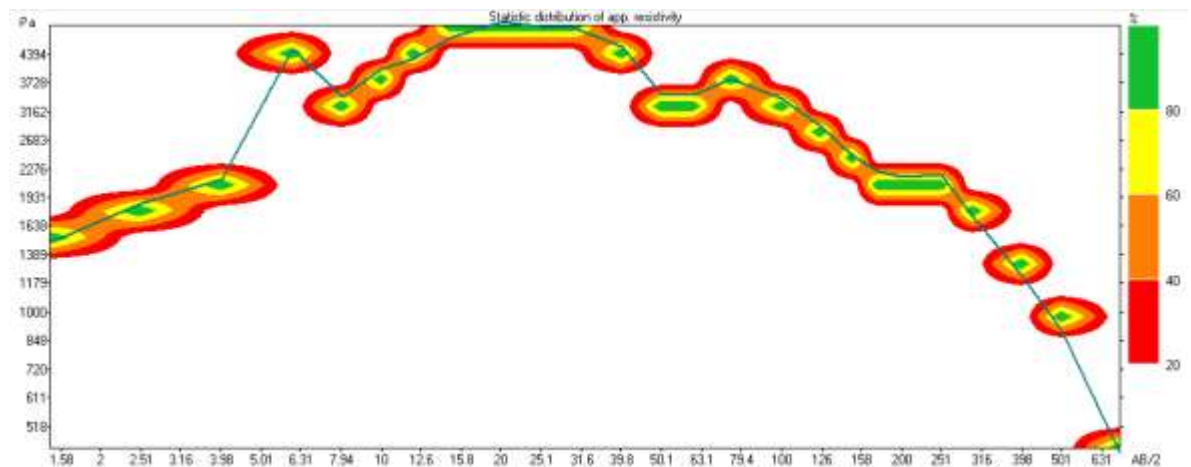
SEV3 – MESA3



SEV: MESA 3	ERROR DE AJUSTE	LONGITUD DEL TENDIDO	ALTURA	
	11.1%	1400m	1589	
ESTIMACION LITOLOGICA	RESISTIVIDAD (ρ_a)	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	COTA BASE (m)
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	846	1.32	1.32	1587.6
ARENISCAS MASIVAS SECAS A POBREMENTE SATURADAS	4139	23	24.3	1564.6
ARENISCAS POBREMENTE FRACTURADAS CON BAJA SATURACION DE AGUA	1520	238	263	1326.6
ARCILLOLITA Y LIMOLITAS SATURADAS	2.84			

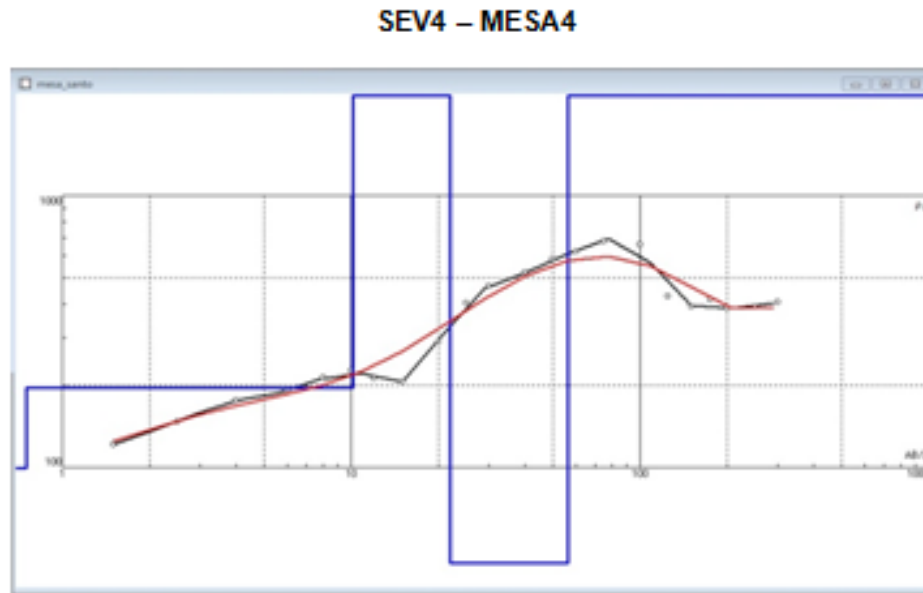
El sondeo SEV MESA 3 (Figura 37) fue realizado con una apertura máxima AB/2 de 700m .En este sondeo se logró alcanzar una profundidad de 263m, y se establecieron tres unidades geoelectricas con un error del 11.1%. La primera unidad corresponde a suelo residual por su poco espesor (1.32m) y alta resistividad (846Ωm) posiblemente debido a su poco contenido de agua. Posteriormente se encuentra una capa de arenisca muy masiva y seca debido a su alto valor de resistividad (4139Ωm) de aproximadamente (23m) de espesor. La siguiente capa muestra una resistividad de (1520Ωm) con un espesor de (240m) aproximadamente. A pesar de haber extendido el tendido hasta los 700m, se esperaba un mayor número de capas, sin embargo el resultado no fue el deseado, aparentemente el software homogeneizó todas las litologías en una sola.

Figura 38. Estadística SEV 3 MESA 3



Los datos tomados en campo en su gran mayoría coinciden con la zona verde, que es el porcentaje ideal, en conclusión las resistividades son de buena calidad, como se muestra en la figura anterior.

Figura 39. Interpretación SEV4. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.

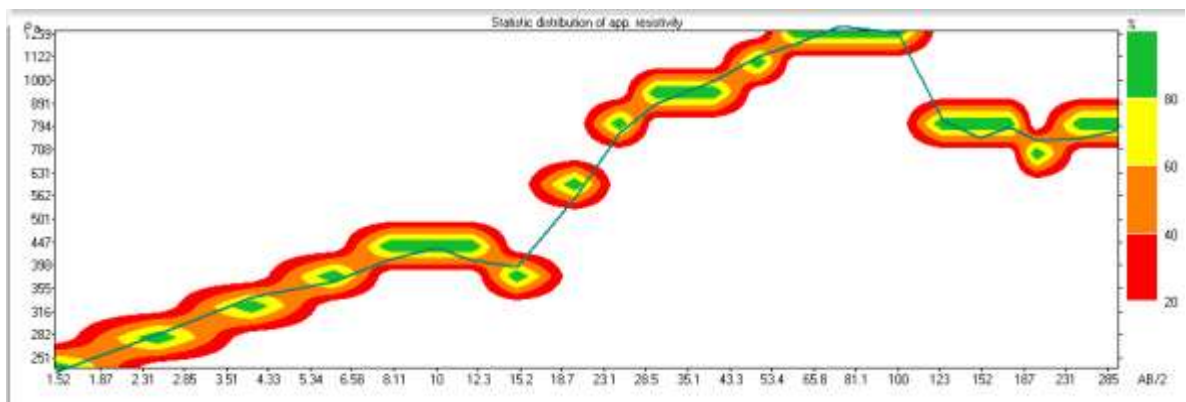


SEV: MESA 4	ERROR DE AJUSTE	LONGITUD DEL TENDIDO	ALTURA	
	9.04%	600m	1624	
ESTIMACION LITOLOGICA	RESISTIVIDAD (ρ_a)	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	COTA BASE (m)
ARENISCAS ALTAMENTE FRACTURADAS SATURADAS	99.5	0.75	0.75	1623.2
ARENISCAS FRACTURADA CON MEDIA SATURACION DE AGUA	196	9.4	10.2	1613.8
ARENISCAS MASIVAS SECAS A POBREMENTE SATURADAS	3672	11.9	22.1	1601.9
ARCILLOLITAS Y LIMOLITAS MODERADAMENTE SATURADAS	44.6	34.2	56.3	1567.7
ARENISCAS MASIVAS SECAS	27609			

El sondeo SEV MESA 4 (Figura 39) fue realizado con una apertura máxima AB/2 de 600m. En este sondeo se logró alcanzar una profundidad de 56.3m, y se establecieron cuatro unidades geoelectricas con un error del 9.04% La primera unidad corresponde a suelo residual por su poco espesor (0.75m) y baja resistividad (100 Ω m). Posteriormente se encuentra una capa de arenisca fracturada con altos contenidos de agua debido a su bajo valor de resistividad (196 Ω m) de aproximadamente (9.5m) de espesor. Muy posiblemente, es en esta capa moderadamente fracturada donde se encuentra el nivel freático (N.F) con una saturación de agua de rango medio-alto La siguiente capa muestra una resistividad de (3672 Ω m) con un espesor de (12m) aproximadamente. La última capa interpretada corresponde a una arenisca altamente fracturada y con alta saturación de agua con una resistividad de (44.6 Ω m).

Esta última capa a pesar de tener resistividades típicas de arcillolitas y limolitas moderadamente saturadas, se interpreta como una arenisca de gran interés hídrico debido a que en la formación en la que se está trabajando (miembro superior de los Santos) y a la columna de los ripios estos no presentan tales espesores de arcillolitas y/o limolitas.

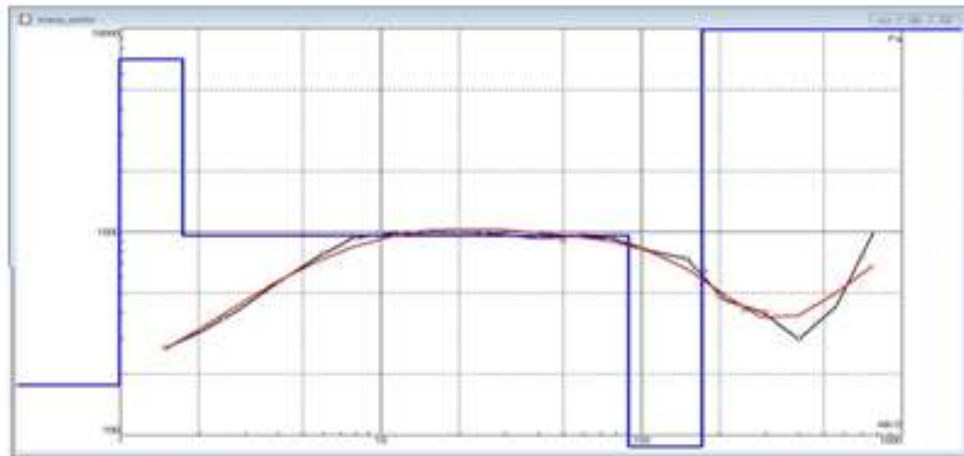
Figura 40. Estadística SEV 4 MESA 4



Los datos tomados en campo en su gran mayoría coinciden con la zona verde, que es el porcentaje ideal, en conclusión las resistividades son de buena calidad, como se muestra en la figura anterior.

Figura 41. Interpretación SEV5. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.

SEV5 – MESA5

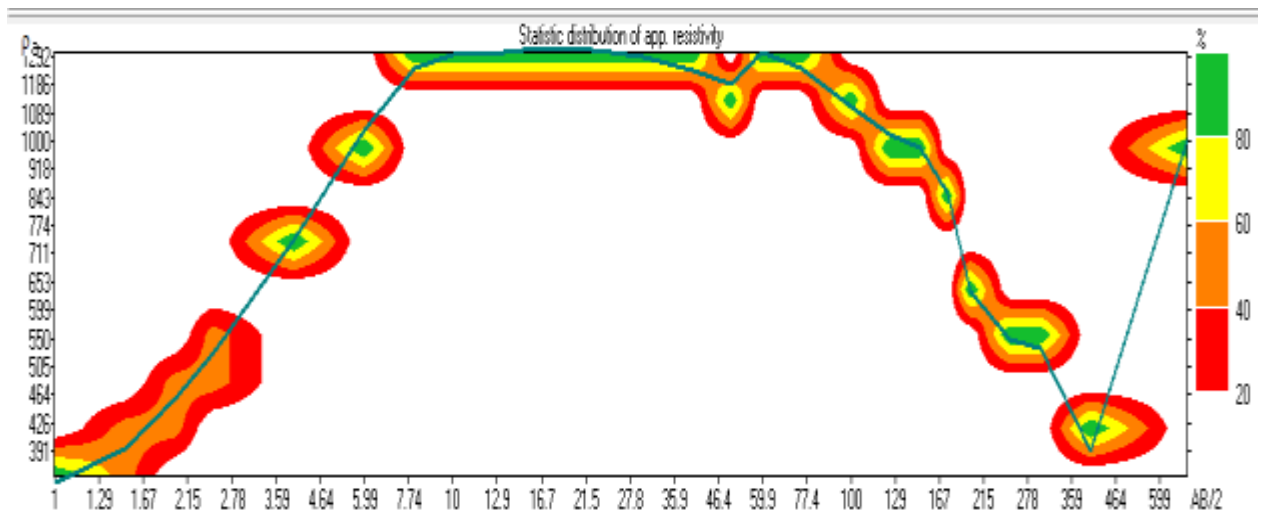


SEV: MESA 5	ERROR DE AJUSTE	LONGITUD DEL TENDIDO	ALTURA	
	11.9%	1400m	1646	
ESTIMACION LITOLOGICA	RESISTIVIDAD ($\Omega \cdot m$)	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	COTA BASE (m)
ARENISCAS FRACTURADA CON MEDIA SATURACION DE AGUA	176	0.993	0.993	1645
ARENISCAS MASIVAS SECAS A POBREMENTE SATURADAS	7088	0.738	1.73	1644.2
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	962	87.5	89.2	1556.7
ARENISCAS ALTAMENTE FRACTURADAS SATURADAS	81.3	81.7	171	1475
ARENISCAS MASIVAS SECAS	24165			

El sondeo SEV MESA 5 (Figura 41) fue realizado con una apertura máxima AB/2 de 1400m. En este sondeo se logró alcanzar una profundidad de 171m, y se

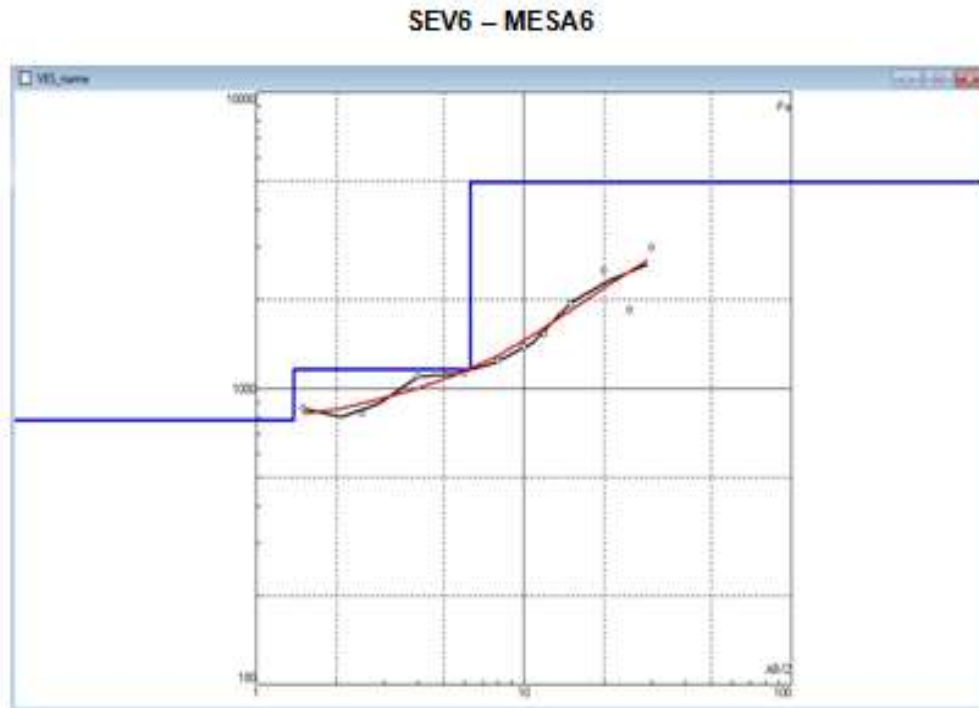
establecieron cuatro unidades geoelectricas con un error del 11.9% La primera unidad corresponde a suelo residual por su poco espesor (1m) y baja resistividad (176 Ω m). Muy posiblemente, es en esta capa moderadamente fracturada donde se encuentra el nivel freático (N.F) con una saturación de agua de rango medio. Posteriormente se encuentra una capa de arenisca masiva seca a pobremente saturada debido a su alto valor de resistividad (7088 Ω m) de aproximadamente (0.8m) de espesor. La siguiente capa muestra una resistividad de (962 Ω m) con un espesor de (88m) aproximadamente. La última capa interpretada un gran interés hídrico debido a su corresponde a una arenisca altamente fracturada y saturada con una resistividad de (81.3 Ω m) y un gran espesor de (82m) aproximadamente.

Figura 42. Estadística SEV 5 MESA 5



Los datos tomados en campo en su gran mayoría coinciden con la zona verde, que es el porcentaje ideal, en conclusión las resistividades son de buena calidad, como se muestra en la figura anterior.

Figura 43. Interpretación SEV6. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.

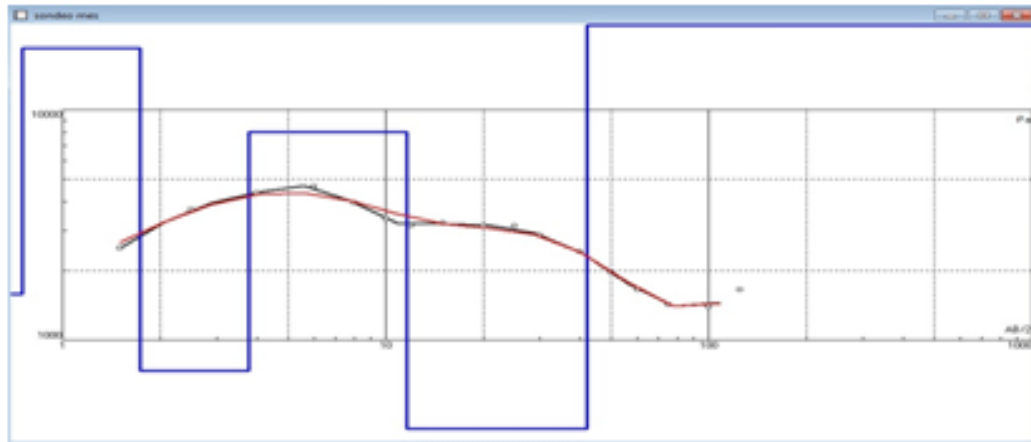


SEV: MESA 6	ERROR DE AJUSTE	LONGITUD DEL TENDIDO	ALTURA	
	4.99%	60	1600	
ESTIMACION LITOLOGICA	RESISTIVIDAD (Ω.m)	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	COTA BASE (m)
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	782	1.37	01.37	1598.63
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	1157	4.94	6.31	1593.69
ARENISCAS MASIVAS SECAS A POBREMENTE SATURADAS	4986			

El sondeo SEV MESA 6 (Figura 43) fue realizado con una apertura máxima AB/2 de 60m. En este sondeo se logró alcanzar una profundidad de 6m, y se establecieron dos unidades geoelectricas con un error del 5%. La primera unidad corresponde a suelo residual por su poco espesor (1.37m) y baja resistividad (782 Ω m). Muy posiblemente, es en esta capa moderadamente fracturada donde se encuentra el nivel freático (N.F) con una saturación de agua de rango bajo. Posteriormente se encuentra una capa de arenisca moderadamente fracturada con bajos contenidos de agua debido a su alto valor de resistividad (1157 Ω m) de aproximadamente (5m) de espesor.

Figura 44. Interpretación SEV7. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico

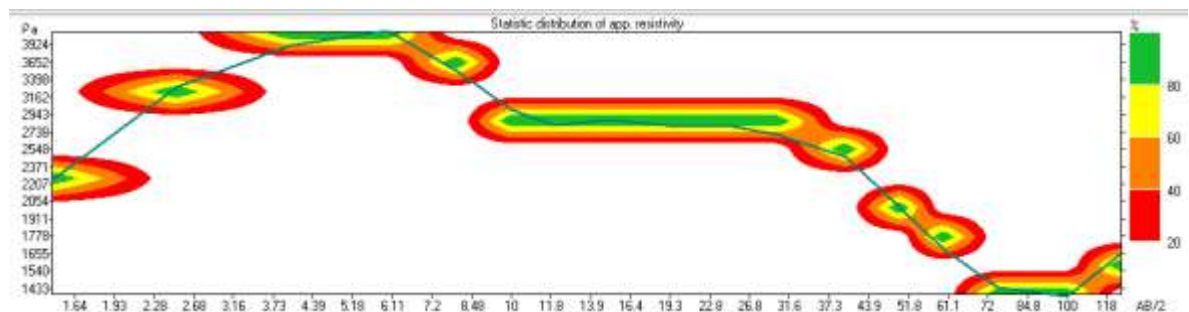
SEV7 – MESA7



SEV: MESA 7	ERROR DE AJUSTE	LONGITUD DEL TENDIDO	ALTURA	
	3.71%	250m	1623	
ESTIMACION LITOLOGICA	RESISTIVIDAD (Ω.m)	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	COTA BASE (m)
ARENISCA MODERADAMENTE E FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	1580	0.75	0.75	1622.25
ARENISCAS MASIVAS SECAS	18527	0,987	1.74	1621.26 3
ARENISCA MODERADAMENTE E FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	734	2.5	3.78	1618.76 3
ARENISCAS MASIVAS SECAS	8004	7.05	11.6	1611.71 3
ARENISCA FRACTURADA CON MEDIA A MODERADA SATURACION DE AGUA	412	30.4	42.1	1581.31 3
ARENISCAS MASIVAS SECAS	50355			

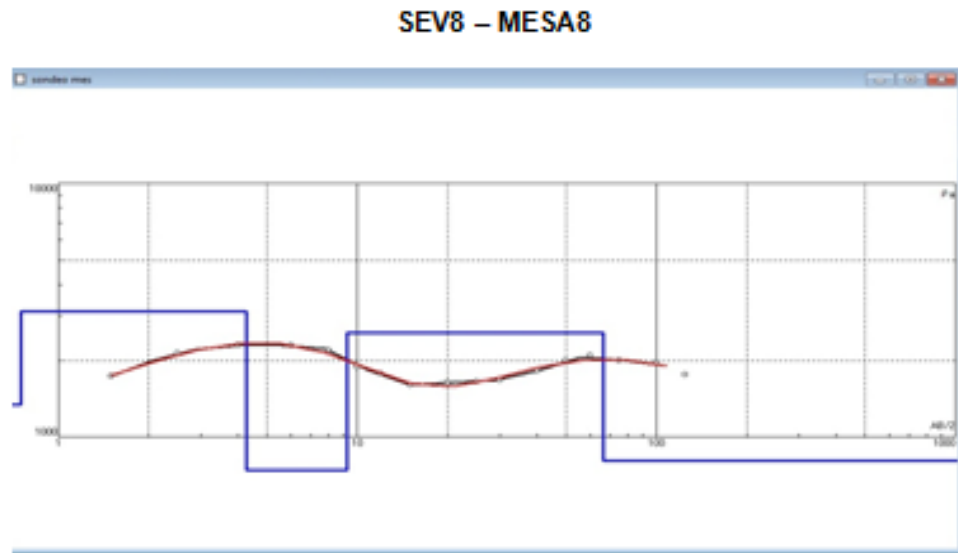
El sondeo SEV MESA 7 (Figura 44) fue realizado con una apertura máxima AB/2 de 250m. En este sondeo se logró alcanzar una profundidad de 42m, y se establecieron cinco unidades geoelectricas con un error del 3.71% La primera unidad corresponde a suelo residual por su poco espesor (0.75m) y moderada resistividad (1580 Ω m). Posteriormente se encuentra una capa de arenisca masiva y seca debido a su altísimo valor de resistividad (18527 Ω m) de aproximadamente (1m) de espesor. La siguiente capa muestra una resistividad de (734 Ω m) con un espesor de (2.5m), muy posiblemente, es en esta capa moderadamente fracturada donde se encuentra el nivel freático (N.F) con una saturación de agua de rango moderada a baja. La siguiente capa interpretada corresponde a una arenisca masiva y seca con una resistividad de (8004 Ω m) y espesor (7m). Por último se presenta una capa de areniscas fracturadas con media a moderada saturación de agua. Posee una resistividad de (412 Ω m), un espesor de (30m) y puede ser de gran interés hídrico.

Figura 45. Estadística SEV 7 MESA 7



Los datos tomados en campo en su gran mayoría coinciden con la zona verde, que es el porcentaje ideal, en conclusión las resistividades son de buena calidad, como se muestra en la figura anterior.

Figura 46. Interpretación SEV8. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico

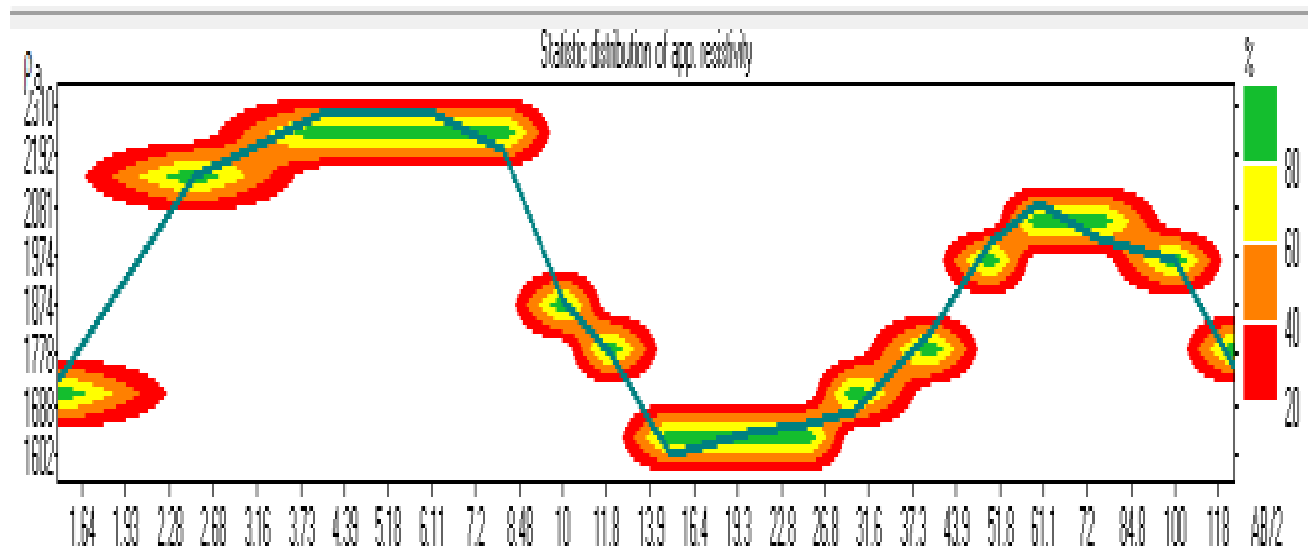


SEV: MESA 8	ERROR DE AJUSTE	LONGITUD DEL TENDIDO	ALTURA	
	2.03%	250m	1619	
ESTIMACION LITOLOGICA	RESISTIVIDAD ($\Omega \cdot m$)	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	COTA BASE (m)
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	1339	0.75	0.75	1618.25
ARENISCAS MASIVAS SECAS A POBREMENTE SATURADAS	3132	3.51	4.26	1614.74
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	737	5.01	9.27	1609.73
ARENISCAS POBREMENTE FRACTURADAS CON BAJA SATURACION DE AGUA	2570	57.1	66.4	1552.63
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	808			1

El sondeo SEV MESA 8 (Figura 46) fue realizado con una apertura máxima AB/2 de 250m. En este sondeo se logró alcanzar una profundidad de 67m, y se establecieron cuatro unidades geoelectricas con un error del 2.03%. La primera unidad corresponde a suelo residual por su poco espesor (0.75m) y moderada resistividad (1339 Ω m). Posteriormente se encuentra una capa de arenisca masiva a pobremente saturada de agua debido a su alto valor de resistividad (3132 Ω m) de aproximadamente (4m) de espesor. La siguiente capa muestra una resistividad de (737 Ω m) con un espesor de (5m) aproximadamente. Muy posiblemente, es en esta capa moderadamente fracturada donde se encuentra el nivel freático (N.F) con una saturación de agua de rango moderado a bajo. La última capa interpretada corresponde a una arenisca pobremente fracturada, con baja saturación de agua y una resistividad de (2570 Ω m).

Figura 47. Estadística SEV 8 MESA 8

Los datos tomados en campo en su gran mayoría coinciden con la zona verde, que



es el porcentaje ideal, en conclusión las resistividades son de buena calidad, como se muestra en la figura anterior.

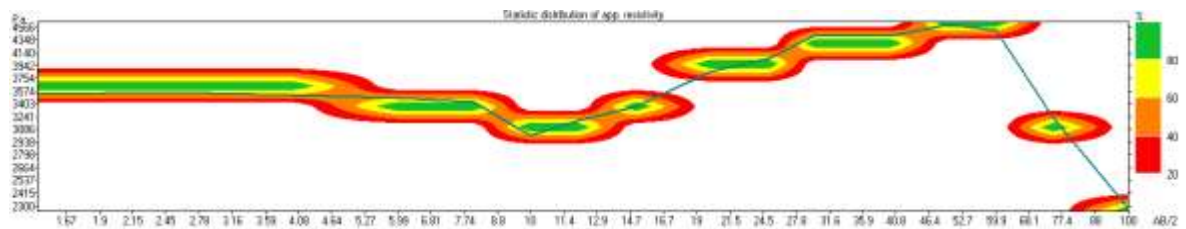
Figura 48. Interpretación SEV9. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico



SEV: MESA 9	ERROR DE AJUSTE	LONGITUD DEL TENDIDO	ALTURA	
	2.86%	200m	1634	
ESTIMACION LITOLOGICA	RESISTIVIDAD (Ω.m)	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	COTA BASE (m)
ARENISCAS MASIVAS SECAS A POBREMENTE SATURADAS	3586	4.87	4.87	1629.13
ARENISCAS POBREMENTE FRACTURADAS CON BAJA SATURACION DE AGUA	1831	5.03	9.9	1624.1
ARENISCAS MASIVAS SECAS	17672	11.8	21.7	1612.3
ARCILLOLITA Y LIMOLITAS SATURADAS	14.8			

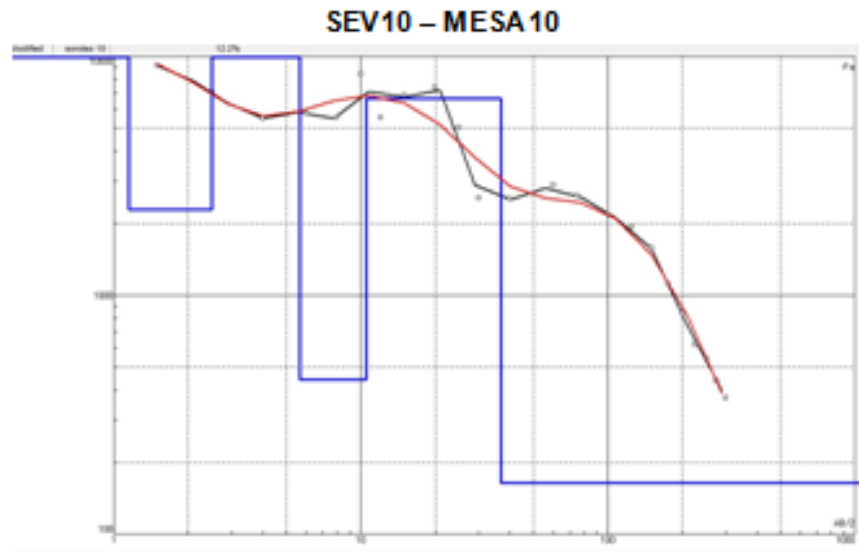
El sondeo SEV MESA 9 (Figura 48) fue realizado con una apertura máxima AB/2 de 200m. En este sondeo se logró alcanzar una profundidad de 22m, y se establecieron tres unidades geoelectricas con un error del 2.86%. La primera unidad corresponde a una capa de arenisca masiva seca a pobremente saturada por su espesor (5m) y alta resistividad (3586 Ω m), en este caso no podemos hablar de suelo residual. Posteriormente se encuentra una capa de arenisca pobremente fracturada con bajos contenidos de agua debido a su alto valor de resistividad (1831 Ω m) de aproximadamente (5m) de espesor. La siguiente capa muestra una resistividad de (17672 Ω m) con un espesor de (12m) aproximadamente correspondiente a areniscas masivas y secas.

Figura 49. Estadística SEV 9 MESA 9



Los datos tomados en campo en su gran mayoría coinciden con la zona verde, que es el porcentaje ideal, en conclusión las resistividades son de buena calidad, como se muestra en la figura anterior.

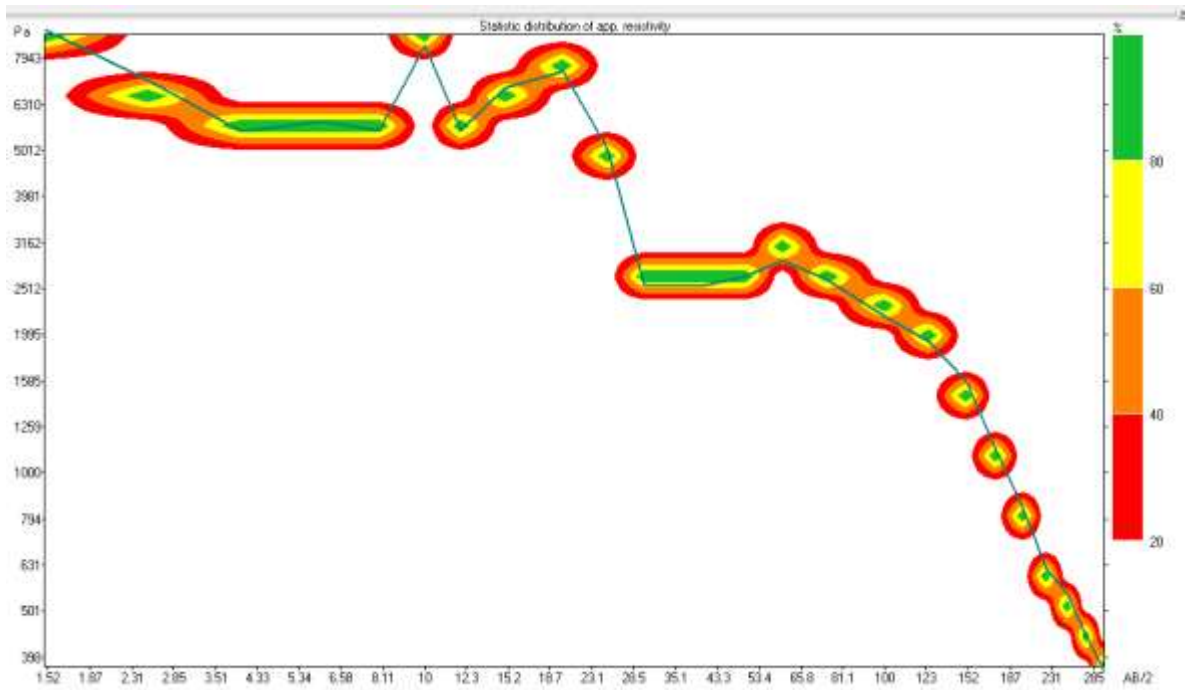
Figura 50. Interpretación SEV10. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.



SEV: MESA 10	ERROR DE AJUSTE	LONGITUD DEL TENDIDO	ALTURA	
	12.2%	600m	1639	
ESTIMACION LITOLOGICA	RESISTIVIDAD (Ω.m)	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	COTA BASE (m)
ARENISCAS MASIVAS SECAS	11234	1.15	1.15	1637.85
ARENISCAS POBREMENTE FRACTURADAS CON BAJA SATURACION DE AGUA	2279	1.34	2.49	1636.51
ARENISCAS MASIVAS SECAS	23488	3.16	5.65	1633.35
ARENISCA FRACTURADA CON MEDIA A MODERADA SATURACION DE AGUA	443	4.88	10.5	1628.47
ARENISCAS MASIVAS SECAS A POBREMENTE SATURADAS	6666	26.5	37	
ARENISCAS FRACTURADA CON MEDIA SATURACION DE AGUA	165			

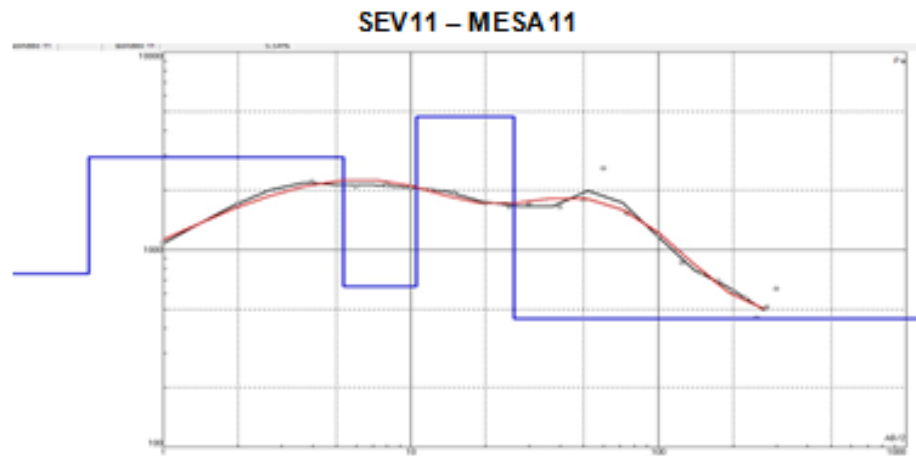
El sondeo SEV MESA 10 (Figura 50) fue realizado con una apertura máxima AB/2 de 600m. En este sondeo se logró alcanzar una profundidad de 37m, y se establecieron cinco unidades geoelectricas con un error del 12.2%. La primera unidad corresponde a una capa de arenisca masiva y seca, por su poco espesor (1.15m) y en este caso una muy alta resistividad (11234 Ω m) no se puede interpretar como suelo residual, posiblemente la capa de suelo es muy delgada o casi inexistente. Posteriormente se encuentra una capa de arenisca pobremente fracturada con bajos contenidos de agua debido a su alto valor de resistividad (2279 Ω m) de aproximadamente (1.35) de espesor. La siguiente capa muestra una resistividad de (23488 Ω m) con un espesor de (3.2m) aproximadamente. Le sigue una capa correspondiente a una arenisca fracturada y con media a moderada saturación de agua y una resistividad de (443 Ω m) de espesor aproximado de (5m), puede ser de gran interés hídrico. La última capa interpretada corresponde a areniscas masivas y pobremente saturadas de agua dada su resistencia de (6666 Ω m) con un espesor de (26.5m).

Figura 51. Estadística SEV 10 MESA 10



Los datos tomados en campo en su gran mayoría coinciden con la zona verde, que es el porcentaje ideal, en conclusión las resistividades son de buena calidad, como se muestra en la figura anterior.

Figura 52. Interpretación SEV11. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.

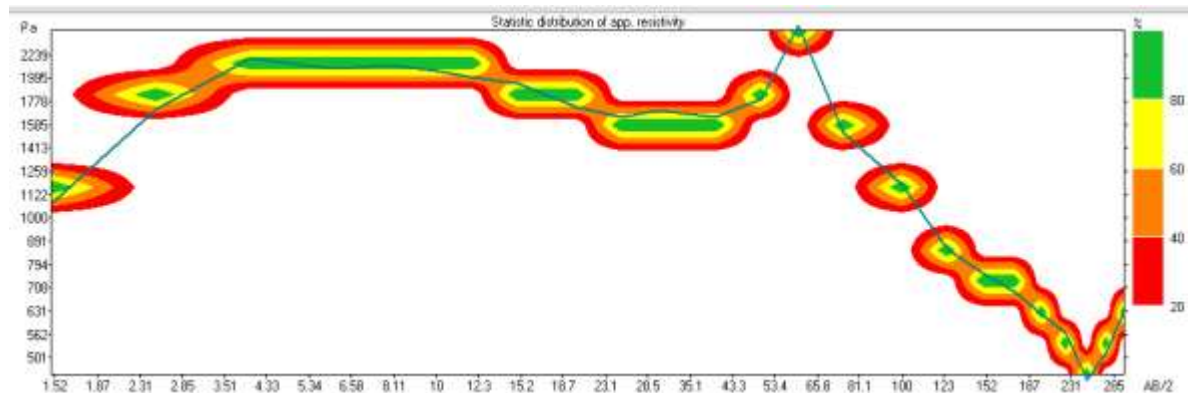


SEV: MESA 11	ERROR DE AJUSTE	LONGITUD DEL TENDIDO	ALTURA	
	5.54%	600m	1638	
ESTIMACION LITOLOGICA	RESISTIVIDAD ($\Omega \cdot m$)	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	COTA BASE (m)
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	753	0.5	0.5	1637,5
ARENISCAS POBREMENTE FRACTURADAS CON BAJA SATURACION DE AGUA	2937	4.85	5.35	1632.65
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	652	5.21	10.6	1627.44
ARENISCAS MASIVAS SECAS A POBREMENTE SATURADAS	4714	15.6	26.1	1611.84
ARENISCA FRACTURADA CON MEDIA A MODERADA SATURACION DE AGUA	447			

El sondeo SEV MESA 11 (Figura 52) fue realizado con una apertura máxima AB/2 de 600m. En este sondeo se logró alcanzar una profundidad de 26m, y se

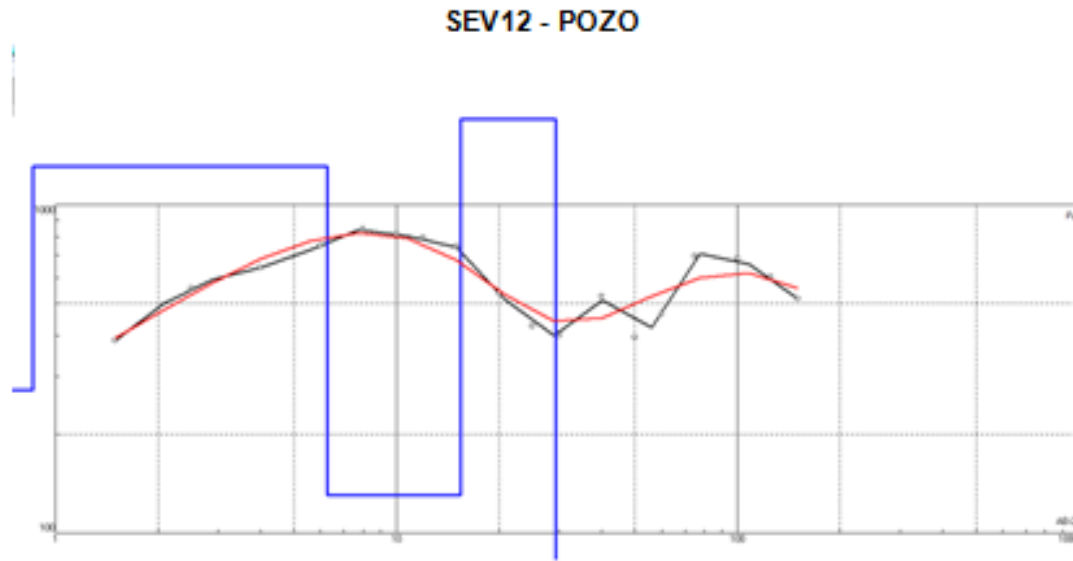
establecieron cuatro unidades geoeléctricas con un error del 5.54% La primera unidad corresponde a suelo residual por su poco espesor (0.5m) y baja resistividad (753 Ω m) Muy posiblemente, es en esta capa moderadamente fracturada donde se encuentra el nivel freático (N.F) con una saturación de agua de rango moderado a bajo. le sigue una capa de arenisca pobremente fracturada con bajo saturación de agua con una resistividad de (2937 Ω m) y un espesor de (5m). Posteriormente se encuentra una capa de arenisca moderadamente fracturada con bajos contenidos de agua debido a su valor de resistividad (652 Ω m) de aproximadamente (5m) de espesor. La siguiente capa muestra una resistividad de (4714 Ω m) con un espesor de (15.5m) aproximadamente.

Figura 53. Estadística SEV 11 MESA 11



Los datos tomados en campo en su gran mayoría coinciden con la zona verde, que es el porcentaje ideal, en conclusión las resistividades son de buena calidad, como se muestra en la figura anterior.

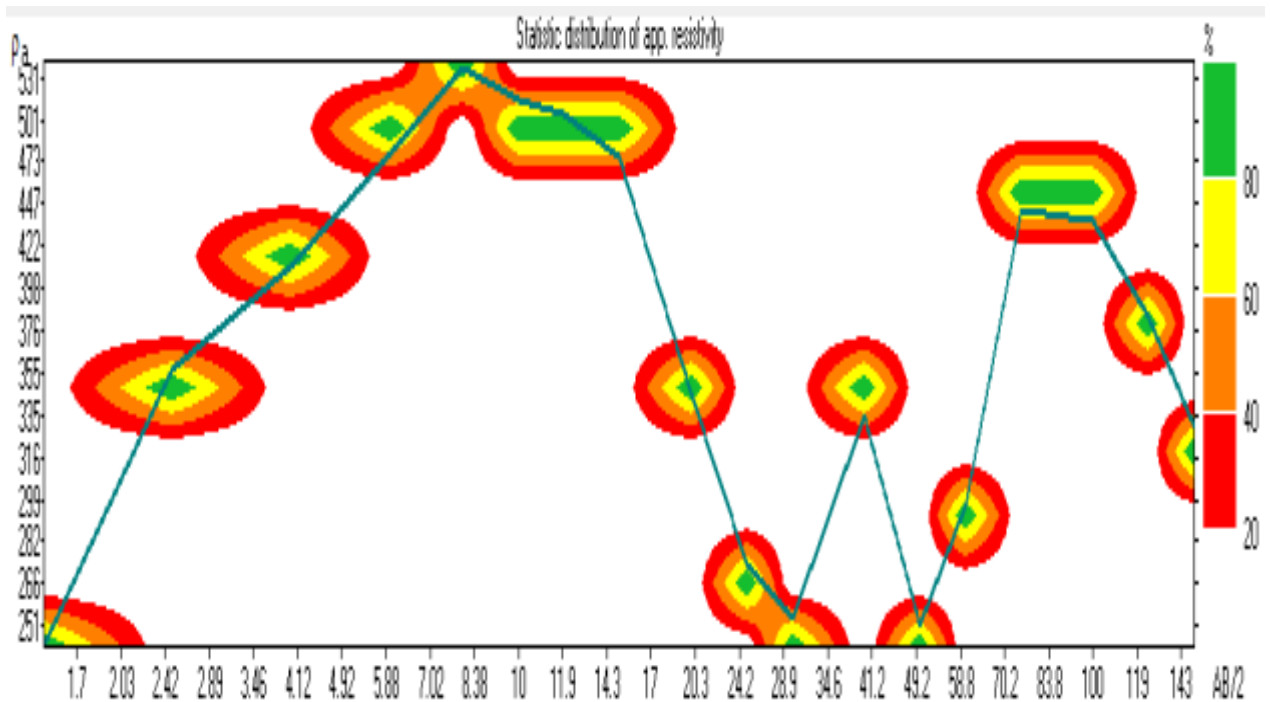
Figura 54. Interpretación SEV12. Curva de resistividad aparente vs AB/2, modelo geológico y modelo geoelectrico.



SEV: POZO	ERROR DE AJUSTE	LONGITUD DEL TENDIDO	ALTURA	
	9.41%	300m	1693	
ESTIMACION LITOLOGICA	RESISTIVIDAD ($\Omega \cdot m$)	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	COTA BASE (m)
ARENISCA FRACTURADA CON MEDIA A MODERADA SATURACION DE AGUA	272	0.858	0.858	1692.142
ARENISCA MODERADAMENTE FRACTURADA Y/O CON MODERADA A BAJA SATURACION DE AGUA	1311	5.4	6.26	1686.742
ARENISCAS FRACTURADA CON MEDIA SATURACION DE AGUA	131	9.13	15.4	1677.612
ARENISCAS MASIVAS SECAS A POBREMENTE SATURADAS	5177	13.9	29.3	1663.712
ARCILLOLITA Y LIMOLITAS SATURADAS	11.2			

El sondeo SEV POZO (Figura 54) fue realizado con una apertura máxima AB/2 de 300m. En este sondeo se logró alcanzar una profundidad de 29m, y se establecieron cuatro unidades geoelectricas con un error del 9.41% La primera unidad corresponde a suelo residual por su poco espesor (0.85m) y baja resistividad (272 Ω m) muy posiblemente, es en esta capa moderadamente fracturada donde se encuentra el nivel freático (N.F) con una saturación de agua de rango medio. Posteriormente se encuentra una capa de arenisca moderadamente fracturada con bajo a moderado contenidos de agua debido a su alto valor de resistividad (1311 Ω m) de aproximadamente (5.5m) de espesor. La siguiente capa muestra una resistividad de (131 Ω m) con un espesor de (9m) aproximadamente, esta capa es de gran interés hídrico por su baja resistividad y su espesor. La última capa interpretada corresponde a una arenisca masiva y seca con una resistividad de (5177 Ω m).

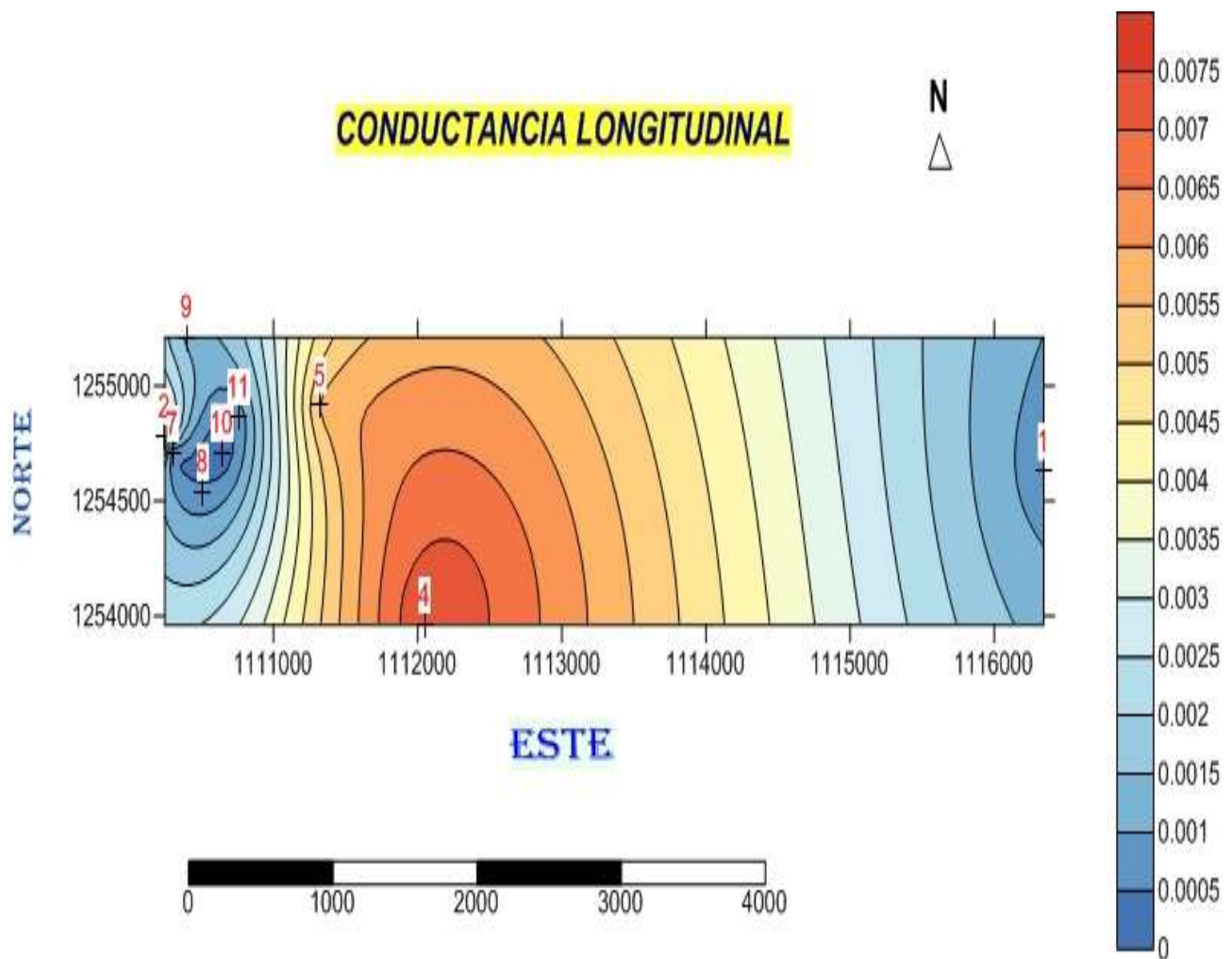
Figura 56. Estadística SEV 12 POZO



Los datos tomados en campo en su gran mayoría coinciden con la zona verde, que es el porcentaje ideal, en conclusión las resistividades son de buena calidad, como se muestra en la figura anterior.

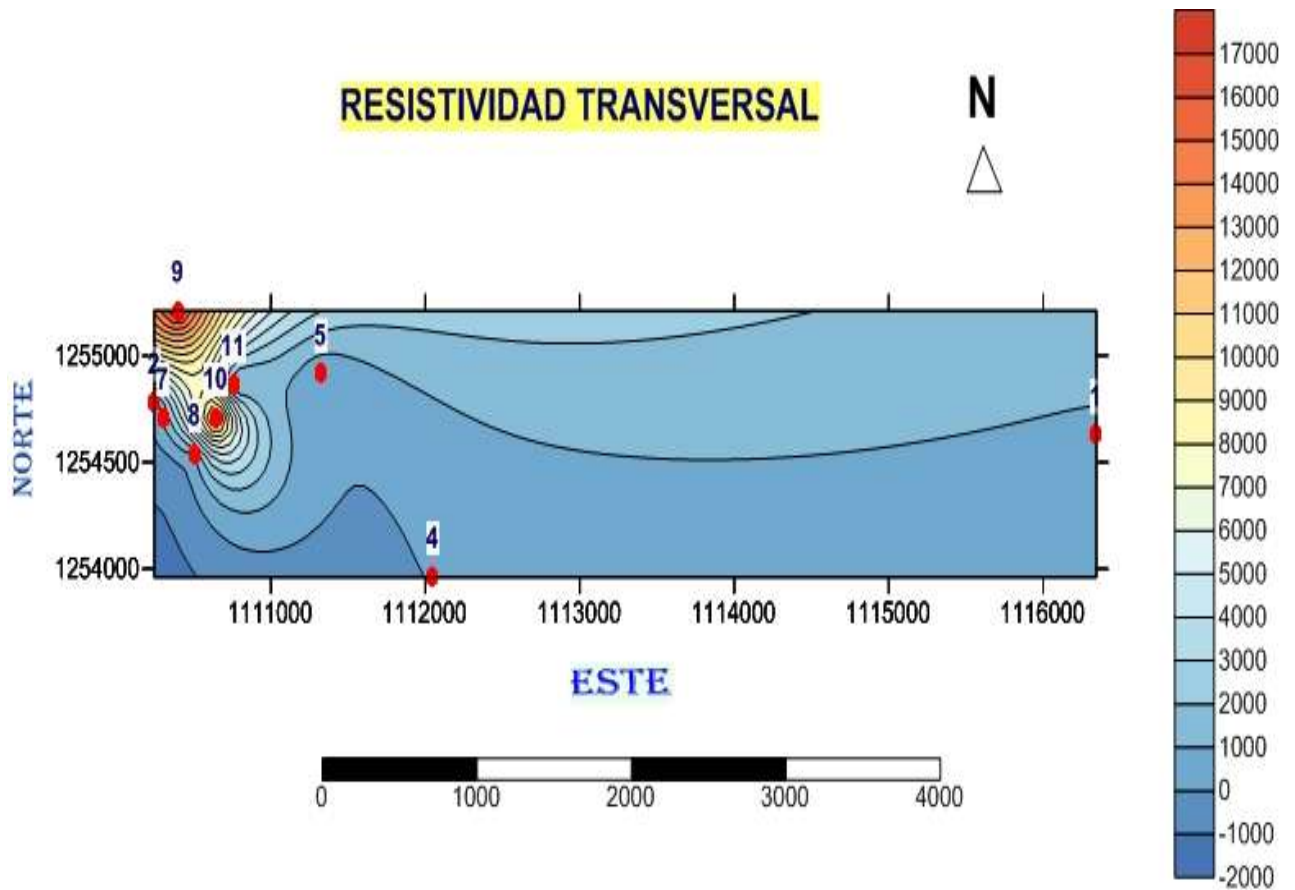
10.2 ANALISIS CUALITATIVO DE LOS MAPAS DE CONDUCTANCIA LONGITUDINAL Y RESISTIVIDAD TRANSVERSAL.

Figura 55. Mapa de Conductancia Longitudinal



En el sondeo 4 se muestran los valores más altos de conductancia, lo cual es indicativo de que corresponden con las zonas de mayor transmisividad y a su vez altas porosidades efectivas.

Figura 56. Mapa de Resistividad Transversal



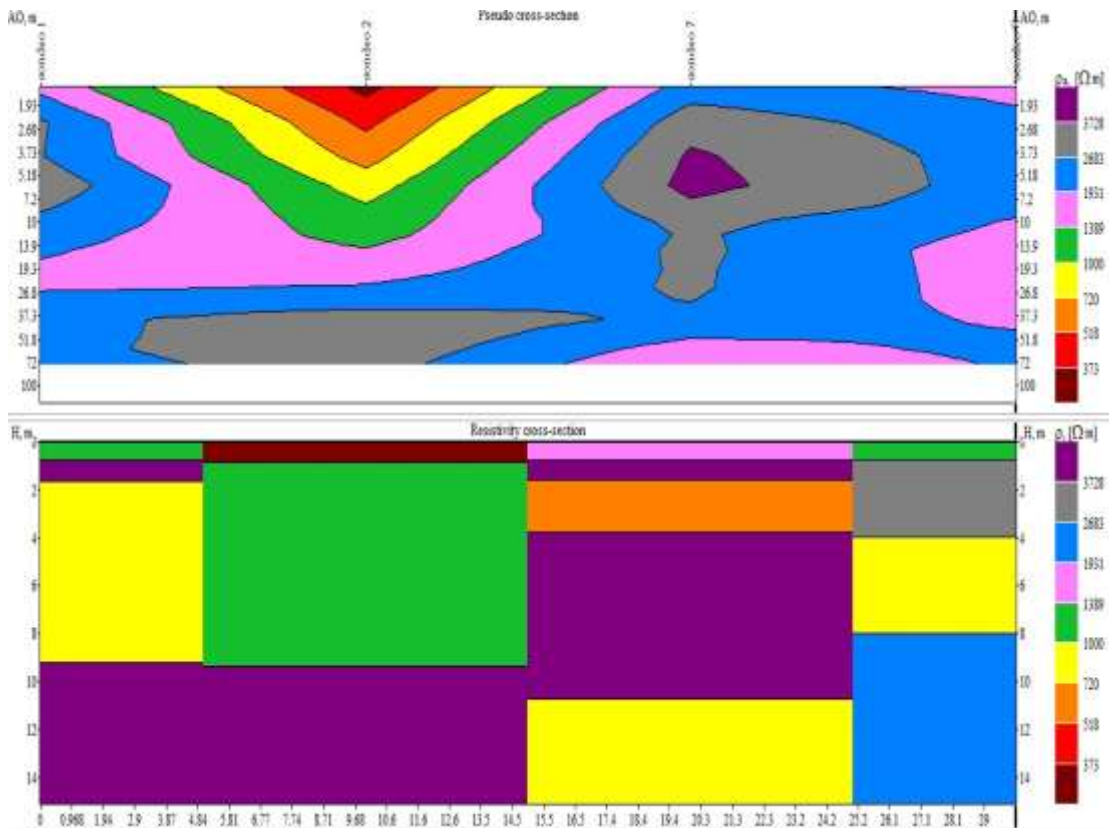
Alrededor de los sondeo 9, 2 y 7 se muestran los más altos valores de resistividad transversal lo cual es indicativo de zonas de bajas transmisividades,

10.3 PSEUDOSECCION

Una vez procesado cada SEV se puede visualizar la pseudosección. La pseudosección muestra las resistividades aparentes idealizadas por el software (IPI2Win) y en el rectángulo inferior las resistividades reales (este fue el interpretado ya que a nosotros nos interesan las resistividades reales) mostrando una variación en las resistividades de los sondeos. Para facilitar su interpretación se redujo a nueve (9) la cantidad de colores en la escala (Ver Figura 48).

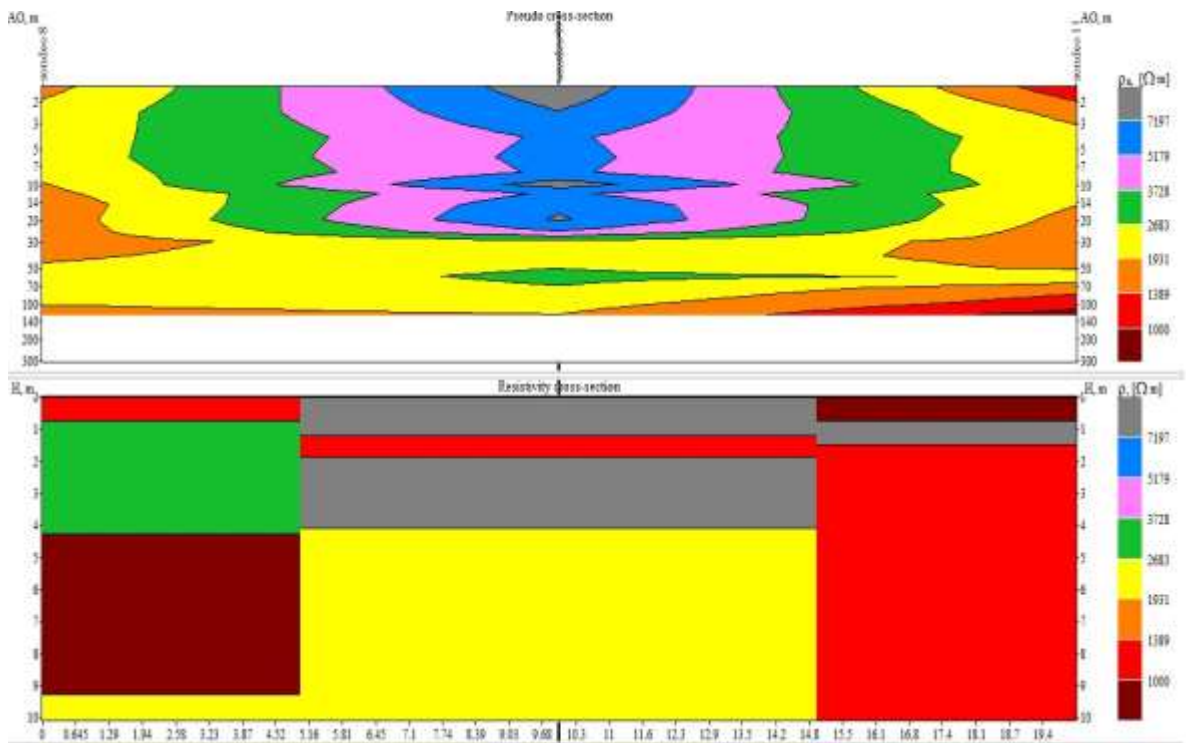
También cabe resaltar el principio de supresión en los resultados de la pseudosección. Hay una alta posibilidad de que las capas más delgadas o de bajo contraste de resistividad no hubieran sido detectadas por el método.

Figura 57. Pseudosección de los sondeos SEV 1-2-7-8



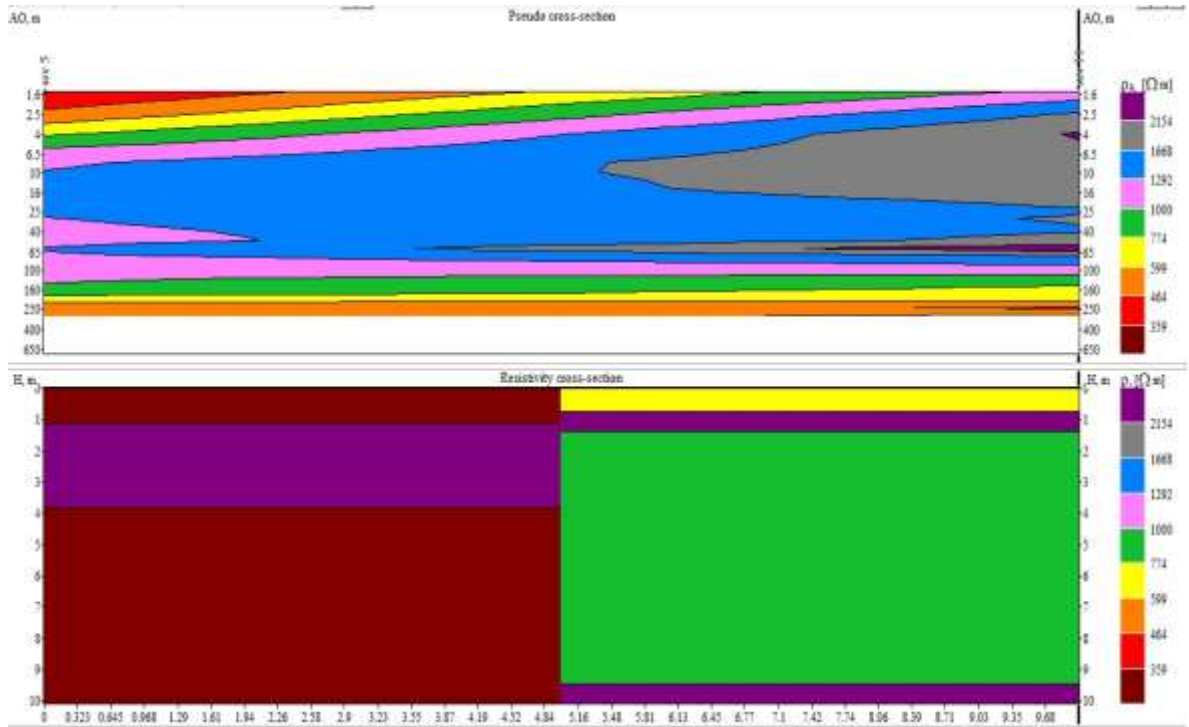
La realización de la pseudosección nos permite visualizar la correlación horizontal de los sondeos 1-2-7-8 realizados en la zona de estudio. En la Figura 58, en el rectángulo superior podemos observar las resistividades aparentes y en el rectángulo inferior las resistividades reales (este fue el interpretado ya que a nosotros nos interesan las resistividades reales). En la primera capa de la pseudosección se mantiene constante el espesor vertical en todos los sondeos y horizontalmente varía de areniscas en unos sectores más fracturados que en otros, y es considerada como suelo arenoso porque su espesor no es mayor a 1 m. La segunda capa alrededor del sondeo 1 y 7 está compuesta de una arenisca masiva pobremente saturada como se puede ver por su alta resistividad, su espesor no supera los 10 m y horizontalmente en algunas partes es mayor su espesor y se encuentra moderadamente fracturada y con moderada saturación de agua alrededor del sondeo 2, y luego se encuentra una arenisca masiva seca pobremente fracturada alrededor del sondeo 8. En la tercera capa alrededor del sondeo 1 se disminuye su resistividad hasta encontrarse areniscas moderadamente fracturadas y con moderada saturación de agua en unas zonas y en otras aumenta su resistividad y no mantienen una relativa continuidad lateral, en el sondeo 2 vemos un mayor espesor de esta capa con un aumento de resistividad que puede tratarse de areniscas masivas secas, mientras que en el sondeo 3 esta capa se comporta como una arenisca moderadamente fracturada con baja saturación de agua. Es importante destacar en la pseudosección, como se puede observar en la (Figura 58), que los sondeos 1 y 7 tienden a ser más parecidos entre ellos, cuando decimos que se parecen, nos referimos a que los valores de resistividad son más similares, sin embargo, los espesores de las capas obtenidos varían y no se ve una asociación, a pesar de tener una buena adquisición, porque la topografía del terreno no es totalmente plana lo cual va a afectar directamente las resistividades reales del subsuelo.

Figura 58. Pseudosección de los sondeos SEV 8-10-11



La pseudosección de la figura 59 nos permite visualizar la correlación horizontal de los sondeos SEV 8-10-11 realizados en la zona de estudio. En la primera capa de la pseudosección se mantiene constante el espesor vertical aproximadamente de un 1 metro y horizontalmente varía de resistividad y es considerada como suelo arenoso porque su espesor no es mayor a 1 m. La segunda capa está compuesta de una arenisca pobremente fracturada y baja saturación de agua alrededor del sondeo 8 como se puede ver por su moderada resistividad, su espesor no supera los 15 m y horizontalmente en algunas partes es menor su espesor y se encuentra compuesta de arenisca moderadamente fracturada con moderada saturación de agua alrededor del sondeo 10 y luego se encuentra una arenisca masiva seca alrededor del sondeo 11. La tercera capa muestra una arenisca moderadamente fracturada y con moderada saturación de agua alrededor de los sondeos 8 y 11 y esta capa en sondeo 10 aumenta su resistividad hasta mostrar una arenisca masiva seca.

Figura 59. Pseudosección de los sondeos SEV 5-11



La pseudosección de la figura 60 nos permite visualizar la correlación horizontal de los sondeos SEV 5-11 realizados en la zona de estudio. En el sondeo 5 de la pseudosección se observan capas de areniscas fracturadas y saturadas de agua por que muestran las resistividades más bajas, menores de 359 Ohm y que se encuentran entre las profundidades de 45 a 100 metrosesto nos indica que el sondeo 5 es un lugar con una posible litología saturada de agua y con un gran espesor recomendable para perforar y comportarse como un acuífero. En el sondeo 11 se observa que la tercera capa tiene resistividades que van desde 1000 hasta 774 ohm lo cual podría ser una arenisca moderadamente fracturada con baja saturación de agua y de un espesor de aproximadamente de 70 ms.

10.5 COLUMNA LITOLÓGICA DE LOS RIPIOS EXTRAIDOS

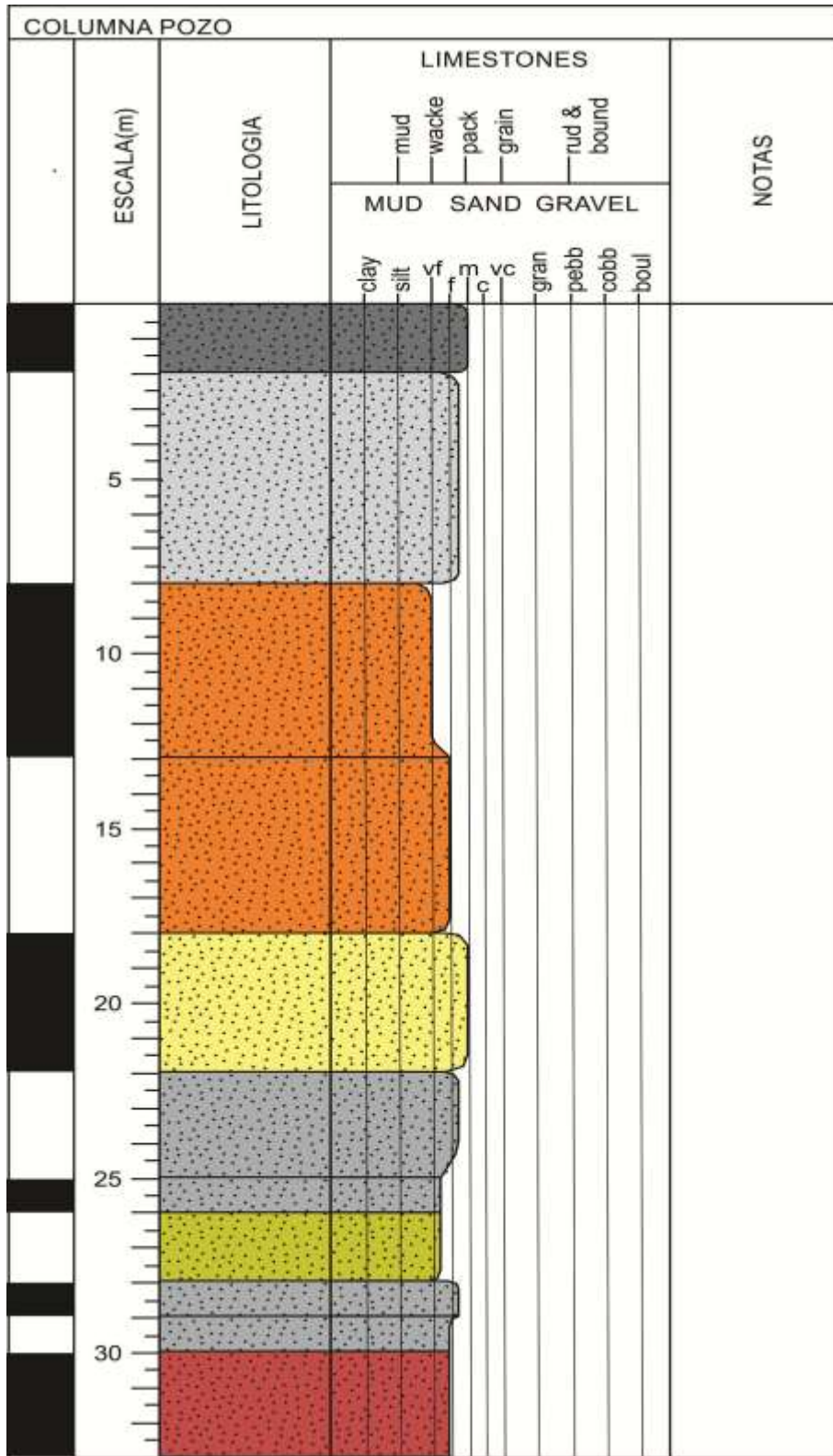
Se realizó una columna litológica haciendo un análisis macroscópico de los ripios extraídos por la perforación (figura 14), por parte de la empresa de perforación **Trappenkam**, que se realizó con el fin de explotar el agua subterránea en una finca aledaña a la zona de estudio, y en donde a su vez se realizó un sondeo vertical (SEV POZO) (figura 54), con el fin de correlacionar esta columna generada por los ripios de perforación (figura 61), con la litología interpretada a partir de la resistividades calculadas (figura 54) y permitir la calibración de estas y en consecuencia la extrapolación de los valores calibrados a aquellos sectores donde se ubican el resto de los sondeos.

Tabla 8. Columna litológica generada del análisis macroscópico de las muestras de los ripios.

Profundidad (m)	Tamaño de grano	Color	Nombre /Litologia
2	Arenisca de grano medio	Gris Oscuro	Arenisca Cuarzofeldespática (Subarcosa)
8	Arenisca de grano fino a medio	Blanco-grisáceo	Cuarzoarenita
13	Arenisca de grano muy fino	Amarillo Pardo	Cuarzograuvaca
Profundidad (m)	Tamaño de grano	Color	Nombre /Litologia
18	Arenisca de grano fino	Amarillo Pardo	Grauvaca feldespática
22	Arenisca de grano medio	Amarillo pálido	Grauvaca feldespática

25	Arenisca de grano fino a medio	Gris	Arenisca Cuarzofeldespática (Subarcosa)
26	Arenisca de grano muy fino a fino	Gris	Cuarzograuvaca
28	Arenisca de grano fino	Amarillo grisáceo	Cuarzograuvaca
29	Arenisca de grano fino a medio	Gris	Arenisca Cuarzofeldespática (Subarcosa)
30	Arenisca de grano fino	Gris	Cuarzograuvaca
33	Arenisca de grano fino	Rojizo Vinotinto	Cuarzograuvaca

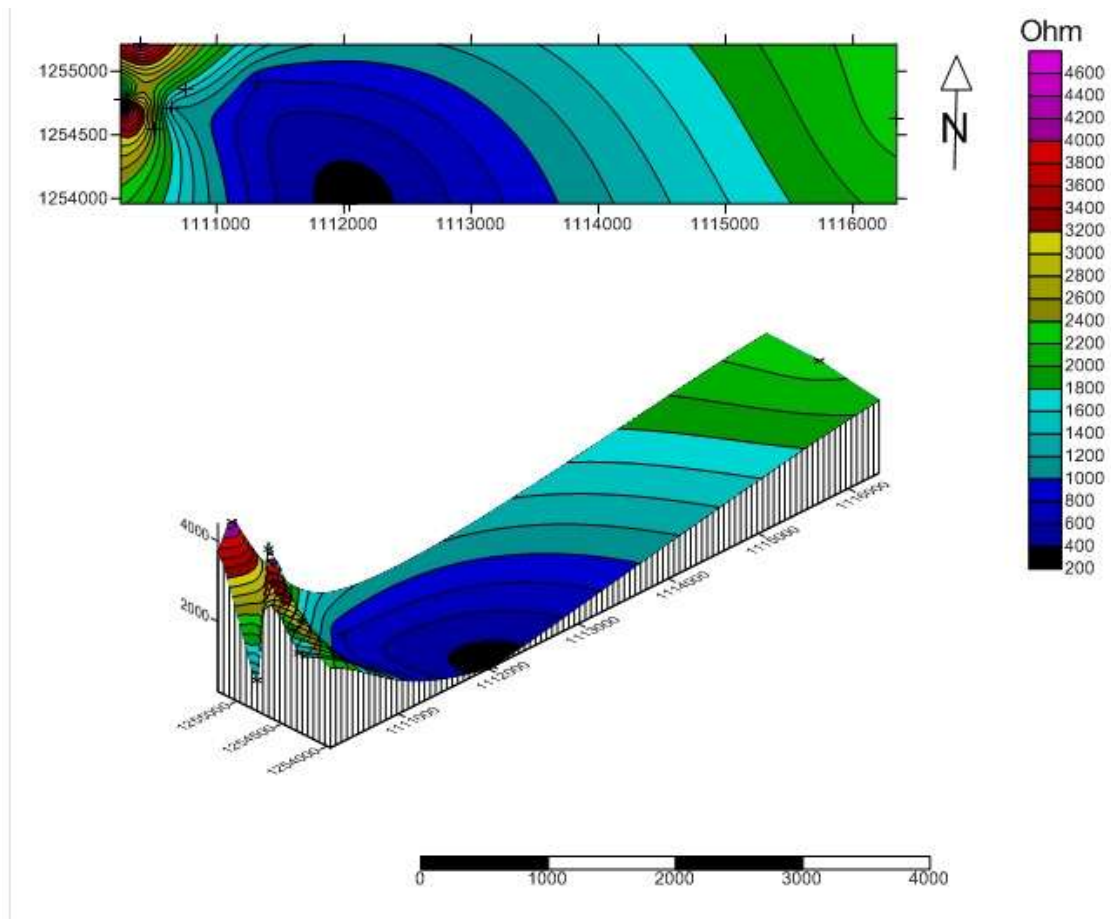
Figura 60. Columna litologica.



10.6 GENERACION E INTERPRETACIÓN DE MAPAS DE ISORRESISTIVIDAD

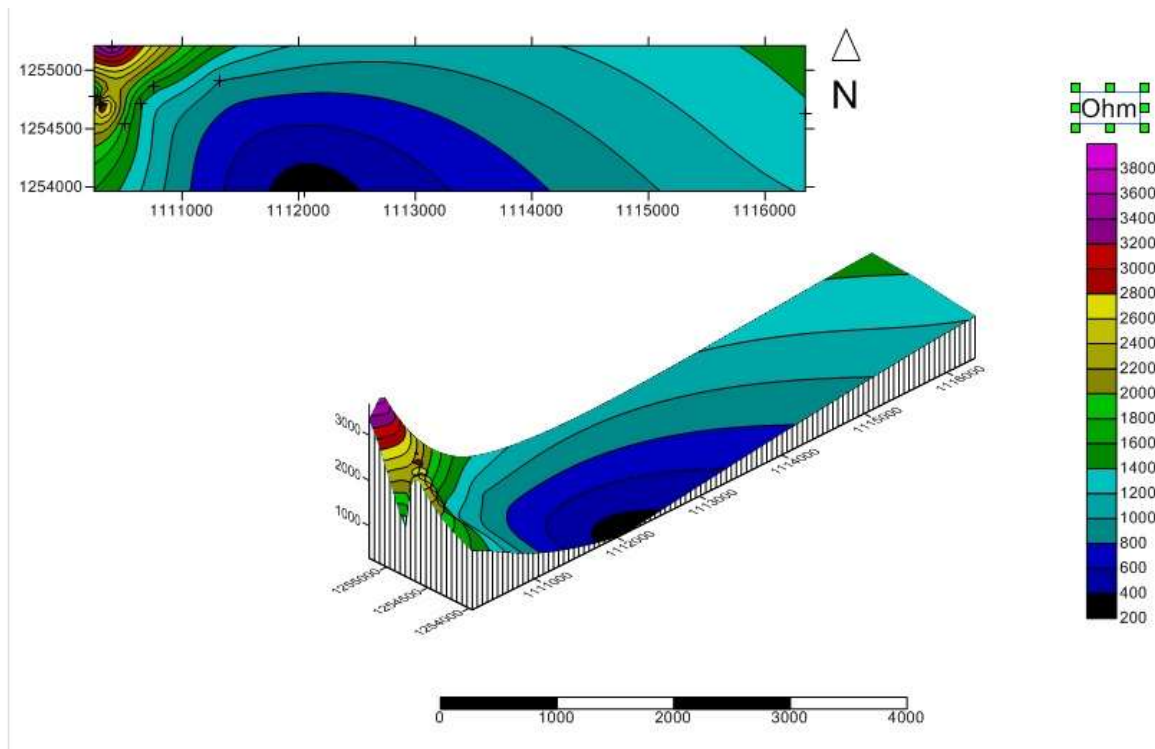
Estos mapas muestran la variación de las resistividades reales con el aumento de la profundidad ($AB/2$). Se generaron mapas de isorresistividades, para las distancias $AB/2$ igual a 6 m, 15 m, 30 m, 50 m, 100 m, y 200 m (figuras 62, 63, 64, 65, 66, y 67), y permitieron identificar el comportamiento de las resistividades en planta, donde estas están asociadas de igual forma a tipos de litologías y posible contenido de fluido.

Figura 61. Mapa de isorresistividades $AB/2=6$ metros.



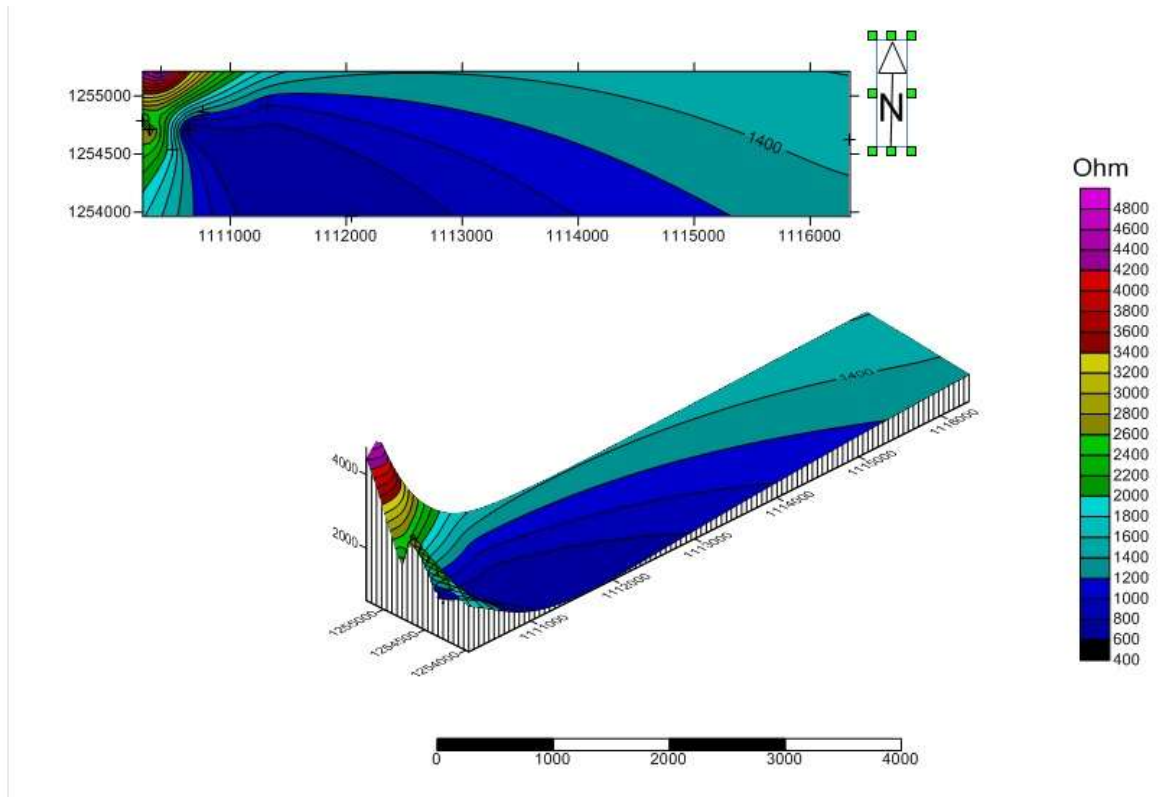
El mapa de isorresistividades AB/2 igual a 6 metros (Figura 62), muestra que las resistividades varían entre 200 y 4600 Ω .m en casi su totalidad; excepto por la zona oeste donde se observan resistividades más altas tal vez por la presencia de arenicas masivas secas.

Figura 62. Mapa de isorresistividades AB/2 igual a 15 metros:



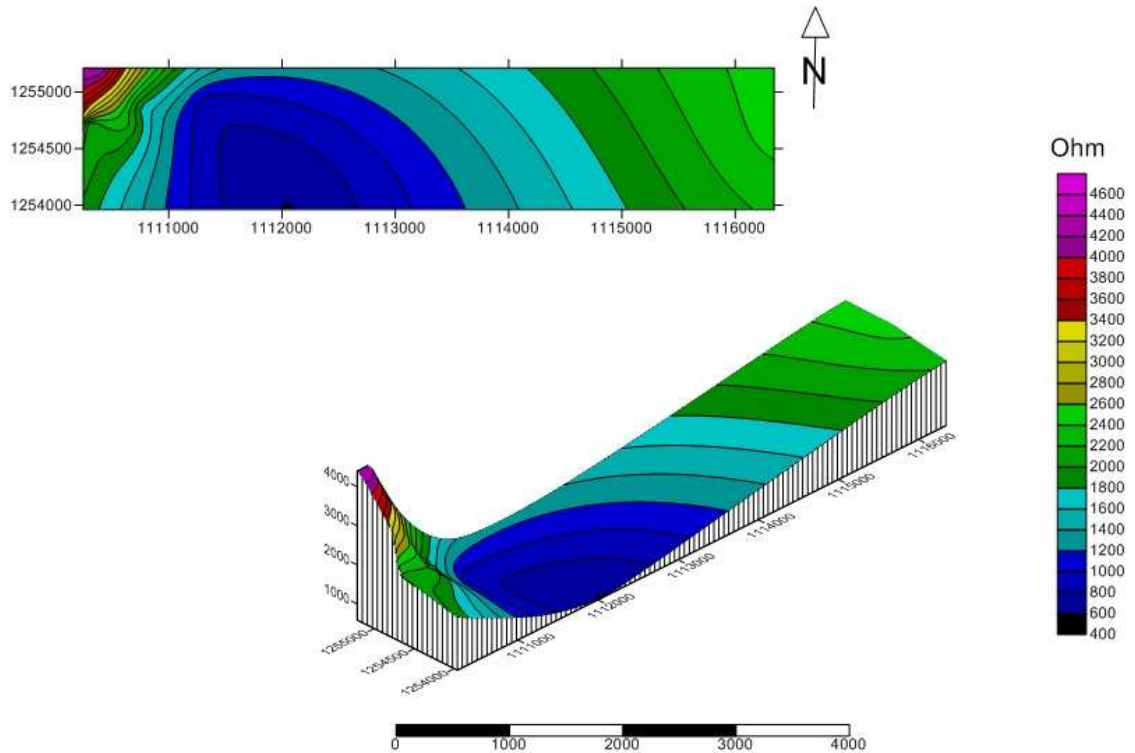
El mapa de isorresistividades AB/2 igual a 16 metros (figura 63), muestra que las resistividades oscilan entre valores de 200 y 3800 Ω .m. Hacia el oeste se mantiene el alto de resistividades, igual que en el mapa anterior.

Figura 63. Mapa de isorresistividades AB/2 igual a 30 metros:



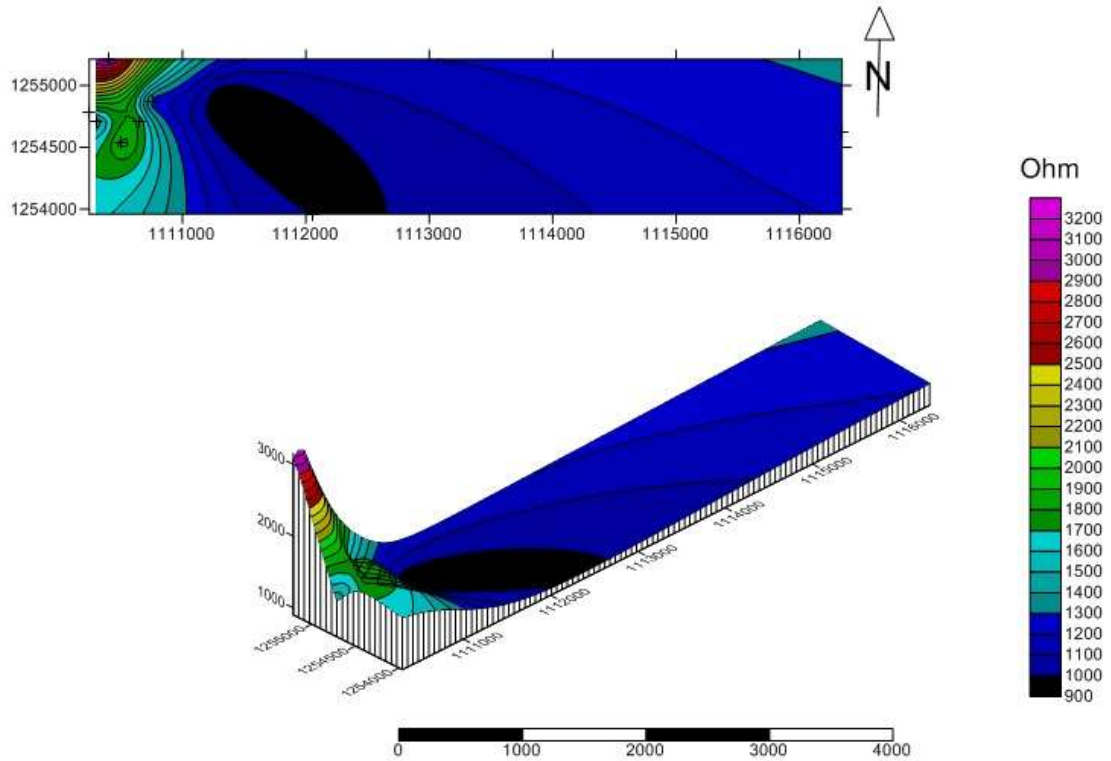
En el mapa de isorresistividades AB/2 igual a 30 metros (Figura 64), muestra que las resistividades oscilan entre valores de 400 y 4800 Ω .m. Al noroeste, se aprecia un alto en las resistividades, es decir en esta zona se encuentran posiblemente rocas areniscas masivas secas en este nivel.

Figura 64. Mapa de isorresistividades AB/2 igual a 50 metros:



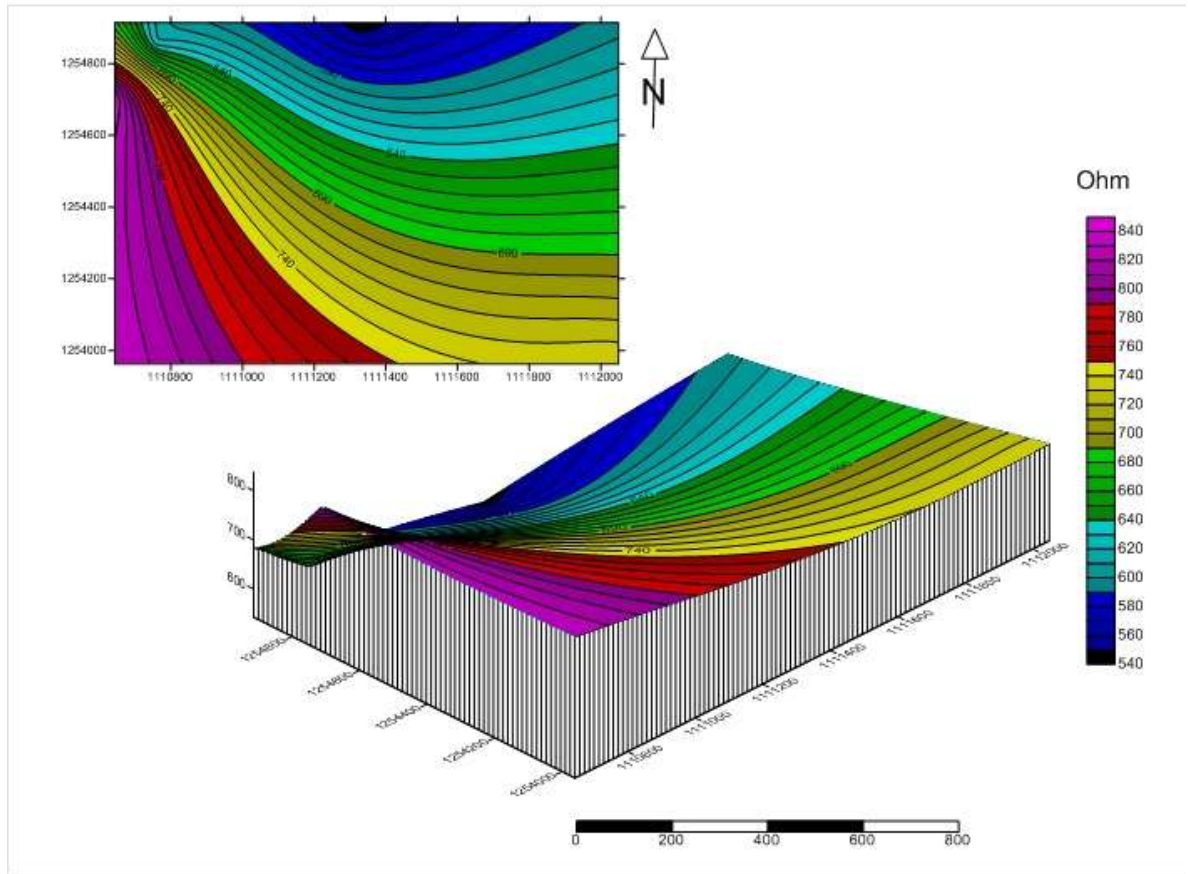
En el mapa de isorresistividades AB/2 igual a 50 metros (Figura 65), muestra que las resistividades oscilan entre valores de 400 y 4600 $\Omega.m$. Al noroeste, se sigue apreciando un alto en las resistividades, mientras que hacia el centro se encuentran las resistividades más bajas es decir hacia este lugar se concentra la fracturación de las areniscas y su saturación de agua al igual que las partes más bajas de la zona.

Figura 65. Mapa de isorresistividades AB/2 igual a 100 metros:



En el mapa de isorresistividades AB/2 igual a 100 metros (Figura 66), muestra que las resistividades oscilan entre 900 y 3200 Ω .m. al noroeste aun en este nivel se sigue apreciando el alto de resistividades, pero lo más interesante de este mapa es que hacia el centro y la parte más baja disminuyen las resistividades lo cual corresponden a areniscas moderadamente fracturada con moderada saturación de agua.

Figura 66. Mapa de isorresistividades AB/2 igual a 200 metros:



En el mapa de isorresistividades AB/2 igual a 200 metros (Figura 67), este nivel se visualiza que el alto de resistividad que se observó al oeste en los mapas AB/2 igual a 6 m, 15 m, y 30 m, 50m y 100m desaparece. Al noreste, se aprecia un alto en las resistividades pero de solo 840Ω.m, y también se observa hacia al norte una baja resistividad de 540 Ω.m, lo cual correspondería a una arenisca fracturada con moderada saturación de agua.

10.7 MODELO EN 3D DE LOS MAPAS DE ISORRESISTIVIDADES DE DIFERENTES AB/2.

Luego se procede a crear capas de isorresistividad de cada uno de los AB/2 tomados en campo en el programa Surfer 10, para crear un modelo en 3D de todas las isorresistividades tomadas.

Figura 67. Capas de diferentes isorresistividades para crear modelo 3D.

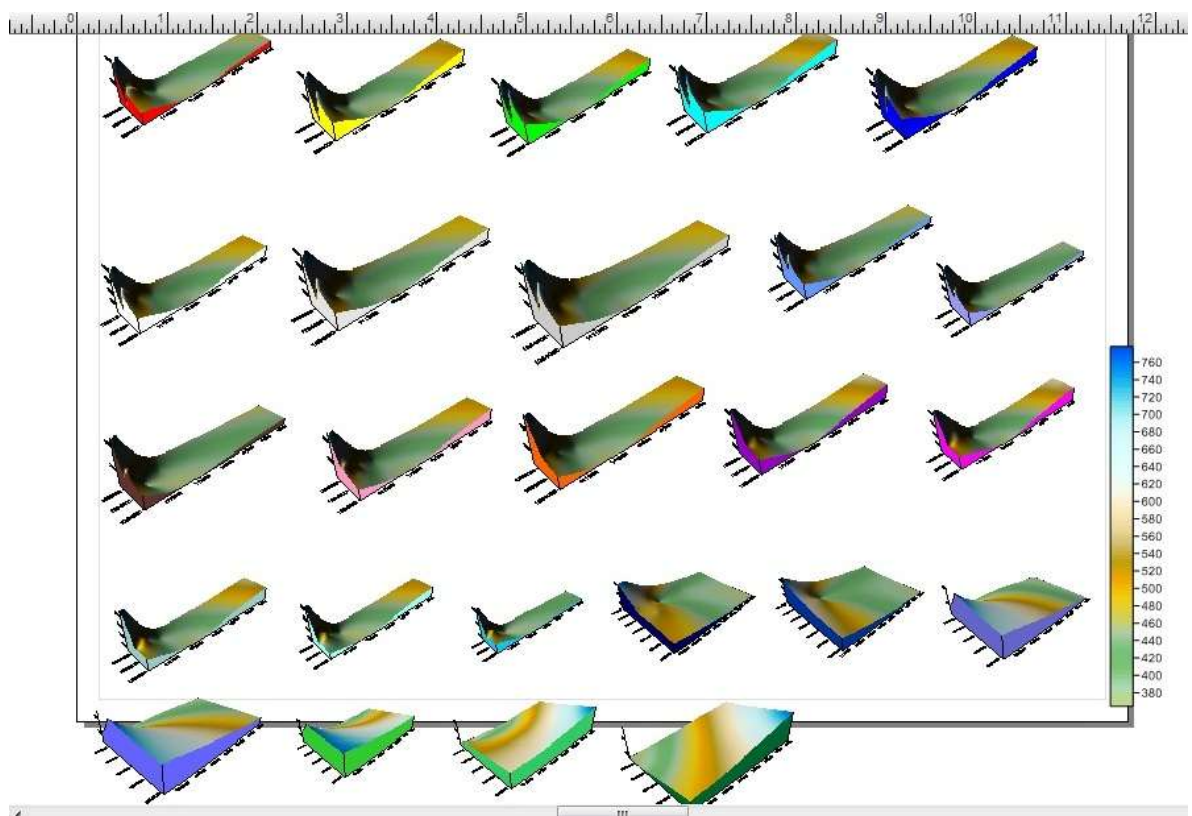
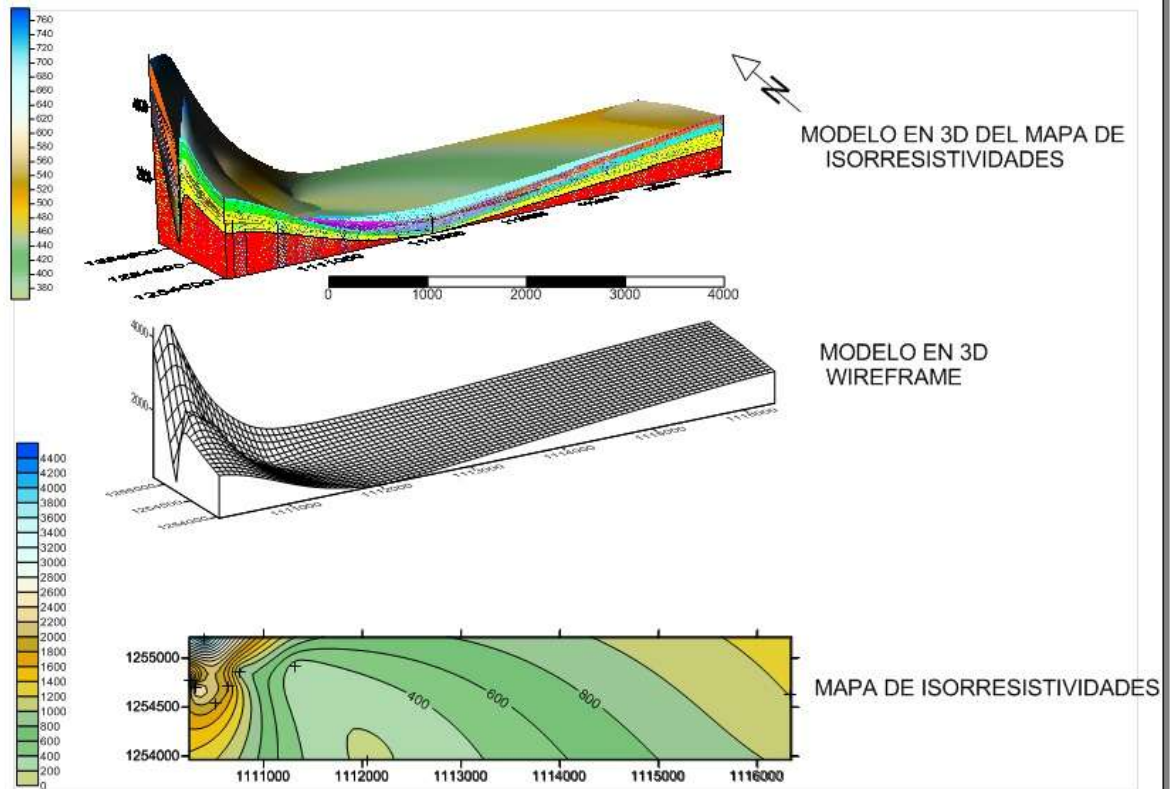
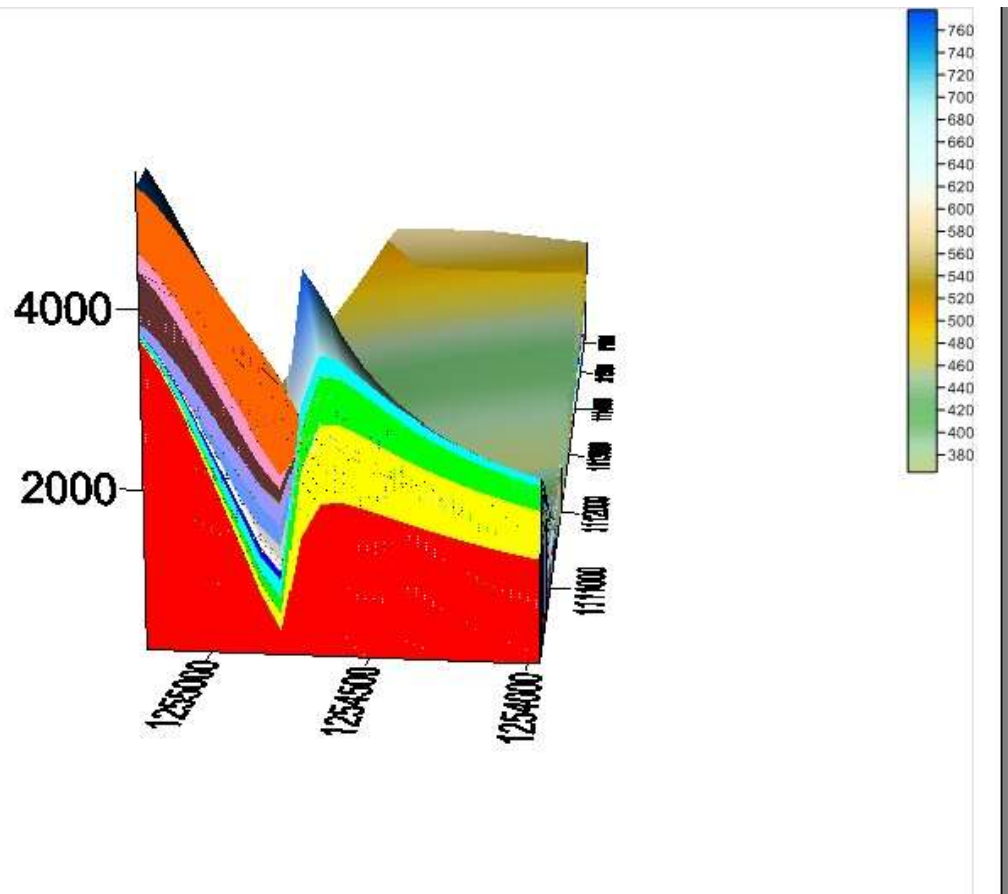


Figura 68. Modelo en 3D de los mapas de isorresistividades de diferentes AB/2.



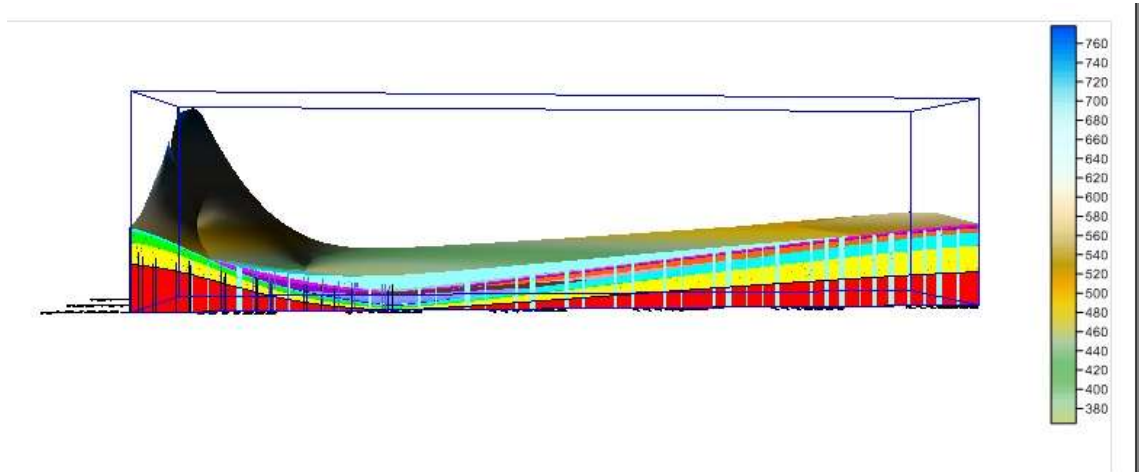
Este modelo se generó en el programa Surfer 10, con el fin de observar la variación de la capa superficial y de las diferentes capas de resistividades tomadas a diferentes AB/2 de los sondeos hechos en la zona de estudio.

Figura 69. Modelo en 3D de los mapas de isorresistividades en orientación E-W



En la (figura 70) se observa la variación de resistividad de la capa superficial topográfica, así como las variación de las diferentes capas de resistividades a diferentes niveles de profundidad, visto en desde una vista de E-W

Figura 70. Modelo en 3D de los mapas de isorresistividades en orientación S-N



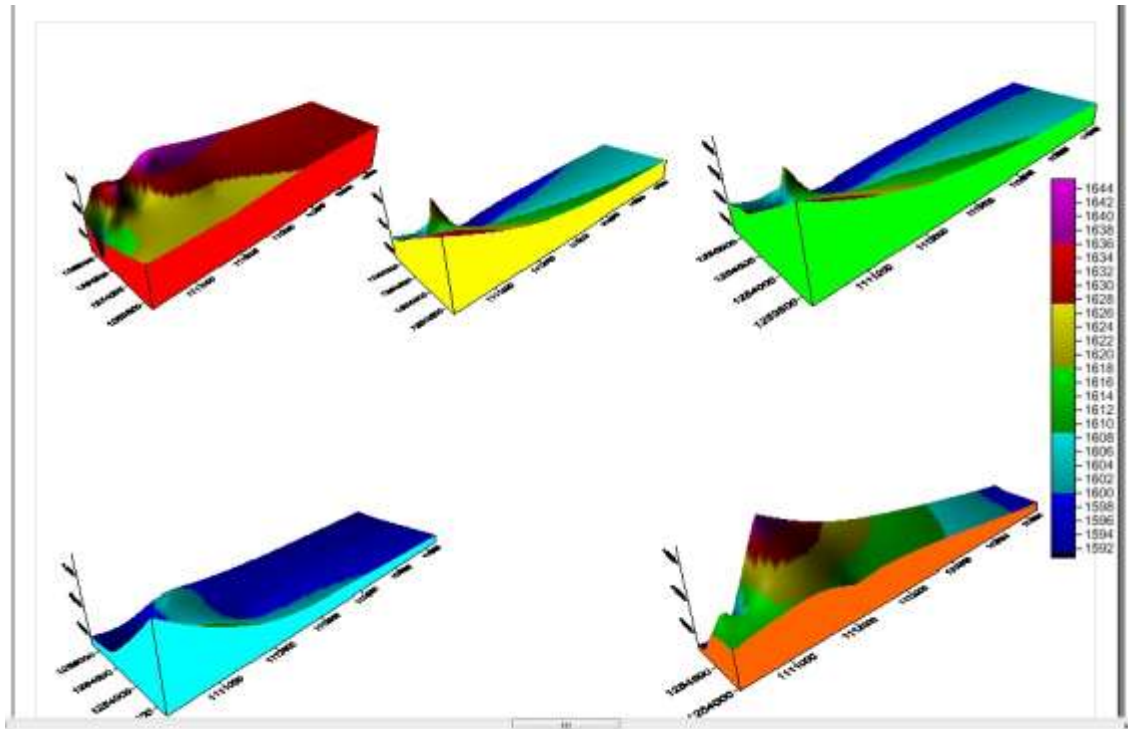
En la (figura 71) se observa la variación de resistividad de la capa superficial topográfica, así como las variación de las diferentes capas de resistividades a diferentes niveles de profundidad, visto en desde una vista de S-N.

10.8 MODELO GEOELECTRICO EN 3D DE LOS MAPAS DE PROFUNDIDAD

En el ajuste del modelo geoelectrico se tuvo en cuenta la información geológica antecedente mencionada en el apartado anterior. Para la interpolación de los datos de nivel y/o profundidad entre los SEV realizados se utilizó el método de kriging puntual en el software Surfer versión 10.

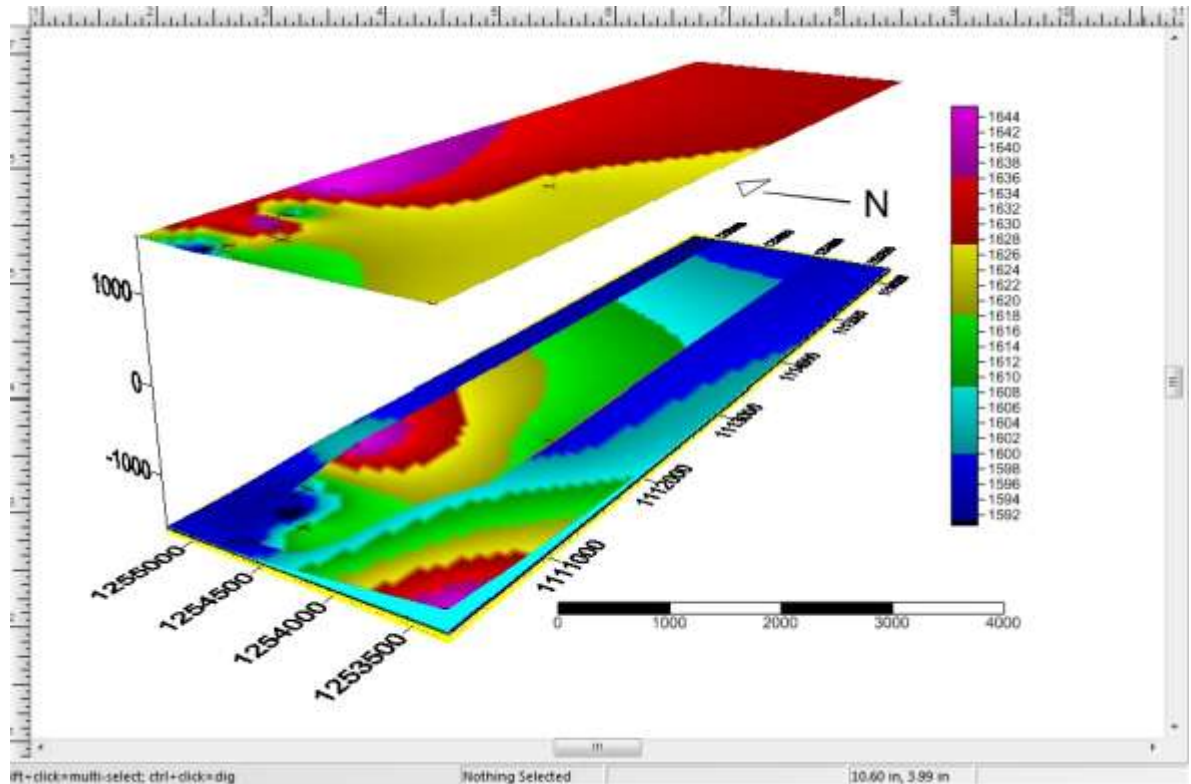
Este modelo se hace con el fin de identificar los diferentes topes de las capas encontradas a partir de las resistividades de todos los sondeos realizados en la zona de estudio, de esta manera se puede observar como se comportan las resistividades de las diferentes litologías en función de su profundidad.

Figura 71. Capas de los topes de las diferentes profundidades.



Estas capas de los diferentes topes de cada sondeo fueron halladas con la interpretación de las diferentes resistividades. La escala de color muestra las diferentes cotas de profundidades alcanzadas por los sondeos y su variación en toda la zona de estudio.

Figura 72. Modelo en 3D de la interpolación de capas de profundidad de los diferentes sondeos.



En la (figura 73) observamos el modelo en 3D realizado en Surfer, a partir de la interpolación de todas las capas de profundidad de los todos los sondeos realizados en la zona de estudio, y mediante la escala de colores se logra apreciar la distancia vertical alcanzada por la apertura de los sondeos como también sus diferentes cotas y variaciones a lo largo de la topografía.

11. CONCLUSIONES

La falla geológica del duende ha generado mayor densidad de fracturamiento de los materiales que conforman el área de estudio y que se encuentran en la zona de influencia directa de esta estructura, lo cual brinda a esta zona posible interés hidrogeológico debido a que se generan rocas con mayor porosidad secundaria.

El tipo de material predominantemente en el subsuelo del área de estudio corresponde principalmente a granulometría de grano arena, principalmente areniscas y con intercalaciones arcillosas muy finas. Este material litológico se pudo correlacionar con el miembro superior de la Formación Los Santos luego de analizar las resistividades que efectivamente correspondieron a la naturaleza litoestratigráfica de esta unidad.

Los sondeos 2, 5 y 10 muestran resistividades muy bajas (menores a $175\Omega\text{m}$) y profundidades de 20, 40 y 170 m respectivamente. Estos valores son un buen indicador de rocas muy fracturadas con posible presencia de agua, no obstante, los valores de profundidad estimada superan los 150 m por lo que desde el punto de vista económico la viabilidad para la explotación disminuye.

Al realizar el procesamiento de los datos se obtuvo un porcentaje de error para las curvas de campo bastante confiables, ya que el error siempre fue inferior al 13% y en otros casos se obtuvieron errores mínimos de 2.03%.

Los mapas de conductancia longitudinal y resistividad transversal muestra que zonas son de mayor transmisividad y que zonas son de mayor resistividad en el área de estudio; por la tanto logramos identificar que la zona alrededor del sondeo 4 efectivamente es la zona con mayor transmisividad, con altas porosidades efectivas y es la zona donde la corriente eléctrica inducida atraviesa mas

fácilmente las capas que muestra una resistividad menor; y a su vez logramos identificar que las zonas aledañas a los sondeos 9 y 2, muestran las zonas con capas más resistivas en el subsuelo y que en donde la corriente circula menos debido al aumento de la resistividad de las capas, producto de que quizás estas se encuentren menos fracturadas y con poco o nada de saturación.

12. RECOMENDACIONES

Se precisan técnicas más exactas como otro equipo de geoelectrónica pero de mejor resolución para una mejor visualización del subsuelo.

Las mejores resoluciones se dieron con los sondeos de máximo 300 metros, las aperturas mayores de $AB/2$ no dieron un mayor número de capas como se esperaba, sino una capa de gran espesor, se recomienda con este equipo hacer mayor cantidad de intervalos de aperturas pero que las distancias MN sean la quinta parte de las distancias AB hasta llegar a 700, para lograr una mejor resolución.

Realizar una correlación entre un sondeo y un afloramiento antes de empezar el estudio, así se podrá saber en qué rangos de resistencia se encuentran las rocas de la zona.

Realizar sísmica de refracción para conocer cómo se encuentran las capas más profundas del subsuelo en el sector.

BIBLIOGRAFIA

ARLANDI, M. Geofísica aplicada a la obra civil. Método Geoeléctrico y Sísmica de Refracción. Casos prácticos. Madrid. 2005.

ARIAS, Ramirez Hoyos. The Geoelectrical Relations on the Geotechnical Exploration. Universidad Nacional de Medellín. Facultad de Minas. 2000.

AUGE, M. Métodos geoeléctricos para la prospección de agua subterránea. Buenos Aires. 2008.

BARREARA Donoso. Caracterización de suelos en las localidades de Arauco, Colcura, San Pedro de la Paz y Concepción, mediante prospección eléctrica. departamento de geofísica facultad de ciencias físicas y matemáticas Universidad de Concepción. 2011.

CARABALLO M. Noris C, Caracterización geoelectrica del subsuelo en el área de Puerto Cumarebo Falcón. Proyecto de grado universidad Simón Bolívar Ingeniería Geofísica 2008.

DÍAZ, E. Análisis preliminar de las unidades geológicas en la mesa de los Santos región central del departamento de Santander. Trabajo de grado, Escuela de Geología, Facultad de Fisicoquímicas, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2009.

ESTRADA L. Apuntes de prospección geoeléctrica. Cátedra de geofísica, Universidad Nacional de Tucumán. 2012.

Esquema de ordenamiento territorial Municipio de los Santos Santander Alcaldía de los Santos y Gobernación de Santander. 2013.

ETAYO-Serna. Contorno sucesivo del mar Cretáceo en Colombia. Congreso Colombiano de Geología. Bogotá. 1969.

ETAYO-Serna. Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia: Publicaciones Geológicas especiales de Ingeominas. 1983.

FALGAS. Hydrogeophysics as a Multidisciplinary Tool on Aquifer Appraisal: Focus on AMT Capabilities. Universidad de Barcelona. 2007.

IAKUBOVSKII y Liajov L. Exploración Eléctrica. Editorial Reverté. Traducido por: Juan González Montero. 1980.

KEAREY, P, Brooks. An Introduction to Geophysical Exploration. Editorial Blackwell Science, Third Edition. 2002.

MOLINA, W. Comparación de los Métodos 1D Y 2D de resistividad eléctrica por medio de sondeos tipo Wenner, Dipolo-Dipolo y Wenner-Schlumberger con la utilización de los programas DCINV, RES2DMOD Y RES2DINV. Venezuela. 2006.

ORELLANA, E. Prospección eléctrica en corriente continua. Segunda Edición, Página 523. 1982.

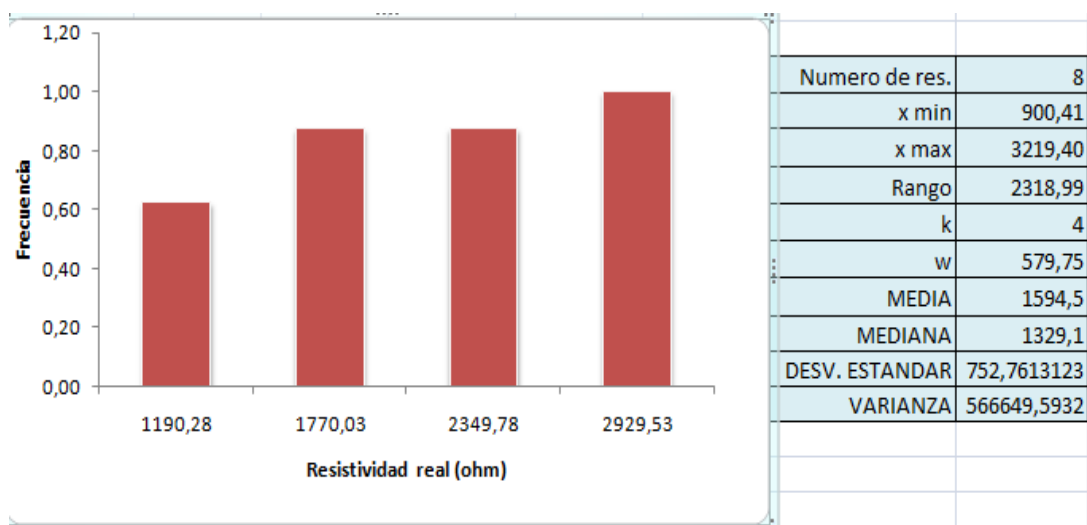
SÁNCHEZ, J. Prospección geofísica: Sondeos Eléctricos Verticales. Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, España. 2011.

VERGARA L. Otoniel A. Prospección geológica para aguas subterráneas en rocas cristalinas fracturadas en el macizo de Santander, sector oriental de Bucaramanga. Tesis de grado. Universidad industrial de Santander, Escuela de Geología. 2004.

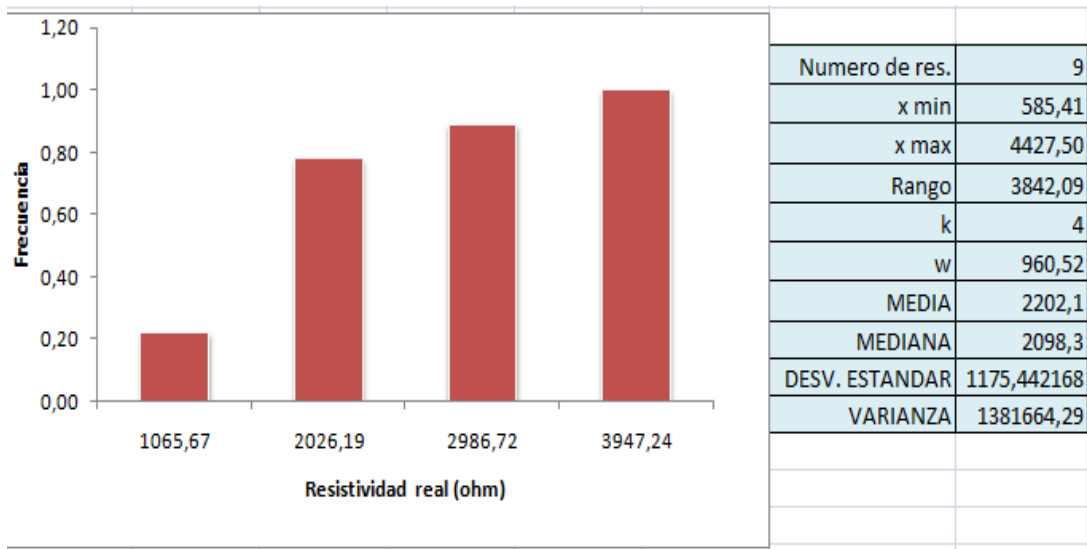
ANEXOS

ANEXO A. Histograma y estadística de datos de mapa de isorresistividades

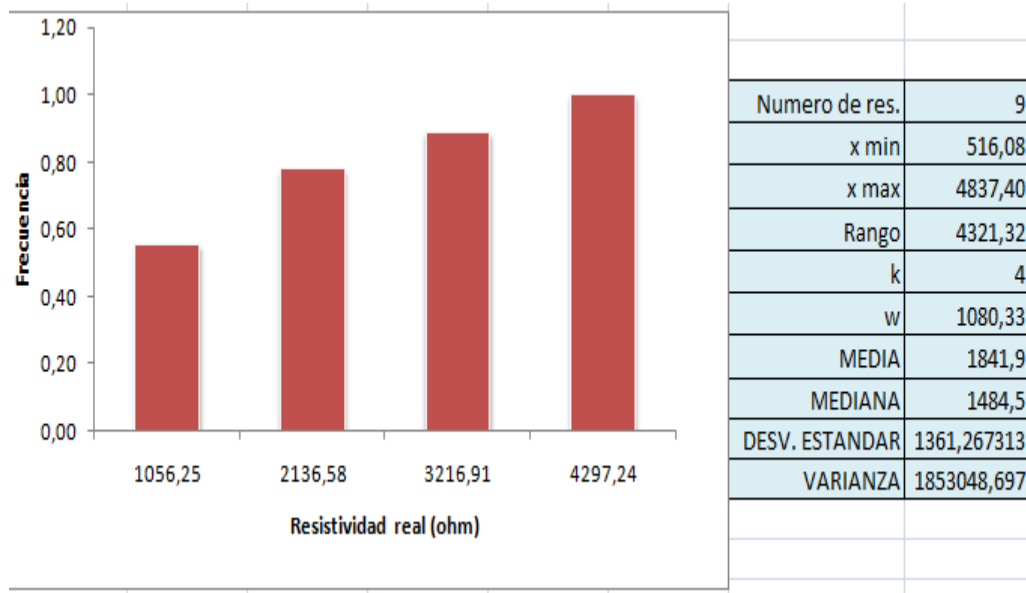
AB/2=6m



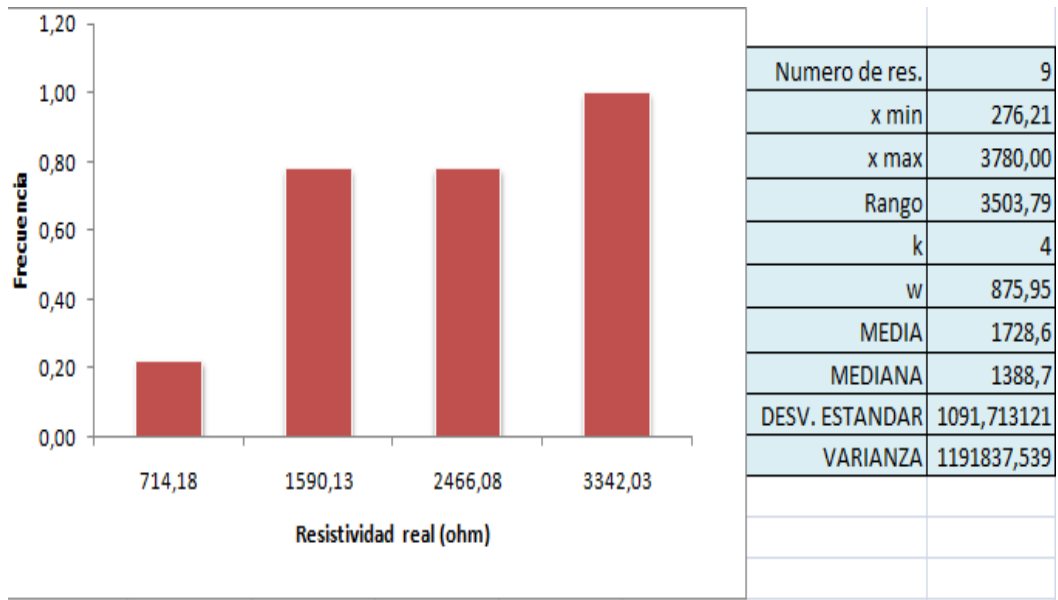
ANEXO B. Histograma y estadística de datos de mapa de isorresistividades
 AB/2=15m



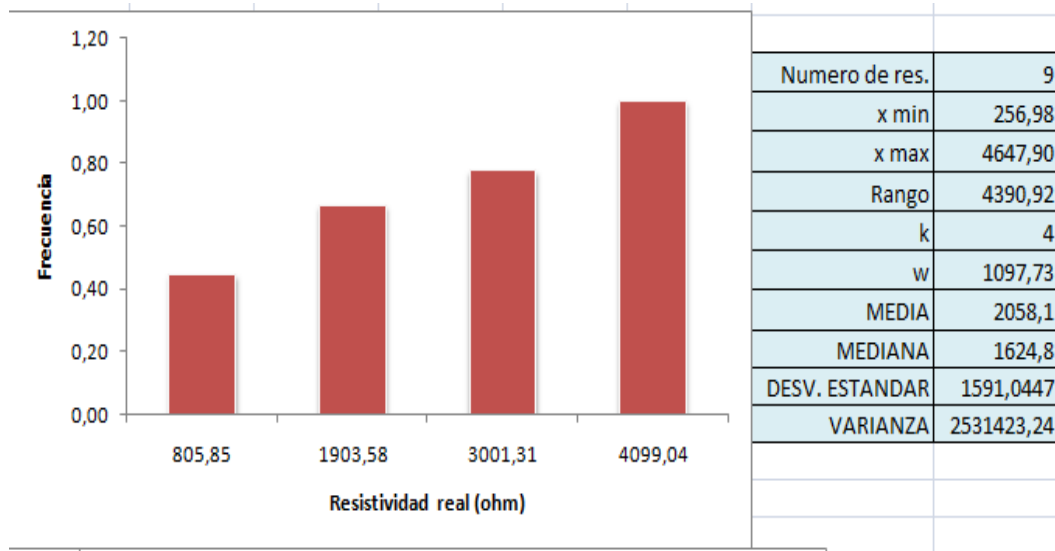
ANEXO C. Histograma y estadística de datos de mapa de isorresistividades
 $AB/2=30m$



ANEXO D. Histograma y estadística de datos de mapa de isorresistividades
AB/2=50m

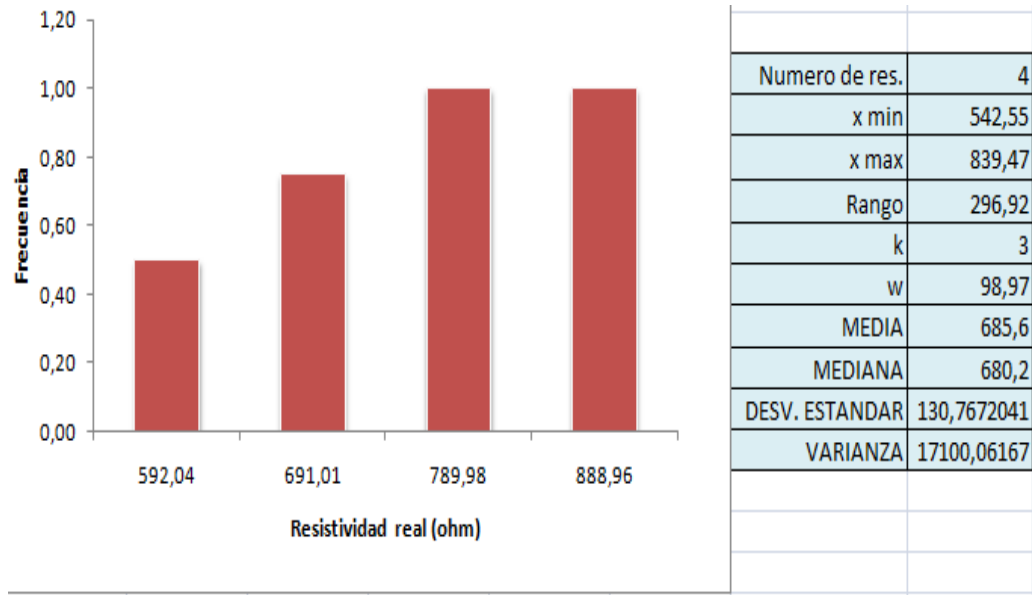


**ANEXO E. Histograma y estadística de datos de mapa de isorresistividades
AB/2=100m**



ANEXO F. Histograma y estadística de datos de mapa de isorresistividades

AB/2=50m



Anexo G. Sondeo 1

Sondeos Eléctricos Verticales			
Estudiantes : Larry Wilches - Andres Corzo			
SEV: 1		Zona: La esperanza	Fecha: noviembre 18 de 2014
Orientación: W-S	Instrumento: ABEM TERRAMETER	Arreglo: Schlumberger	
	Punto A	Punto B	Centro
Coodenadas X	1110380	1110301	1110344
Coodenadas Y	1254720	1254538	1254628
Altura msnm	1632	1630	1632
N°	AB/2	MN	pa
			ohm.m
1	1.5	1	1941.4
2	2.5	1	1942.4
3	4	1	1888.4
4	6	1	2314.8
5	8	1	1964.5
6	10	1	1738.2
7	12	1	1541.4
8	15	1	1383.7
9	20	1	1284.1
10	25	1	1261.5
11	30	1	1484.5
12	30	20	2202.9
13	40	20	2469.5
14	50	20	2487.4
15	60	20	2546.2
16	75	20	2459.4
17	75	50	2394.0
18	100	50	1270.6

Anexo H. Sondeo 2

Sondeos Eléctricos Verticales			
Estudiantes : Larry Wilches - Andrés Corzo			
SEV: 1		Zona: La esperanza	Fecha: noviembre 18 de 2014
Orientación: W-S	Instrumento: ABEM TERRAMETER		Arreglo: Schlumberger
	Punto A	Punto B	Centro
Coordenadas X	1110192	1110329	1110246
Coordenadas Y	1254700	1254821	1254780
Altura msnm	1607	1613	1623
N°	AB/2	MN	ρa
			ohm.m
1	1.5	1	306.38
2	2.5	1	438.4
3	4	1	578.32
4	6	1	775.06
5	8	1	928.6
6	10	1	1036.9
7	12	1	1125.3
8	15	1	1286.7
9	20	1	1531.8
10	25	1	1796.6
11	30	1	1984.5
12	30	20	2181.7
13	40	20	3361.8
14	50	20	3382.9
15	60	20	3303.9
16	75	20	3084.0

Anexo I. Sondeo 3

Sondeos Eléctricos Verticales			
Estudiantes : Larry Wilches - Andrés Corzo			
SEV: 1		Zona: La esperanza	Fecha: noviembre 18 de 2014
Orientación: W-S	Instrumento: ABEM TERRAMETER		Arreglo: Schlumberger
	Punto A	Punto B	Centro
Coordenadas X	1110738	1109493	1110169
Coordenadas Y	1252971	1253449	1253284
Altura msnm	1633	1636	1632
N°	AB/2	MN	pa
			ohm.m
1	1.5	1	884.11
2	2.5	1	1098
3	4	1	1267.5
4	6	1	2679.1
5	8	1	2034.2
6	10	1	2379.4
7	12	1	2530.9
8	15	1	2853.8
9	20	1	3124.1
10	25	1	3057.9
11	30	1	3031.5
12	30	20	3942.5
13	40	20	3536
14	50	20	2686.9
15	60	20	2668.8
16	75	20	2933.4
17	75	50	2583.1
18	100	50	2315.9
19	125	50	1984.3
20	150	50	1656.7
21	150	100	1834.2
22	175	100	1678.9
23	200	100	1625.4
24	250	100	1652.5
25	300	100	1294.3
26	300	150	1725
27	400	150	1228.4
28	500	200	903.205
29	700	200	446.645

Anexo J. Sondeo 4

Sondeos Eléctricos Verticales			
Estudiantes : Larry Wilches - Andrés Corzo			
SEV: 1		Zona: La esperanza	Fecha: noviembre 18 de 2014
Orientación: W-S	Instrumento: ABEM TERRAMETER		Arreglo: Schlumberger
	Punto A	Punto B	Centro
Coordenadas X	1111460	1112303	1112049
Coordenadas Y	1253920	1254043	1253962
Altura msnm	1619	1634	1624
N°	AB/2	MN	pa
			ohm.m
1	1.5	1	163.63
2	2.5	1	198.2
3	4	1	237.28
4	6	1	256.98
5	8	1	286.05
6	10	1	303.76
7	12	1	285.96
8	15	1	276.21
9	20	1	389.41
10	25	1	538.43
11	30	1	621.02
12	30	20	463.49
13	40	20	519.51
14	50	20	585.41
15	60	20	622.67
16	75	20	681.12
17	75	50	1035
18	100	50	999.1
19	125	50	649.43
20	150	50	594.31
21	150	100	750.84
22	175	100	793.64
23	200	100	739.76
24	250	100	748.38
25	300	100	777.92

Anexo K. Sondeo 5

Sondeos Eléctricos Verticales			
Estudiantes : Larry Wilches - Andrés Corzo			
SEV: 1		Zona: La esperanza	Fecha: noviembre 18 de 2014
Orientación: W-S	Instrumento: ABEM TERRAMETER		Arreglo: Schlumberger
	Punto A	Punto B	Centro
Coordenadas X	1110839	1111823	1111324
Coordenadas Y	1254845	1254982	1254914
Altura msnm	1597	1649	1646
N°	AB/2	MN	pa
			ohm.m
1	1.5	1	269.82
2	2.5	1	372.08
3	4	1	561.07
4	6	1	783.05
5	8	1	942.26
6	10	1	984.6
7	12	1	979.77
8	15	1	997.28
9	20	1	1004.7
10	25	1	987.9
11	30	1	973.97
12	30	20	971.76
13	40	20	933.8
14	50	20	894.56
15	60	20	987.86
16	75	20	941.29
17	75	50	1014.6
18	100	50	900.41
19	125	50	831.38
20	150	50	796.87
21	150	100	834.84
22	175	100	726.49
23	200	100	542.55
24	250	100	466.38
25	300	100	454.9
26	300	150	533.84
27	400	150	391
28	700	200	998.4

Anexo L. Sondeo 6

Sondeos Eléctricos Verticales			
Estudiantes : Larry Wilches - Andrés Corzo			
SEV: 1		Zona: La esperanza	Fecha: noviembre 18 de 2014
Orientación: W-S	Instrumento: ABEM TERRAMETER		Arreglo: Schlumberger
	Punto A	Punto B	Centro
Coordenadas X	1110884	1110824	1110854
Coordenadas Y	1254849	1254850	11254851
Altura msnm	1607	1613	1600
N°	AB/2	MN	pa
			ohm.m
1	1.5	1	858.3
2	2.5	1	822.1
3	4	1	1092
4	6	1	1123.9
5	8	1	1238.9
6	10	1	1376.5
7	12	1	1517.4
8	15	1	1929.8
9	20	1	2492.2
10	25	1	1838.3
11	30	1	2987.1

Anexo M. Sondeo 7

Sondeos Eléctricos Verticales			
Estudiantes : Larry Wilches - Andrés Corzo			
SEV: 1		Zona: La esperanza	Fecha: noviembre 18 de 2014
Orientación: W-S	Instrumento: ABEM TERRAMETER		Arreglo: Schlumberger
	Punto A	Punto B	Centro
Coordenadas X	1110225	1110346	1110303
Coordenadas Y	1254606	1254814	1254706
Altura msnm	1611	1634	1623
N°	AB/2	MN	pa
			ohm.m
1	1.5	1	2511.9
2	2.5	1	3678.5
3	4	1	4364.5
4	6	1	4647.9
5	8	1	3928.8
6	10	1	3552.5
7	12	1	3137.6
8	15	1	3212.9
9	20	1	3135
10	25	1	3125.7
11	30	1	3034.8
12	30	20	2661.5
13	40	20	2424.5
14	50	20	1961.2
15	60	20	1653.9
16	75	20	1409.7
17	75	50	1436.6
18	100	50	1387.5
19	125	50	1656

Anexo N. Sondeo 8

Sondeos Eléctricos Verticales			
Estudiantes : Larry Wilches - Andrés Corzo			
SEV: 1		Zona: La esperanza	Fecha: noviembre 18 de 2014
Orientación: W-S	Instrumento: ABEM TERRAMETER		Arreglo: Schlumberger
	Punto A	Punto B	Centro
Coordenadas X	1110601	1110413	1110508
Coordenadas Y	1254628	1254451	1254539
Altura msnm	1628	1600	1619
N°	AB/2	MN	pa
			ohm.m
1	1.5	1	1866.8
2	2.5	1	2310.4
3	4	1	2471.3
4	6	1	2475.9
5	8	1	2379.7
6	10	1	2033.2
7	12	1	1916.1
8	15	1	1725.5
9	20	1	1764.9
10	25	1	1782.3
11	30	1	1810.2
12	30	20	1761.5
13	40	20	1915.7
14	50	20	2098.3
15	60	20	2187.7
16	75	20	2105.4
17	75	50	2008.5
18	100	50	1964
19	125	50	1757.4

Anexo O. Sondeo 9

Sondeos Eléctricos Verticales			
Estudiantes : Larry Wilches - Andrés Corzo			
SEV: 1		Zona: La esperanza	Fecha: noviembre 18 de 2014
Orientación: W-S	Instrumento: ABEM TERRAMETER		Arreglo: Schlumberger
	Punto A	Punto B	Centro
Coordenadas X	1110312	1110486	1110399
Coordenadas Y	1255159	1255213	1255211
Altura msnm	1622	1600	1634
N°	AB/2	MN	ρa
			ohm.m
1	1.5	1	4429.9
2	2.5	1	4470.3
3	4	1	4410.5
4	6	1	4370.5
5	8	1	4306.1
6	10	1	3780
7	12	1	4009.2
8	15	1	4227
9	20	1	4837.4
10	25	1	5078.9
11	30	1	5566.1
12	30	20	4427.5
13	40	20	4412.4
14	50	20	4598.5
15	60	20	4501.6
16	75	20	3219.4
17	75	50	3226.2
18	100	50	2280.4

Anexo P. Sondeo 10

Sondeos Eléctricos Verticales			
Estudiantes : Larry Wilches - Andrés Corzo			
SEV: 1		Zona: La esperanza	Fecha: noviembre 18 de 2014
Orientación: W-S	Instrumento: ABEM TERRAMETER		Arreglo: Schlumberger
	Punto A	Punto B	Centro
Coordenadas X	1,110,583	1,110,868	1,110,644
Coordenadas Y	1,254,426	1,254,853	1,254,710
Altura msnm	1615	1633	1639
N°	AB/2	MN	pa
			ohm.m
1	1.5	1	1849
2	2.5	1	1436
3	4	1	1112
4	6	1	1174
5	8	1	1119
6	10	1	1712
7	12	1	1119
8	15	1	1388
9	20	1	1508
10	25	1	1020
11	30	1	516
12	30	20	2162
13	40	20	2151
14	50	20	2258
15	60	20	2450
16	75	20	2219
17	75	50	2178
18	100	50	1816
19	125	50	1602
20	150	50	1315
21	150	100	1581
22	175	100	1121
23	200	100	839
24	225	100	622
25	250	100	546
26	275	100	441
27	300	100	371

Anexo Q. Sondeo 11

Sondeos Eléctricos Verticales			
Estudiantes : Larry Wilches - Andrés Corzo			
SEV: 1		Zona: La esperanza	Fecha: noviembre 18 de 2014
Orientación: W-S	Instrumento: ABEM TERRAMETER		Arreglo: Schlumberger
	Punto A	Punto B	Centro
Coordenadas X	1,110,475	1,111,029	1,110,759
Coordenadas Y	1,254,832	1,254,887	1,254,863
Altura msnm	1638	1632	1638
N°	AB/2	MN	pa
			ohm.m
1	1.5	1	835
2	2.5	1	1323
3	4	1	1702
4	6	1	1624
5	8	1	1649
6	10	1	1601
7	12	1	1553
8	15	1	1506
9	20	1	1342
10	25	1	1272
11	30	1	1315
12	30	20	1628
13	40	20	1575
14	50	20	1722
15	60	20	2474
16	75	20	1457
17	75	50	1542
18	100	50	1198
19	125	50	870
20	150	50	772
21	150	100	760
22	175	100	693
23	200	100	620
24	225	100	568
25	250	100	450
26	275	100	512
27	300	100	631

Anexo R. Sondeo 12

Sondeos Eléctricos Verticales			
Estudiantes : Larry Wilches - Andrés Corzo			
SEV: 1		Zona: La esperanza	Fecha: noviembre 18 de 2014
Orientación: W-S	Instrumento: ABEM TERRAMETER		Arreglo: Schlumberger
	Punto A	Punto B	Centro
Coordenadas X	1,116,033	1,115,758	1,115,892
Coordenadas Y	1,255,698	1,255,551	1,255,626
Altura msnm	1693	1690	1693
N°	AB/2	MN	pa
			ohm.m
1	1.5	1	386
2	2.5	1	558
3	4	1	645
4	6	1	752
5	8	1	845
6	10	1	810
7	12	1	793
8	15	1	746
9	20	1	539
10	25	1	428
11	30	1	399
12	30	20	530
13	40	20	698
14	50	20	525
15	60	20	619
16	75	20	926
17	75	50	726
18	100	50	713
19	125	50	626
20	150	50	539
21	150	100	330

Anexo S. Tabla de Conductancias Longitudinales.

SONDEOS	ESTRATOS	ESTE	NORTE	CONDUCTANCIA L.
1	1	1116344	1254628	0,00067446
1	2	1116344	1254628	0,000117789
1	3	1116344	1254628	0,01077821
1	4	1116344	1254628	0,002495155
2	1	1110246	1254780	0,004165854
2	2	1110246	1254780	0,007626016
2	3	1110246	1254780	0,000754293
4	1	1112049	1253962	0,007537688
4	2	1112049	1253962	0,047959184
4	3	1112049	1253962	0,003240741
4	4	1112049	1253962	0,766816143
5	1	1111324	1254914	0,005642045
5	2	1111324	1254914	0,00010412
5	3	1111324	1254914	0,090956341
5	4	1111324	1254914	1,004920049
7	1	1110303	1254706	0,000474684
7	2	1110303	1254706	5,32736E-05
7	3	1110303	1254706	0,003405995
7	4	1110303	1254706	0,00088081
7	5	1110303	1254706	0,073786408
8	1	1110508	1254539	0,000658472
8	2	1110508	1254539	0,00112069
8	3	1110508	1254539	0,006797829
8	4	1110508	1254539	0,022217899
9	1	1110399	1255211	0,001358059
9	2	1110399	1255211	0,002747133
9	3	1110399	1255211	0,000667723
10	1	1110644	1254710	0,000102368
10	2	1110644	1254710	0,000587977
10	3	1110644	1254710	0,000134537
10	4	1110644	1254710	0,011015801
10	5	1110644	1254710	0,003975398
11	1	1110759	1254863	0,000664011
11	2	1110759	1254863	0,001651345
11	3	1110759	1254863	0,007990798
11	4	1110759	1254863	0,003309291

Anexo T. Tabla de Resistividades Transversales.

SONDEOS	ESTRATOS	ESTE	NORTE	RESISTIVIDAD T.
1	1	1116344	1254628	834
1	2	1116344	1254628	26297,92
1	3	1116344	1254628	2847,56
1	4	1116344	1254628	170073,6
2	1	1110246	1254780	175,07
2	2	1110246	1254780	11537,4
2	3	1110246	1254780	468571,2
4	1	1112049	1253962	74,625
4	2	1112049	1253962	1842,4
4	3	1112049	1253962	43696,8
4	4	1112049	1253962	1525,32
5	1	1111324	1254914	174,768
5	2	1111324	1254914	5230,944
5	3	1111324	1254914	84175
5	4	1111324	1254914	6642,21
7	1	1110303	1254706	1185
7	2	1110303	1254706	18286,149
7	3	1110303	1254706	1835
7	4	1110303	1254706	56428,2
7	5	1110303	1254706	12524,8
8	1	1110508	1254539	854,25
8	2	1110508	1254539	10993,32
8	3	1110508	1254539	3692,37
8	4	1110508	1254539	146747
9	1	1110399	1255211	17463,82
9	2	1110399	1255211	9209,93
9	3	1110399	1255211	208529,6
10	1	1110644	1254710	12919,1
10	2	1110644	1254710	3053,86
10	3	1110644	1254710	74222,08
10	4	1110644	1254710	2161,84
10	5	1110644	1254710	176649
11	1	1110759	1254863	376,5
11	2	1110759	1254863	14244,45
11	3	1110759	1254863	3396,92
11	4	1110759	1254863	73538,4