



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
COLEGIO DE GEOFÍSICA**

“APLICACIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES PARA LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES DE BARITA”

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA GEOFÍSICA**

PRESENTA:

JUAN GERARDO PEÑA DOMÍNGUEZ

ASESOR:

M.C. JOSÉ CASTILLO ROMÁN



PUEBLA, PUÉ.

AGOSTO 2015

APLICACIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES PARA LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES DE BARITA

POR:

JUAN GERARDO PEÑA DOMÍNGUEZ

RESUMEN

En este trabajo se muestran los pasos de procesamiento e interpretación de perfiles de resistividad aparente de dos prospectos, las cuales por confidencialidad de datos nos limitaremos a nombrar prospecto "A" y prospecto "B". Como método de adquisición se realizaron 7 sondeos eléctricos verticales con un arreglo electródico Schlumberger en el prospecto A y 10 sondeos eléctricos verticales con el mismo arreglo electródico en el prospecto B para poder determinar los cambios verticales en los puntos de estudio con el fin de poder identificar las anomalías de resistividad y poderlas asociar con el mineral barita (BaSO_4).

Para la parte de procesamiento se utilizó el software IPI2WIN para obtener las resistividades verdaderas y los espesores de los estratos y se crearon los perfiles eléctricos para conocer la continuidad lateral de las anomalías y obtener las unidades geoelectricas y unidades litológicas; el programa Surfer para la creación de mapas de isoresistividad verdadera en determinados intervalos de profundidad para conocer la distribución de las resistividades y el software Voxler con el fin de obtener una perspectiva 3D de los SEVs y así determinar la distribución de las anomalías de valores asociados a los altos resistivos y estimar este volumen.

Como resultados se obtuvieron valores de resistividades verdaderas con sus profundidades y se logró establecer las unidades geológicas correspondientes, además de hacer la correlación correspondiente de la anomalía que asociamos a la barita y así determinar la extensión y volumen de esta.

El producto final muestra que la anomalía puede asociarse a una mineralización que se encuentra en rocas fracturadas debido a alteraciones hidrotermales, y/o de la presencia de una falla para el prospecto "A"; y para la anomalía resultante, debemos restar un porcentaje ya que por los estudios de campo se sabe que de todo el volumen correspondiente de anomalía, solo entre el 30% y 60% corresponde a presencia de barita para el prospecto "A" y entre 40% y 70% para el prospecto "B".

AGRADECIMIENTOS

Estoy orgulloso de estar donde estoy, de haber logrado lo que he hecho, de pensar lo que pienso y de poder hacer lo que siento como correcto. Es por ello que debo agradecer a muchas personas, instituciones, etc., por haber estado en el lugar y momento indicado para enseñarme, orientarme, ayudarme y escucharme. Sin algún orden de relevancia, a continuación dedico y agradezco a todos aquellos que estuvieron, sonrieron, lloraron, se estresaron y vivieron este nuevo logro en mi vida profesional.

Agradezco a mi madre y abuelos (QEPD), por la confianza que depositaron en mi y que gracias a ellos he llegado a donde estoy.

A toda mi familia, tíos, primos por estar conmigo en distintos momentos de mi vida y por el apoyo que siempre he recibido de ellos.

A mi asesor de tesis José Castillo Román por brindarme las facilidades y apoyo en la elaboración de esta tesis.

A los profesores José Serrano Ortiz, José Onésimo Filadelfo Aguilar Andrade y Manuel Uribe Arriaga que me apoyaron con ideas y comentarios para realizar esta tesis.

A todos los profesores del Colegio de Geofísica, que siempre estuvieron en cada parte de mi desarrollo como estudiante.

A mis compañeros Ing. Antonio Pacheco Ríos y Juan Jesús Torres quienes me apoyaron en la enseñanza para el uso de software aplicado en esta tesis.

A Stephany, Ricardo, amigos incondicionales con los cuales compartí muchos momentos durante toda mi carrera y que siempre han sido grandes personas.

Mis compañeros 2009's, que cada uno de ellos a lo largo de todos estos años me brindaron su amistad y compañerismo.

Gracias a todas las personas que aunque no pueda nombrar, las tengo en mi corazón y dejaron en mi una linda huella durante los 5 años de universidad.

¡Orgullosamente BUAP!

DEDICATORIA

A las personas que estuvieron gran parte de mi vida y siempre tuve su apoyo incondicional... abuelos queridos, que desde allá arriba me siguen acompañando en mis logros y éxitos.

A la persona que me ha acompañado a lo largo de mi vida, mi madre.

Mirelly, gracias por estar conmigo...

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIA	4
ÍNDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE GRAFICAS	10
CAPÍTULO I.....	11
INTRODUCCIÓN	11
1.1. OBJETIVOS	13
GENERAL:	13
ESPECÍFICOS:	13
CAPÍTULO II	14
MARCO TEÓRICO	14
2.1. MÉTODOS ELÉCTRICOS.....	14
2.2. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE ELECTRICIDAD	16
2.3. RESISTIVIDAD DE LOS MINERALES Y ROCAS	17
2.4. SEV – SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES	20
2.4.1. DISPOSITIVOS GEOELÉCTRICOS	22
CAPÍTULO III.....	25
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA BARITA (BARITINA)	25
3.1. USO Y PRODUCCIÓN	30
3.1.1. PRODUCCIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL	32
CAPITULO IV.....	36
ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS.....	36
4.1. ANTECEDENTES.....	36
4.2. RESERVAS DE MENA Y RECURSOS MINERALES.....	36
4.3. CLASIFICACIÓN DE RECURSOS	38
4.4. CLASIFICACIÓN DE RESERVAS	39
4.5. CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE RECURSOS	40
4.5.2. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN ESPACIAL.....	41
4.5.2.1. MÉTODO DEL INVERSO DE LA DISTANCIA	41
4.5.3. MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS	41
CAPÍTULO V.....	43
EVALUACIÓN GEOELÉCTRICA DE RESERVAS MINERAS	43
5.1. PROSPECTO A.....	43

5.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLOGÍA DEL ÁREA	43
5.2. PROSPECTO B	47
5.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLOGÍA DEL ÁREA	47
5.3. EQUIPO Y SOFTWARE	51
5.3.1. INSTRUMENTACIÓN.....	51
5.3.2. SOFTWARE	52
5.3.2.1. IPI2WIN	52
5.3.2.2. VOXLER.....	53
5.4. MARCO METODOLÓGICO.....	55
5.4.1. ADQUISICIÓN DE DATOS.....	56
5.4.1.1. PROSPECTO A.....	56
5.4.1.2. PROSPECTO B.....	57
5.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS	59
5.5.1. PROCESAMIENTO DE LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD	59
5.5.2. ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD	60
5.6. RESULTADOS	62
5.6.1. PROSPECTO A.....	62
5.6.1.1. RESULTADOS ELÉCTRICOS	62
5.6.1.2. INTERPRETACIÓN CUALITATIVA DE LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD	63
5.6.1.3. MAPAS ISORESISTIVOS	63
5.6.1.4. PERFILES GEOELÉCTRICOS	65
5.6.1.5. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GEOELÉCTRICOS	66
5.6.1.6. MODELO VOLUMÉTRICO.....	69
5.6.1.7. CALCULO DE RECURSOS	75
5.6.2. PROSPECTO B.....	77
5.6.2.1. RESULTADOS ELÉCTRICOS	77
5.6.2.2. INTERPRETACIÓN CUALITATIVA DE LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD	78
5.6.2.3. MAPAS ISORESISTIVOS	78
5.6.2.4. PERFILES GEOELÉCTRICOS	80
5.6.2.5. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GEOELÉCTRICOS	83
5.6.2.6. MODELO VOLUMÉTRICO.....	87
5.6.2.7. CALCULO DE RECURSOS	94
CAPITULO VI.....	96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
6.1. CONCLUSIONES.....	96
PROSPECTO A.....	96
PROSPECTO B.....	97
6.2. RECOMENDACIONES.....	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	101
ANEXO 1	102
ANEXO 2	108
ANEXO 3.....	114
ANEXO 4.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Aplicaciones de los métodos geoelectricas. (Tomado de IRIS Instruments, 2006)	15
Figura 2.2. A) Bloque homogéneo a través del cual circula una corriente de intensidad I . La resistencia del material R produce una diferencia de potencial V entre las caras del prisma. B) Circuito eléctrico equivalente donde R es una resistencia. (Auge, 2008)	16
Figura 2.3. Muestra esquemática de un arreglo electrodico.	20
Figura 2.4. Curva bilogarítmica de resistividad. (Benson, 1994)	21
Figura 2.5. Dispositivo Wenner.	23
Figura 2.6. Dispositivo Schlumberger.	24
Figura 2.7. Dispositivo Dipolo-Dipolo.	24
Figura 3.1. Cristales de barita. (http://www.uned.es/cristamine/fichas/baritina/baritina.htm)	26
Figura 3.2. Forma tabular de la barita. (http://www.mindat.org/min-549.html)	26
Figura 3.3. Rosa de barita. (http://www.mineraliaspecimens.com/spanish/especimenes-minerales/baritas-de-Mexico.html)	27
Figura 3.4. Principales zonas productoras de barita. (Dirección General de Desarrollo Minero)	34
Figura 4.1. Terminología y relación entre la información de exploración, Recursos Minerales y Reservas de Mena. (Australasian code for reporting of identified mineral resources and ore reserves, "The JORC Code 2004")	37
Figura 5.1.1. Ubicación regional de la zona de estudio y localización del estudio (punto rojo). (Tomado de Google Earth)	44
Figura 5.1.2. Columna estratigráfica del área de estudio. (Tomado de SGM)	46
Figura 5.1.3. Falla Papalutla. (Tomado de SGM)	47
Figura 5.1.4. Ubicación regional de la zona de estudio y localización del estudio (punto rojo). (Tomado de Google Earth)	48
Figura 5.2.1. Columna estratigráfica del área de estudio. (Tomado de SGM)	49
Figura 5.2.2. Anticlinal Tanchitla. (Tomado de SGM)	50
Figura 5.3.1. Equipo resistivímetro SARIS.	52
Figura 5.3.2.1. Interfaz del software IPI2Win. (http://www.geol.msu.ru/deps/geophys/ipi2win.htm)	53
Figura 5.3.2.2. Interfaz de usuario Voxler.	54
Figura 5.4.1. Distribución espacial de los SEVs en la zona de estudio (línea amarilla = curvas de nivel cada 5m)	57
Figura 5.4.2. Distribución espacial de los SEVs en la zona de estudio (línea amarilla = curvas de nivel cada 2m)	58
Figura 5.5.2.1. Curvas de campo (Prospecto A).	60
Figura 5.5.2.2. Curvas de campo (Prospecto B).	60

Figura 5.6.1.1. Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 1 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).	62
Figura 5.6.1.2. Representación de la distribución de las resistividades verdaderas (Ωm) a distintos niveles de profundidad.	62
Figura 5.6.1.3. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 6, 1, 2 y 3.	65
Figura 5.6.1.4. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 7, 4 y 3.	66
Figura 5.6.1.5. Perfil estratigrafico correspondiente a los sondeos 6, 1, 2 y 3.	67
Figura 5.6.1.6. Perfil estratigrafico correspondiente a los sondeos 7, 4 y 3.	67
Figura 5.6.1.7. Representación de los sondeos eléctricos verticales como datos de pozo que representan la distribución de los valores de resistividad a lo largo de la trayectoria del pozo.	69
Figura 5.6.1.8. Modelo volumétrico generado a partir de los SEVs que representa la distribución de las resistividades en la zona de estudio.	70
Figura 5.6.1.9. Secciones representativas de nuestro modelo que muestran la distribución interna de las resistividades de la zona de estudio.	70
Figura 5.6.1.10. Representación de los sondeos eléctricos verticales como datos de pozo que representan la distribución de los valores de resistividad para la anomalía superficial a lo largo de la trayectoria del pozo.	71
Figura 5.6.1.11. Modelo volumétrico generado a partir de los SEVs que representa la distribución de las resistividades de la anomalía superficial en la zona de estudio.	72
Figura 5.6.1.12. Secciones representativas de nuestro modelo que muestran la distribución interna de las resistividades para la anomalía superficial de la zona de estudio.	72
Figura 5.6.1.13. Representación de los sondeos eléctricos verticales como datos de pozo que representan la distribución de los valores de resistividad para la anomalía secundaria a lo largo de la trayectoria del pozo.	73
Figura 5.6.1.14. Modelo volumétrico generado a partir de los SEVs que representa la distribución de las resistividades de la anomalía secundaria en la zona de estudio.	73
Figura 5.6.1.15. Secciones representativas de nuestro modelo que muestran la distribución interna de las resistividades para la anomalía secundaria de la zona de estudio.	74
Figura 5.6.1.16. Representación de los cuerpos de las anomalías asociadas a la mineralización de barita de la zona de estudio.	74
Figura 5.6.1.17. Mapa que representa la distribución de los cuerpos correspondiente a la barita (línea negra = curvas de nivel cada 5 m).	75
Figura 5.6.2.1. Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 1 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).	77
Figura 5.6.2.2. Representación de la distribución de las resistividades verdaderas (Ωm) a distintos niveles de profundidad.	79
Figura 5.6.2.3. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 1, 2, 3 y 4.	80
Figura 5.6.2.4. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 5, 6 y 7.	81

Figura 5.6.2.5. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 5, 1,10 y 8.	81
Figura 5.6.2.6. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 6, 2 y 8.	82
Figura 5.6.2.7. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 7, 9 y 8.	82
Figura 5.6.2.8. Perfil estratigrafico correspondiente a los sondeos 1, 2, 3 y 4.	84
Figura 5.6.2.9. Perfil estratigrafico correspondiente a los sondeos 5, 6 y 7.	84
Figura 5.6.2.10. Perfil estratigrafico correspondiente a los sondeos 5, 1, 10 y 8.	85
Figura 5.6.2.11. Perfil estratigrafico correspondiente a los sondeos 6, 2 y 8.	85
Figura 5.6.2.12. Perfil estratigrafico correspondiente a los sondeos 7, 9 y 8.	86
Figura 5.6.2.13. Representación de los sondeos eléctricos verticales como datos de pozo que representan la distribución de los valores de resistividad a lo largo de la trayectoria del pozo.	88
Figura 5.6.2.14. Modelo volumétrico generado a partir de los SEVs que representa la distribución de las resistividades en la zona de estudio.	89
Figura 5.6.2.15. Sección representativa de nuestro modelo que muestra la distribución interna de las resistividades de la zona de estudio.	89
Figura 5.6.2.16. Representación de los sondeos eléctricos verticales creados a una misma altura como datos de pozo que representan la distribución de los valores de resistividad a lo largo de la trayectoria del pozo.	90
Figura 5.6.2.17. Modelo volumétrico generado a partir de los SEVs de una misma altura que representa la distribución de las resistividades en la zona de estudio.	91
Figura 5.6.2.18. Sección representativa de nuestro modelo que muestra la distribución interna de las resistividades de la zona de estudio a partir de sondeos creados a una misma altura.	91
Figura 5.6.2.19. Representación de los sondeos eléctricos verticales creados a una misma altura como datos de pozo que representan la distribución de los valores de resistividad que representan a la anomalía a lo largo de la trayectoria del pozo.	92
Figura 5.6.2.20. Modelo volumétrico generado a partir de los SEVs de una misma altura que representa la distribución de las resistividades asociadas a las anomalías de resistividad en la zona de estudio.	92
Figura 5.6.2.21. Sección representativa de nuestro modelo que muestra la distribución interna de las resistividades asociadas a las anomalías de la zona de estudio a partir de sondeos creados a una misma altura.	93
Figura 5.6.2.22. Representación de los cuerpos de las anomalías asociadas a la mineralización de barita de la zona de estudio.	93
Figura 5.6.2.23. Mapa que representa la distribución de los cuerpos correspondiente a la barita (línea negra = curvas de nivel cada 2 m).	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resistividades que caracterizan a los minerales, rocas y sedimentos. (Telford, 1990)	18
Tabla 2. Resistividades en Ohm*m de diferentes rocas, minerales y químicos. (ALH Geofísica)	19
Tabla 3. Resistividad de algunos materiales a temperatura ambiente (20° C). (Sears et al, 1999)	19
Tabla 4. Tabla de configuración de resistividades para los distintos tipos de cortes geoelectricos de tres capas.	22
Tabla 3.1. Constantes dieléctricas de algunos minerales (Telford, 1990).	29
Tabla 3.2. Usos de la barita y sus derivados.	31
Tabla 3.3. Producción mundial de barita por país. (Mineral Commodity Summaries, 2006-2012)	32
Tabla 3.4. Producción de barita por estado. (Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, SGM)	34
Tabla 5.4.1. Altura MSNM y distancia AB/2 utilizada para los SEVs en el prospecto A.	56
Tabla 5.4.2. Altura MSNM y distancia AB/2 utilizada para los SEVs en el prospecto B.	58
Tabla 5.6.1.1. Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 1.	63
Tabla 5.6.1.2. Interpretación cualitativa utilizando la clasificación tipo K, H, Q y A.	63
Tabla 5.6.1.3. Volumen y reservas probables del prospecto A.	76
Tabla 5.6.2.1. Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 1.	78
Tabla 5.6.2.2. Interpretación cualitativa utilizando la clasificación tipo K, H, Q y A.	78
Tabla 5.6.2.3. Volumen y reservas probables del prospecto B.	95

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 3.1. Producción de barita en México. (Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, SGM)	33
--	----

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos el hombre ha buscado distintas formas de extraer de la Tierra los recursos necesarios para su subsistencia y desarrollo. Los minerales han tenido un papel fundamental en el progreso de las civilizaciones ya que han sido, y seguirán siendo, materia prima para la elaboración de objetos de la vida cotidiana (instrumentos de caza y cultivo, elementos de creencias religiosas, piezas de construcción y edificación, etc.). Más recientemente se ha hecho el uso del petróleo y del gas como fuentes de energía, de minerales para la producción de concreto utilizado en las edificaciones, del silicio para la fabricación de semiconductores. Esto nos permite apreciar que al igual que en el pasado los minerales que aprovechamos de la Tierra configuran la realidad que nos rodea.

Los recursos minerales que se encuentran en la corteza los podemos clasificar en tres grupos: minerales no metálicos (como el talco, las sales, el flúor, el azufre, etc.), minerales combustibles (como el petróleo y el carbón) y minerales metálicos (como el hierro y el cobre). Todos estos tipos de minerales son explotados en todas partes del mundo siempre que los minerales se encuentren en concentraciones suficientemente altas como para que su extracción sea económicamente rentable. Sin embargo, antes de llevar a cabo la explotación del depósito mineral es necesario realizar estudios para determinar si se tiene interés económico.

La aplicación de diversas técnicas de prospección geofísica nos ayuda a obtener información detallada del subsuelo que son estudiadas mediante algún parámetro físico. La precisión de estos métodos nos permite caracterizar las condiciones del subsuelo, y en muchos casos sin perturbar el sitio o área de interés. Un ejemplo de esto son las técnicas geoelectricas que nos permiten calcular la resistividad de distintos materiales que se encuentran en el subsuelo. Su finalidad es la de detectar y localizar cuerpos y estructuras basándose en su contraste resistivo.

El método consiste en la inyección de una corriente continua en el terreno mediante un par de electrodos y con el uso de otro par de electrodos mediremos la diferencia de potencial. Dentro de las técnicas geoelectricas unas son más modernas y precisas que otras, pero los sondeos eléctricos verticales se siguen usando por su sencillez, rapidez y relativa economía del equipo necesario.

De esta manera, el siguiente trabajo se desarrolló para la caracterización geoelectrica de dos zonas, las cuales se consideran zonas de interés para la exploración y determinar la explotación de depósitos minerales de barita (BaSO_4), el cual es un mineral de gran importancia económica y de esa manera realizar su comercialización. Y es por ello que dicha técnica exploratoria cumple una parte fundamental para determinar la localización y volumen en el subsuelo del mineral económicamente rentable.

Se considera la ubicación, caracterización y delimitación de varias capas en el subsuelo a través de los sondeos eléctricos verticales mediante un procesamiento y posterior análisis de los resultados, selección de zonas de anomalías a través de la generación de secciones eléctricas y modelos volumétricos con el fin de representar de forma espacial la posible distribución de la anomalía asociada con el mineral barita.

No se reporta la ubicación específica de las zonas descritas en este trabajo, debido a la confidencialidad que ameritan estudios enfocados en áreas de interés económico.

1.1. OBJETIVOS

GENERAL:

1. Caracterización geoelectrica del subsuelo para localizar acumulaciones de minerales. Procesamiento en interpretación de datos de sondeos eléctricos verticales en dos áreas de interés económico.

ESPECÍFICOS:

1. Procesar e interpretar los datos adquiridos de campo para generar las curvas de cada SEV con sus respectivos valores de resistividad verdadera, espesor y profundidad de cada capa.
2. Determinar las unidades geoelectricas para cada sondeo eléctrico vertical.
3. Establecer criterios para definir asociaciones de las unidades geoelectricas con posibles litologías presentes.
4. Elaboración de mapas de isoresistividad verdadera y de perfiles geológicos que representen la geología de la zona de acuerdo a las unidades geoelectricas establecidas.
5. Generación de un modelo volumétrico para conocer distribución espacial de las resistividades de la zona de estudio.
6. Estimación del posible volumen del yacimiento mineral mediante la integración de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. MÉTODOS ELÉCTRICOS

Dentro de las técnicas de exploración geofísica tenemos aquellas que utilizan la energía potencial como recurso para estudiar el subsuelo. La utilización de estos métodos permite medir potenciales, corrientes y campos electromagnéticos que ocurren naturalmente o son inducidos artificialmente en la superficie de la Tierra. Para los métodos geoelectricos la importancia de este radica en la capacidad de distinguir o reconocer formaciones geológicas que se encuentran en profundidad mediante la utilización de parámetros eléctricos.

Los métodos eléctricos de prospección geofísica estudian por medio de mediciones efectuadas en la superficie del terreno, la distribución de alguna propiedad electromagnética en profundidad (Orellana, 1982).

Los métodos geoelectricos fueron desarrollados a principios del siglo XX, pero no fue hasta 1970 cuando tuvieron un gran auge debido a la disponibilidad de computadoras para el procesamiento y análisis de los datos tomados. Estas técnicas se usan ampliamente para la búsqueda de fuentes de agua subterránea, pero también se utilizan en estudios de ingeniería para localizar cavidades subterráneas, fallas y fisuras, pozos de minería, y entre otras aplicaciones como se ilustra en la figura 2.1.

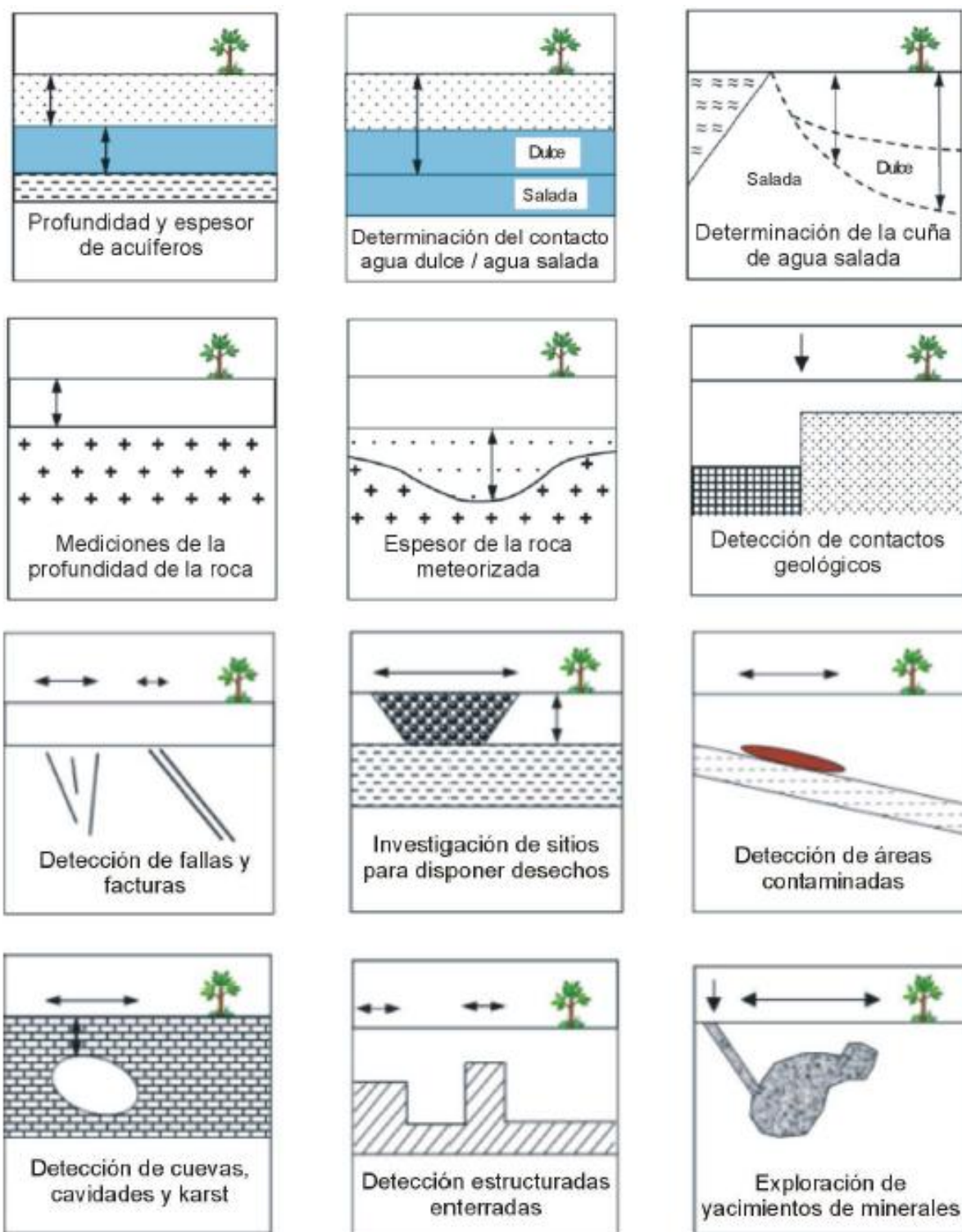


Figura 2.1. Aplicaciones de los métodos geoelectrías. (Tomado de IRIS Instruments, 2006)

2.2. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE ELECTRICIDAD

La resistividad eléctrica se puede definir a partir de las leyes físicas que describen el flujo de la corriente eléctrica a través de un material. Considérese un bloque de longitud L y sección A por el cual circula una corriente continua (intensidad, dirección y sentido constantes) de intensidad I . Mientras la corriente circule por el material, este ofrecerá una resistencia R a su paso, lo cual produce una diferencia de potencial ΔV entre las caras del bloque (figura 2.2).

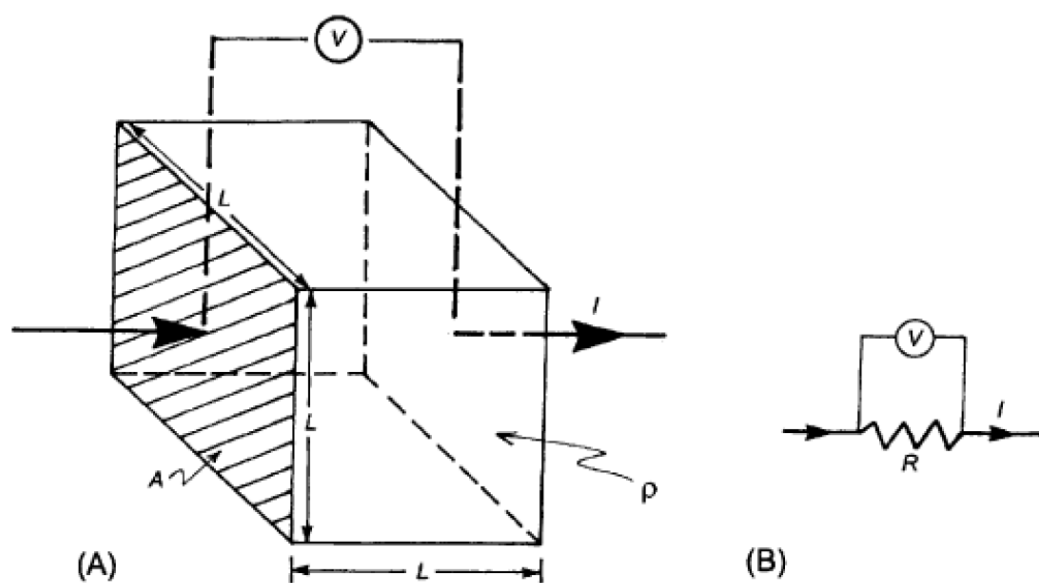


Figura 2.2. A) Bloque homogéneo a través del cual circula una corriente de intensidad I . La resistencia del material R produce una diferencia de potencial V entre las caras del prisma. B) Circuito eléctrico equivalente donde R es una resistencia. (Auge, 2008)

Para una gran variedad de materiales, la intensidad de la corriente suministrada, su resistencia y la caída de potencial que ésta produce satisfacen la Ley de Ohm, la cual está dada por:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.1)$$

Por otra parte, la resistencia del prisma no solo depende del tipo de material del que está formado, sino que es función de la geometría del conductor. Si dicho conductor se asemeja a un prisma de longitud L y sección A , se obtiene lo siguiente:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.2)$$

donde ρ es la resistividad del medio, y depende de cada material. La unidad de la resistividad en el Sistema Internacional (SI) es Ohm-metro (Ωm).

Si se igualan las ecuaciones (2.1) y (2.2), y se despeja la resistividad se tiene:

$$\rho = \frac{A \Delta V}{L I} \quad \rightarrow \quad \rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.3)$$

donde k es un factor geométrico que contiene la información correspondiente a los parámetros geométricos del sistema.

2.3. RESISTIVIDAD DE LOS MINERALES Y ROCAS

La resistividad en los materiales naturales varia, desde $10^{-8} \Omega\text{m}$ en los metales nativos, hasta los $10^{15} \Omega\text{m}$ en micas. Los valores de resistividad en una roca están determinados más que por su composición mineralógica, por la alteración, fracturamiento, grado de saturación, salinidad, porosidad y grado de compactación.

La resistividad de la mayoría de las rocas y sedimentos secos es elevada, por lo que actúan como semiconductores; este comportamiento cambia cuando presentan fisuras o poros ocupados por agua, lo que genera una disminución de la resistividad. Además del grado de saturación, también incide en la resistividad del medio el contenido salino del agua; a mayor salinidad menor resistividad y viceversa.

Son pocos los componentes geológicos subsaturados o secos que presentan baja resistividad. Entre ellos pueden mencionarse minerales metálicos como calcopirita, pirita, galena, magnetita, etc. El grafito también presenta baja resistividad, pero en la mayoría de los minerales no metálicos, al igual que las rocas, tienen resistividades significativamente mayores.

Es por ello que, al realizar un estudio con un método geofísico se requiere conocimiento de las propiedades físicas de los materiales que están siendo estudiados.

En las tablas 1, 2 y 3 se indican las resistividades que caracterizan a los minerales, a las rocas y a los sedimentos, y dentro de estos últimos también se aprecian diferencias notorias entre los de grano fino (margas, limos, arcillas), los de grano mediano (arenas) y grueso (gravas).

Mineral/Sedimento	Rango de Resistividad ($\Omega \cdot m$)
Cuarzo	$10^{10} - 10^{14}$
Calcita	10^{12}
Mica	$9 \times 10^2 - 10^{14}$
Biotita	$2 \times 10^2 - 10^6$
Galena	$3 \times 10^{-5} - 10^2$
Granito	4.5×10^3 (húmedo) - 1.3×10^6 (seco)
Pirita	$2.9 \times 10^{-5} - 1.5$
Agua subterránea	10 - 100
Agua Mineral Natural	0.5 - 150
Agua de Mar	0.2
Sulfato de Cobre	3×10^{-12}
Óxido de Hierro	0.1 - 300
Basalto	10 - 1.3×10^7 (seco)
Mármol	$10^2 - 2.5 \times 10^8$ (seco)
Arenisca	$1 - 6.4 \times 10^8$
Limos	50 - 10^7
Arcilla	1 - 100
Gravas	100 (húmedo) - 1400 (seco)
Conglomerado	$2 \times 10^3 - 10^4$

Tabla 1. Resistividades que caracterizan a los minerales, rocas y sedimentos. (Telford, 1990)

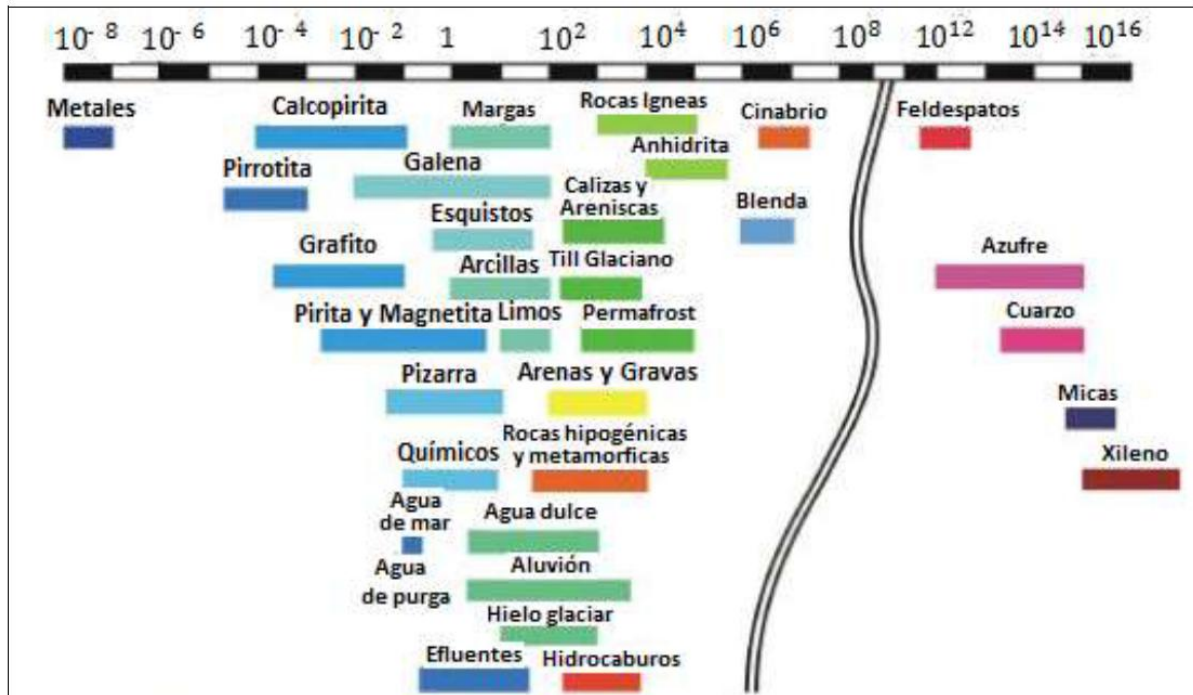


Tabla 2. Resistividades en Ohm*m de diferentes rocas, minerales y químicos. (ALH Geofísica)

Conductores			Semiconductores	grafito	3.5×10^{-5}
Metales	Plata	1.47×10^{-8}		Germanio	0.60
	Cobre	1.72×10^{-8}		Silicio (puro)	2300
	Oro	2.44×10^{-8}	Aislantes	Ámbar	5×10^{14}
	Aluminio	2.75×10^{-8}		Vidrio	$10^{10} - 10^{14}$
	Tungteno	5.25×10^{-8}		Lucita	$> 10^{13}$
	Acero	20×10^{-8}		Mica	$10^{11} - 10^{15}$
	Plomo	22×10^{-8}		Cuarzo (fundido)	75×10^{16}
	Mercurio	95×10^{-8}		Azufre	10^{15}
Aleaciones	Manganina	44×10^{-8}		Teflón	$> 10^{13}$
	Constantán	49×10^{-8}		Madera	$10^8 - 10^{11}$
	Nikelcromio	100×10^{-8}			

Tabla 3. Resistividad de algunos materiales a temperatura ambiente (20° C). (Sears et al, 1999)

2.4. SEV – SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

El sondeo eléctrico vertical genera la información necesaria para la determinación de los cambios verticales de las propiedades geoeléctricas del subsuelo. La interpretación de la información obtenida de los sondeos permite determinar la profundidad y espesores de los diferentes estratos de diferentes resistividades, y con el aumento entre las distancias interelectródicas tendremos un aumento en la penetración del sondeo.

En las configuraciones de adquisición, dos electrodos son usados para la inyección de corriente en el suelo, y dos electrodos para medir la diferencia de potencial (Figura 2.3).

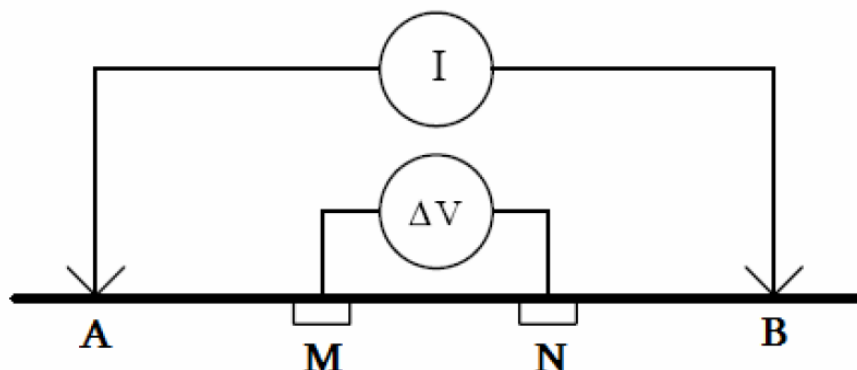


Figura 2.3. Muestra esquemática de un arreglo electródico.

La correlación entre la corriente inyectada, la diferencia de potencial medida y un coeficiente geométrico relativo a la disposición de los 4 electrodos determina el valor de la resistividad aparente del sitio. Este valor de resistividad aparente corresponde a una cierta profundidad, función de la separación de los electrodos (y configuración usada) y la secuencia geológica investigada. Con la información generada, una vez calculada la resistividad aparente, esta se grafica bilogarítmicamente en función de la distancia interelectródica media ($AB/2$), obteniéndose una curva como se muestra en la figura 2.4.

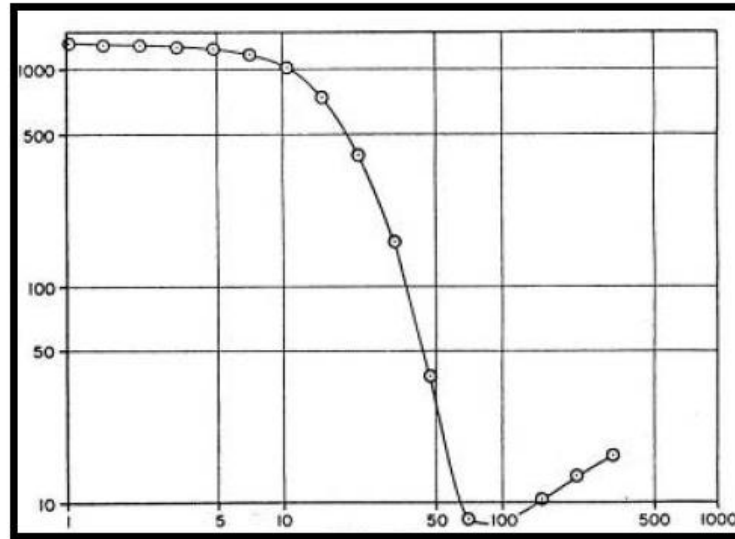


Figura 2.4. Curva bilogarítmica de resistividad. (Benson, 1994)

La finalidad del SEV es averiguar la distribución vertical de las resistividades bajo el punto sondeado. La mayor eficacia del método corresponde al caso en el que los SEV se efectúan sobre un terreno compuesto por capas lateralmente homogéneas en lo que respecta a la resistividad, y limitadas por planos paralelos a la superficie del terreno.

La especificación de espesores y resistividades de cada medio estratificado del medio descrito, recibe el nombre de corte geoelectrico. Un corte geoelectrico compuesto por n capas, requiere para su especificación el conocimiento de n resistividades y $n-1$ espesores ó $n-1$ profundidades (debido a que en la última capa se toma como un espesor infinito). Los cortes geoelectricos pueden clasificarse de acuerdo al número de capas que lo componen. Los cortes de dos capas, en los cuales solo existen dos tipos de resistividades ($p_1 > p_2$ y $p_1 < p_2$) no llevan símbolos especiales. Para los cortes geoelectricos de tres capas los podemos representar mediante las siglas H, K, Q y A y su configuración de resistividades se muestra en la Tabla 4.

Tipo de corte	Configuración de resistividades
H	$\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$
K	$\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$
Q	$\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$
A	$\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$

Tabla 4. Tabla de configuración de resistividades para los distintos tipos de cortes geoelectricos de tres capas.

Para cortes de cuatro capas se designan combinaciones de los símbolos anteriores; para ello primeramente se consideran las tres primeras capas y se le asigna la letra correspondiente de la tabla anterior, luego se hace lo propio con las tres últimas capas. Los cortes de cinco o más capas se simbolizan siguiendo el mismo método; se consideran en primer lugar las tres primeras capas y se le asigna la letra correspondiente, luego se hace lo mismo con las capas segunda, tercera y cuarta, después con la tercera, cuarta y quinta, etc.

2.4.1. DISPOSITIVOS GEOELÉCTRICOS

Podemos definir como dispositivos geoelectricos al conjunto de electrodos que inyectan corriente en el subsuelo y registran la diferencia de potencial generado en el mismo. Generalmente los dispositivos suelen tener cuatro electrodos, pero hay casos en los que se suelen usar dispositivos de tres electrodos ó solo de dos. Un par de estos electrodos se conocen como electrodos de “corriente” debido a que estos son los encargados de inyectar la corriente al subsuelo, y otros dos electrodos son llamados de “potencial” los cuales registran el voltaje generado en el suelo por la corriente inyectada.

Para cualquier dispositivo, si conocemos las distancias entre los electrodos y medimos la intensidad I que pasa por los electrodos A y B y la diferencia de potencial

ΔV que aparece entre M y N, podemos calcular la resistividad aparente ρ_a , mediante una ecuación del tipo:

$$\rho_a = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (2.4)$$

donde ρ_a = resistividad aparente (si el medio fuera homogéneo ρ_a sería igual a la resistividad verdadera)

En este caso el coeficiente del dispositivo es:

$$K = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (2.5)$$

Los diferentes dispositivos empleados en el método geoelectrica se diferencian entre sí por la distancia relativa entre electrodos, y la posición de los electrodos de corriente respecto a los de potencial. A continuación se hace una breve descripción de cada dispositivo para un sondeo eléctrico vertical.

- **WENNER**

En este arreglo las distancias AM, MN y NB varían por un factor “n” que depende de cada medición que se va realizando, manteniéndose las distancias interelectródicas igualmente separadas en cada medida.

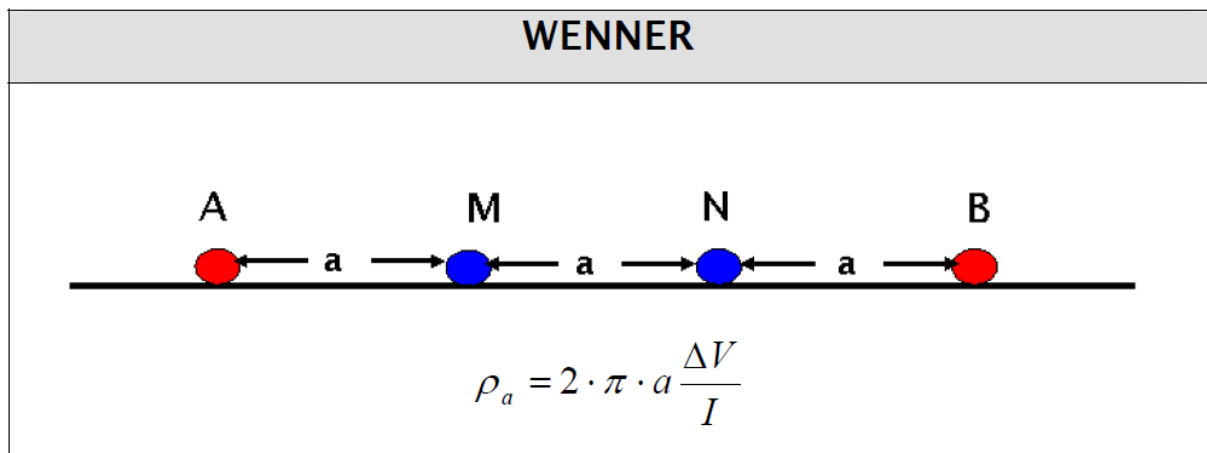


Figura 2.5. Dispositivo Wenner.

- **SCHLUMBERGER**

La distancia de los electrodos MN se mantiene constante, distanciando solo la distancia entre los electrodos AB. Sin embargo hay medidas que se denominan “de empalme” donde se busca hacer una recuperación de la medida de potencial para valores de AB mucho mayores a MN.

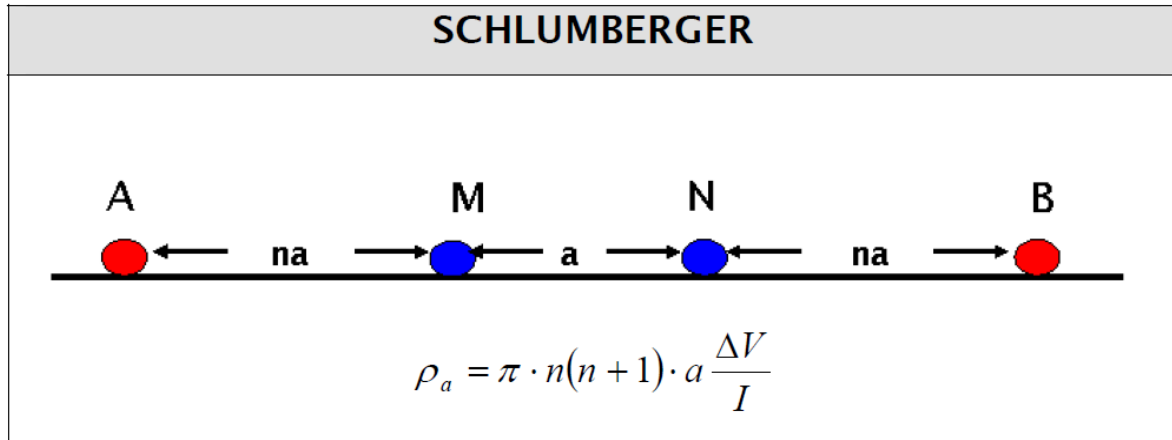


Figura 2.6. Dispositivo Schlumberger.

- **DIPOLO-DIPOLO**

Aquí se mantienen constantes las distancias entre AB y MN. Cada par de electrodos se mantiene separado una distancia “n” que va en aumento para cada medida.

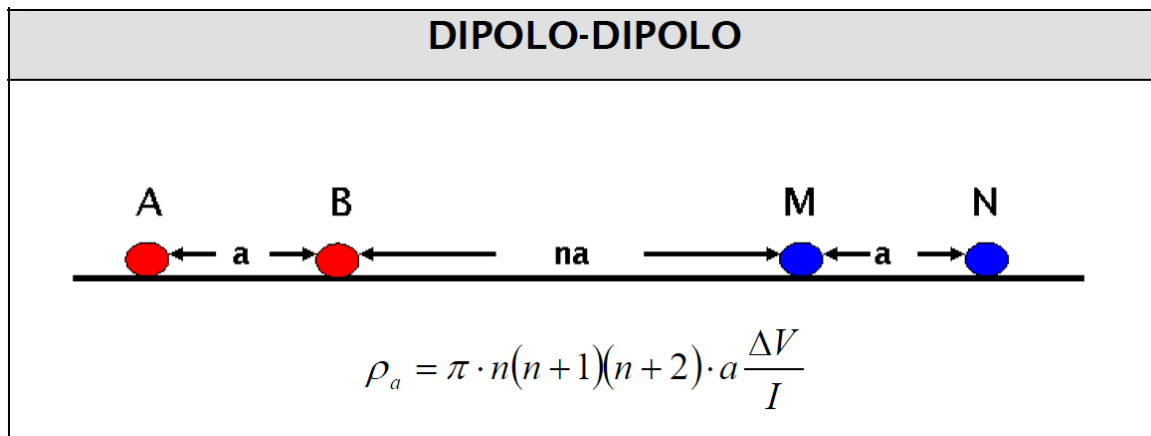


Figura 2.7. Dispositivo Dipolo-Dipolo.

CAPÍTULO III

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA BARITA (BARITINA)

A continuación se presentan las características generales de la barita:

- **Formula química:** BaSO_4
- **Química:** Contiene 65.7% de BaO y 34.3% de SO_3
- **Sistema cristalino:** Rómbico
- **Dureza:** 3 – 3.5 (Mohs)
- **Densidad:** 4.2 – 4.5 gr/cm^3
- **Etimología:** De la palabra griega *baros* que significa "pesado" en alusión a su gran peso específico
- **Familia:** Sulfatos
- **Estructura:** La estructura de la barita y la celestina (SrSO_4) es similar y consiste de un tetraedro de SO_4 el cual se enlaza lateralmente al Ba.
- **Color:** El color va de transparente al blanco, pasando por rosa pálido, azul, amarillo y rojo amarillento, dependiendo de las impurezas que contenga (Figura 3.1).

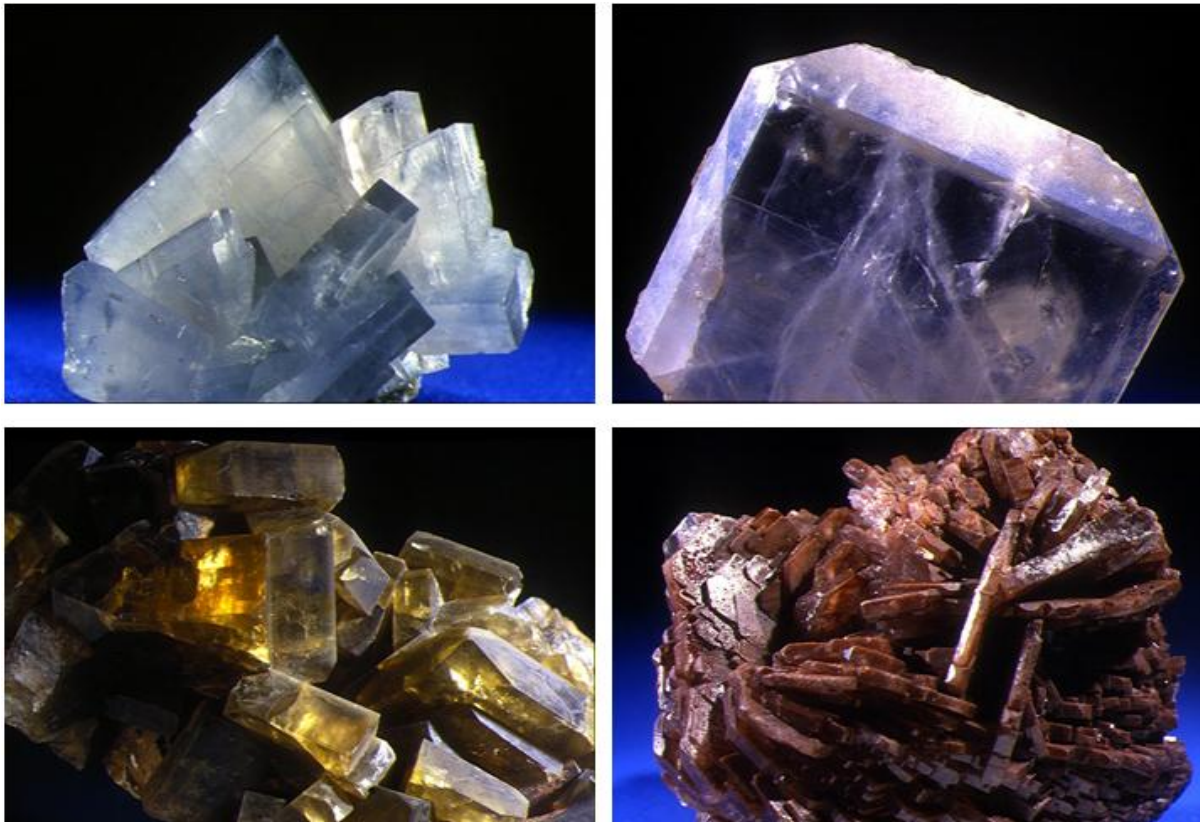


Figura 3.1. Cristales de barita. (<http://www.uned.es/cristamine/fichas/baritina/baritina.htm>)

- **Raya:** Blanca
- **Brillo:** Vítreo, Perlado
- **Forma:** Presenta en cristales rómbicos comúnmente tabulares, también en forma globular, fibrosa o laminar, penachuda; burdamente laminada. Si los tabulares son divergentes forman lo que se llama “rosas de barita (rosa del desierto)” (Figura 3.2 y 3.3).



Figura 3.2. Forma tabular de la barita. (<http://www.mindat.org/min-549.html>)



Figura 3.3. Rosa de barita. (<http://www.mineraliaspecimens.com/spanish/especimenes-minerales/baritas-de-Mexico.html>)

- **Exfoliación:** Perfecto
- **Fractura:** irregular
- **Tenacidad:** Quebradiza
- **Punto de fusión:** 1580°C
- **Conductividad térmica:** 6×10^{-3} cal/cm
- **Calor específico:** 0.11 cal/g°C
- **Coeficiente de expansión térmica:** 10×10^{-6}
- **Constante dieléctrica:** 7.3
- **Magnetismo:** Diamagnético
- **Fluorescencia a la luz UV:** Tono amarillo, ocasionalmente anaranjado o rosa. Puede fosforescer fuertemente en color blanco verdoso.
- **Características distintivas:** Se distingue muy bien de los carbonatos por no efervescer, ser insoluble en ácidos y por su alta densidad. Forma parte del grupo mineralógico conformado por la celestina, anglesita y anhidrita. La celestina tiene la misma estructura de cristales que la barita y sus formas y los dos minerales son indistinguibles por métodos ordinarios; pero una prueba a la flama puede distinguirlos: al exponer el polvo de los cristales al fuego, el color

de la llama confirmará la identidad del cristal, si ésta es verde pálido es barita, si es roja es celestina.

- **Ocurrencia:** En su formación tenemos que es un mineral de ganga en muchas menas metálicas, típico de filones hidrotermales. También se forma en nódulos de arcilla, en venas de estratos sedimentarios y alrededor de fuentes termales. Generalmente se encuentra asociado con la calcopirita, calcita, aragonito, sulfuro, pirita, cuarzo, vanadinita, cerusita y fluorita.

Dentro de las propiedades de la barita, la que resulta más importante para nuestro estudio es lo que se llama constante dieléctrica. La constante dieléctrica, también conocida bajo el nombre de permitividad relativa, hace referencia a una propiedad característica de un medio dieléctrico, es decir, que no posee conductividad eléctrica, por lo cual se tratan como aislantes de la electricidad, relacionándolo con la permitividad que tiene un medio a la electricidad.

El término de constante dieléctrica, procede de los materiales dieléctricos, los cuales son de tipo aislante como ya mencionamos, o en algunos casos, poco conductores.

Es una constante física que no tiene unidades, pero que describe como un campo eléctrico afecta un material. Este valor va desde la unidad hasta las miles de unidades (tabla 3.1). La constante dieléctrica se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Donde:

K = Constante dieléctrica

E = Permitividad eléctrica del material dieléctrico (f/m)

E₀ = Permitividad del vacío (f/m)

Rock, mineral	Dielectric const.
Galena	18
Sphalerite	7.9 – 69.7
Cassiterite	23
Hematite	25
Fluorite	6.2 – 6.8
Calcite	7.8 – 8.5
Apatite	7.4 – 11.7
Barite	7 – 12.2
Peridotite	8.6
Norite	61
Quartz porphyry	14 – 49.3
Diabase	10.5 – 34.5
Trap	18.9 – 39.8
Dacite	6.8 – 8.2
Obsidian	5.8 – 10.4
Sulphur	3.6 – 4.7
Rock salt	5.6
Anthracite	5.6 – 6.3
Gypsum	5 – 11.5
Biotite	4.7 – 9.3
Epidote	7.6 – 15.4
Plagioclase feldspar	5.4 – 7.1
Quartz	4.2 – 5
Granite (dry)	4.8 – 18.9
Gabbro	8.5 – 40
Diorite	6.0
Serpentine	6.6
Gneiss	8.5
Sandstone (dry to moist)	4.7 – 12
Packed sand (dry to moist)	2.9 – 105
Soil (dry to moist)	3.9 – 29.4
Basalt	12
Clays (dry to moist)	7 – 43
Petroleum	2.07 – 2.14
Water (20°C)	80.36
Ice	3 – 4.3

Tabla 3.1. Constantes dieléctricas de algunos minerales (Telford, 1990).

Al saber que la barita se comporta como un material dieléctrico (aislante), entonces esperamos que al efectuar nuestras mediciones de campo, podamos asociar anomalías de alta resistividad presentes en nuestro estudio con la presencia de este mineral.

3.1. USO Y PRODUCCIÓN

Se considera a la barita como el más común de los minerales que contienen bario y la principal mena del bario.

Puesto que la barita es muy insoluble, la unidad de partida para la fabricación de compuestos de bario es la reducción del mineral de sulfato a sulfuro de bario: BaS o ceniza negra que es soluble y que por adición de otros reactivos se convierte en una variedad de productos como lo son el litopón (mezcla de sulfato de bario y de sulfuro de zinc, que es un brillante pigmento blanco), el cloruro de bario (BaCl_2), el nitrato de bario $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, el carbonato de bario (BaCO_3), el óxido de bario (BaO), el dióxido de bario (BaO_2) e hidróxido hidratado de bario $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

Los diversos usos de la barita y el bario se describen en la tabla 3.2.

Industria petrolera	El sulfato de bario es un sólido que se adiciona a los fluidos de perforación para incrementar la densidad, con objeto de evitar que el gas, aceite o agua presentes en las formaciones permeables, invadan el barreno; previniendo además el derrumbe de las paredes mediante el control de presión hidrostática de las columnas de fluido que depende de la densidad de la barita adicionada y de la longitud de la columna hidrostática.
Farmacéutica	Producción de agua oxigenada.
Pinturas	Finamente molida blanqueada y tratada como relleno en pinturas para dar cuerpo al pigmento. Controla la viscosidad de la pintura para hacer productos de color brillante y da buena estabilidad.
Industria automotriz	Como producto friccionante en la fabricación de balatas para frenos. Para fabricar alambres de bujía en aleación con el níquel.
Industria medica	Recubrimiento en salas de rayos X. El oxido de bario se usa como recubrimiento para cátodos calientes y e tubos de rayos catódicos
Medicina	Para la reflexión de los intestinos y del estómago. Como relleno para yeso (ortopédico) y en algunos medicamentos para extender el tiempo límite (caducidad).
Industria del aceite	Lubricantes para taladro.
Cerámica	El carbonato de bario es utilizado como fundente y en la fabricación de azulejos.
Industria del vidrio	Es utilizado como fundente, ó producir distintos tipos de vidrio.
Pirotecnia	El nitrato de bario se emplea como componente en la fabricación de fuegos artificiales y bengalas.
Industria del papel	Se utiliza como relleno de la cartulina blanca y el papel de recubrimiento, mejora la blancura y el porcentaje de cobertura.
Construcción	Para la elaboración de concretos pesados.

Tabla 3.2. Usos de la barita y sus derivados.

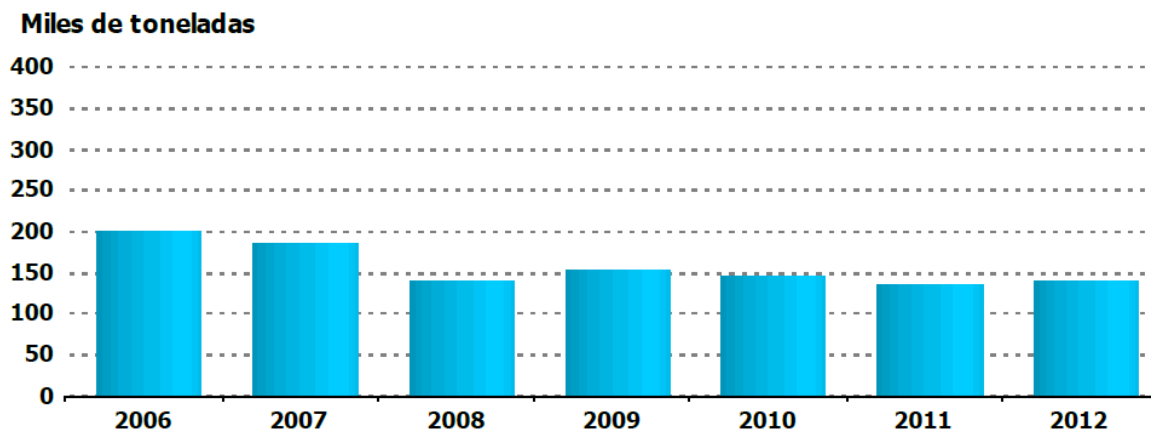
3.1.1. PRODUCCIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL

A nivel mundial los principales países productores de barita son China, India, Marruecos y Estados Unidos (Tabla 3.3). México ha tenido una producción considerable en comparación con varios países y dicha producción desde el 2006 ha estado por encima de las 125 mil millones de toneladas anuales (Gráfica 3.1).

Año	Miles de toneladas							
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013 _e
Estados Unidos	589	455	648	383	662	710	666	660
Argelia	53	63	60	60	60	40		
China	4,400	4,400	4,600	3,000	4,000	4,100	4,200	3,800
Alemania	90	88	77	75	50	70	55	55
India	950	1,000	1,100	1,200	1,100	1,350	1,700	1,500
Irán	290	240	240	200	200	350	330	330
Kazakstán	120	95	95	95	200	200	250	250
México	206	186	140	152	134	157	140	125
Marruecos	350	485	500	430	650	600	1,000	850
Pakistán		44	43	42	49	58	52	50
Perú						87	76	75
Rusia	63	63	63	63	60	62	63	65
Turquía	180	150	150	150	250	230	260	260
Reino Unido	50	55	50	50	50	50		
Vietnam	120	120	80	70	85	85	85	90
Bulgaria	80	51	40					
Otros países	420	135	160	160	300	220	250	300
Total (redondeado)	7,960	7,630	8,050	6,130	7,850	8,370	9,200	8,500

Tabla 3.3. Producción mundial de barita por país. (Mineral Commodity Summaries, 2006-2012)

PRODUCCIÓN DE BARITA EN MÉXICO 2006-2012



Grafica 3.1. Producción de barita en México. (Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, SGM)

La distribución de barita en México se localiza en tres provincias geológicas principales al norte del país. Actualmente, la región minera con mayor potencial productor de barita se encuentra en Nuevo León, en donde se explota en forma subterránea aportando el 81.6% de la producción nacional.

La segunda entidad productora es Coahuila que participa con el 18%. Existen evidencias de presencia de barita en otros Estados, entre éstos se encuentran Colima, Guerrero, Michoacán, Puebla, San Luis Potosí, Sonora y Sinaloa (Figura 3.4).



Figura 3.4. Principales zonas productoras de barita. (Dirección General de Desarrollo Minero)

Producción nacional de barita por estados (Toneladas)							
Estado	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Coahuila	27,612	29,977	26,265	30,675	22,161	28,023	25,148
Chihuahua	0	0	0	850	0	600	0
Jalisco	0	0	0	200	250	330	322
Nuevo León	171,993	155,944	113,801	117,850	119,964	105,774	114,228
Sinaloa	0	0	0	3,215	0	0	0
Michoacán	0	0	0	0	0	0	299
Guanajuato	0	0	0	851	0	0	0
Total	199,605	185,921	140,066	152,791	143,225	134,727	139,997

Tabla 3.4. Producción de barita por estado. (Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, SGM)

El principal uso de la barita en México, y en el mundo, es en la perforación de pozos petroleros; en promedio el 95% de la producción nacional se destina a esta actividad; por lo cual la producción de barita depende directamente en su mayor parte de los planes de exploración minera y/o petrolera.

CAPITULO IV

ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS

4.1. ANTECEDENTES

El crecimiento del ritmo de extracción y utilización de la materia prima mineral han ocasionado una revolución científico-técnica en la geología y la geofísica. Por tal motivo, los trabajos de búsqueda, exploración y evaluación geológica-económica de yacimientos minerales útiles, constituyen una de las tareas más importantes en las empresas mineras y el cálculo de reservas y recursos minerales útiles en una mina es un papel fundamental.

La estimación de recursos y reservas es una operación de alta responsabilidad, pues determina en gran medida el valor industrial de un yacimiento mineral. Este cálculo puede ser realizado por métodos clásicos o modernos. En los primeros se utilizan valores medidos o medias ponderadas para la estimación de bloques definidos convenientemente, por lo que su uso ha estado relacionado con problemas de precisión. En los segundos predominan los métodos geoestadísticos, los cuales consisten en el uso de técnicas de regresión, teniendo como premisa fundamental la realización de las estimaciones a partir de las características de variabilidad y correlación espacial de los datos originales.

4.2. RESERVAS DE MENA Y RECURSOS MINERALES

Los términos, recursos y reservas minerales, son a menudo confundidos; pero desde un punto de vista geológico se entiende por recursos a un material que se sabe existe en la corteza terrestre muy por encima de sus valores "normales" para un tipo determinado de roca, dando origen concentraciones "anómalas" de inferencia

geológica bien documentada para que se juzgue sea probable que exista. Las reservas se definen como una cantidad mucho más pequeña (que los recursos) de un material que puede ser producido con la tecnología actual y a los precios presentes.

Tradicionalmente se han clasificado los recursos siguiendo unas veces criterios geométricos y otros criterios que tienen en cuenta las relaciones espaciales; aspectos geológicos tales como habito, tipo y mineralogía del depósito; certeza, grado de conocimiento geológico; y finalmente el tipo de razonamiento, inductivo o deductivo que ha sido utilizado en el análisis de los datos.

La comunidad especializada ha creado reglas de juego precisas para hacer la estimación de recursos y reservas mineras de manera aceptable para el mercado internacional principalmente bursátil con la aplicación del Código del Comité Conjunto de Australasia para Reservas de Mena (Código JORC por sus siglas en inglés) (figura 4.1) y el uso de los servicios de profesionales calificados (QPs) para la elaboración de dichos reportes.

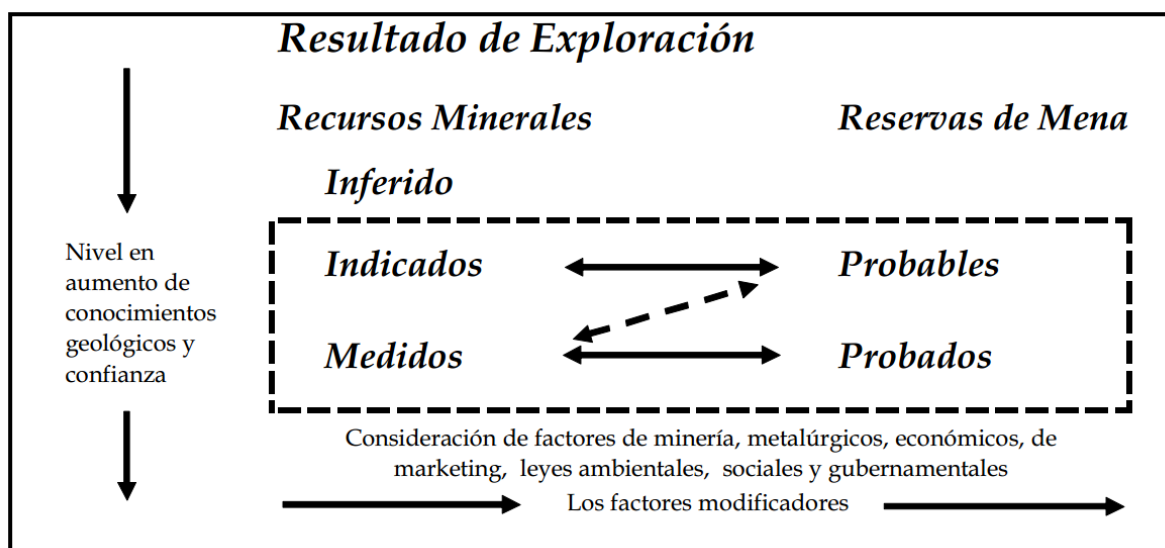


Figura 4.1. Terminología y relación entre la información de exploración, Recursos Minerales y Reservas de Mena. (Australasian code for reporting of identified mineral resources and ore reserves, "The JORC Code 2004")

4.3. CLASIFICACIÓN DE RECURSOS

Se denomina recursos minerales a aquellos volúmenes de mineral con su respectiva ley o contenido metálico que han sido estimados por medio de procesos de muestreo superficial y subterráneo, trincheras, cortes, calicatas o perforaciones que pueden representar geoestadísticamente a un cuerpo mineralizado.

Un **Recurso Mineral Medido** es la parte de un recurso mineral para el cual puede estimarse con un alto nivel de confianza, su tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido de mineral. Se basa en exploración detallada y confiable, información sobre muestreo y pruebas obtenidas mediante técnicas apropiadas, de afloramientos, zanjas, tajos, túneles, laboreos y sondajes, *las ubicaciones están espaciadas con suficiente cercanía para confirmar continuidad geológica y de leyes*. Esta categoría requiere un alto nivel de confianza en el entendimiento de la geología y controles del yacimiento, la confianza en la estimación es suficiente para permitir la aplicación apropiada de parámetros técnicos y económicos y para permitir una evaluación de la viabilidad económica.

Un **Recurso Mineral Indicado** es la parte de un recurso cuyo tonelaje, morfología, características físicas, leyes y contenido mineral pueden estimarse con un nivel de confianza medianamente razonable. El estimado se basa en la información de exploración, muestreo y pruebas reunidas con técnicas apropiadas de lugares tales como afloramientos, zanjas, pozos, labores mineras, beneficios y taladros; *no obstante, los lugares están demasiado distantes o inadecuadamente espaciados para confirmar la continuidad geológica y de leyes, pero si lo suficientemente cercanos para asumirlas*. La confianza en el estimado resulta suficientemente alta como para aplicar los parámetros técnicos y económicos para una posible evaluación de pre-factibilidad económica.

Un **Recurso Mineral Inferido** es la parte de un recurso cuyo tonelaje, leyes y contenidos minerales pueden estimarse con un bajo nivel de confianza, resulta

inferido a partir de evidencias geológicas y/o leyes asumidas por muestreos superficiales pero no verificadas en profundidad. La confianza en el estimado es insuficiente como para aplicar parámetros técnicos y económicos o realizar una evaluación económica de pre-factibilidad que merezca darse a conocer al público.

4.4. CLASIFICACIÓN DE RESERVAS

Las reservas minerales son la porción o volumen de un Recurso Mineral en el que se han efectuado estudios técnicos y económicos (muestreo sistemático, sondajes, evaluación económica) para demostrar que este mineral puede justificar extracción minera rentable en el momento de la determinación y bajo condiciones económicas específicas. La planificación de operaciones mineras requieren que las reservas de mineral están definidas garantizando que su extracción sea con beneficio económico.

Una **Reserva Mineral Probada** es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que puedan producirse cuando se explota el mineral. En esta etapa se han realizado evaluaciones apropiadas que puedan incluir estudios de factibilidad e incluyen la consideración y modificación por factores fehacientemente asumidos de minería, metalúrgicos, económicos, de mercadeo, legales, medioambientales, sociales y gubernamentales.

Una **Reserva Mineral Probable** es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Indicado y en algunas circunstancias del Recurso Mineral Medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que puedan producirse cuando se explota el mineral. En esta etapa se han realizado evaluaciones apropiadas que puedan incluir estudios de factibilidad e incluyen la consideración y modificación por factores razonablemente asumidos de minería, metalúrgicos, económicos, de mercadeo, legales, medioambientales, sociales y gubernamentales.

4.5. CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE RECURSOS

Los métodos clásicos, desarrollados y empleados desde los mismos comienzos de la minería, se basan fundamentalmente en los principios de interpretación de las variables entre dos puntos contiguos de muestreo, lo que determina la construcción de los bloques geométricos a los que se le asignan las leyes medias para la estimación de recursos.

Los métodos clásicos o tradicionales han soportado el paso del tiempo pero están siendo superados progresivamente por los métodos geoestadísticos. Estos métodos son aun aplicables en muchas situaciones, donde incluso pueden arrojar resultados superiores. Siempre es necesario realizar una valoración crítica del empleo de la geoestadística antes de desechar completamente las técnicas tradicionales. El uso de las técnicas kriging está supeditado a la existencia de una red de exploración que permita la generación de los modelos matemáticos que describen la continuidad espacial de la mineralización del yacimiento que se evalúa. Cuando no existe suficiente información de exploración o la variabilidad es extrema se deben emplear los métodos geométricos o tradicionales.

Según Lepin y Ariosa, 1986 los métodos clásicos de estimación más conocidos son:

- Método del promedio aritmético o bloques análogos
- Método de los bloques geológicos
- Método de los bloques de explotación
- Método de los polígonos
- Método de las isolíneas
- Método de los perfiles

4.5.2. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN ESPACIAL

4.5.2.1. MÉTODO DEL INVERSO DE LA DISTANCIA

Este fue posiblemente el primer método analítico para la interpolación de los valores de la variable de interés en puntos no muestreados. Esta técnica se ha convertido en una de las más populares gracias a la aparición de las computadoras y relativa sencillez. En principio se adopta la hipótesis de que importancia de un dato aislado responde a una función inversa de la distancia. El objetivo del método es asignar un valor a un punto o bloque mediante la combinación lineal de los valores de las muestras próximas.

4.5.3. MÉTODOS GEOESTADÍSTICOS

La Geoestadística se define como la aplicación de la Teoría de Funciones Aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales [Journel, A, G. and Huijbregts, C.J., 1978], o simplemente, el estudio de las variables numéricas distribuidas en el espacio [Chauvet, P., 1994]. Los fenómenos distribuidos en el espacio, la mineralización en un yacimiento mineral por ejemplo, presenta un carácter mixto, un comportamiento caótico o aleatorio a escala local, pero a la vez estructural a gran escala. Se puede entonces sugerir la idea de interpretar este fenómeno en términos de Función Aleatoria (FA), es decir, a cada punto x del espacio se le asocia una Variable Aleatoria (VA) $Z(x)$, para dos puntos diferentes x e y , se tendrán dos VAs $Z(x)$ y $Z(y)$ diferentes pero no independientes, y es precisamente su grado de correlación el encargado de reflejar la continuidad de la mineralización, o de cualquier otro fenómeno en estudio, de modo que el éxito de esta técnica es la determinación de la función de correlación espacial de los datos [Zhang, R., 1992].

Su estimador, El Kriging, tiene como objetivo encontrar el Mejor Estimador Lineal Insesgado a partir de la información disponible, y en efecto, el valor estimado obtenido $Z^*(x)$ de un valor real y desconocido $Z(x)$, consiste en una combinación lineal de pesos asociados a cada localización donde fue muestreado un valor $Z(x_i)$ ($i = 1, \dots, n$) del fenómeno estudiado, observando dos condiciones fundamentales:

- 1.- Que el estimador sea insesgado. $E[Z^* - Z] = 0$,
- 2.- Que la varianza $\text{Var}[Z^* - Z]$ sea mínima, consiguiéndose de este modo minimizar la varianza del error de estimación.

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN GEOELÉCTRICA DE RESERVAS MINERAS

Se realizaron dos estudios geofísicos en dos prospectos que consistió en la adquisición de datos geoeléctricos en su modalidad de Sondeos Eléctricos Verticales para poder realizar la caracterización de la zona de estudio, determinando así las anomalías de resistividad que podrían ser el resultado de las características geológicas y de la acumulación de mineralización que se asocia a la barita.

La caracterización geoeléctrica de los prospectos A y B como estudio previo para la determinación del tipo de reservas mineras permite la optimización de la ubicación y extensión de estas. Este proyecto contempla la caracterización del sitio, ubicando la estructura geológica dentro de los mejores parámetros en cuanto a ubicación, continuidad y efectividad del proyecto.

La geofísica ha sido planeada para:

- Caracterización del sitio (profundidad de anomalía, espesor, continuidad lateral).
- Definición de volúmenes de reserva.

5.1. PROSPECTO A

5.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLOGÍA DEL ÁREA

El área de estudio se localiza en la porción sur-occidental del estado de Puebla. Queda comprendida en las provincias fisiográficas Eje Neovolcánico en la subprovincia Sierras Del Sur de Puebla. La ubicación regional de la zona y de

municipios cercanos se muestra en la figura 5.1.1. Se escogió un área específica que se localizaba cerca de una mina productora de barita para así determinar que existe una continuidad de este material en los puntos de estudio.

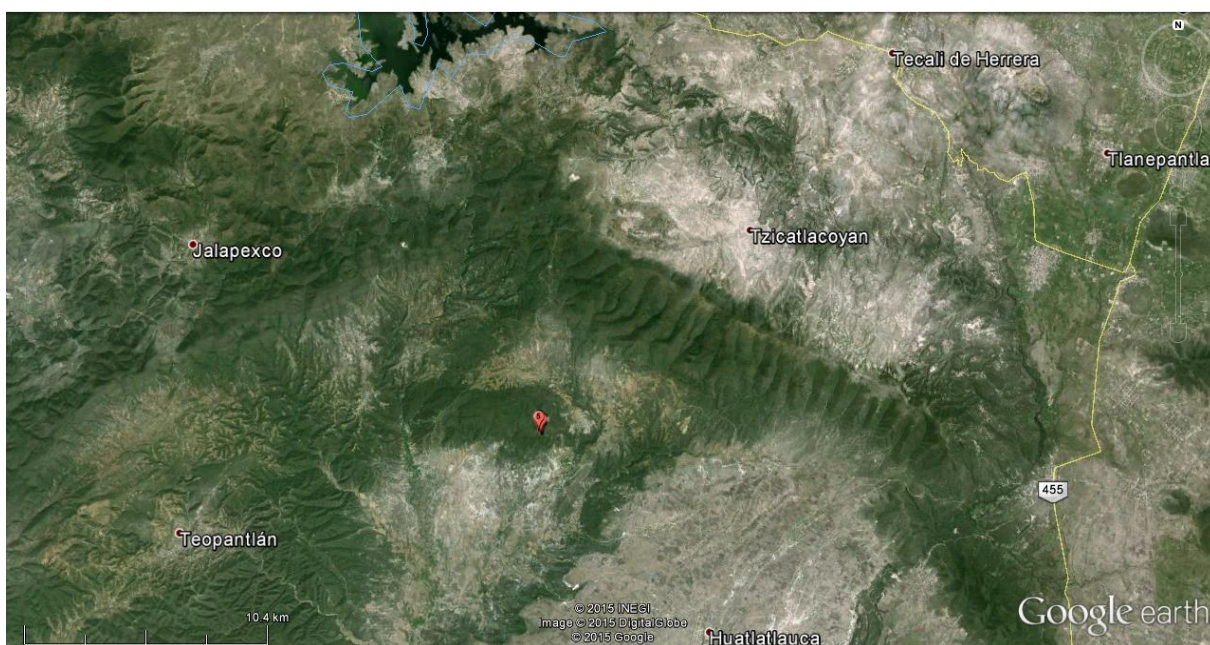


Figura 5.1.1. Ubicación regional de la zona de estudio y localización del estudio (punto rojo). (Tomado de Google Earth)

La columna estratigráfica de la zona (figura 5.1.2) la compone una serie de rocas metamórficas que constituyen el basamento conocido como Complejo Acatlán. El Complejo Acatlán se considera el basamento del Terreno Mixteco, compuesto por una asociación de rocas metamórficas tales como filitas, ofiolitas y metagranitoides polideformados, además con algunas zonas de milonita. Presenta facies de esquistos verde, de anfibolita, de esquistos azules y de eclogita; con edades que van del Ordovícico al Devónico.

Ascendiendo estratigráficamente se encuentra el Grupo Tecocoyunca de edad Bajociano-Calloviano, el cual aflora hacia el norte de nuestra área de estudio y consiste de conglomerado polimíctico, arenisca y limolita.

A principios del Cretácico inferior se desarrollaría un proceso de distensión que favoreció un arreglo de cuencas intercontinentales, entre las que se encuentran rocas de la Plataforma Guerrero-Morelos como la Formación Zicapa de edad Barremiano-Alviano y está constituida por conglomerado, caliza y limolita. Transicionalmente le sobreyacen extensos afloramientos de caliza de la Formación Morelos de edad Alviano-Cenomaniano. En el Cretácico medio tiene lugar una transgresión marina con desarrollo de extensas plataformas que culminó a principios del Cretácico Superior; durante este periodo hay un cambio radical en términos de ambiente de depósito al pasar de una sedimentación calcárea a una de terrígenos, cambio que anuncia las primeras pulsaciones de la Orogenia Laramide.

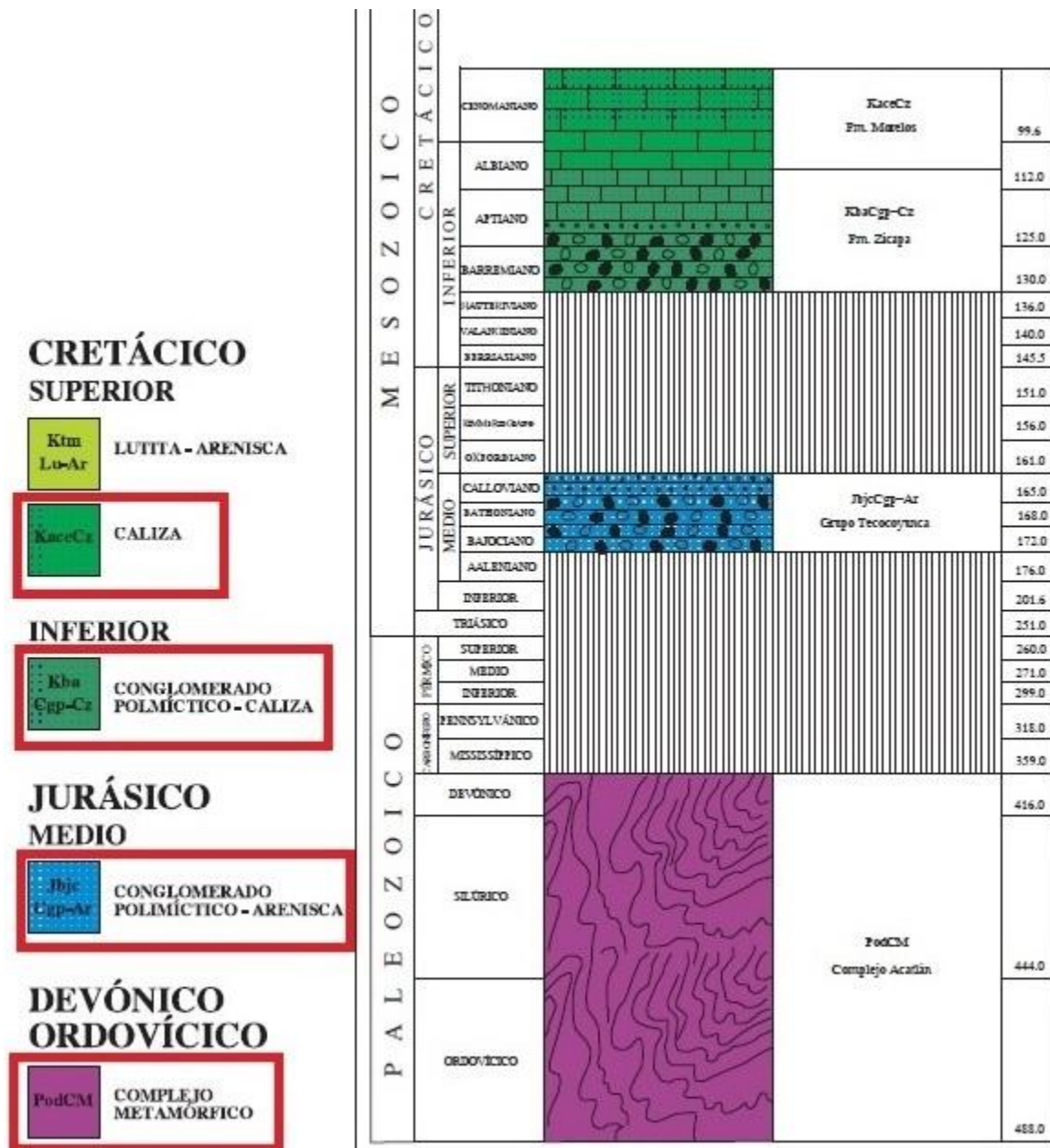


Figura 5.1.2. Columna estratigráfica del área de estudio. (Tomado de SGM)

Dentro de la geología estructural encontramos como principal acontecimiento la Falla Papalutla (figura 5.1.3) que es una falla inversa que pone en contacto tectónico a rocas metamórficas del Complejo Acatlán que cabalgan a rocas jurasicas del Grupo Tecocoyunca y de la Formación Zicapa.

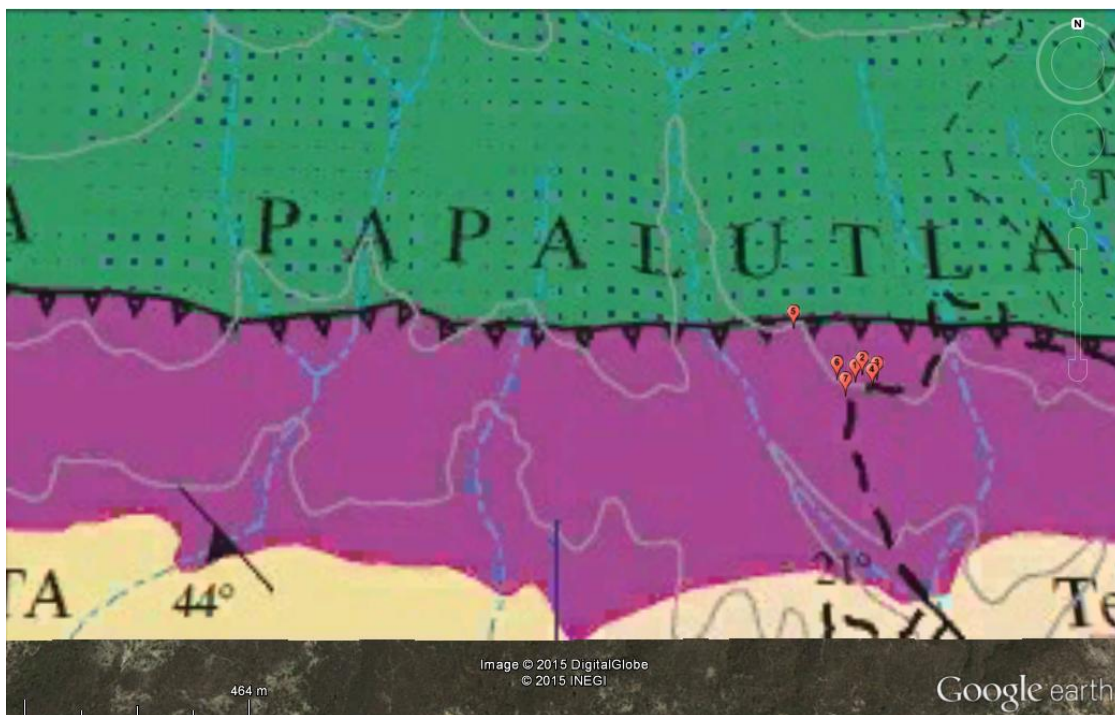


Figura 5.1.3. Falla Papalutla. (Tomado de SGM)

En base a las cartas geológicas y cartas geoquímicas que corresponden a la zona de estudio se sabe que se encuentran depósitos de barita en vetas de origen hidrotermal. Esto fue corroborado a la hora de tomar las muestras de campo y el reconocimiento geológico de la zona ya que se mostraba manifestación de mineral in situ.

5.2. PROSPECTO B

5.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLOGÍA DEL ÁREA

La zona de estudio se encuentra en la porción nor-occidente del estado de Puebla. Queda comprendida en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental y a su vez dentro de la subprovincia Carso Huasteco. La ubicación regional de la zona y de municipios cercanos se muestra en la figura 5.1.2. Al igual que el prospecto A se

escogió un área específica que presentaba mineralización in situ y así se determinaron aleatoriamente los puntos de estudio.

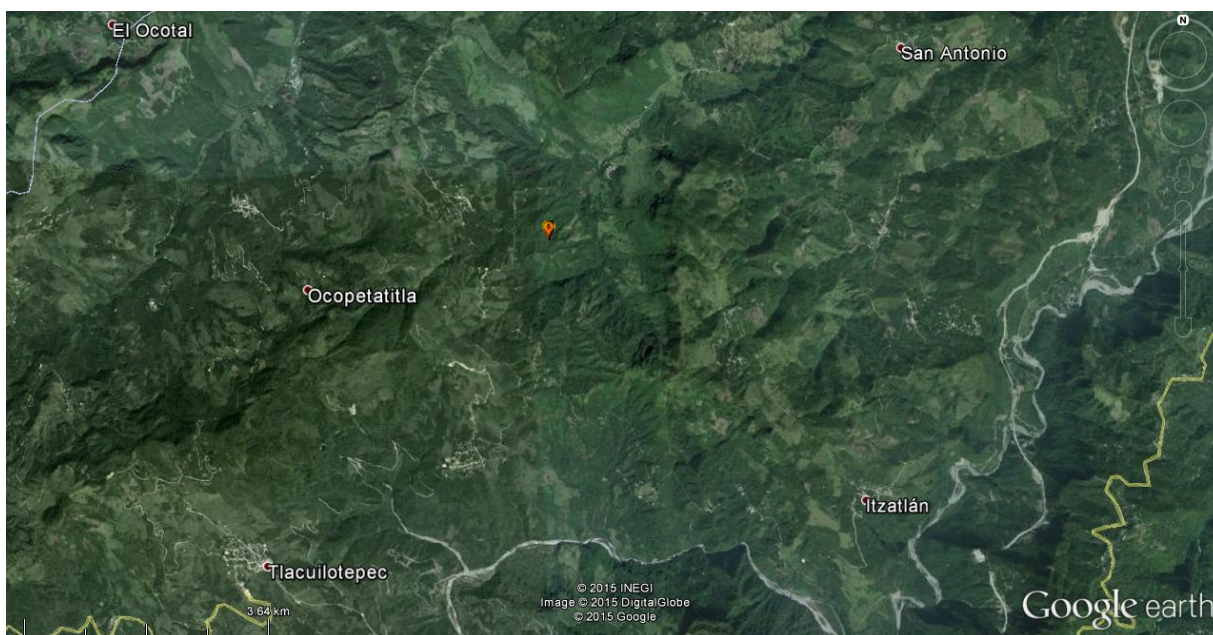


Figura 5.1.4. Ubicación regional de la zona de estudio y localización del estudio (punto rojo). (Tomado de Google Earth)

Dentro de la columna estratigráfica, a unidad más antigua presente en la zona es la Formación Huayacocotla que aflora en la porción sur de la zona, conformando el anticlinorio del mismo nombre. Está constituida por una secuencia arrítmica de arenisca y limolita dividida en tres miembros, el inferior con conglomerados y arenisca conglomerática con clastos del basamento cristalino, el intermedio conformado predominantemente por limolita muy físil con niveles de arenisca con amonitas y el superior nuevamente continental con fósiles de plantas e intercalación rítmica de limolita y arenisca.

Le sobreyacen diferentes unidades dependiendo de las condiciones paleogeográficas, en primera instancia aflora la Formación Cahuasas, su litología consiste de lechos rojos en su gran mayoría constituidos por limolita rojiza y físil, en la que se identifican algunos niveles de arenisca y conglomerados polimíctico rojizo. La formación Tepéxic puede sobreyacer a las dos anteriores y se localiza en franjas

delgadas de dirección NW-SE limitando los afloramientos de las unidades anteriores, consta de caliza o calcarenita gris oscura con biostromas de gasterópodos y niveles de packstone oscuro, la cual se encuentra subyaciendo en forma transicional y en ocasiones discordante a limolita y lutita calcárea con una fuerte esquistosidad de fractura, pertenecientes a la Formación Santiago y que presenta niveles un poco mas calcáreos o con concreciones.

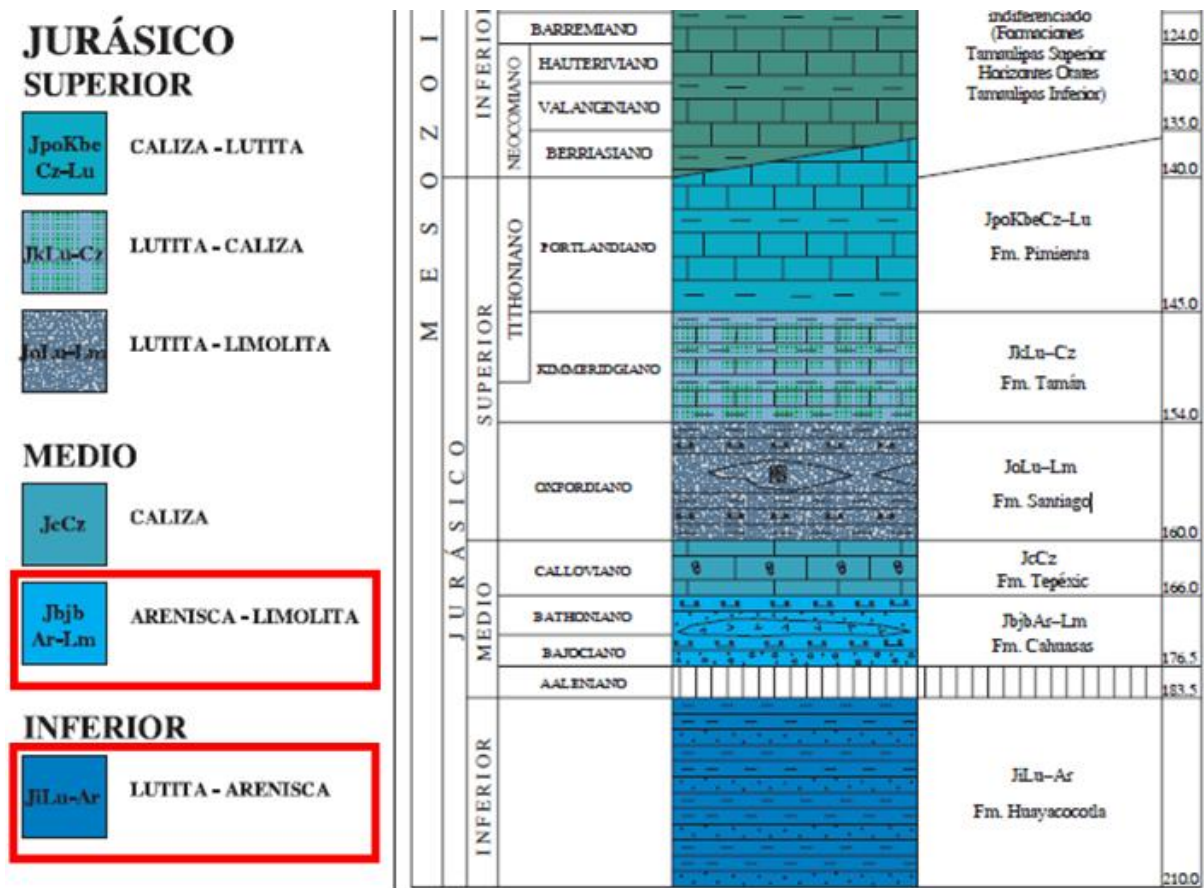


Figura 5.2.1. Columna estratigráfica del área de estudio. (Tomado de SGM)

La característica principal que tiene la Sierra Madre Oriental, desde el punto de vista geológico es la presencia de una potente secuencia de rocas sedimentarias plegadas, tectonizadas, en la región además hay intrusiones de cuerpos ígneos.

Las estructuras que la forman, están constituidas por un paquete de calizas, lutitas, limolitas y rocas metasedimentarias del Jurásico y Cretácico, las cuales fueron plegadas por esfuerzos de tipo compresivo correspondientes a la orogenia Laramide cuya dirección actuó de noreste a suroeste, formando los sinclinales y anticlinales e inclusive anticlinorios que caracterizan a esta provincia. Los ejes de estas estructuras, tienen un rumbo general que va de sureste a noroeste. Los pliegues en algunos casos se encuentran cabalgando a otras unidades de roca de la misma edad o más antiguas. El anticlinal Tanchitla es una estructura cuyo eje se presenta en dirección NNW-SSE con recostamientos locales hacia el NE y está conformado por rocas del Jurásico inferior y medio, pero específicamente para la ubicación de nuestro estudio tenemos rocas predominantemente del Jurásico medio y superior.

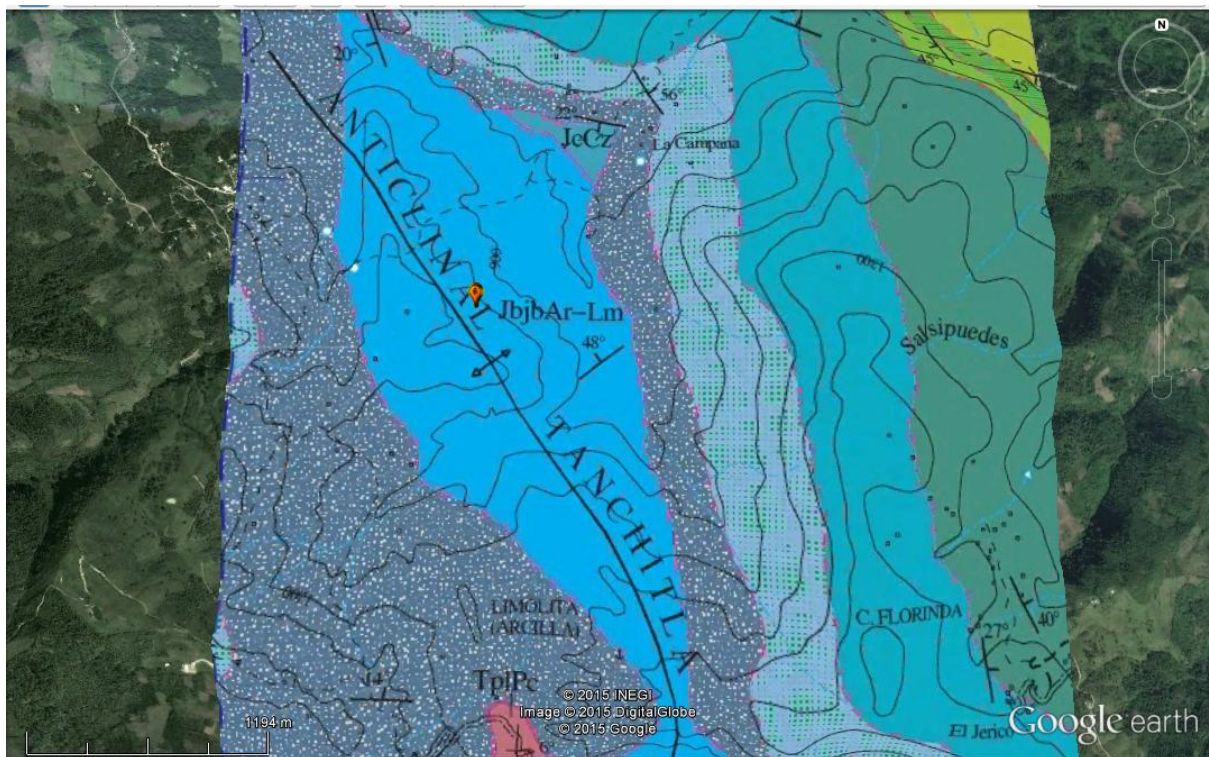


Figura 5.2.2. Anticlinal Tanchitla. (Tomado de SGM)

5.3. EQUIPO Y SOFTWARE

5.3.1. INSTRUMENTACIÓN

Para la adquisición de las resistividades durante un SEV se requiere no solo de una buena disposición de los electrodos, sino también del perfecto funcionamiento de cada uno de los componentes que hacen posible las mediciones de campo.

Para los dos trabajos se utilizó el mismo equipo de estudio, el cual consta básicamente de lo que mencionaremos en la siguiente lista.

Básicamente para la realización de un SEV se necesita:

- Un transmisor de corriente
- Un receptor o lector de potencial (V).
- Electrodos metálicos (buenos conductores de corriente).
- Cables de distinto calibre que va en función de la transmisión de la corriente.
- Dispositivos enlazadores como caimanes que faciliten las conexiones a los instrumentos de medición (electrodos).
- GPS para determinar la ubicación de nuestras mediciones.
- Herramientas varias (Marros, cinta métrica, radiotransmisores, pelacables, navaja, cinta adhesiva, herramientas para limpiar el terreno, papelería en general).



Figura 5.3.1. Equipo resistivímetro SARIS.

5.3.2. SOFTWARE

5.3.2.1. IPI2WIN

IPI2WIN es un programa que está diseñado para la interpretación automática o semi-automática de datos 1D de sondeos eléctrico vertical obtenidos a partir de los distintos arreglos utilizados con más frecuencia en la prospección eléctrica.

La principal ventaja de este programa es que puede realizar una interpretación manual. En la figura 5.3.1 se muestra la interfaz del software, así como la visualización común de datos de sondeos eléctricos verticales y de pseudosección de resistividades verdaderas y aparentes.

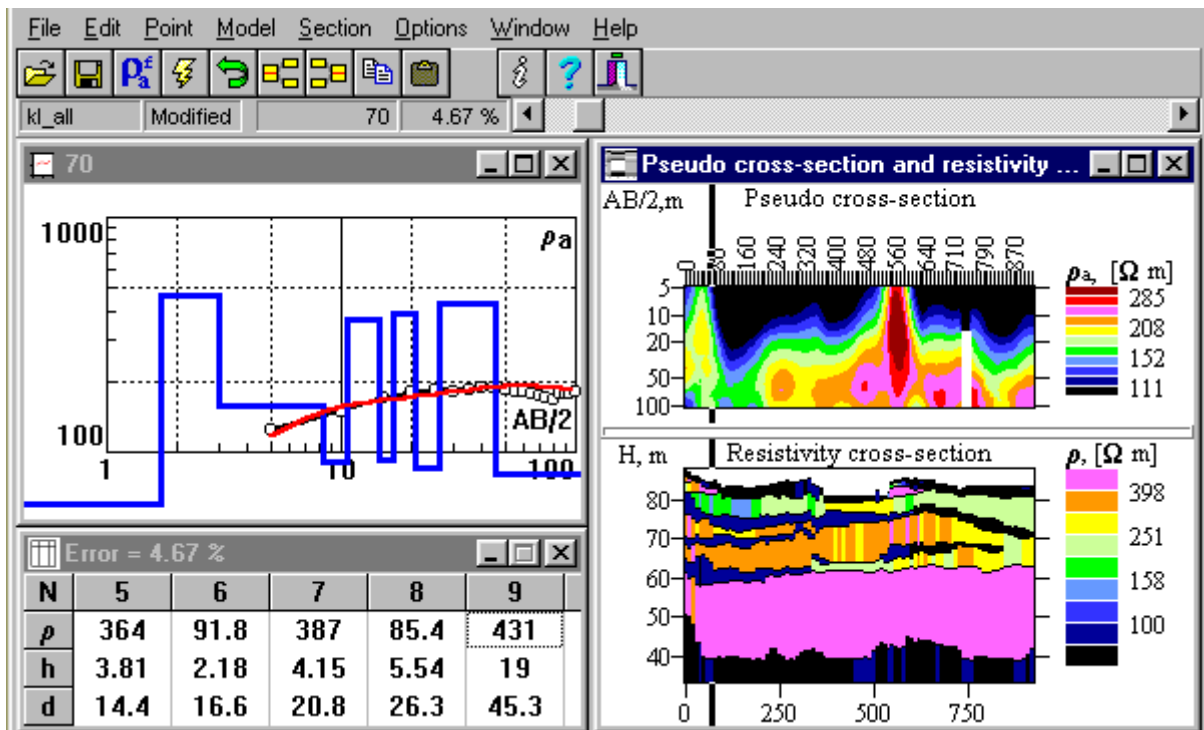


Figura 5.3.2.1. Interfaz del software IPI2Win. (<http://www.geol.msu.ru/deps/geophys/ipi2win.htm>)

5.3.2.2. VOXLER

Se trata de un programa de interpolación de datos en 3D que puede generar imágenes, líneas o volúmenes. El programa interpola datos XYZC, siendo X y Y la posición en el plano, Z la altura ó profundidad, y C la característica (que para nuestro caso es la resistividad), para generar un arreglo en una, dos o tres dimensiones. La interfaz de usuario Voxler consiste en la barra de título, barra de menús, barras de herramientas, Biblioteca Módulo, ventana Red, ventana Propiedades, ventana del visor, y barra de estado (figura 5.3.2).

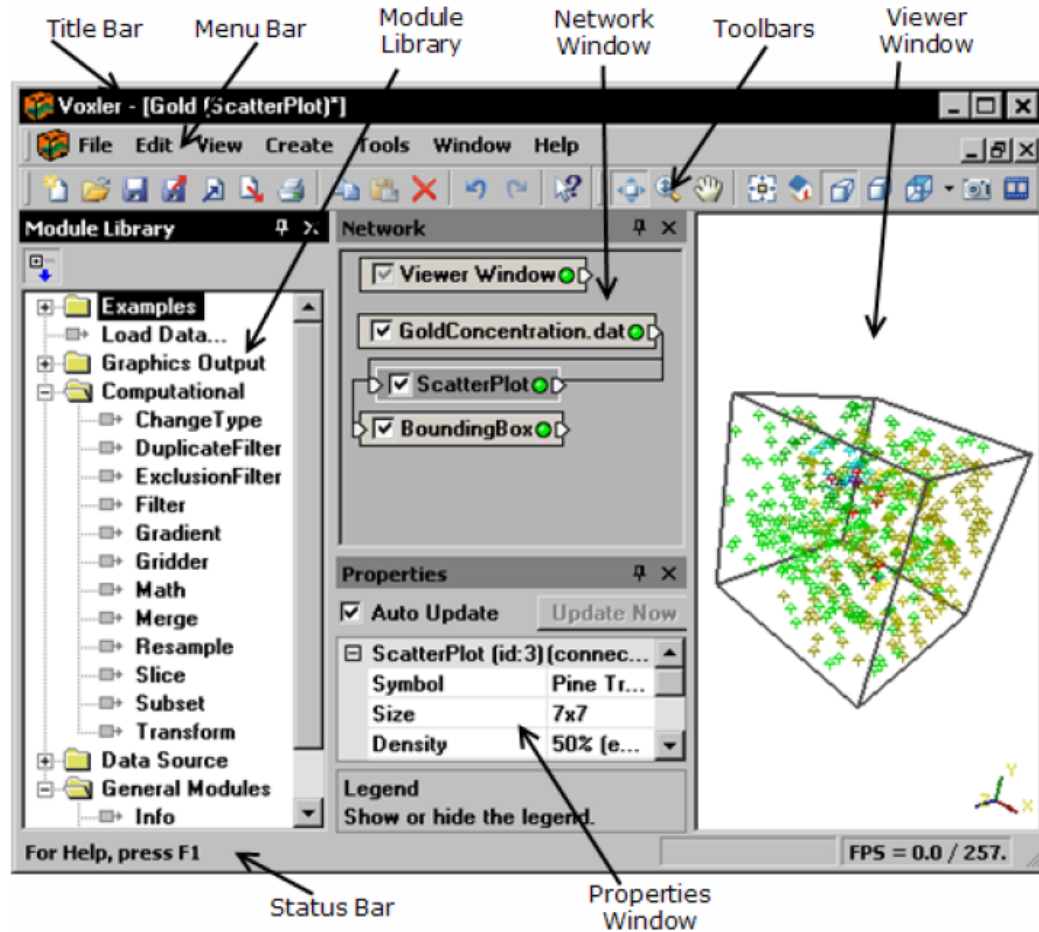


Figura 5.3.2.2. Interfaz de usuario Voxler.

Voxler tiene varios métodos de grillado diferentes disponibles para el módulo Gridder donde las diferencias entre los métodos de grillado están en los algoritmos matemáticos utilizados para calcular las ponderaciones durante la interpolación. Las opciones de interpolación son: inverso de la distancia, medida de los datos y polinomio local.

El método de inverso de la distancia es un interpolador del promedio de los pesos. Los datos son ponderados durante la interpolación, así que la influencia de cada punto se declina con la distancia al nodo de la malla. Cuando se calcula algún nodo de la malla, los pesos asignados a los datos son fracciones y la suma de los pesos es igual a 1. Este método es el que se presenta por default y además produce los mejores resultados en la mayoría de los casos.

El método de medida de los datos se usa para calcular valores estadísticos usando los datos encontrados por una búsqueda, la cual está definida por distintos parámetros, como: valor mínimo, menor cuartíl, mediana, rango, medio rango, media, desviación estándar, densidad, entre otros.

El método del polinomio local asigna valores a los nodos de la malla usando un ajuste de mínimos cuadrados con peso en un elipsoide de búsqueda.

Para el procesamiento de los datos se utilizó el método de inverso de la distancia, ya que después de hacer algunas pruebas con los diferentes métodos se observó que era el que se ajustaba los datos.

5.4. MARCO METODOLÓGICO

El trabajo realizado para este estudio se realizó en dos fases. Una primera etapa de adquisición de datos en campo y una segunda etapa de procesamiento e interpretación de los mismos en oficina.

Para los SEVs el procedimiento de adquisición de datos y control de calidad en campo es como se describe a continuación. Durante la fase de adquisición el geofísico de campo procede a la instalación del arreglo inicial, poniendo cuidado en la ubicación y contacto de los electrodos. Una vez listo el arreglo se procede a inyectar la corriente necesaria para obtener una buena relación señal ruido y medidas claras. Los datos medidos son escritos en una tabla de campo y graficados en escala bilogarítmica. La coherencia de la curva y su continuidad permiten la evaluación visual de la calidad de las medidas. La comparación de curvas próximas permite evaluar en campo coherencia espacial y continuidad geológica.

Al terminar el trabajo de adquisición se procede a descargar los datos y revisar su calidad con el programa IPI2WIN donde se procede también a la interpretación 1D y el posterior análisis de los datos de campo.

5.4.1. ADQUISICIÓN DE DATOS

5.4.1.1. PROSPECTO A

Los tendidos eléctricos fueron realizados utilizando un arreglo tipo Schlumberger, y por ende, el espaciamiento entre los electrodos de corriente y potencial variaba entre ellos. Fueron adquiridos en total 7 SEVs con una longitud de 200m, es decir, un AB/2 de 100m (tabla 5.4.1). El despliegue de puntos en el área de estudio se hizo de manera aleatoria de acuerdo a las características del sitio y además de que se pudiera cubrir la zona de interés, permitiendo así identificar las características geológicas del área (figura 5.4.1). A estos puntos les fueron asignados coordenadas UTM de manera de ubicarlos con una computadora a la hora de realizar nuestro análisis de datos.

Sondeo	Altura aproximada (m)	AB/2 máx.
SEV 1	1612	100
SEV 2	1613	100
SEV 3	1615	100
SEV 4	1610	100
SEV 5	1617	100
SEV 6	1608	100
SEV 7	1600	100

Tabla 5.4.1. Altura MSNM y distancia AB/2 utilizada para los SEVs en el prospecto A.

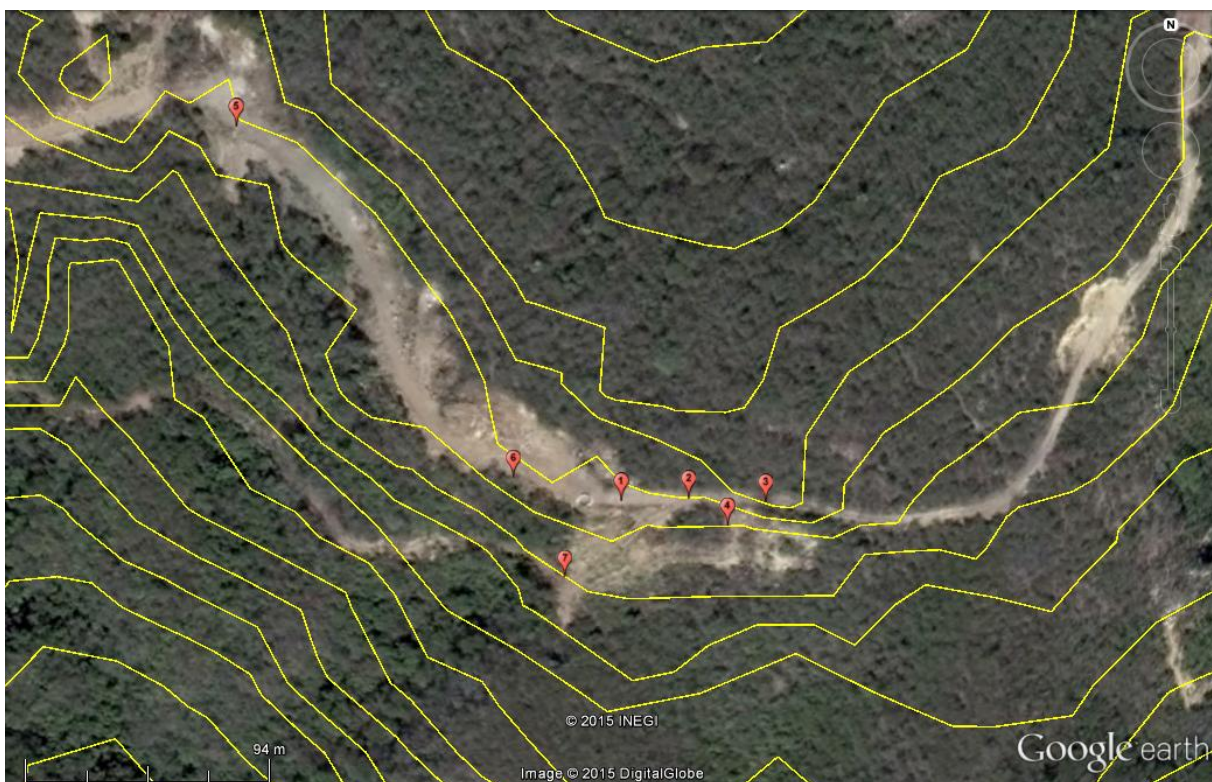


Figura 5.4.1. Distribución espacial de los SEVs en la zona de estudio (línea amarilla = curvas de nivel cada 5m).

5.4.1.2. PROSPECTO B

Para nuestro estudio los tendidos eléctricos fueron realizados utilizando un arreglo tipo Schlumberger. Fueron adquiridos en total 10 SEVs. El tamaño de las líneas variaba dependiendo las condiciones del terreno. Unas alcanzaron 69m de longitud como máximo y otras alcanzaron 41m de longitud, es decir, 34.5m de $AB/2$ y 20.5m de $AB/2$ respectivamente (tabla 5.4.2). El despliegue de puntos en el área de estudio se hizo de manera aleatoria de acuerdo a las características del sitio y se tomaron coordenadas UTM para su posterior ubicación en un programa de ubicación satelital (figura 5.4.2).

Sondeo	Altura aproximada (m)	AB/2 máx.
SEV 1	1012	23.5
SEV 2	1013	20.5
SEV 3	1012	30.5
SEV 4	1011.5	24.5
SEV 5	1025	22.5
SEV 6	1024	30.5
SEV 7	1025	30.5
SEV 8	1005	34.5
SEV 9	1011	25.5
SEV 10	1011	30.5

Tabla 5.4.2. Altura MSNM y distancia AB/2 utilizada para los SEVs en el prospecto B.



Figura 5.4.2. Distribución espacial de los SEVs en la zona de estudio (línea amarilla = curvas de nivel cada 2m).

5.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

5.5.1. PROCESAMIENTO DE LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD

Los datos adquiridos en campo proveen información sobre la distribución vertical de valores de resistividad aparente y no de valores reales. Las curvas iniciales proveen información acerca del terreno que no resulta fácil de interpretar. Es por ello que requiere de un procesamiento de datos antes de comenzar una interpretación de estos.

Primero, se procedió a realizar una base de datos para los diferentes SEVs adquiridos. Teniendo los datos iniciales, estos fueron introducidos al software IPI2WIN para un primer análisis de las curvas. Dentro de este primer análisis, en nuestra base de datos de los sondeos se omitieron datos que presentaban mayor desajuste en las tendencias de las curvas que pudieran haberse debido a una mala colocación de los electrodos o por las condiciones del terreno que no hayan permitido una completa linealidad de los electrodos en la toma de los datos. Además, otros valores de medidas fueron suavizados con el fin de mejorar la tendencia de las curvas. Dentro de este procesamiento se trató de mejorar las curvas evitando alterar la tendencia original de los datos adquiridos.

Una vez obtenidas las curvas se realizó la interpretación manual de las mismas para obtener una primera aproximación. En este paso se trataba de buscar que tipo de curva era y cuantas capas o puntos de inflexión presentaban las curvas.

Posteriormente con el programa IPI2WIN se realizó la inversión de los datos. De esta manera se facilita en gran medida el procesamiento de los datos; sin embargo, el usuario está en la capacidad de cambiar el modelo calculado por el programa introduciendo parámetros coherentes con los conocimientos geológicos del área. Finalmente se obtuvo la resistividad verdadera, el espesor y profundidad de las capas.

Las figuras 5.5.2.1 y 5.5.2.2 muestran ejemplos de las curvas de campo de las dos áreas investigadas. Estas figuras muestran familias de curvas distintas, encontrándose la principal diferencia en el rango de resistividades del sustrato superior o de superficie.

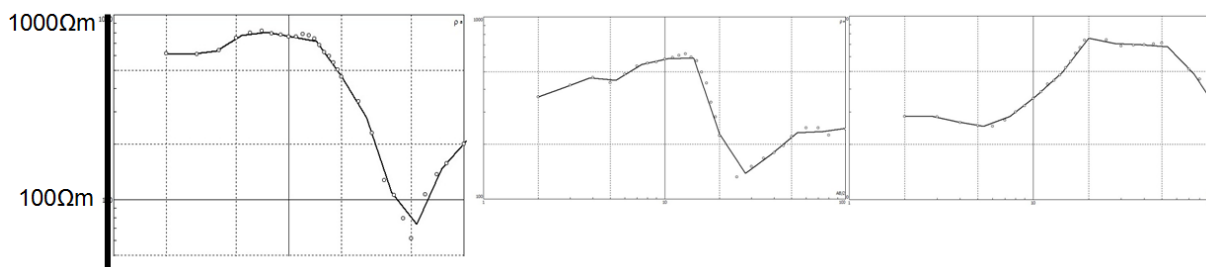


Figura 5.5.2.1. Curvas de campo (Prospecto A).

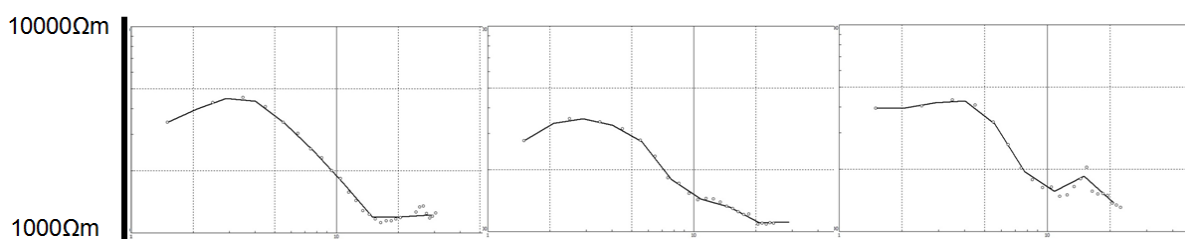


Figura 5.5.2.2. Curvas de campo (Prospecto B).

5.5.2. ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD

En esta fase, posterior al control de calidad y recomposición de las curvas finales, se evalúan las formas de las curvas y su distribución espacial con el fin de comprender la secuencia vertical de distribución de las resistividades y de las variaciones laterales.

El primer paso para la interpretación de los resultados de los SEVs fue la inversión 1D, el cual arrojó como resultado un modelo con resistividades verdaderas, espesores y profundidad de cada SEV.

Posteriormente al procesamiento de los datos de resistividad, se generaron mapas de isoresistividad verdadera y perfiles geoeléctricos. Los mapas isoresistivos se graficaron con el programa de computación SURFER (versión 11), para profundidades de 0, 1.5, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40 y 50m para el prospecto A y 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 12, 15 y 17m para el prospecto B para poder conocer la distribución de las resistividades a esas profundidades seleccionadas. Se escogieron estas profundidades para conocer a detalle las resistividades más superficiales, ya que es donde se infiere que se encuentre mayormente la presencia del mineral de interés.

Los perfiles se realizaron con el programa IPI2WIN ubicando los sondeos correspondientes que pasaran por una línea recta y a la distancia que existe entre ellos. De esta manera se obtuvieron las capas con sus respectivos espesores y profundidades. Cada unidad geoeléctrica fue correlacionada lateralmente en base a resistividades con valores similares las cuales deberían corresponder a litotipos con características mineralógicas y texturales parecidas.

Con la información de los datos recolectados de campo por medio de levantamiento geológico se asignaron los litotipos a cada unidad geoeléctrica, utilizando como parámetro las resistividades generales de las rocas que se presentan en las tablas del capítulo 2 de la presente tesis.

Finalmente para la parte del cálculo volumétrico, se utilizaron los datos interpretados de los SEVs y fueron cargados al software Voxler (versión 3) como datos de pozo (para presentar la distribución vertical de las anomalías), y posteriormente se hizo un modelo de la distribución de la anomalía de interés para terminar con el cálculo del volumen.

Ya para nuestro volumen de mineralización se determinará utilizar entre el 30% y 60% para el prospecto “A”, y entre 40% y 70% para el prospecto “B” del volumen total de la anomalía y ese será nuestra estimación del cálculo realizado.

5.6. RESULTADOS

5.6.1. PROSPECTO A

5.6.1.1. RESULTADOS ELÉCTRICOS

Se presenta a continuación uno de los siete sondeos interpretados a través del software IPI2WIN (figura 5.6.1.1), el cual muestra la inversión de los datos de resistividad aparente y donde se obtienen las resistividades verdaderas, espesor de cada capa y profundidad alcanzada en el estudio (tabla 5.6.1.1). Para consultar los demás sondeos interpretados ver anexo 1.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-1

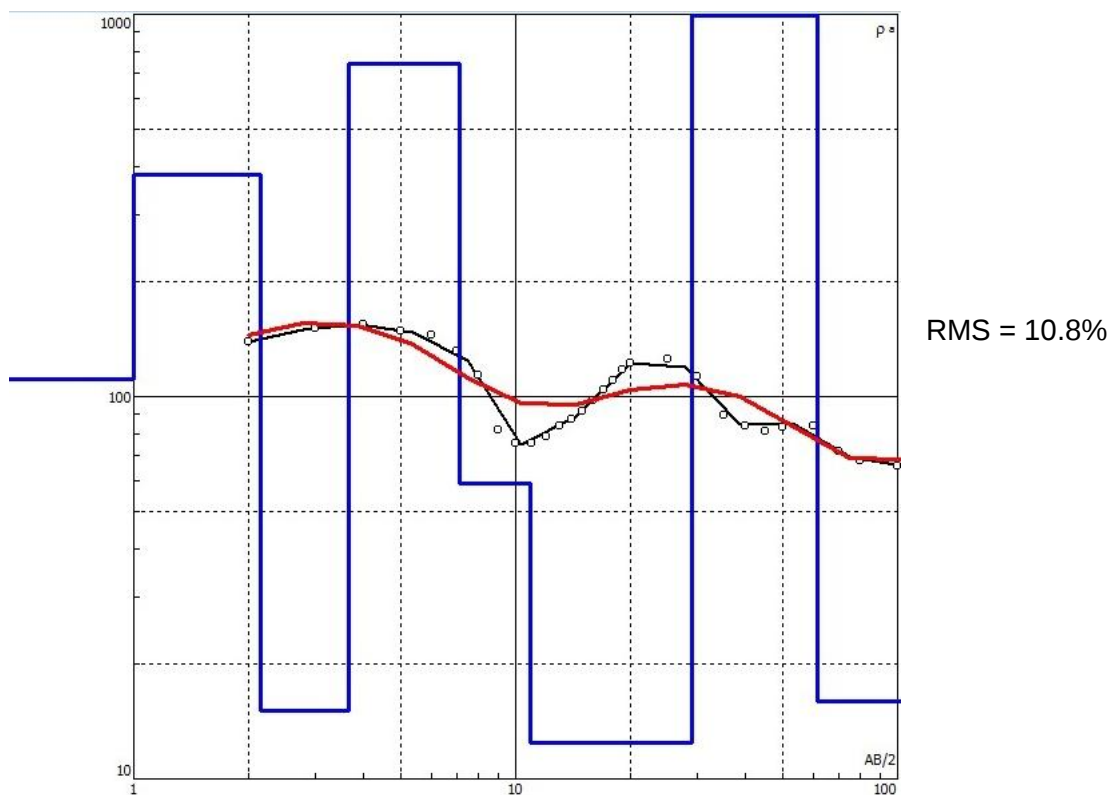


Figura 5.6.1.1. Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 1 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	111	1	1
2	382	1.15	2.15
3	15.1	1.52	3.67
4	742	3.46	7.13
5	59.2	3.8	10.9
6	12.4	18	28.9
7	4937	32.7	61.6
8	16		

Tabla 5.6.1.1. Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 1.

5.6.1.2. INTERPRETACIÓN CUALITATIVA DE LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD

La interpretación cualitativa consiste en la identificación del tipo de capas a las cuales pertenecen los SEVs dentro de la clasificación K, H, Q ó A. de este modo se pudo generar la tabla 5.6.1.2.

SEV	AB/2 máximo (m)	Tipo de curva
1	100	KHKQHK
2	100	HKHAKHKH
3	100	KHAAKH
4	100	HKHKH
5	100	KHKHK
6	100	HAKQ
7	100	HKHKHKH

Tabla 5.6.1.2. Interpretación cualitativa utilizando la clasificación tipo K, H, Q y A.

5.6.1.3. MAPAS ISORESISTIVOS

Posterior a la obtención de los resultados interpretados con el programa IPI2WIN, se procedió a generar los mapas isoresistivos. Estos mapas muestran la variación de resistividades con el aumento de la profundidad. Para el prospecto A se generaron

mapas isoresistivos para profundidades de 0, 1.5, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40 y 50m (ver anexo 2).

A partir de estos mapas podemos indicar que en los primeros 3 metros encontramos mayormente una proporción de resistividades bajas (rangos de 10-150 Ωm y 160-400 Ωm), a partir de los 3 metros empezamos a encontrar que las resistividades altas (mayores a 800 Ωm) comienzan a presentarse en una mayor proporción (abarcen cerca del 50% de porciones en los mapas isoresistivos), y de los 15 metros en adelante las resistividades mayores a 1000 Ωm son las que se presentan en mayor proporción (mayor al 60% de la porción de los mapas) (figura 5.6.1.2).

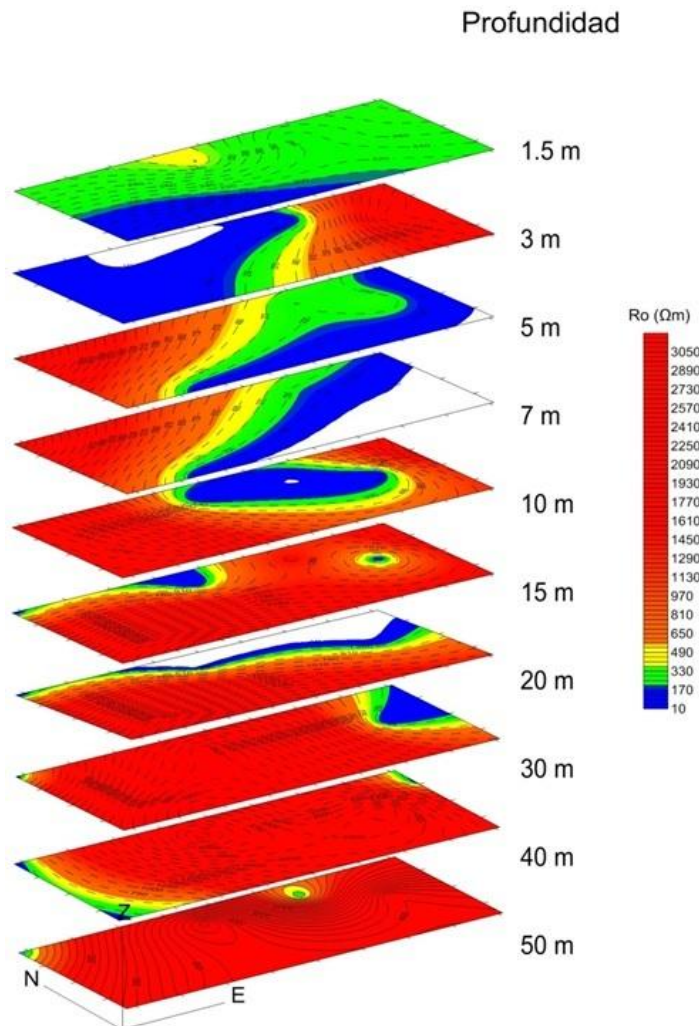


Figura 5.6.1.2. Representación de la distribución de las resistividades verdaderas (Ωm) a distintos niveles de profundidad.

5.6.1.4. PERFILES GEOELÉCTRICOS

Con el resultado del procesamiento de las curvas de resistividad, se procedió a generar dos perfiles geoelectricos. El primer perfil contiene la interpretación de los sondeos 6, 1, 2 y 3 y tiene una longitud de 83 m en dirección W-E (Figura 5.6.1.3). El segundo perfil contiene la interpretación de los sondeos 7, 4 y 3 y tiene una longitud de 72 m en dirección SW-NE (Figura 5.6.1.4).

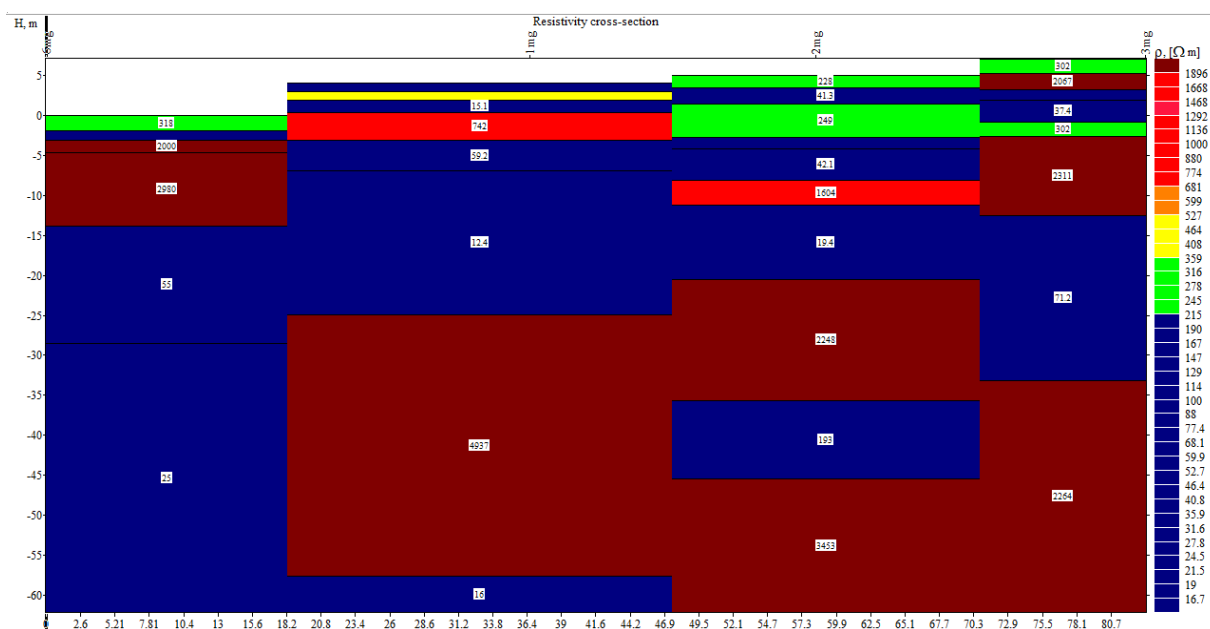


Figura 5.6.1.3. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 6, 1, 2 y 3.

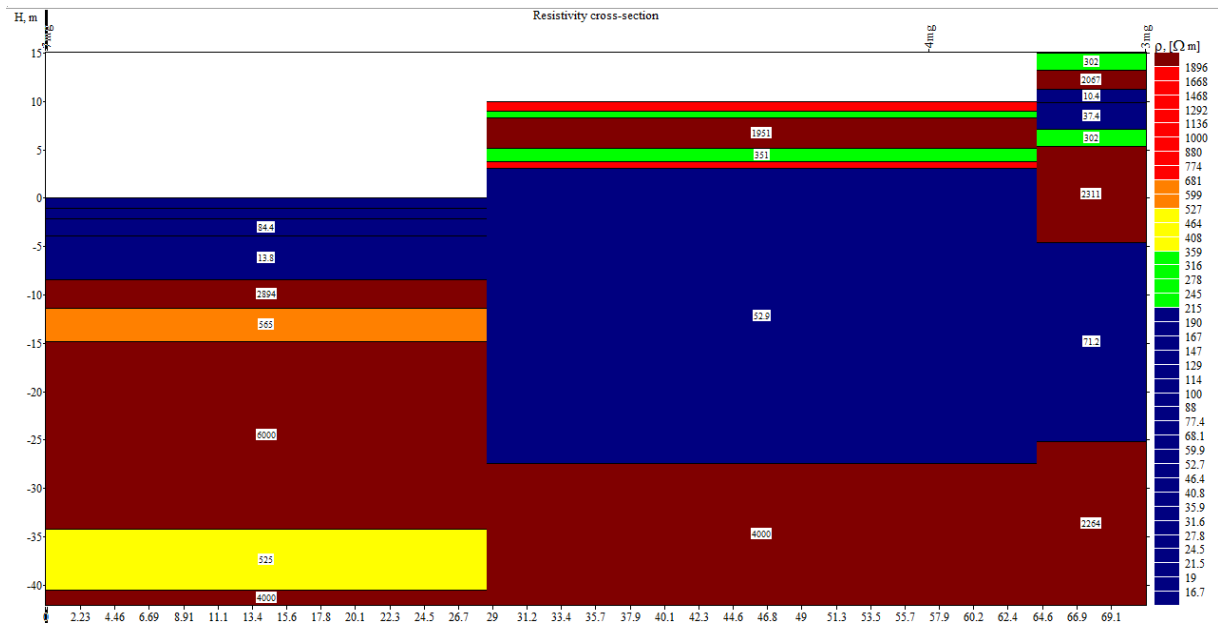


Figura 5.6.1.4. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 7, 4 y 3.

5.6.1.5. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GEOELÉCTRICOS

En el área de estudio, gracias a los datos recolectados de campo se distinguió una litofacie que corresponden a arenas fracturadas. Con esta información, y agregando la geología regional de la zona de estudio que se obtuvo a partir de cartas geológicas se lograron interpretar en el estudio geofísico seis unidades geoelectricas que corresponden a litologías de areniscas, conglomerados polimíctico-arenisca y vetas de barita. De esta manera se logro la interpretación de la secuencia vertical de los estratos presentes en el área de estudio.

Las unidades geoelectricas que se determinaron a partir de los perfiles geoelectricos se interpretaron mediante la elaboración de dos perfiles estratigraficos. En estos perfiles se distinguen las seis unidades (Unidades 1, 2, 3, 4, 5 y 6) con espesores que varían lateralmente (figuras 5.6.1.5 y 5.6.1.6).

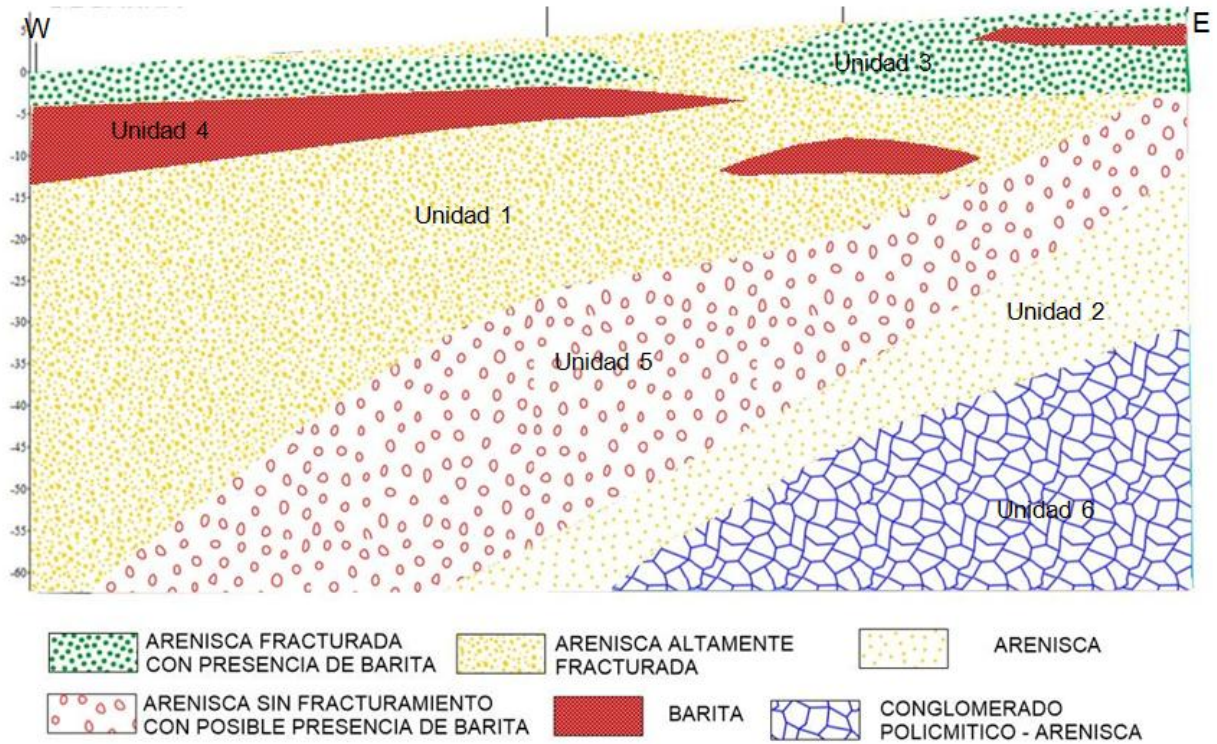


Figura 5.6.1.5. Perfil estratigráfico correspondiente a los sondeos 6, 1, 2 y 3.

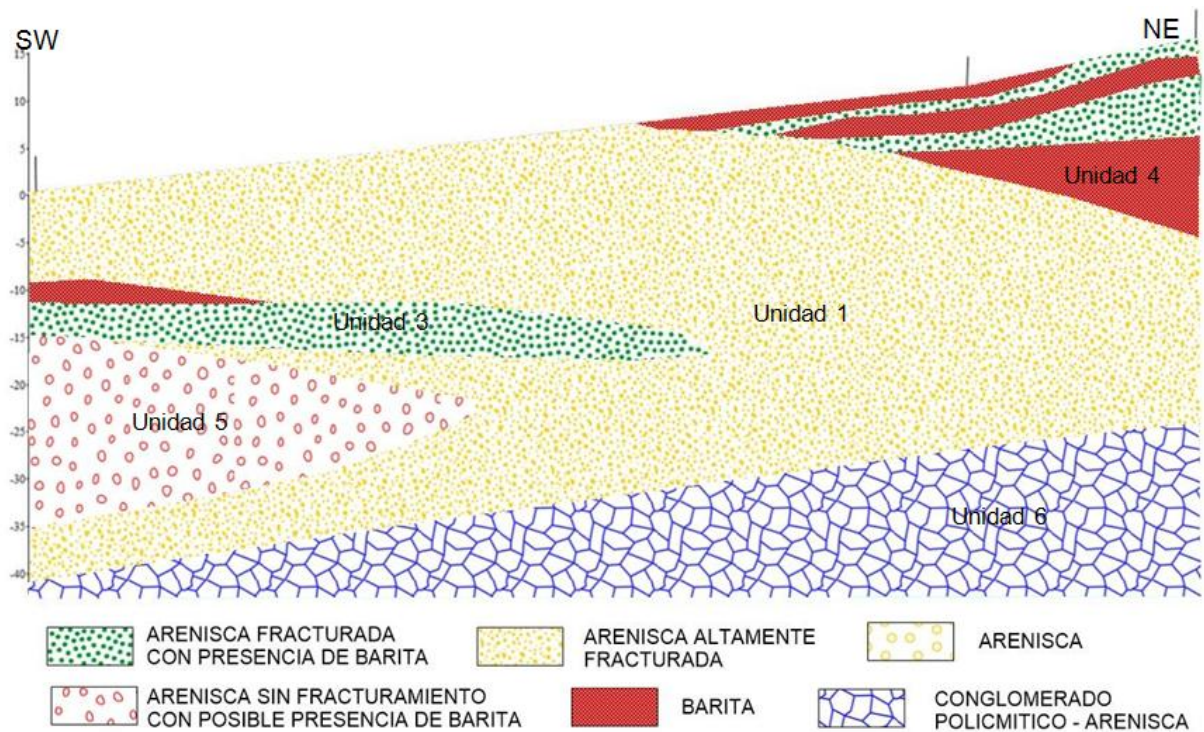


Figura 5.6.1.6. Perfil estratigráfico correspondiente a los sondeos 7, 4 y 3.

En base a las resistividades recopiladas para diferentes tipos de roca, mostrados en las tablas 1, 2 y 3, se le pueden asignar a las unidades geoelectricas las litologías distinguidas en campo y en las cartas geológicas.

Las resistividades de la Unidad 1 (15 - 80 Ωm) podrían corresponder a areniscas con alto grado de fracturamiento. En campo se reconocen en el suelo la evidencia de estas areniscas, lo cual sugiere que en la Unidad 1 se asigne esta litología. Las resistividades de la Unidad 2 (81 – 200 Ωm) podrían corresponder a areniscas que no presentan mucho fracturamiento. Esta unidad se localiza por debajo de las Unidades 1, 3 y 5. Para la Unidad 3 (201 – 700 Ωm) se asocian areniscas fracturadas con la posible intercalación de mineral barita, esto hace a que las resistividades sean mayores que las resistividades de la Unidad 1.

Para la Unidad 4 tenemos resistividades mayores (720 – 2900 Ωm) que están asociadas a nuestro objetivo de estudio que es la anomalía representativa de la barita. Esta unidad se caracteriza por las altas resistividades y además dichos espesores son entre 0.5 y 3 metros. Se asocia esta anomalía geoelectrica a este mineral debido a las características de formación de este mineral para esta zona de estudio (Vetas de origen hidrotermal).

La Unidad 5 (2200 – 6000 Ωm) se asocia a la posible presencia de barita intercalada en una arenisca con alto grado de compactación. Presenta espesores considerables (mayor a 15 m), es por eso que se puede decir que solo se trate de la presencia de la barita. Finalmente, la Unidad 6 muestra un tipo de basamento resistivo correspondiente a un nivel muy compactado de roca, y para esto, mediante la geología regional y de diversas tablas, se asocia estos valores a conglomerado polimíctico-arenisca.

5.6.1.6. MODELO VOLUMÉTRICO

A partir de los resultados geofísico-geológicos de los sondeos eléctricos verticales se logró establecer las anomalías geoelectricas que se asociaron a la presencia del mineral barita. Estas anomalías fueron el objetivo de interés de nuestro estudio, y a partir de esto realizar nuestro modelo volumétrico que represente la distribución de las resistividades de la zona y realizar el cálculo volumétrico de la anomalía.

El modelo volumétrico presentado a continuación correspondiente a nuestro prospecto “A” realizado con el software VOXLER. En nuestro modelo los datos de los sondeos ya interpretados fueron cargados como datos de pozos, de esta manera se pudo analizar cómo se presenta la distribución de las resistividades a lo largo de toda la trayectoria del pozo (figura 5.6.1.7). Con los SEVs, en el software se realizó un modelado en 3D a partir de un método de interpolación (figura 5.6.1.8). Para una mejor visualización se realizaron secciones que presentan de manera interna la distribución de resistividades dentro del volumen modelado (figura 5.6.1.9).

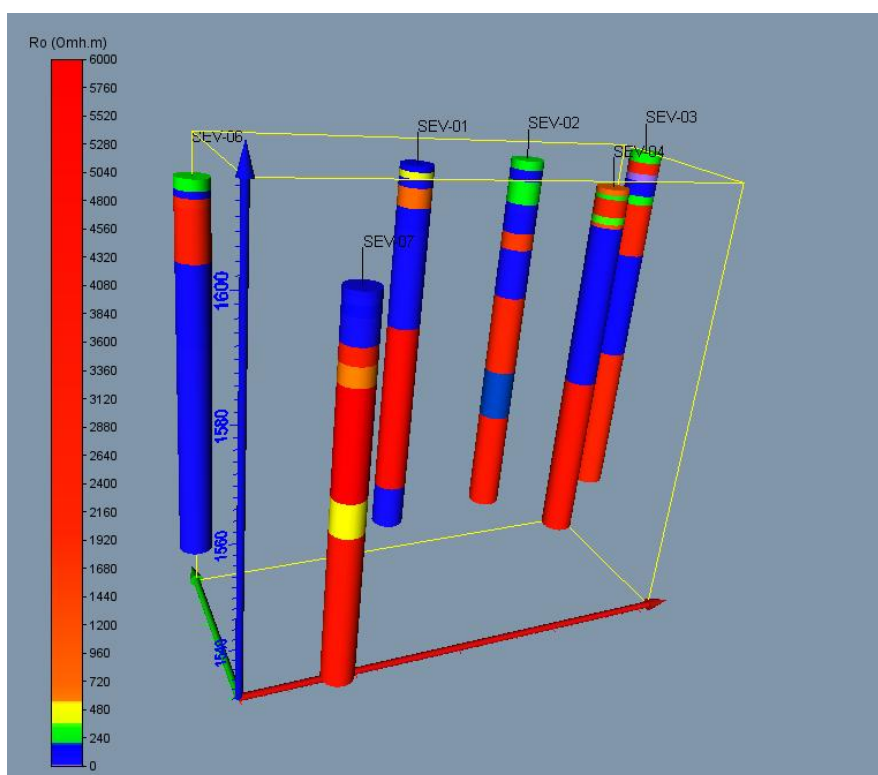


Figura 5.6.1.7. Representación de los sondeos eléctricos verticales como datos de pozo que representan la distribución de los valores de resistividad a lo largo de la trayectoria del pozo.

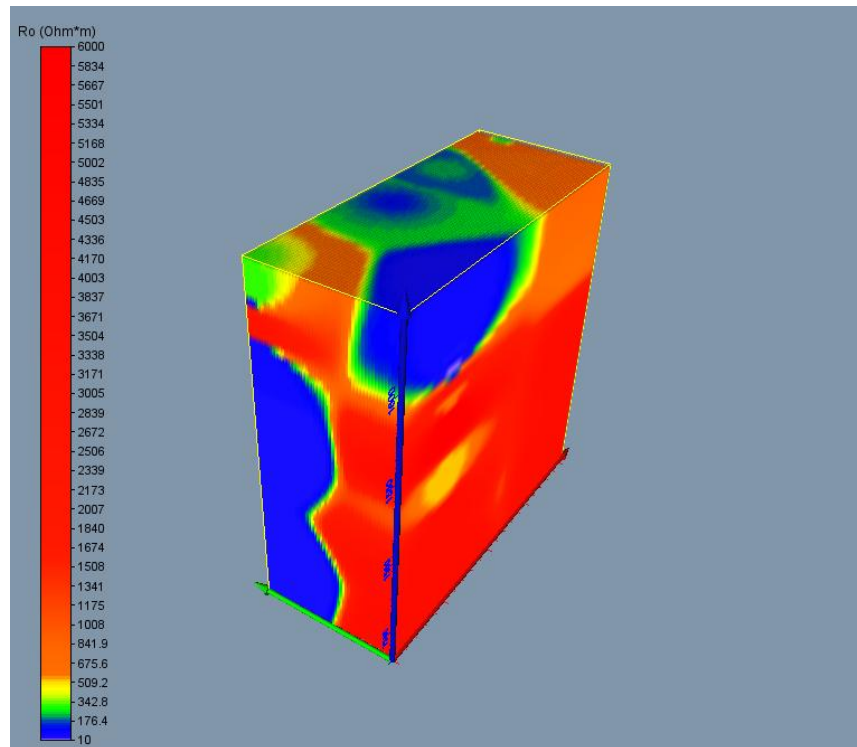


Figura 5.6.1.8. Modelo volumétrico generado a partir de los SEVs que representa la distribución de las resistividades en la zona de estudio.

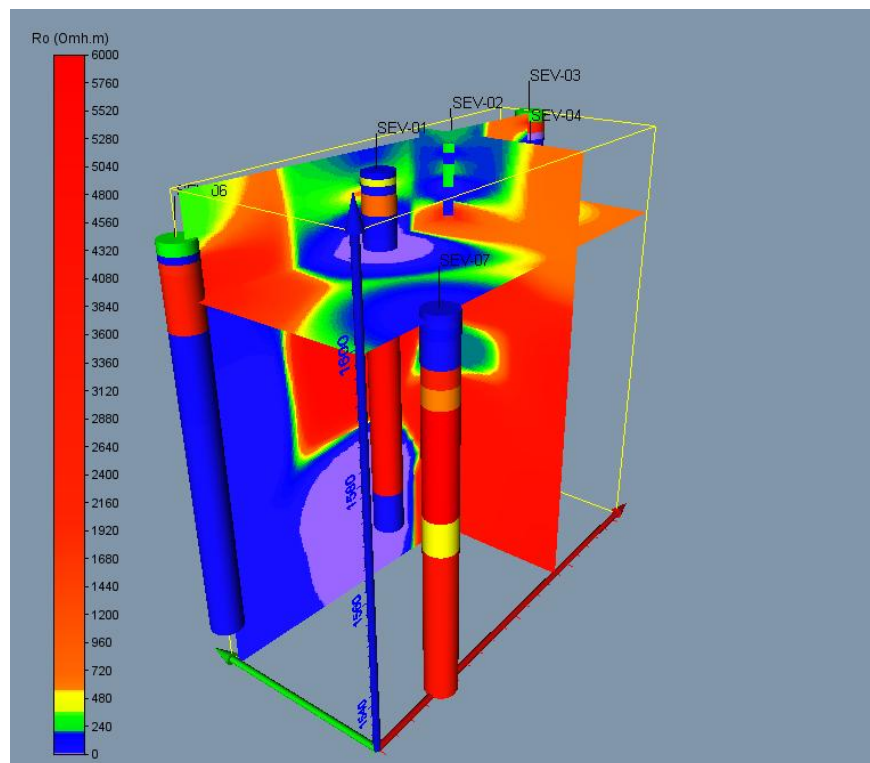


Figura 5.6.1.9. Secciones representativas de nuestro modelo que muestran la distribución interna de las resistividades de la zona de estudio.

Este modelo genera una adecuada distribución de los valores de resistividad, pero no se puede visualizar correctamente los altos resistivos asociados a la barita debido a que existen resistividades dentro del rango de esta que no corresponden al mineral, y por lo tanto se realizaron dos modelos más, el primero en el cual representa las anomalías superficiales de la barita (figuras 5.6.1.10 a 5.6.1.12), y el segundo que represente las anomalías secundarias asociadas a las resistividades altas dentro de los espesores más grandes que pudieran contener presencia del mineral y poder establecer la distribución y volumen de esta (figuras 5.6.1.13 a 5.6.1.15). Por último, en la figura 5.6.1.16 se muestra la distribución de los cuerpos de la anomalía asociada a mineralización a partir de la interpolación realizada por el programa Voxler.

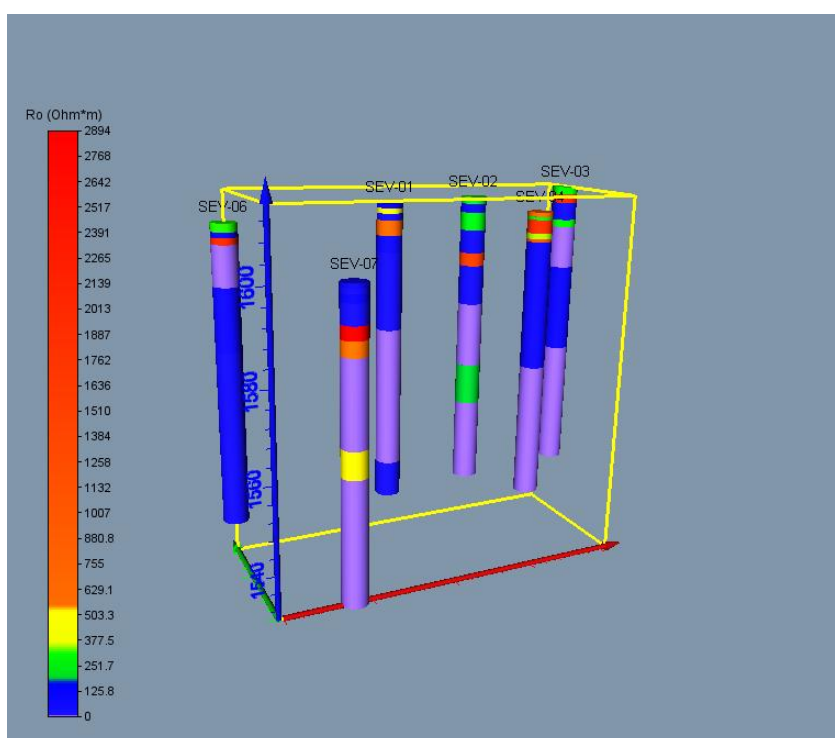


Figura 5.6.1.10. Representación de los sondeos eléctricos verticales como datos de pozo que representan la distribución de los valores de resistividad para la anomalía superficial a lo largo de la trayectoria del pozo.

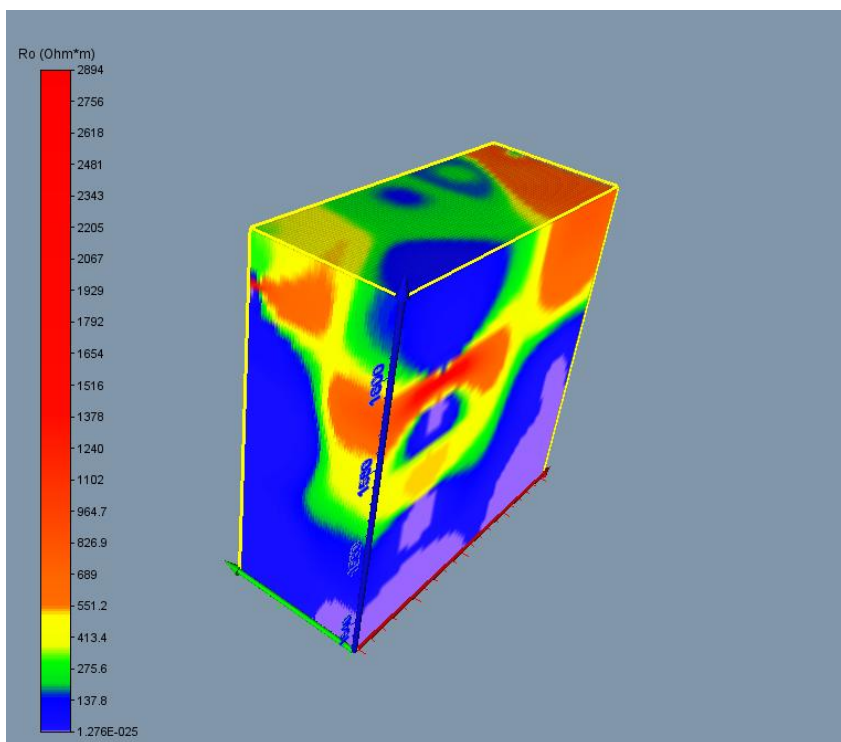


Figura 5.6.1.11. Modelo volumétrico generado a partir de los SEVs que representa la distribución de las resistividades de la anomalía superficial en la zona de estudio.

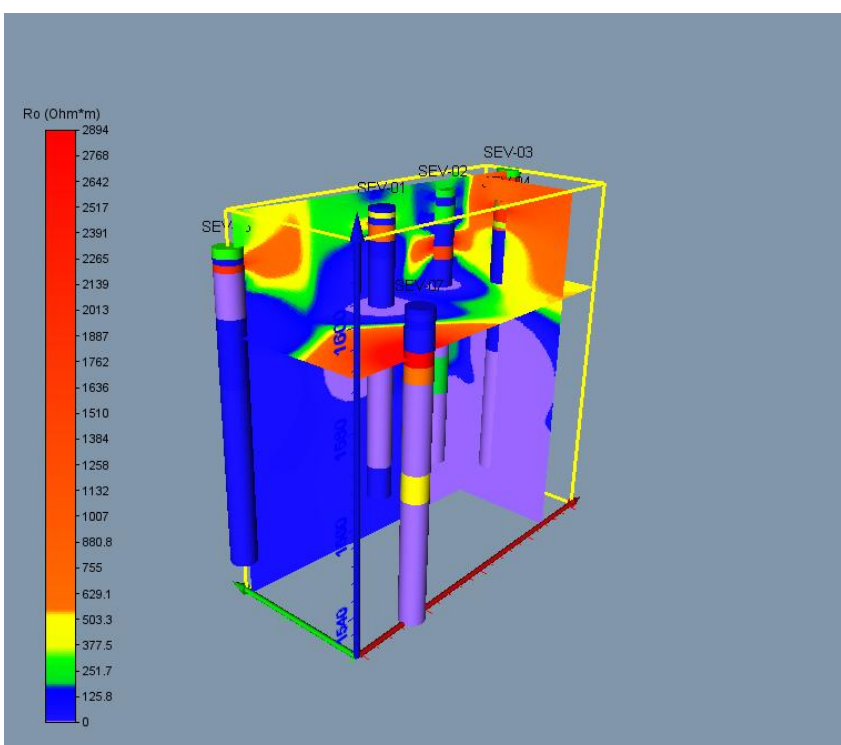


Figura 5.6.1.12. Secciones representativas de nuestro modelo que muestran la distribución interna de las resistividades para la anomalía superficial de la zona de estudio.

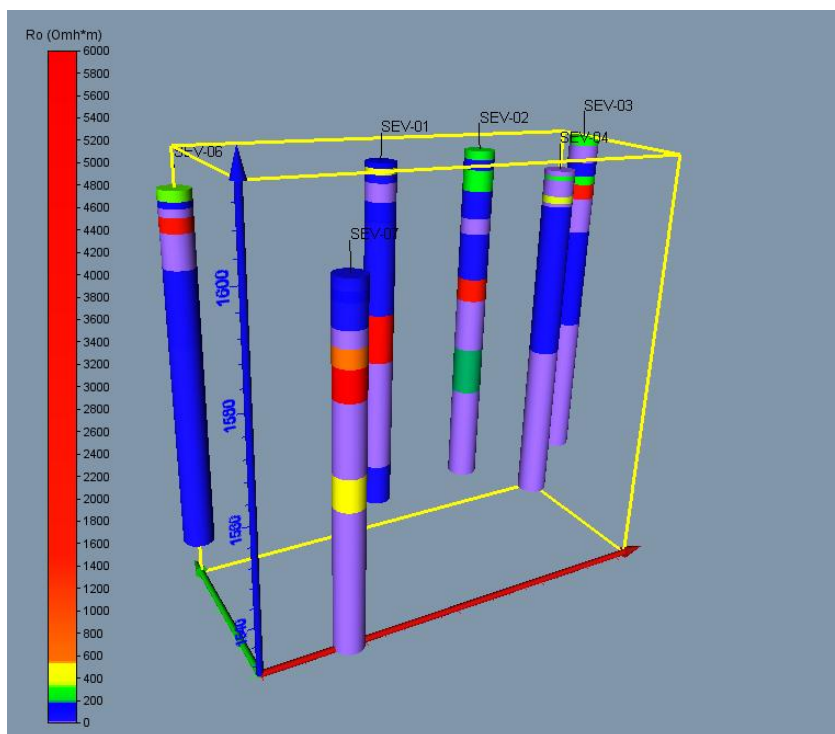


Figura 5.6.1.13. Representación de los sondeos eléctricos verticales como datos de pozo que representan la distribución de los valores de resistividad para la anomalía secundaria a lo largo de la trayectoria del pozo.

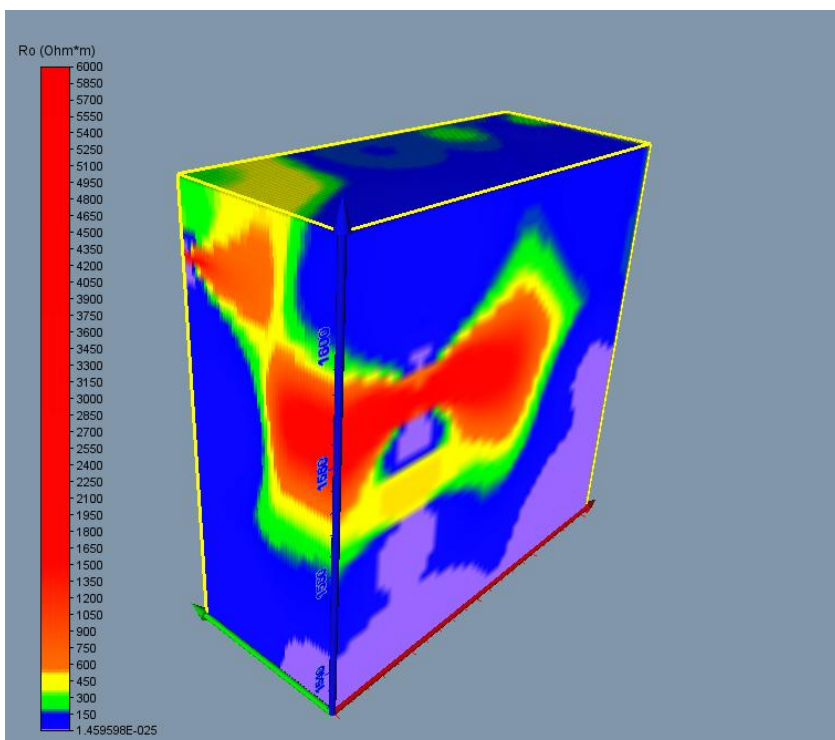


Figura 5.6.1.14. Modelo volumétrico generado a partir de los SEVs que representa la distribución de las resistividades de la anomalía secundaria en la zona de estudio.

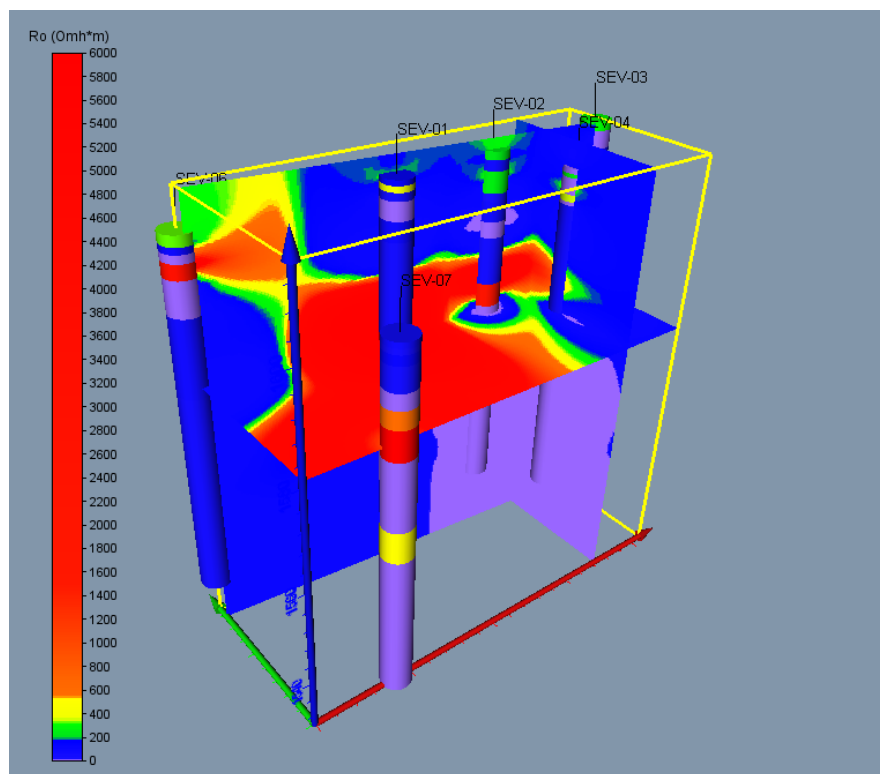


Figura 5.6.1.15. Secciones representativas de nuestro modelo que muestran la distribución interna de las resistividades para la anomalía secundaria de la zona de estudio.

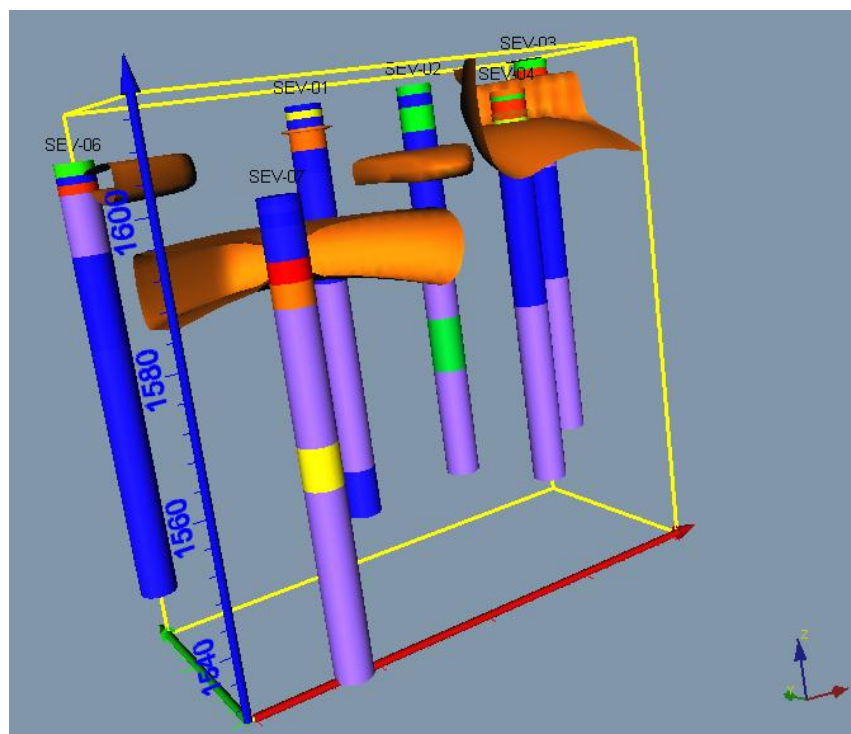


Figura 5.6.1.16. Representación de los cuerpos de las anomalías asociadas a la mineralización de barita de la zona de estudio.

5.6.1.7. CALCULO DE RECURSOS

Con el uso de herramientas dentro del programa se logro establecer que el volumen que representa la suma de las dos anomalías geoelectricas dentro del prospecto “A” es de 7726 m³, el cual está distribuido en 4 cuerpos (Unidades 5a, 5b y 5c y el secundario) los cuales se representan en la figura 5.6.1.17 a excepción del secundario. Conociendo el volumen de la anomalía, a partir de las observaciones de campo se estableció que entre el 30 y 60% de la anomalía correspondía a mineral barita y la diferencia en porcentaje corresponde a roca estéril. Estos datos los observamos en la tabla 5.6.1.7.

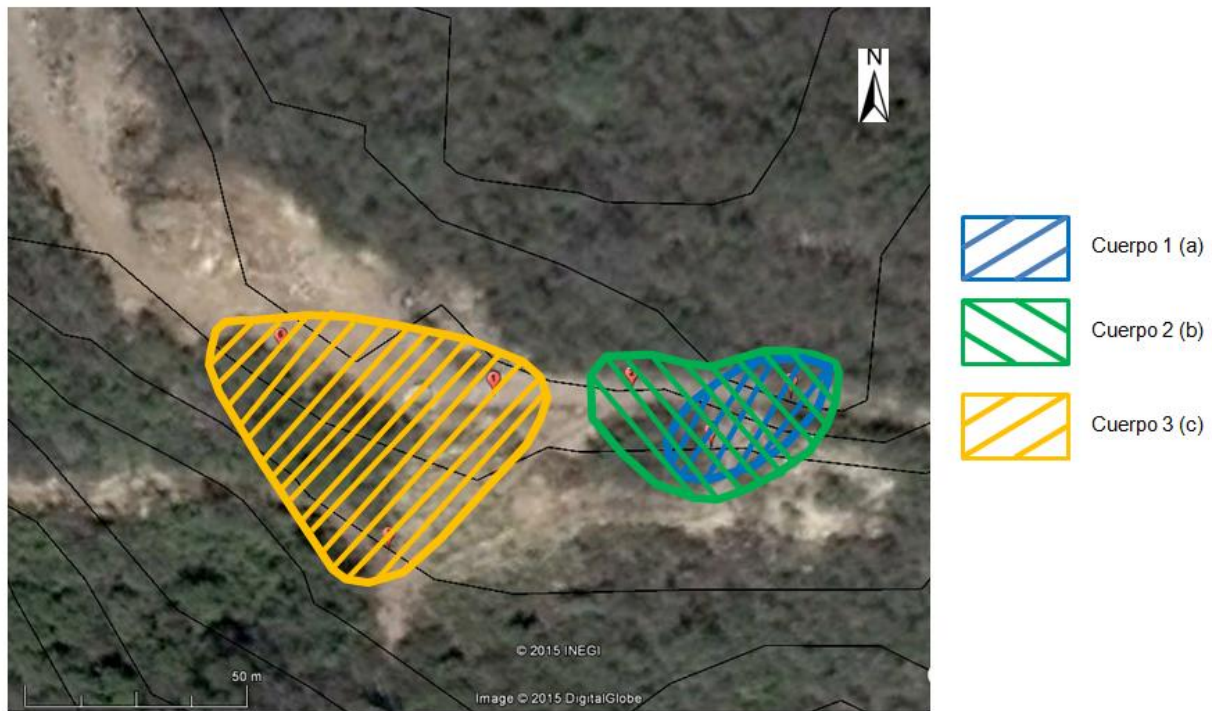


Figura 5.6.1.17. Mapa que representa la distribución de los cuerpos correspondiente a la barita (línea negra = curvas de nivel cada 5 m).

Para conocer el tonelaje de barita se considero para este una densidad de 4.2kg/m³, y de esta forma el prospecto “A” presenta una estimación de recursos inferidos entre 27965.7 y 55931.4 Ton dependiendo del porcentaje seleccionado para dicho mineral.

ANOMALÍA	VOLUMEN	RECURSOS INFERIDOS (Ton)	
		60%	30%
A	4695	11831.4	5915.7
B	1934	4873.68	2436.84
C	1097	2764.44	1382.22
SECUNDARIA	14469	36461.88	18230.94
TOTAL	22195	55931.4	27965.7

Tabla 5.6.1.3. Volumen y recursos del prospecto A.

5.6.2. PROSPECTO B

5.6.2.1. RESULTADOS ELÉCTRICOS

Se presenta a continuación uno de los diez sondeos interpretados a través del software IPI2WIN (figura 5.6.2.1), el cual muestra la inversión de los datos de resistividad aparente y donde se obtienen las resistividades verdaderas, espesor de cada capa y profundidad alcanzada en el estudio (tabla 5.6.2.1). Para consultar los demás sondeos interpretados ver anexo 3.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-1

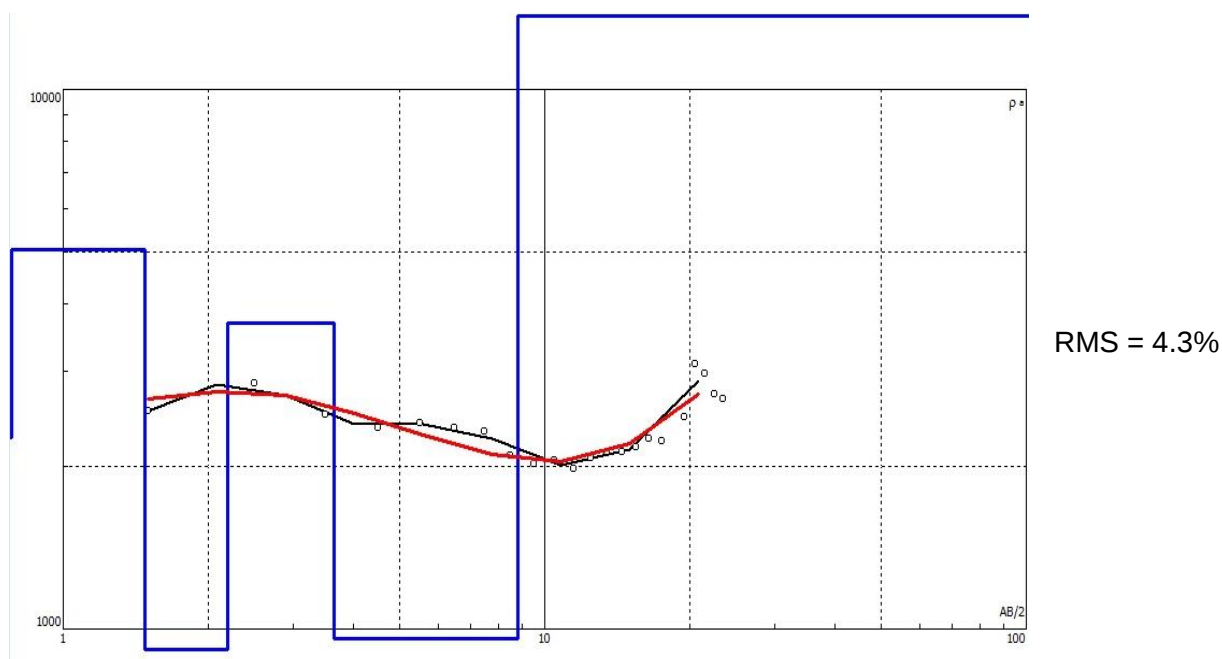


Figura 5.6.2.1. Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 1 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	p (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	2260	0.75	0.75
2	5050	0.728	1.48
3	915	0.718	2.2
4	3690	1.45	3.65
5	960	5.15	8.8
6	22000		

Tabla 5.6.2.1. Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 1.

5.6.2.2. INTERPRETACIÓN CUALITATIVA DE LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD

De la misma manera que el prospecto A, se realizó la interpretación cualitativa en la identificación de los SEVs dentro de la clasificación K, H, Q ó A. Así se obtuvo la tabla 5.6.2.2.

SEV	AB/2 máximo (m)	Tipo de curva
1	23.5	KHKH
2	20.5	KHKH
3	30.5	KH
4	24.5	KHKH
5	22.5	KHK
6	30.5	KHKHK
7	30.5	KHK
8	34.5	HA
9	25.5	KHKHA
10	30.5	KHKH

Tabla 5.6.2.2. Interpretación cualitativa utilizando la clasificación tipo K, H, Q y A.

5.6.2.3. MAPAS ISORESISTIVOS

Posterior a la obtención de los resultados interpretados con el programa IPI2WIN, se procedió a generar los mapas isoresistivos. Estos mapas muestran la variación de

resistividades con el aumento de la profundidad. Para el prospecto B se generaron mapas isoresistivos para profundidades de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 12, 15 y 17m (ver anexo 4).

Los mapas de isoresistividad muestran que a nivel superficial encontramos resistividades que van de los 1100 a los 4000 Ωm , estas resistividades están dentro de un rango medio de los valores presentes en toda la zona de estudio y se presentan mayormente en la parte superficial. A partir de 0.5m empezamos a encontrar resistividades altas que van de los 4000 Ωm a 9000 Ωm y que están distribuidas en distintas partes y a distintas profundidades (cerca de los 2 m) de nuestros mapas. Las resistividades bajas (menores a 1000 Ωm) se presentan en una mayor proporción a partir de los 2 m, y finalmente se tienen resistividades altas presentes en mayor proporción en los mapas realizados a partir de los 10 m (mayores a 10000 Ωm).

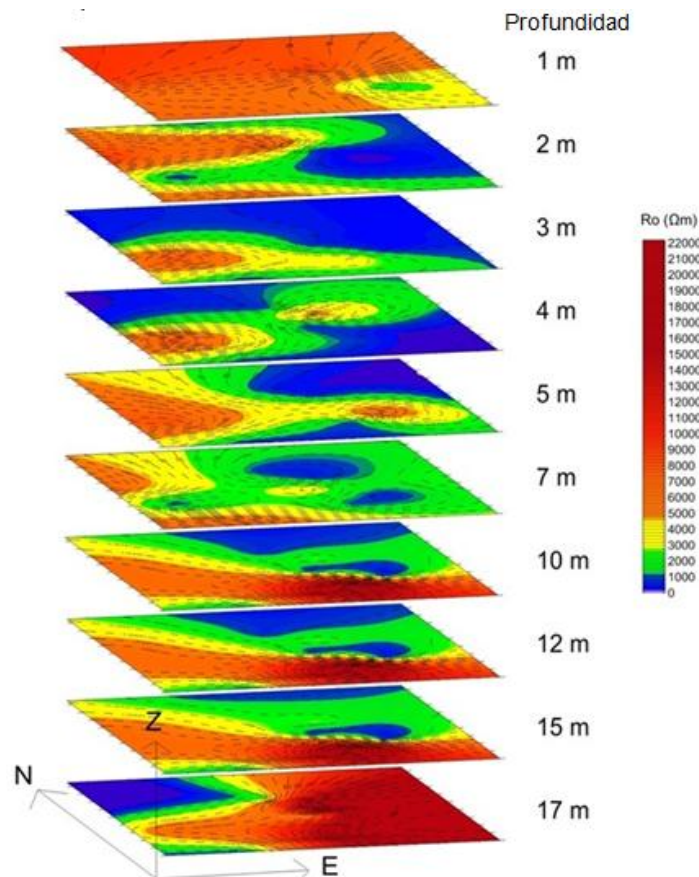


Figura 5.6.2.2. Representación de la distribución de las resistividades verdaderas (Ωm) a distintos niveles de profundidad.

5.6.2.4. PERFILES GEOELÉCTRICOS

Con el resultado del procesamiento de las curvas de resistividad, se procedió a generar cinco perfiles geoelectricos. El primer perfil contiene la interpretación de los sondeos 1, 2, 3 y 4 y tiene una longitud de 15.5 m en dirección SE-NW (figura 5.6.2.3). El segundo perfil contiene la interpretación de los sondeos 5, 6 y 7 y tiene una longitud de 12 m en dirección SE-NW (figura 5.6.2.4). El tercer perfil contiene la interpretación de los sondeos 5, 1, 10 y 8 y tiene una longitud de 15 m en dirección SW-NE (figura 5.6.2.5). El cuarto perfil contiene la interpretación de los sondeos 6, 2 y 8 y tiene una longitud de 14.5 m en dirección SW-NE (figura 5.6.2.6). El quinto perfil contiene la interpretación de los sondeos 7, 9 y 8 y tiene una longitud de 16 m en dirección W-E (figura 5.6.2.7).

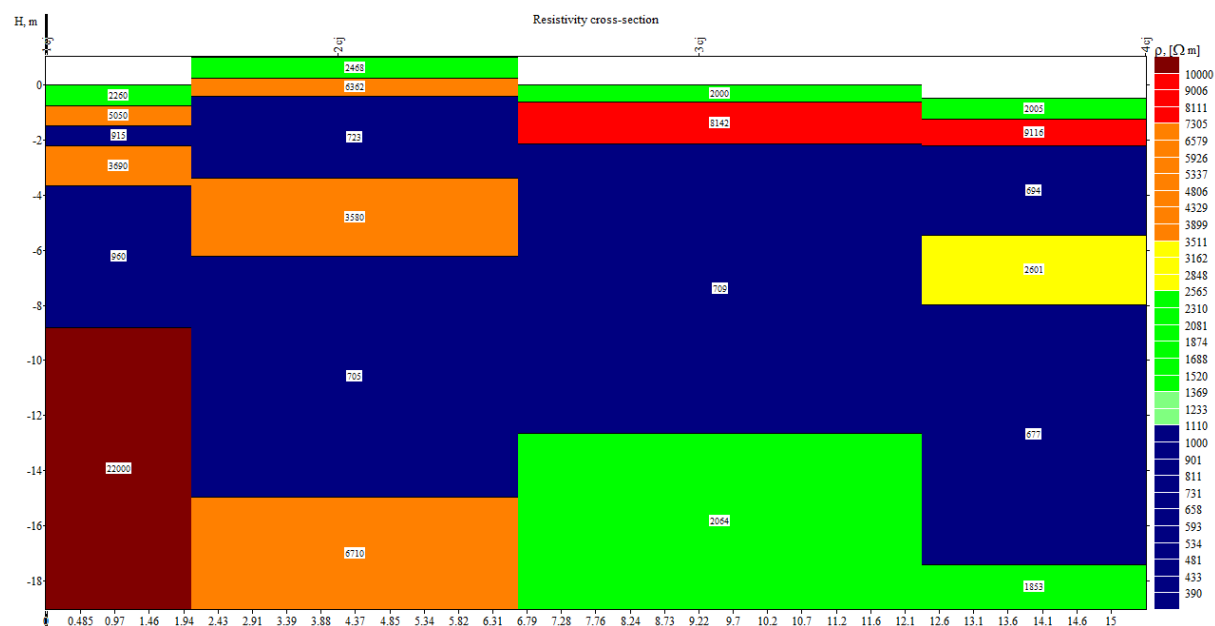


Figura 5.6.2.3. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 1, 2, 3 y 4.

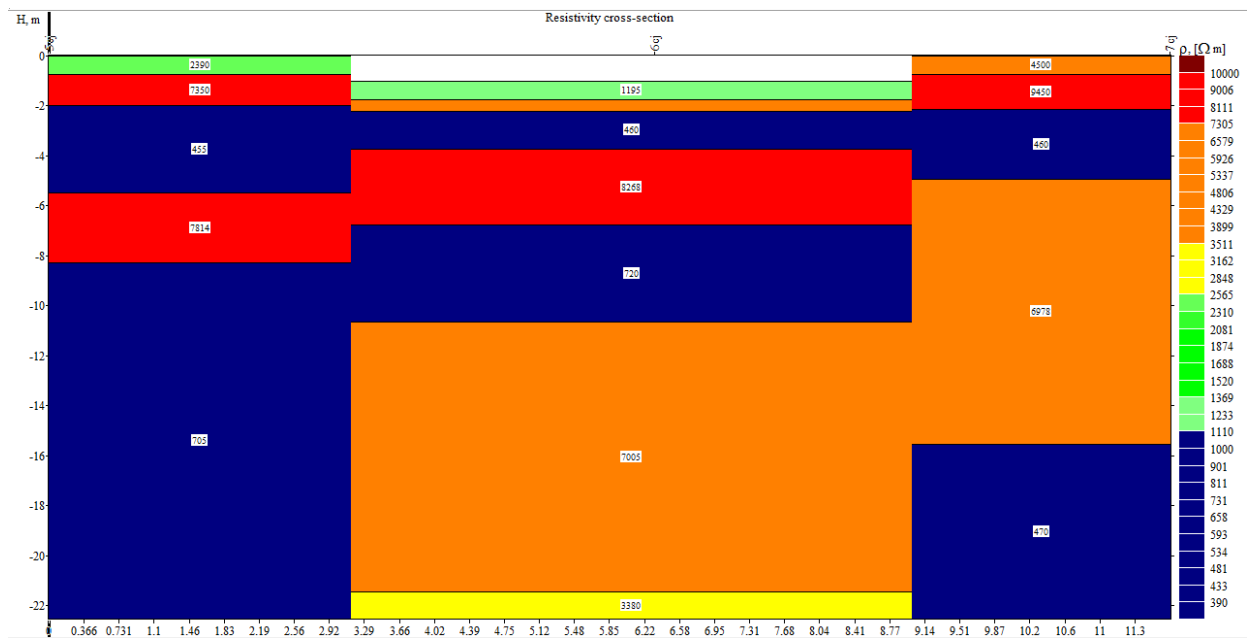


Figura 5.6.2.4. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 5, 6 y 7.

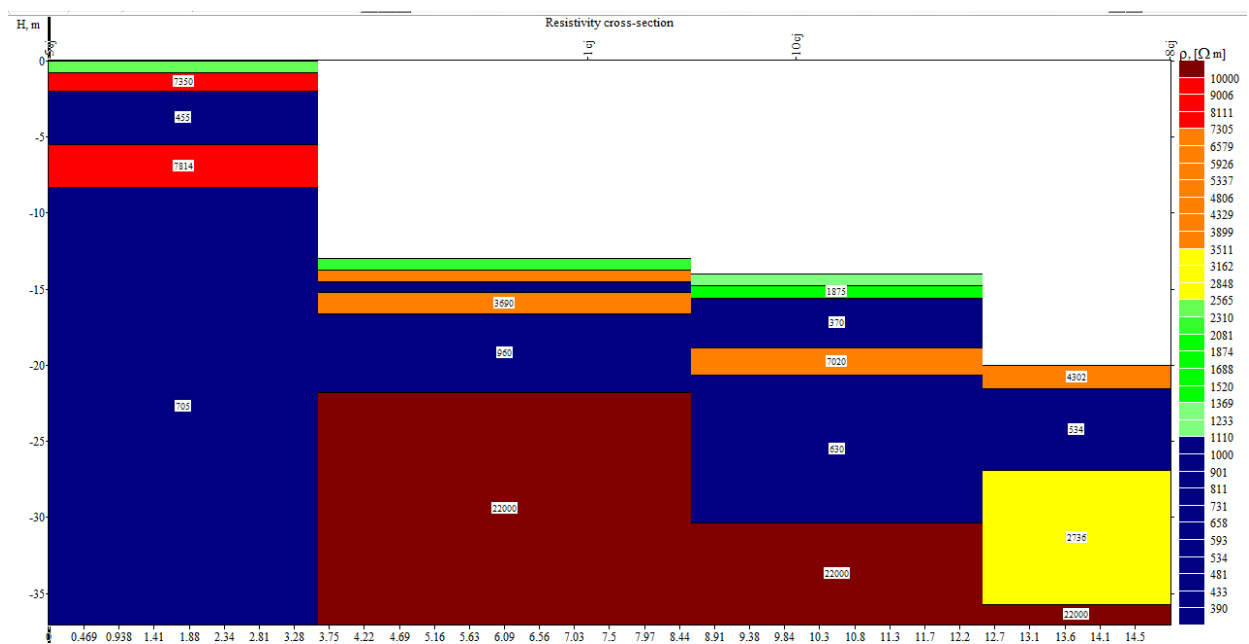


Figura 5.6.2.5. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 5, 1,10 y 8.

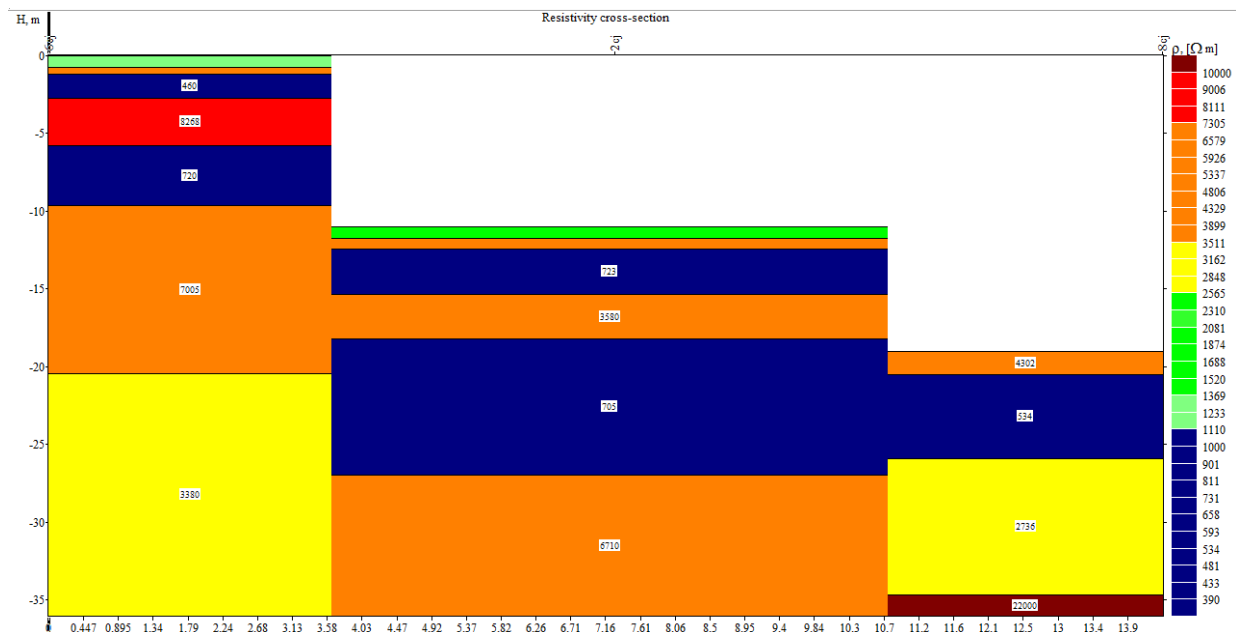


Figura 5.6.2.6. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 6, 2 y 8.

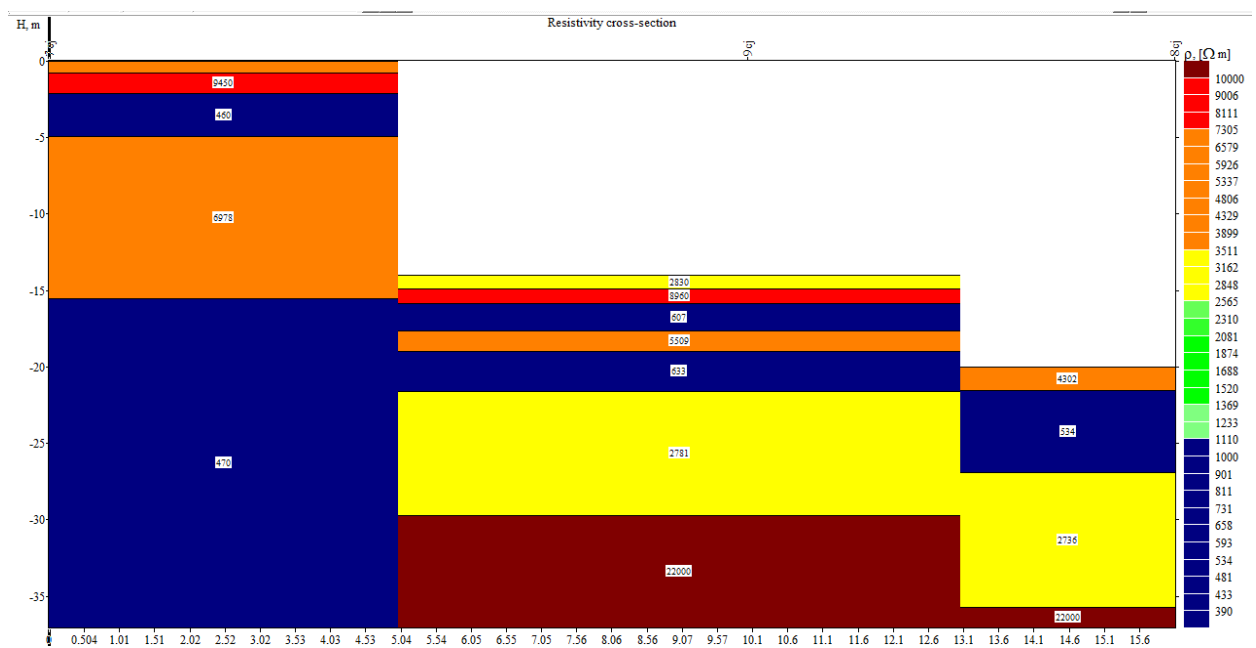


Figura 5.6.2.7. Perfil geoelectrico que representa la distribución de las resistividades de los sondeos 7, 9 y 8.

5.6.2.5. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GEOELÉCTRICOS

A partir de la información recolectada de las muestras de campo se distinguió una litofacie que corresponde a areniscas, además de que se observó la presencia de rocas ígneas que se encontraba aflorando cerca en la zona de estudio. Con esta información, y, agregando la geología regional de la zona de estudio que se obtuvo a partir de cartas geológicas se lograron interpretar en el estudio geofísico seis unidades geoeléctricas que corresponden areniscas, arenisca-limosa, material ígneo y lentes de barita. De esta manera se logro la interpretación de la secuencia vertical de los estratos presentes en el área de estudio.

Las unidades geoeléctricas que se determinaron a partir de los perfiles geoeléctricos se interpretaron mediante la elaboración de cinco perfiles eléctricos. En estos perfiles se distinguen seis unidades (Unidades 1, 2, 3, 4, 5 y 6) con espesores que varían lateralmente (figuras 5.6.2.8 a 5.6.2.12).

La Unidad 1 se encuentra subyaciendo a la Unidad 2 y es la que se presenta en mayor proporción en la zona de estudio; tiene espesores considerables (hasta de 10 m) y presenta las resistividades más bajas de la zona. La Unidad 2 la encontramos de manera superficial, se caracteriza por presentar espesores de poca potencia (menor a 1 m) y con un rango de resistividades intermedias. Las Unidades 3 y 4 presentan características similares en cuanto a espesores (algunos metros) y continuidad lateral, se encuentran a mayor profundidad que las unidades 1 y 2 y también sus resistividades son mayores que estas unidades (la unidad 4 presenta resistividades mal altas que la unidad 3). La Unidad 5 se encuentra a poca profundidad, presenta valores altos de resistividad y con espesores cercanos a los 3 metros. La Unidad 6 es la que se encuentra a mayor profundidad y se caracteriza por poseer resistividades muy altas con espesores indefinidos.

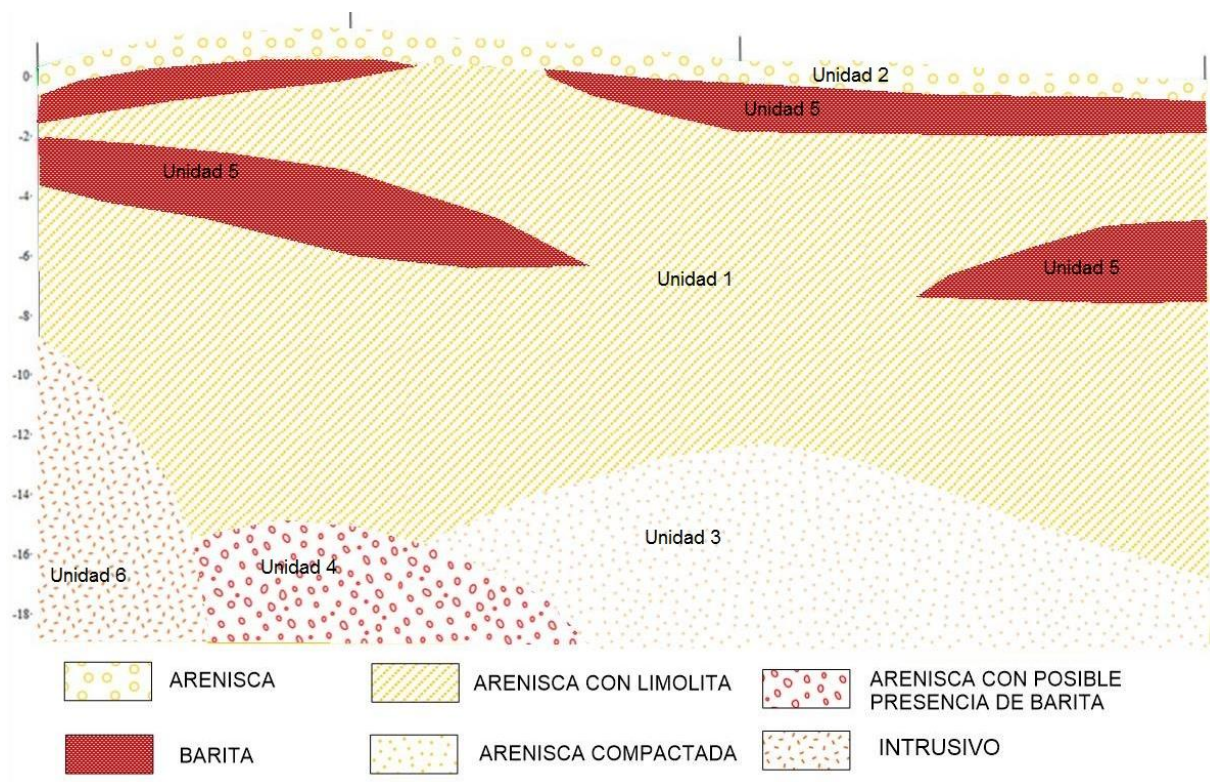


Figura 5.6.2.8. Perfil estratigráfico correspondiente a los sondeos 1, 2, 3 y 4.

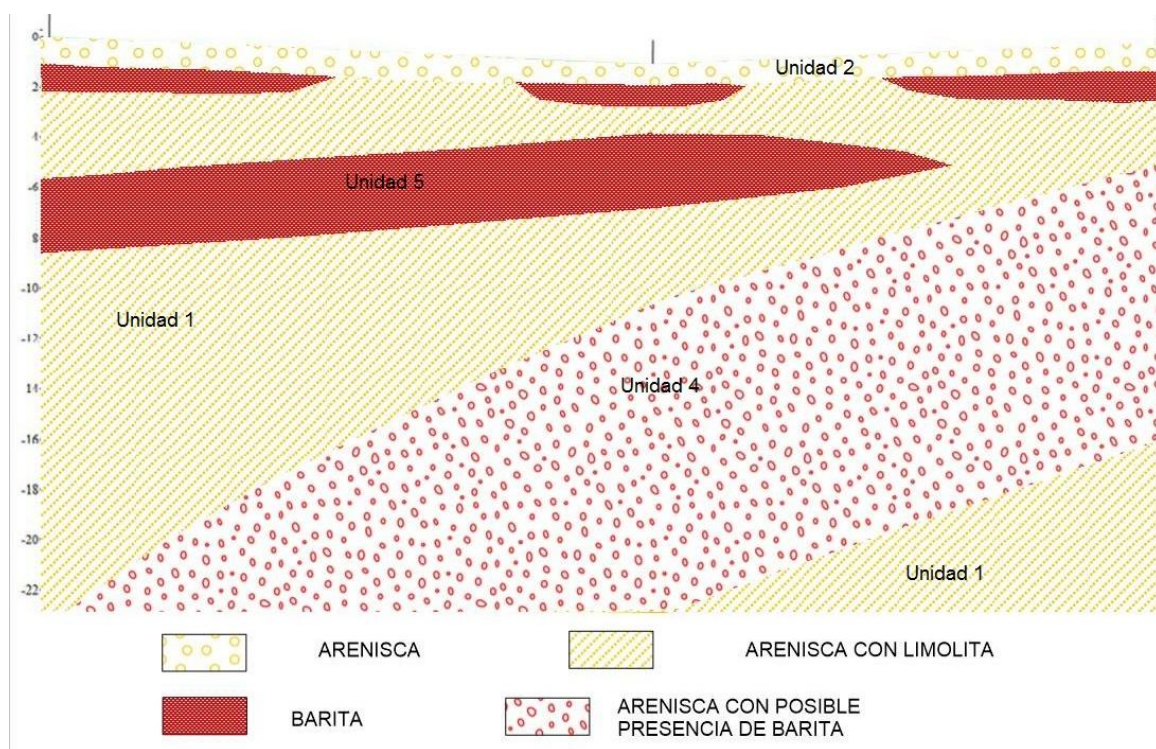
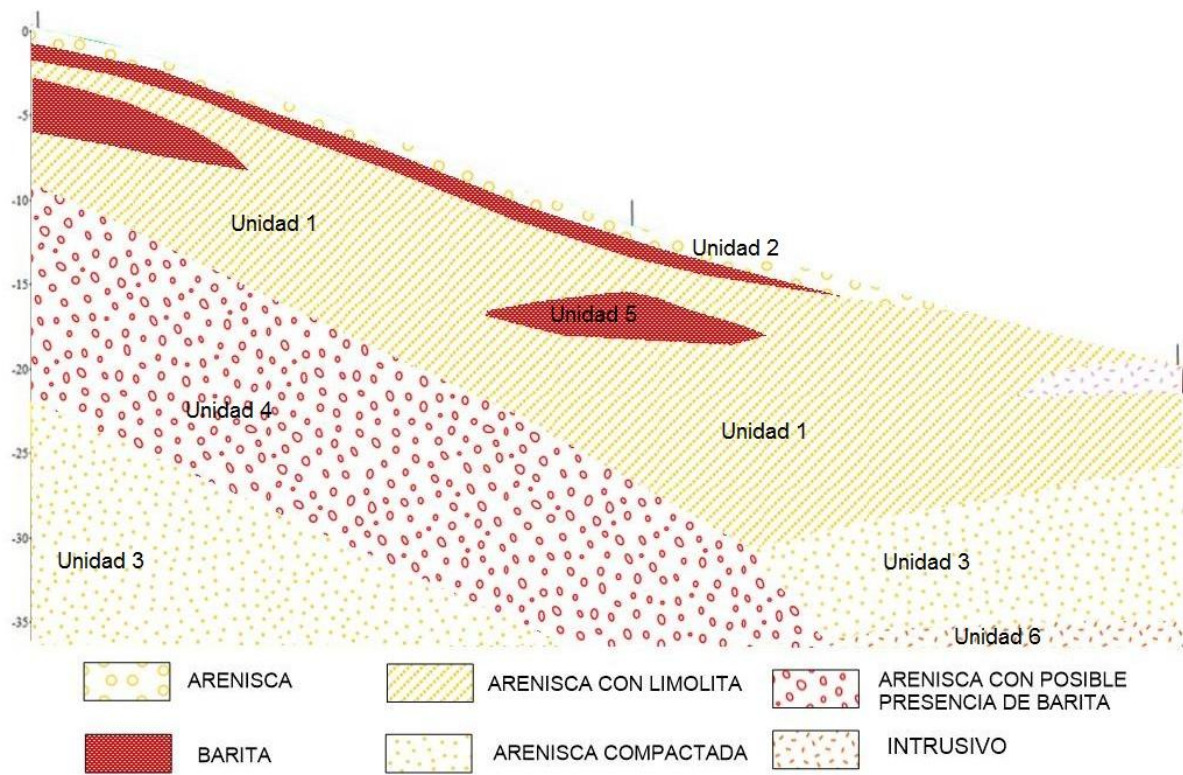
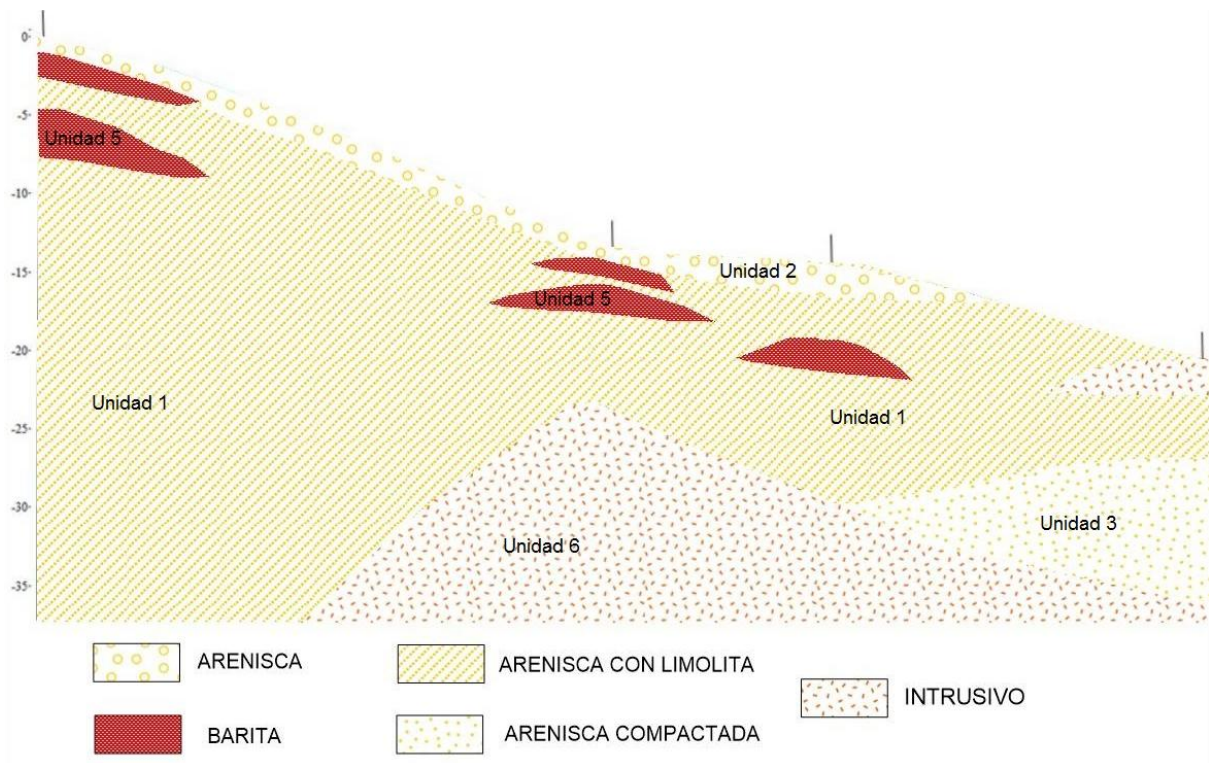


Figura 5.6.2.9. Perfil estratigráfico correspondiente a los sondeos 5, 6 y 7.



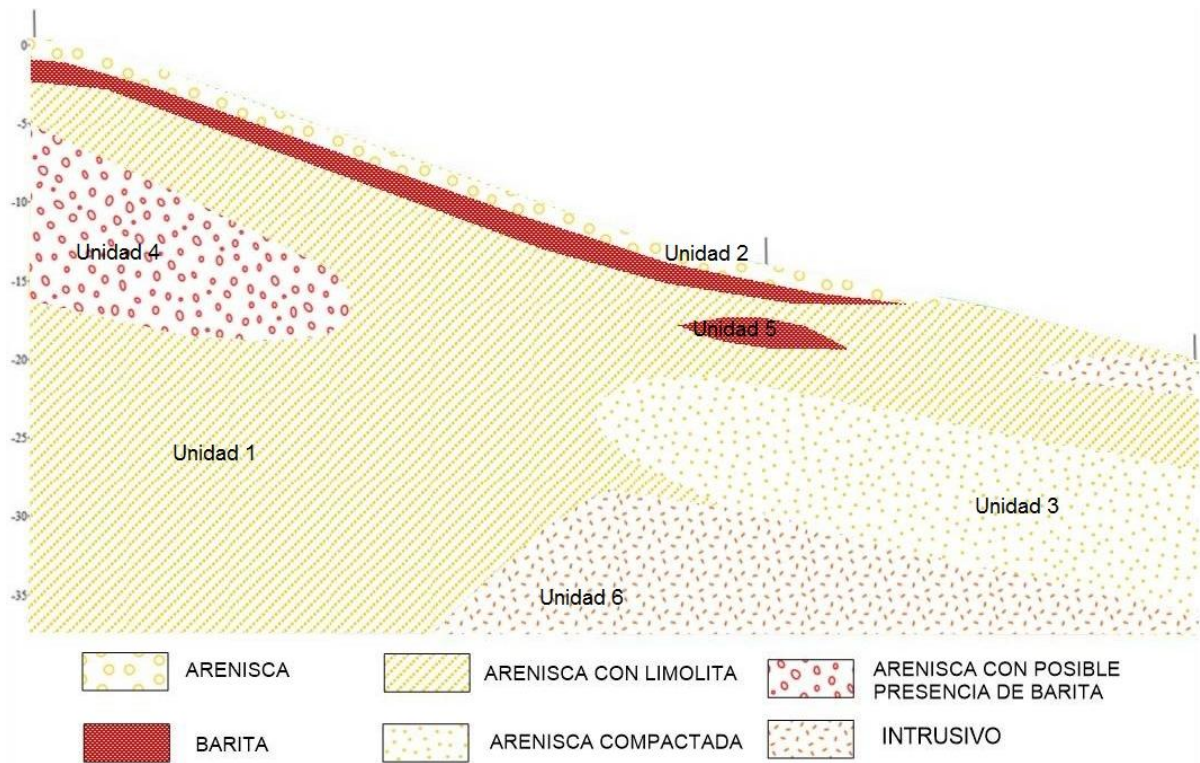


Figura 5.6.2.12. Perfil estratigráfico correspondiente a los sondeos 7, 9 y 8.

En base a las resistividades recopiladas para diferentes tipos de roca, mostrados en las tablas 1, 2 y 3, se le pueden asignar a las unidades geoelectricas las litologías distinguidas en campo y en las cartas geológicas.

Las resistividades de la Unidad 1 (350 - 1300 Ω m) podrían corresponder a areniscas limosas. La geología representativa de esta región muestra que existe la presencia de este tipo de roca en la zona de estudio. De esta manera se sugiere que este puede ser la interpretación para esta unidad.

Las resistividades de la Unidad 2 (1310 -2500 Ω m) podrían corresponder a suelo conformado por areniscas y que presenta una buena continuación lateral. En el estudio de campo se reconoció la presencia de arenisca, por lo que se le fue asignado este tipo de litología para esta unidad.

Para las Unidades 3 y 4 (2510 – 3500 Ωm y 3510 - 7100 Ωm) nos encontramos resistividades mayores que pueden estar asociadas a areniscas con un grado mayor de compactación; además, para las resistividades de la Unidad 4 que son mayores a la Unidad 3 pudiera deberse a la presencia del mineral barita y este haría a que la resistividad de la roca encajonante sea mayor. Este tipo de litología puede representar dicha unidad ya que se sabe que existe la presencia de ese tipo de roca en la zona de estudio.

La Unidad 5 que representan resistividades altas (3600 - 9500 Ωm), está asociada a nuestro objetivo de estudio que es la anomalía representativa de la barita. Esta unidad se caracteriza por cuerpos que presentan las altas resistividades y además dichos espesores son entre 0.5 y 3 metros. Se asocia esta anomalía geoelectrica a este mineral debido a las características de formación de este mineral para esta zona de estudio (lentes de origen exhalativo).

Para la Unidad 6 (mayor a 22000 Ωm) tenemos resistividades mayores que pueden estar asociadas a algún tipo de basamento resistivo correspondiente a un nivel muy compactado de roca. Se determino que podría ser algún cuerpo intrusivo ya que se encontró evidencia de material intrusivo aflorando en dicha zona.

5.6.2.6. MODELO VOLUMÉTRICO

Al igual que en nuestro prospecto “A”, partir de la interpretación geofísica-geológica de los sondeos eléctricos verticales se logró establecer las anomalías geoelectricas que se asociaron a la presencia del mineral barita. Estas anomalías fueron el objetivo de interés de nuestro estudio, y a partir de esto realizar nuestro modelo volumétrico que represente la distribución de las resistividades de la zona y realizar el cálculo volumétrico de la anomalía.

El modelo volumétrico presentado a continuación correspondiente a nuestro prospecto “B” realizado con el software VOXLER. Se cargaron los datos de los sondeos ya interpretados como datos de pozos, de esta manera se pudo analizar cómo se presenta la distribución de las resistividades a lo largo de toda la trayectoria del pozo (figura 5.6.2.13). Con los SEVs, en el software se realizó un modelado en 3D a partir de un método de interpolación (figura 5.6.2.14). Para una mejor visualización se realizaron secciones que presentan de manera interna la distribución de resistividades dentro del volumen modelado (figura 5.6.1.15).

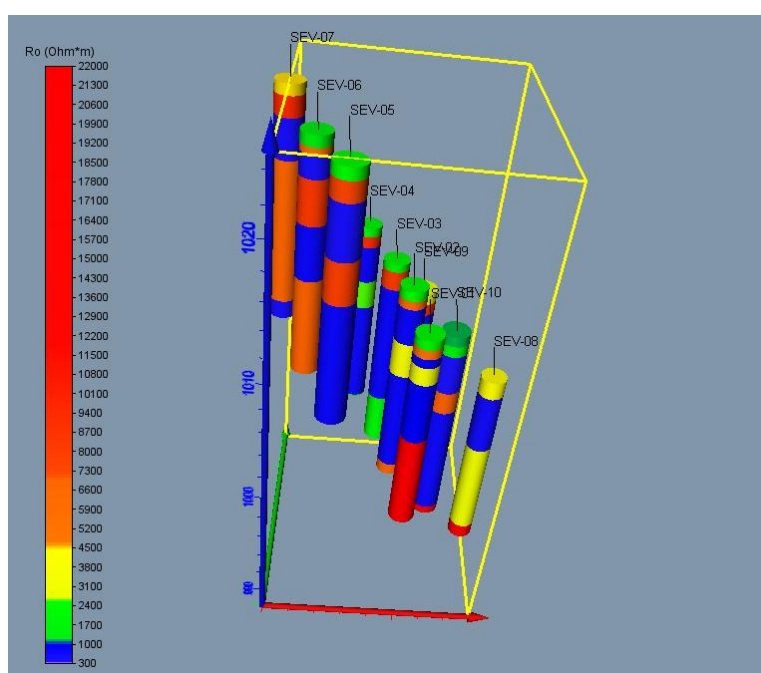


Figura 5.6.2.13. Representación de los sondeos eléctricos verticales como datos de pozo que representan la distribución de los valores de resistividad a lo largo de la trayectoria del pozo.

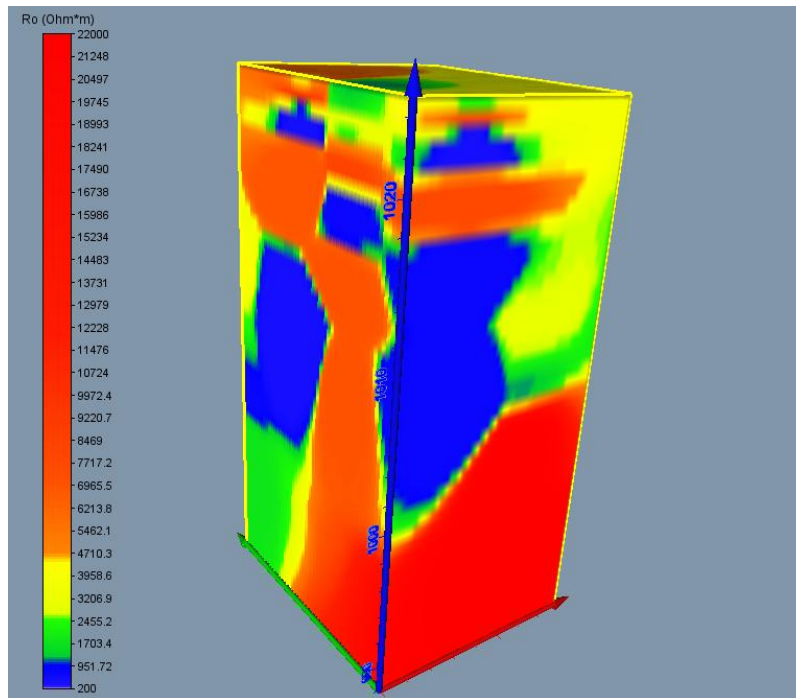


Figura 5.6.2.14. Modelo volumétrico generado a partir de los SEVs que representa la distribución de las resistividades en la zona de estudio.

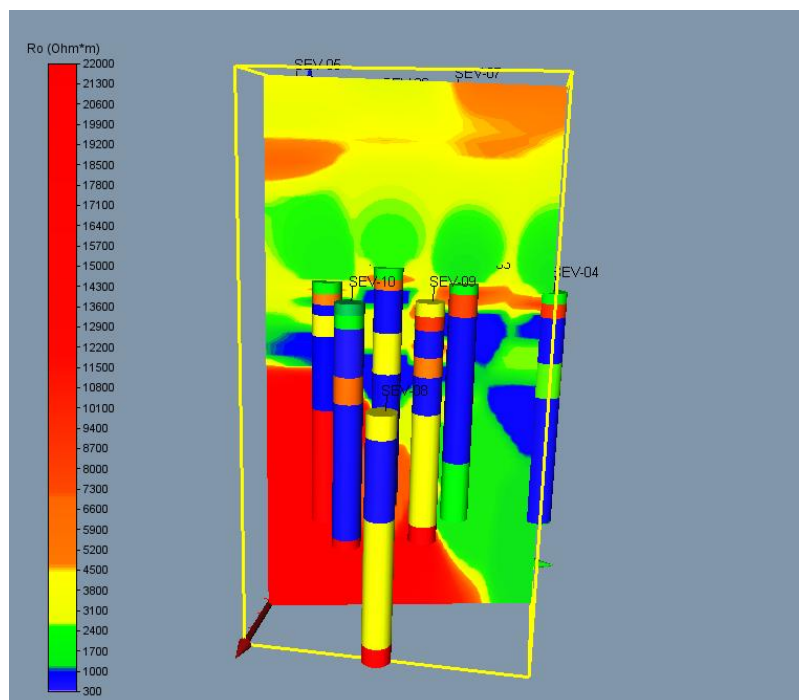


Figura 5.6.2.15. Sección representativa de nuestro modelo que muestra la distribución interna de las resistividades de la zona de estudio.

Como en este modelo los sondeos se encuentran a distintas elevaciones, a la hora de realizar el modelo volumétrico se interpolan las zonas donde no corresponden a ningún valor de resistividad (superficie) y que además tampoco se visualiza correctamente los altos resistivos asociados a la barita debido a que existen resistividades dentro del rango que corresponde a esta, de esta manera se procedió a la realización de dos modelos: el primero que representa las resistividades de toda la zona (figura 5.6.1.16 a 5.6.1.18) y el segundo modelo que solo representa las resistividades características de la anomalía asociada a la barita para así poder establecer la distribución y volumen de esta (figura 5.6.1.19 a 5.6.1.21). Por último, en la figura 5.6.1.22 se muestra la distribución de los cuerpos de la anomalía asociada a mineralización a partir de la interpolación realizada por el programa Voxler.

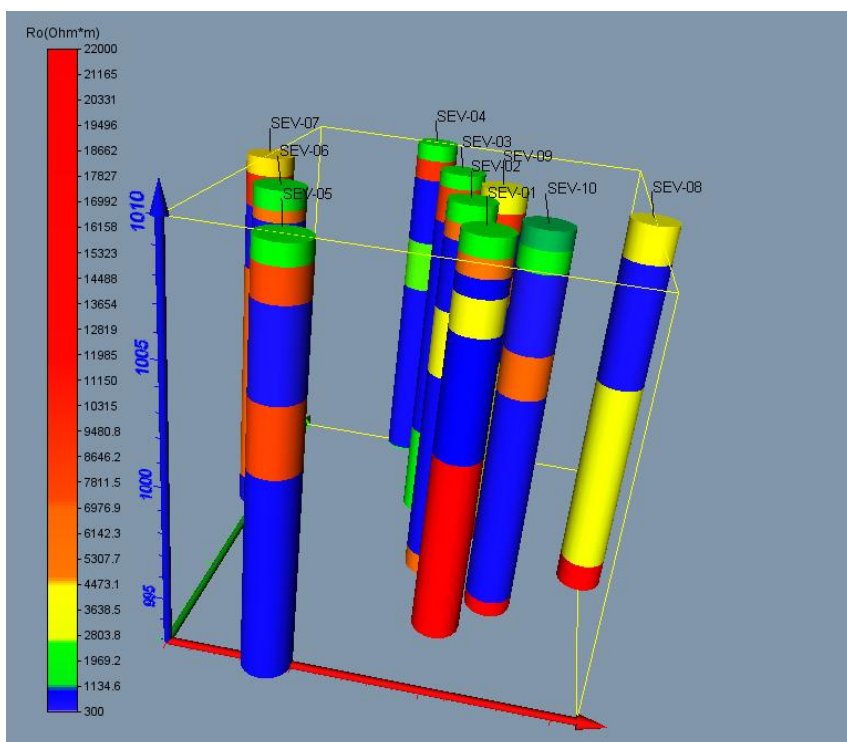


Figura 5.6.2.16. Representación de los sondeos eléctricos verticales creados a una misma altura como datos de pozo que representan la distribución de los valores de resistividad a lo largo de la trayectoria del pozo.

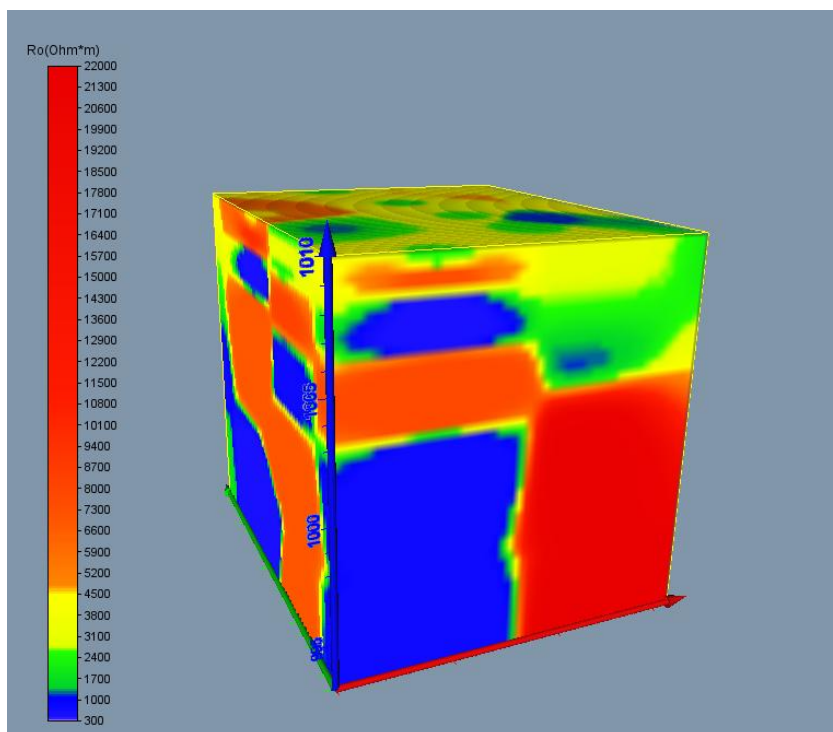


Figura 5.6.2.17. Modelo volumétrico generado a partir de los SEVs de una misma altura que representa la distribución de las resistividades en la zona de estudio.

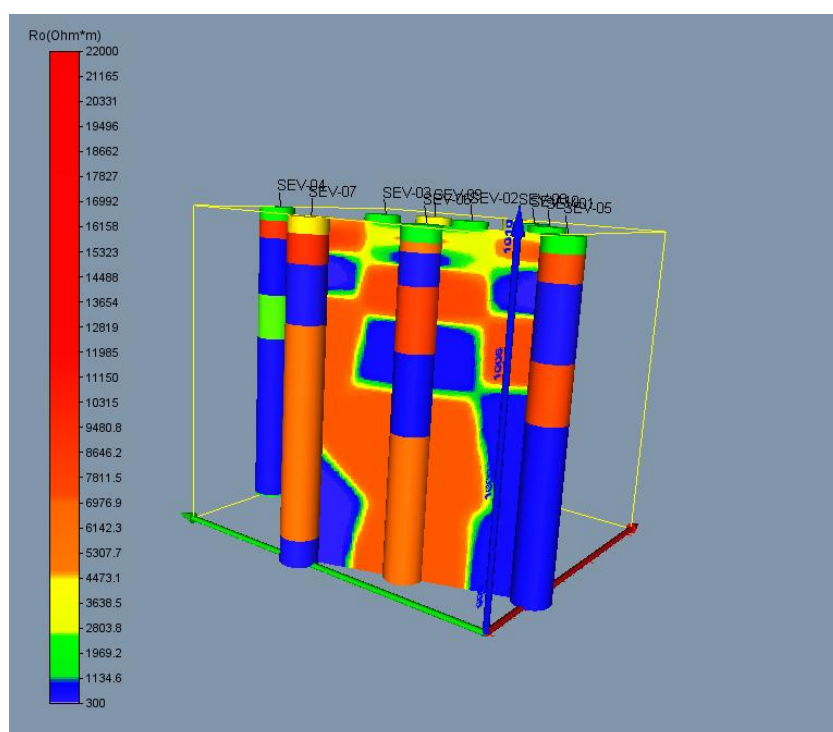


Figura 5.6.2.18. Sección representativa de nuestro modelo que muestra la distribución interna de las resistividades de la zona de estudio a partir de sondeos creados a una misma altura.

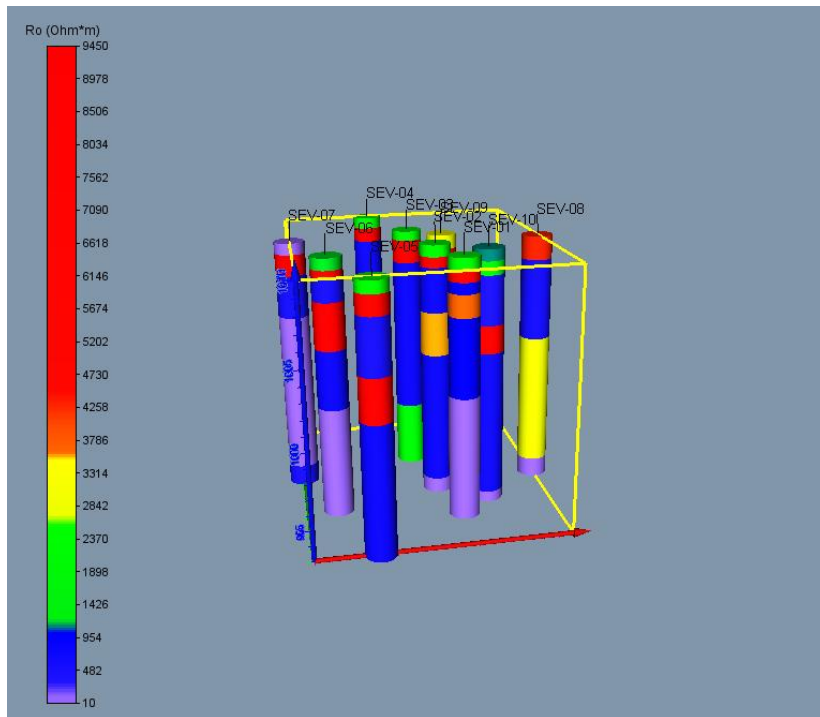


Figura 5.6.2.19. Representación de los sondeos eléctricos verticales creados a una misma altura como datos de pozo que representan la distribución de los valores de resistividad que representan a la anomalía a lo largo de la trayectoria del pozo.

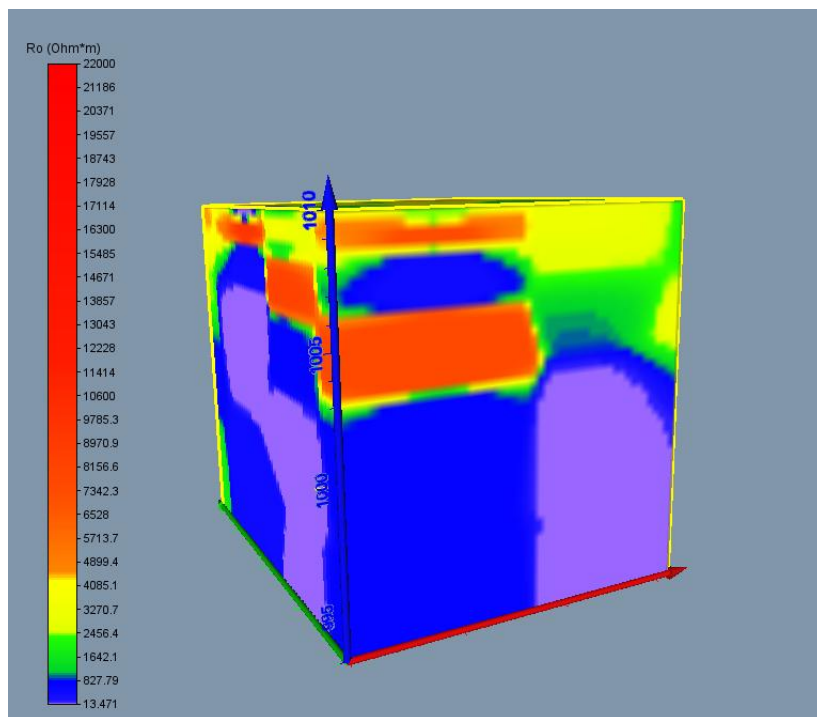


Figura 5.6.2.20. Modelo volumétrico generado a partir de los SEVs de una misma altura que representa la distribución de las resistividades asociadas a las anomalías de resistividad en la zona de estudio.

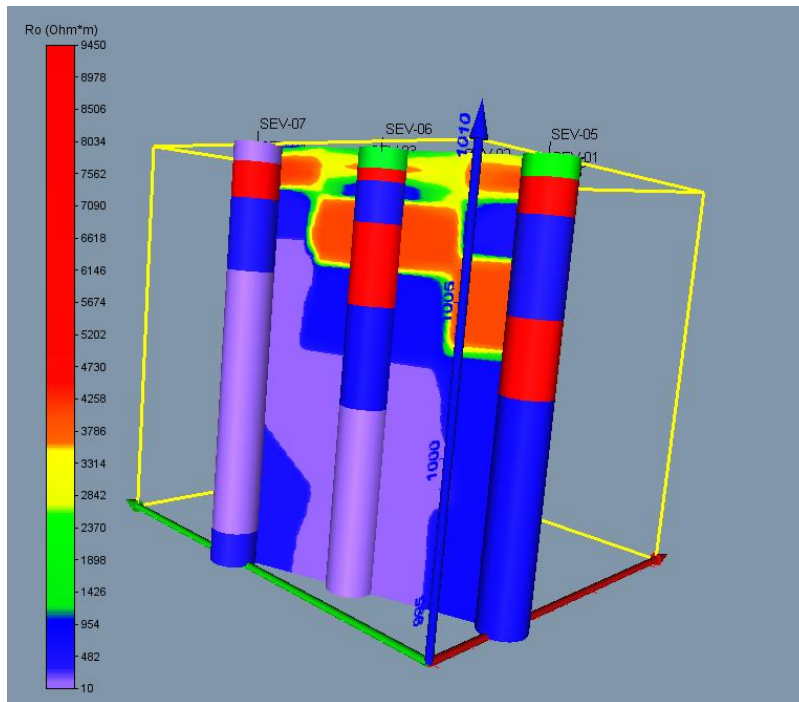


Figura 5.6.2.21. Sección representativa de nuestro modelo que muestra la distribución interna de las resistividades asociadas a las anomalías de la zona de estudio a partir de sondeos creados a una misma altura.

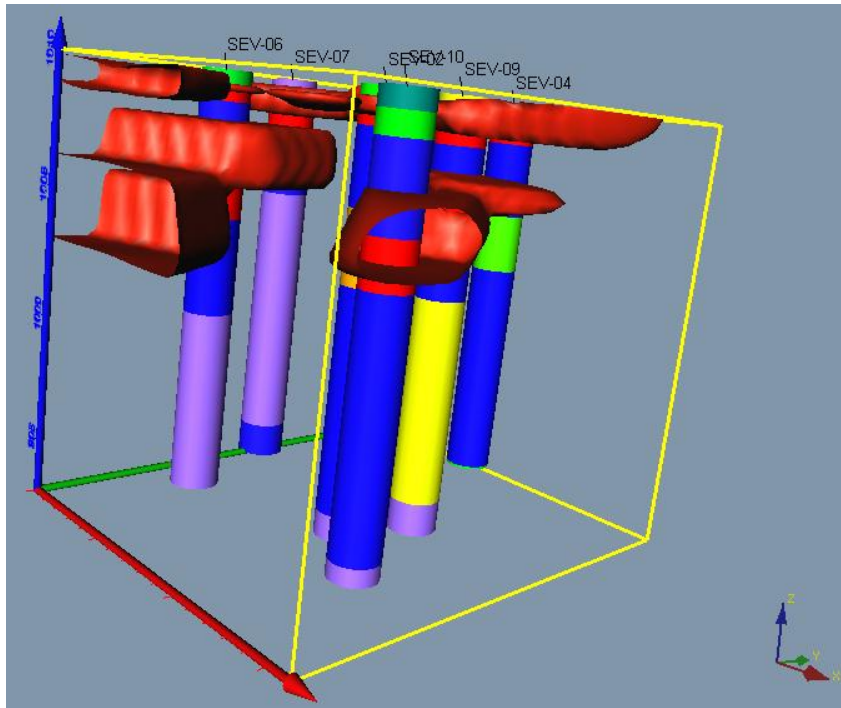


Figura 5.6.2.22. Representación de los cuerpos de las anomalías asociadas a la mineralización de barita de la zona de estudio.

5.6.2.7. CALCULO DE RECURSOS

Con el uso de herramientas dentro del programa se logró establecer que el volumen que representa la suma de las dos anomalías geoelectricas dentro del prospecto “B” es de 746 m^3 , el cual está distribuido en 6 cuerpos (Unidades 6a, 6b, 6c, 6d y 6e ó 1, 2, 3, 4 y 5) los cuales se representan en la figura 5.6.2.23. Conociendo el volumen de la anomalía, a partir de las observaciones de campo se estableció que entre el 40 y 70% de la anomalía correspondía a mineral barita y la diferencia en porcentaje corresponde a roca estéril. Estos datos los observamos en la tabla 5.6.2.7.

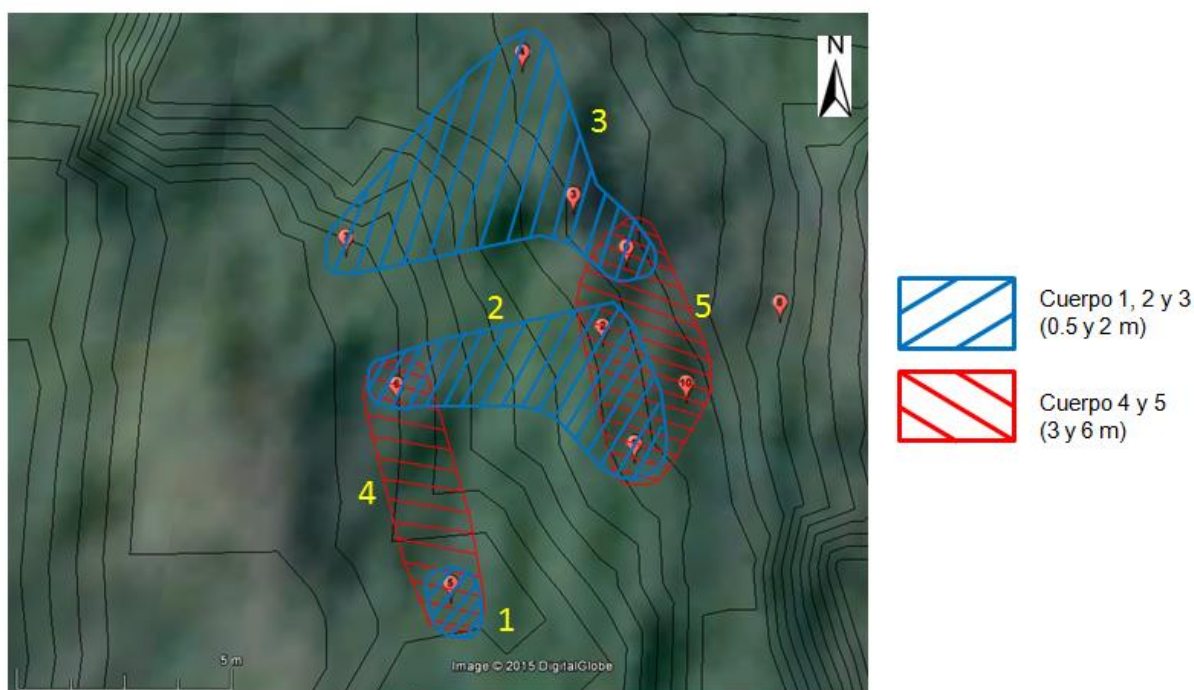


Figura 5.6.2.23. Mapa que representa la distribución de los cuerpos correspondiente a la barita (línea negra = curvas de nivel cada 2 m).

Para conocer el tonelaje de barita se considero para este una densidad de 4.3kg/m^3 , y de esta forma el prospecto “B” presenta una estimación de recursos inferidos entre 1283.12 y 2245.46 Ton dependiendo del porcentaje seleccionado para dicho mineral.

ANOMALÍA	VOLUMEN	RECURSOS INFERIDOS (Ton)	
		70%	40%
A (1)	36	108.36	61.92
B (2)	121	364.21	208.12
C (3)	218	656.18	374.96
D (4)	137	412.37	235.64
E (5)	234	704.34	402.48
TOTAL	746	2245.46	1283.12

Tabla 5.6.2.3. Volumen y reservas probables del prospecto B.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

PROSPECTO A

- A partir del estudio de campo se determinó una litofacie correspondiente a areniscas con alto grado de fracturamiento y de la presencia de afloramiento de barita a 10 m al NE Y 15 m al NNW del SEV 6, y 20 m al NNE del SEV 7.
- Los mapas isoresistivos muestran que de 0 a los 3 metros de profundidad encontramos mayormente una proporción de resistividades bajas (menores a 200 Ω m) abarcando casi toda la extensión de los mapas. A partir de los 3 metros empezamos a encontrar que las resistividades altas (mayores a 700 Ω m) comienzan a presentarse en una mayor proporción (abarcen cerca del 40% de la porción de los mapas isoresistivos) las cuales se concentran a los 3 m en la parte este, 5 y 7 m en la parte oeste, y 10 m rodeando la parte central. Para los 15 metros en adelante las altas resistividades (mayores a 1000 Ω m) son las que se presentan en mayor proporción (mayor al 60% de la porción de los mapas) en la porción sur de la zona de estudio.
- Los dos perfiles generados a partir del procesamiento de las curvas de resistividades permitió definir seis unidades geoelectricas. La unidad asociada a los altos resistivos producidos por la presencia de barita fue la unidad 4 (720 – 2900 Ω m) la cual está presente en ambos perfiles a profundidades entre los 2 y 15 m.
- Las unidades geoelectricas definidas se correlacionaron con la información de la geología regional, de esta manera se definieron seis unidades litológicas que corresponden a areniscas (fracturadas, no fracturadas, de mayor compactación) conglomerados polimícticos de arenisca y vetas de barita de

espesores no mayores a 3 m (anomalía) las cuales se encuentran intercaladas en material arenoso.

- Realizada la interpolación de los sondeos ya interpretados como datos de pozos, se obtuvo el modelo volumétrico el cual representa la distribución de las resistividades de cada material y se calculó el volumen de la mineralización de barita.
- Por medio del método del inverso de la distancia (Voxler) se obtuvo un estimado de recursos inferidos para el área de estudio entre 27965.7 (30%) y 55931.4 (60%) Ton, lo cual determina que puede entrar en planes de explotación de recursos de acuerdo a que el tonelaje estimado es una cantidad económicamente rentable.

PROSPECTO B

- A partir del estudio de campo se determinó una litofacie correspondiente a areniscas, además de que se observó la presencia de rocas ígneas que se encontraba aflorando cerca en la zona de estudio.
- Los mapas isoresistivos muestran que en los primeros 60 cm de profundidad se tienen resistividades entre 1300 y 2300 Ωm en toda la extensión del mapas. A partir de esta profundidad comienzan a presentarse resistividades altas (mayores a 4000 Ωm) las cuales llegan a alcanzar los 2.5m de profundidad ya que de ahí hasta los 10 m encontramos resistividades bajas (menores a 1000 Ωm) y a partir de los 10 m se tiene resistividades altas presentes en mayor proporción en la porción sureste (mayores a 10000 Ωm).
- Los cinco perfiles generados a partir del procesamiento de las curvas de resistividades permitió definir seis unidades geoelectricas. La unidad asociada a los altos resistivos producidos por la presencia de barita fue la unidad 5 (3600 - 9500 Ωm) la cual está presente en todos los perfiles a profundidades entre los 0.6 y 4 m. Se plantea que el rango de resistividades sea más alto que las del prospecto A por factores como la calidad de la barita (mayor

densidad el prospecto B que el prospecto A y esto se interpreta como barita con menores impurezas que producen que la barita baje sus resistividades).

- Las unidades geoelectricas definidas se correlacionaron con la información de la geología regional, de esta manera se definieron seis unidades litológicas que corresponden a areniscas limosas, areniscas compactadas, material ígneo de tipo intrusivo y vetas de barita de espesores no mayores a 2 m (anomalía) las cuales se encuentran intercaladas en material arenoso y areno-limoso.
- Realizada la interpolación de los sondeos ya interpretados como datos de pozos, se obtuvo el modelo volumétrico el cual representa la distribución de las resistividades de cada material y se calculó el volumen de la mineralización de barita.
- Por medio del método del inverso de la distancia (Voxler) se obtuvo un estimado de recursos inferidos para el área de estudio entre 1283.12 (40%) y 2245.46 (70%) Ton. Estos valores determinan que es un prospecto que no es económicamente rentable dado el poco tonelaje estimado.

6.2. RECOMENDACIONES

- Aumentar el número de SEVs para el prospecto “A” a fin de tener una mayor certeza de la distribución de las anomalías asociadas a la barita en la zona de interés (uno o dos entre los SEV 5 y 6, y uno o dos a lo largo del camino donde se encuentra el SEV 7, todo esto de acuerdo a las condiciones del terreno; ver figura 5.4.1). Y para el prospecto “B” de aumentar el área de estudio en base a las condiciones del terreno para determinar si existe más zonas con presencia de este mineral.
- Realizar barrenación entre los SEVs 2 y 3 con una inclinación de 45° en dirección E-W con una profundidad máxima de 45 m y la extracción de núcleo a la distancia de 2, 17 – 19 y 35 – 40 m del prospecto “A” a fin de determinar la correlación entre las anomalías resistivas y la presencia de barita.

- Realizar dos tomografías eléctricas para el prospecto A: una en dirección E-W la cual se localice entre 20 a 30 m al sur del SEV 7 y otra en dirección NW-SE aproximadamente la cual se encuentre entre los SEVs realizados y la ubicación de la mina donde actualmente se está extrayendo barita para determinar si existe la continuidad entre ese yacimiento y la zona de estudio.
- De acuerdo a las limitaciones del método de interpolación para la estimación del volumen de las anomalías asociadas a la barita (requiere de una cantidad mayor de datos para un mejor ajuste que represente con mayor exactitud la distribución de las resistividades y se tenga un menor error de cálculo) se recomienda realizar un estudio 3D, sin embargo existen limitaciones tanto como el costo y el tiempo que se invierte para este tipo de estudios que hacen que no sea posible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Auge, M., (2008). *Métodos geoelectricos para la prospección de agua subterránea.*

Benson, R. et al., (1994). *Geophysical Techniques for Sensing Buried Wastes and Waste Migration.* Editorial National Ground Water Association. Nevada, USA.

Google Maps (2014).

JORC., (1996). *Australasian Code for Reporting of Identified Mineral Resources and Ore Reserves (1996 Edition with attached Guidelines).* Joint Committee of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia

Journel, A.G., and Huijbregts, C. J., (1978). *Mining Geostatistics.* Academic Press (London), 600pp.

Lepin, O. V., y Ariosa, J. D., (1986). *Búsqueda, Exploración y Evaluación Geológica Económica de Yacimientos Minerales Sólidos.* Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, Primera Parte, 348 p, Segunda Parte, 191 p.

Loke, M. H., (1997-2001). *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies.* Loke M.H.

Manual Voxler 3 (2015) Golden Software.

Orellana, E., (1982). *Prospección Geoelectrica en Corriente Continua.* Segunda Edición. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 578p.

Sánchez, F.J., (1985). *Prospección geofísica: Sondeos Eléctricos Verticales.* Departamento de geología, Universidad de Salamanca.

Sears Zemansky et al., (1999). *Física Universitaria.* Volúmen 2.

Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., and Keys, D. S., (1990). *Applied Geophysics.* Second Edition.

Zhang, R., Myers, D. E., y Warrick, A. W., (1992). *Estimation of the Spatial Distribution of Soil Chemical Using Pseudo Cross-Variograms.* Soil Science Society of America Journal, Vol. 56.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

ALH GEOFÍSICA.

<http://www.alhgeofisica.com.ar/>

Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, SGM.

http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=59&Itemid=67

IPI2win - 1D interpretation of VES profile.

<http://www.geol.msu.ru/deps/geophys/ipi2win.htm>

IRIS Instruments, Geophysical Instruments Manufacturer.

<http://www.iris-instruments.com/>

Mineral Commodity Summaries. (2006-2012).

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>

¿Qué es la barita? Propiedades físicas y químicas.

<http://www.prodexa.com.mx/barita.htm>

<http://nextbar.net/tecnica/HTE023%20BARITA.pdf>

<https://www.camimex.org.mx/index.php/secciones1/sala-de-presa/uso-de-los-metales/barita/>

<http://www.mindat.org/min-549.html>

<http://www.mineraliaspecimens.com/spanish/especimenes-minerales/baritas-de-Mexico.html>

<http://www.uned.es/cristamine/fichas/baritina/baritina.htm>

Servicio Geológico Mexicano.

<http://www.sgm.gob.mx/>

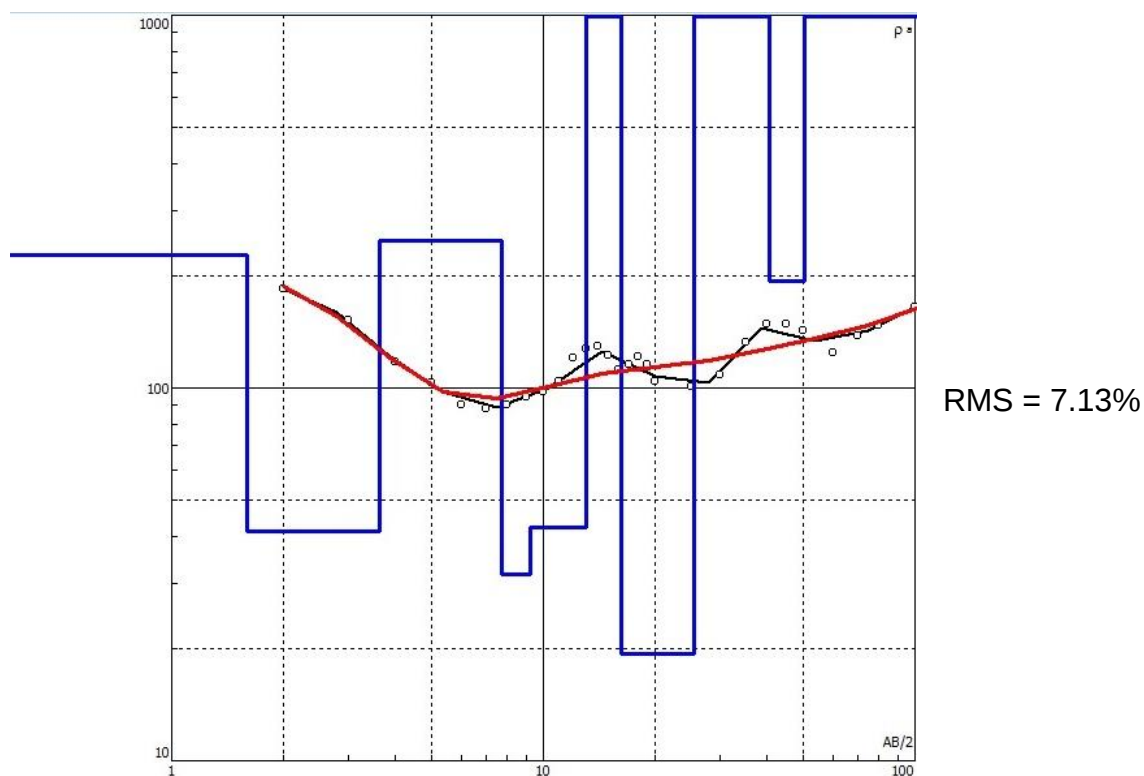
Valor y Volumen Producción de Barita.

<http://portalweb.sgm.gob.mx/economia/es/produccion-minera/barita.html>

ANEXO 1

CURVAS DE RESISTIVIDAD DEL PROSPECTO “A”

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-2

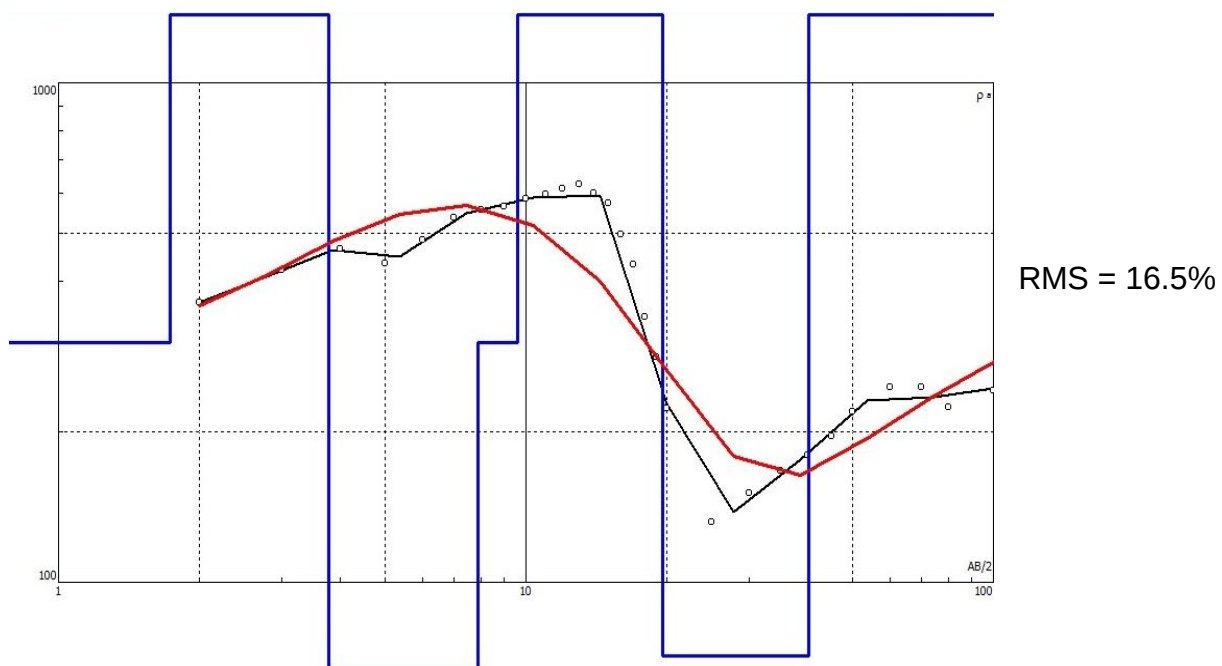


Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 2 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	228	1.6	1.6
2	41.3	2.02	3.62
3	249	4.1	7.72
4	31.6	1.54	9.26
5	42.1	3.83	13.1
6	1604	3.1	16.2
7	19.4	9.29	25.5
8	2248	15.2	40.7
9	193	9.74	50.4
10	3453		

Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 2.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-3

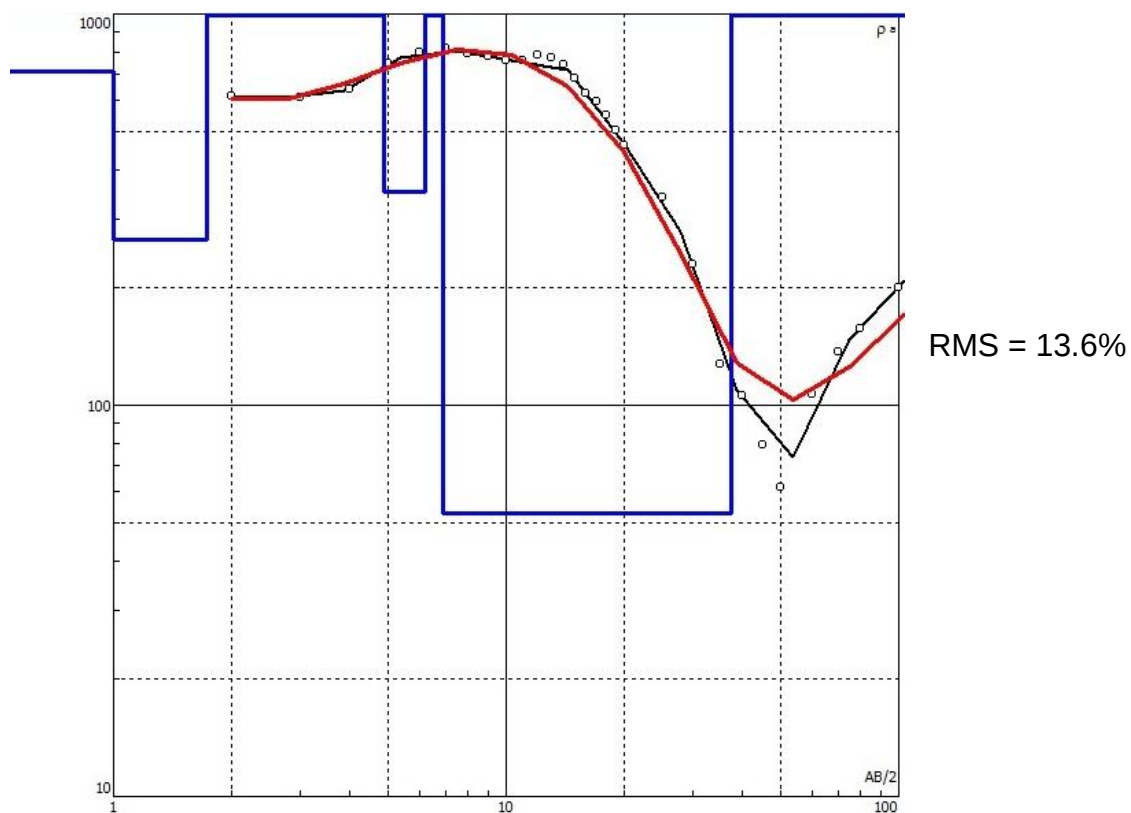


Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 3 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	302	1.73	1.73
2	2067	2.05	3.78
3	10.4	1.33	5.11
4	37.4	2.8	7.91
5	302	1.69	9.61
6	2311	10	19.6
7	71.2	20.6	40.3
8	2264		

Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 3.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-4

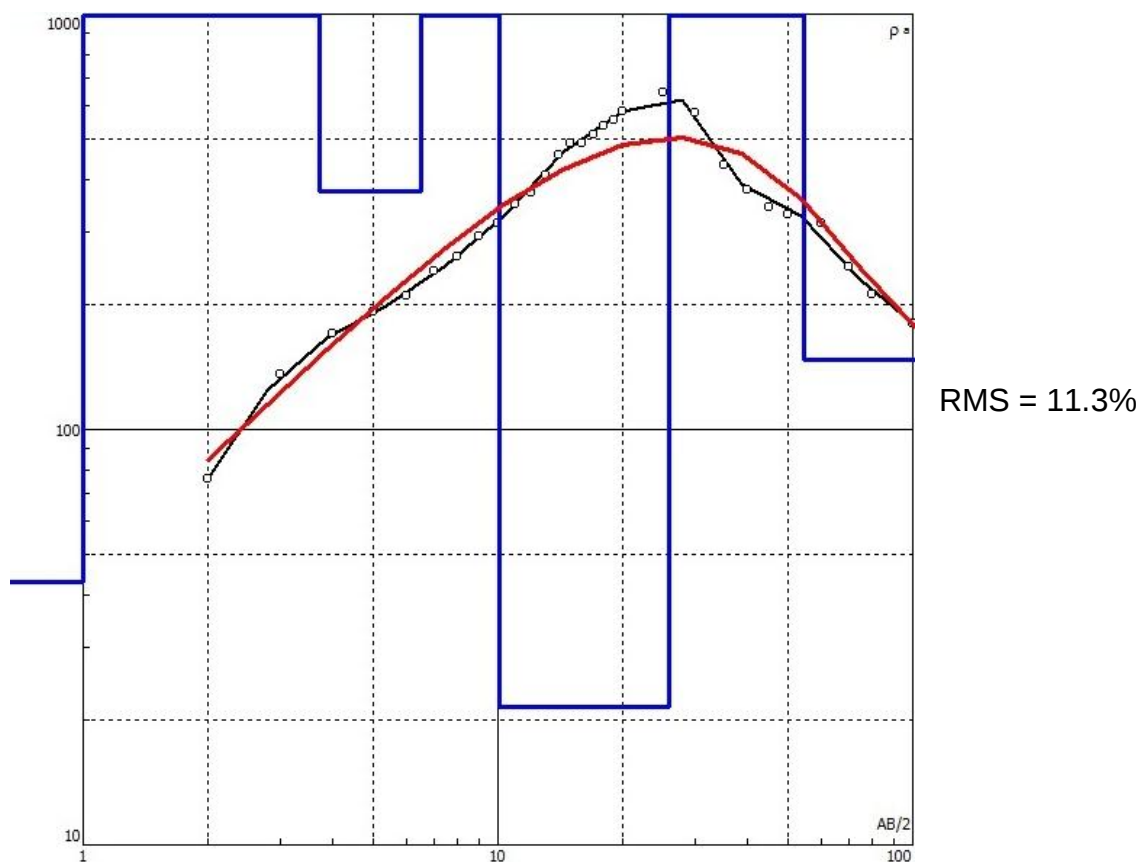


Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 4 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ωm)	espesor (m)	profundidad (m)
1	712	1	1
2	264	0.732	1.73
3	1951	3.15	4.88
4	351	1.33	6.22
5	1165	0.686	6.91
6	52.9	30.5	37.4
7	4000		

Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 4.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-5

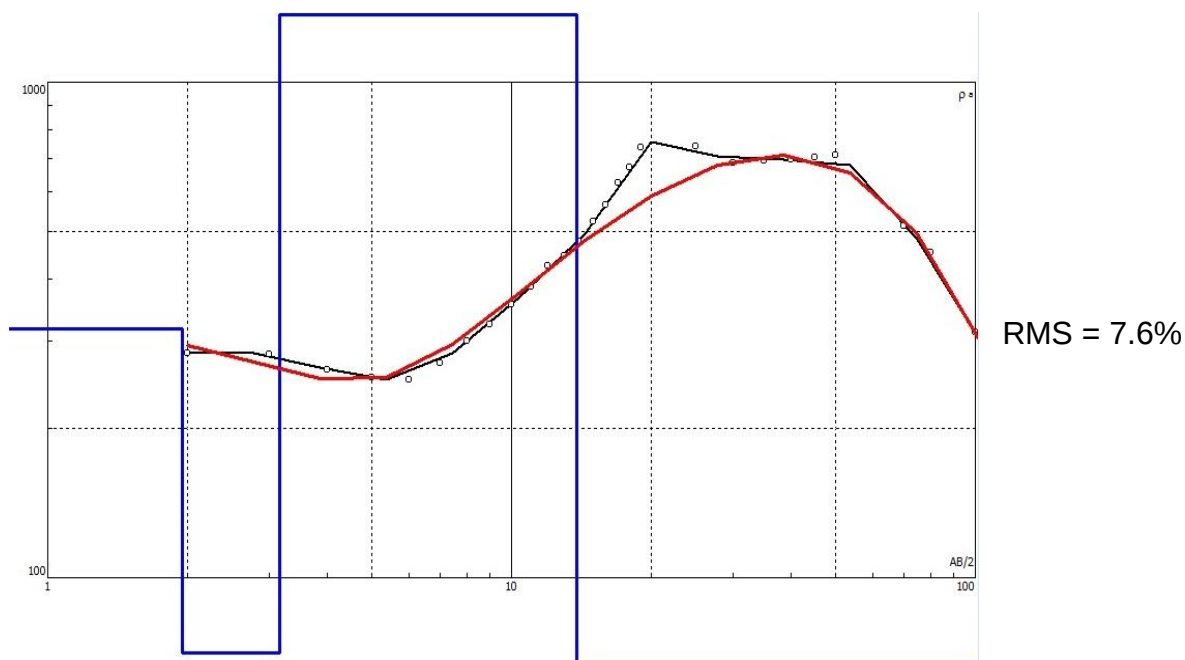


Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 5 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	42.9	1	1
2	3700	2.73	3.73
3	374	2.8	6.53
4	1084	3.55	10.1
5	21.5	15.8	25.8
6	2607	28.7	54.5
7	147		

Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 5.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-6

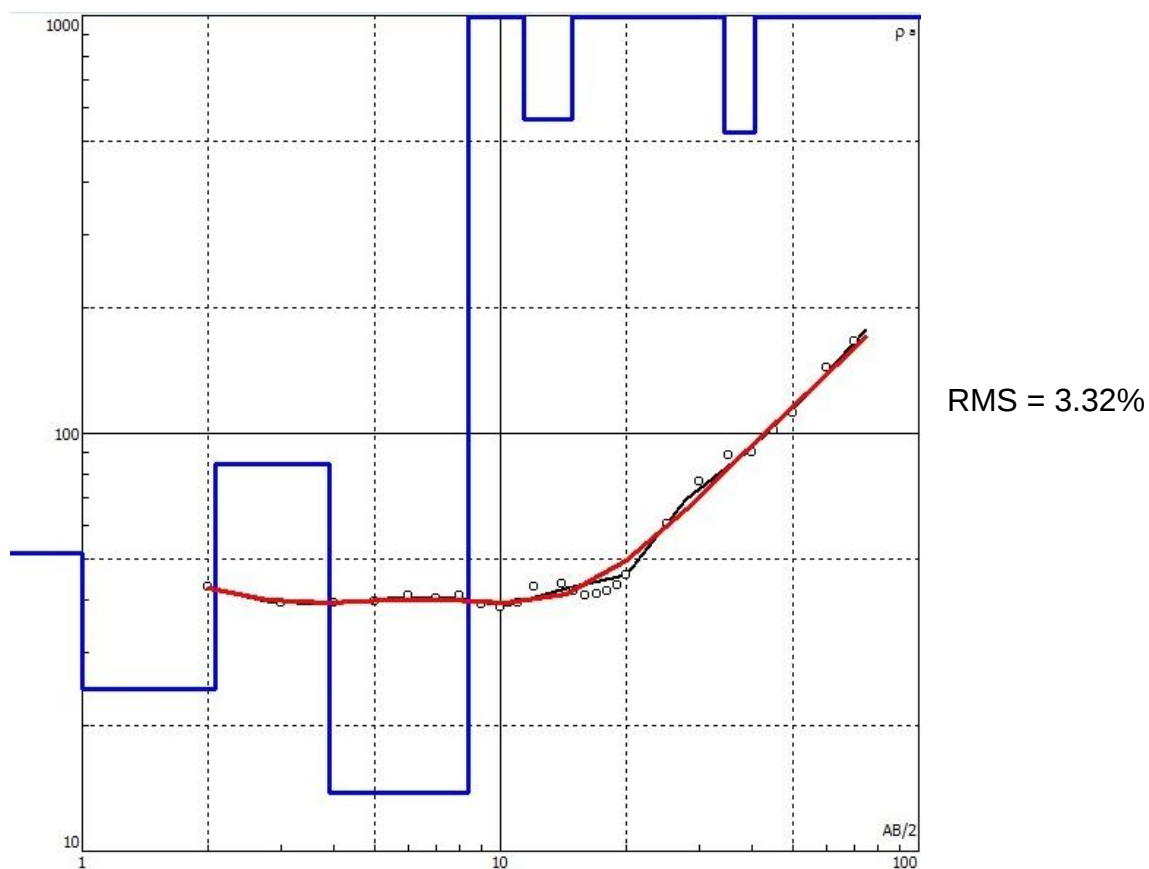


Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 6 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	318	1.95	1.95
2	70.4	1.21	3.15
3	2000	1.5	4.65
4	2980	9.2	13.9
5	55	14.7	28.6
6	25		

Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 6.

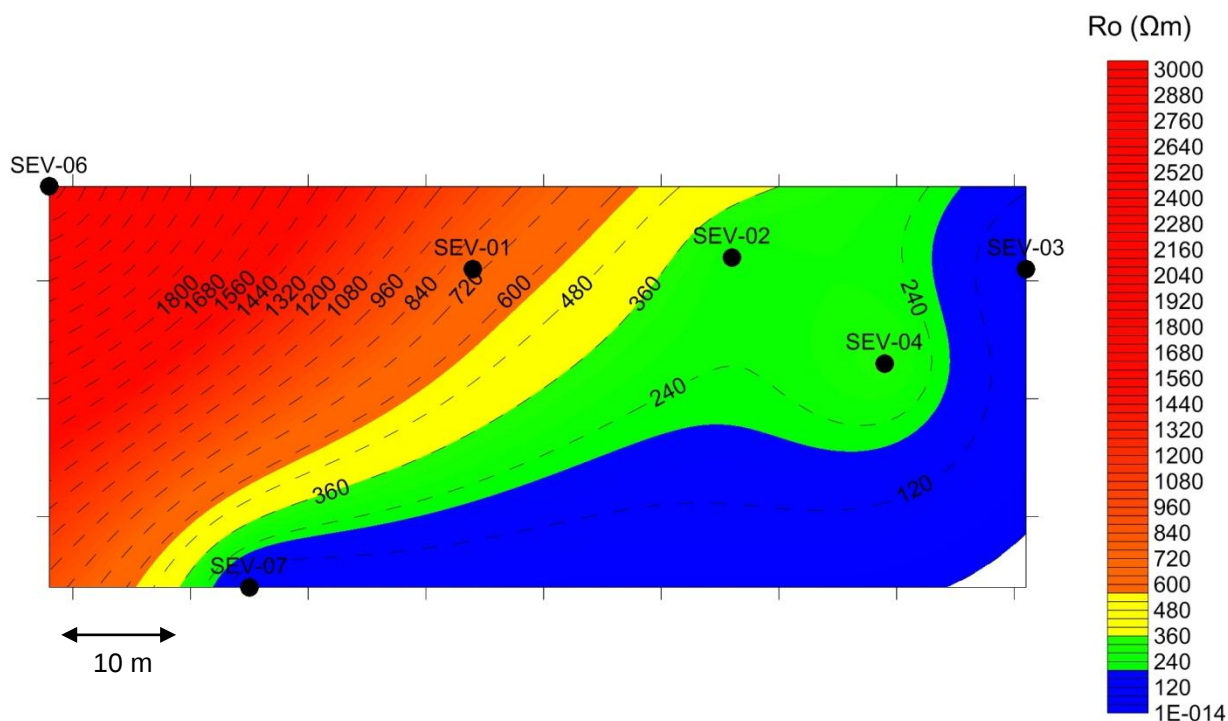
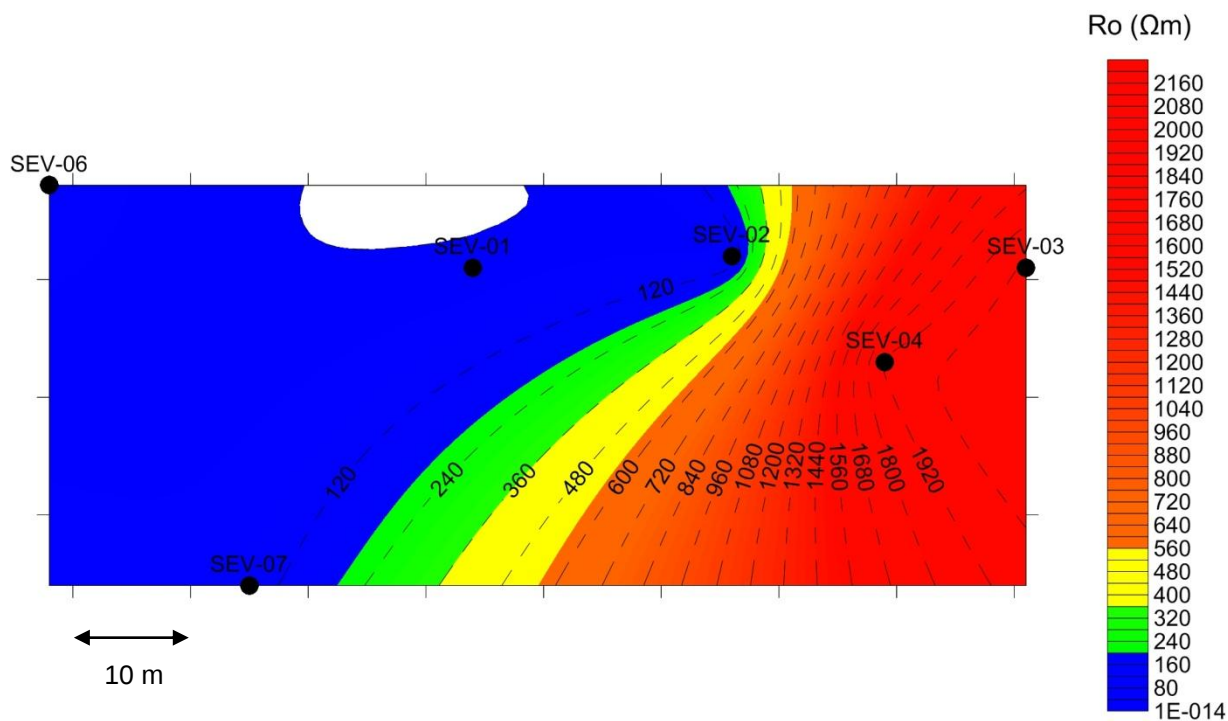
CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-7

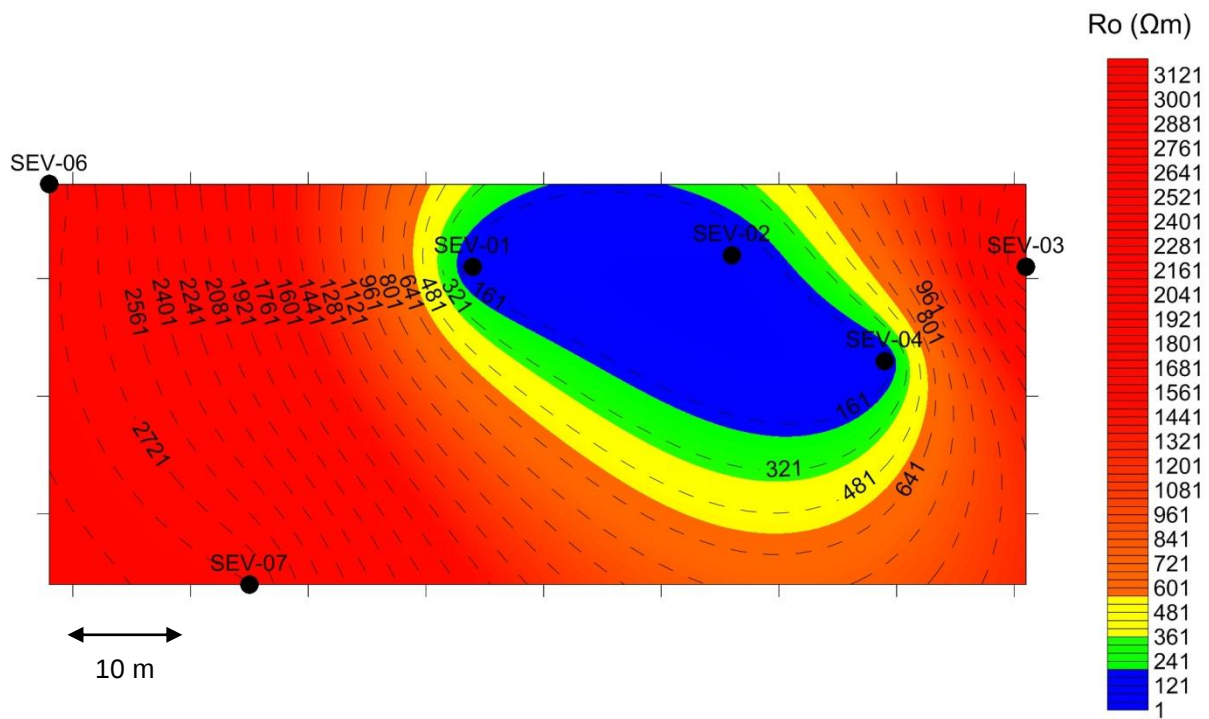
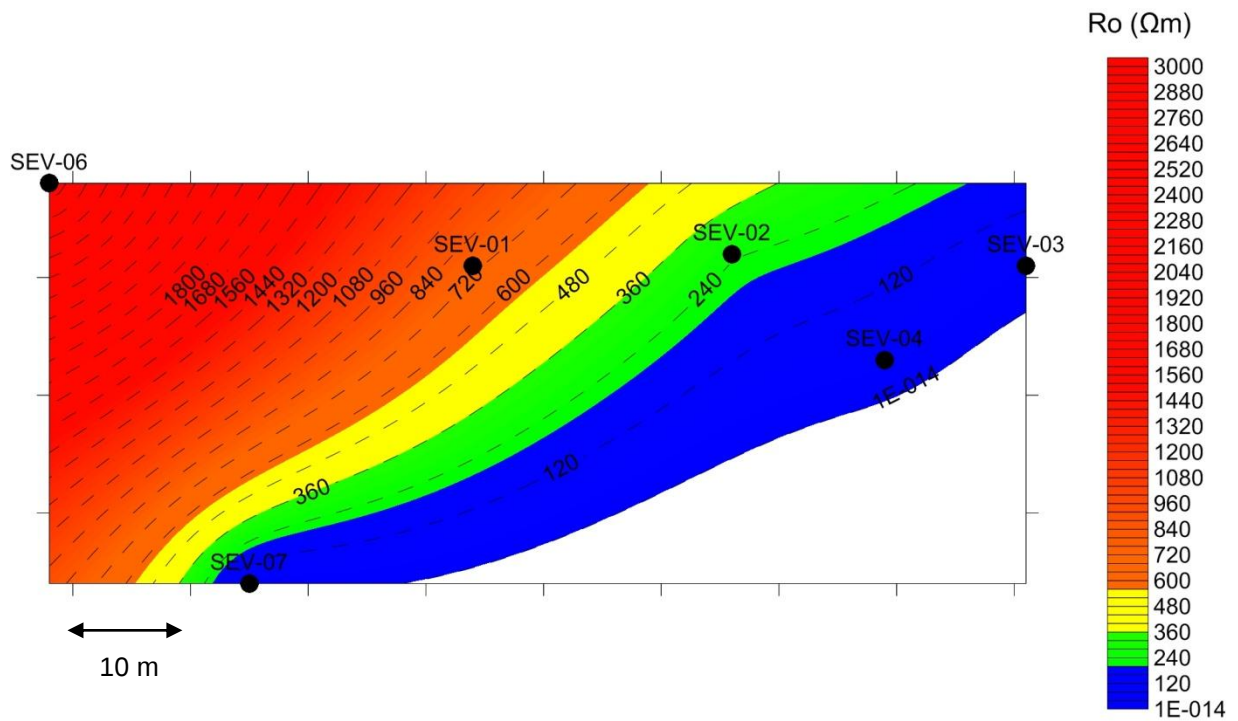


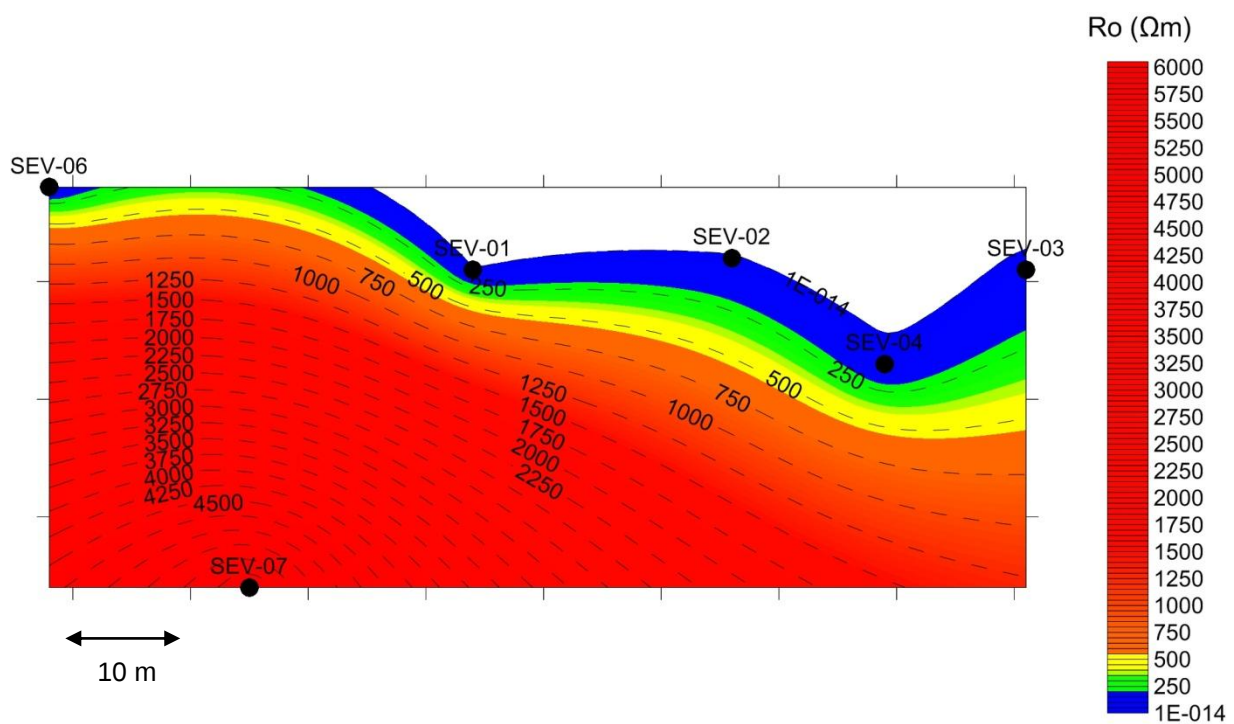
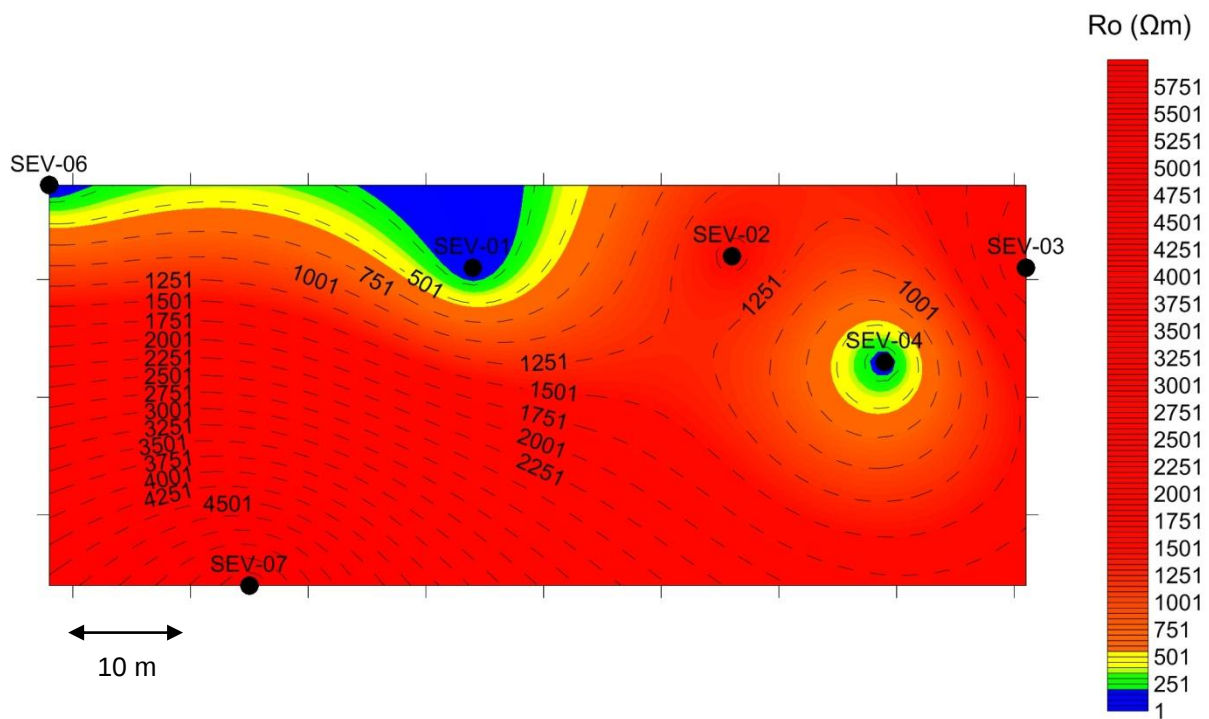
Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 7 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

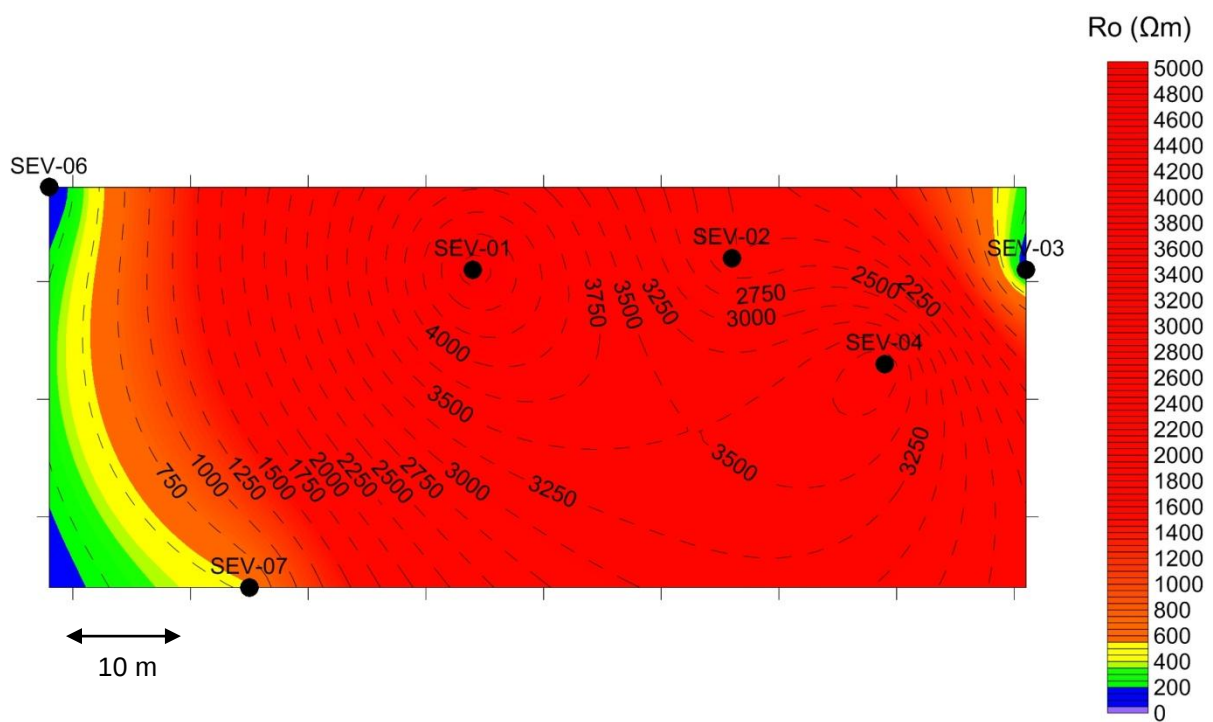
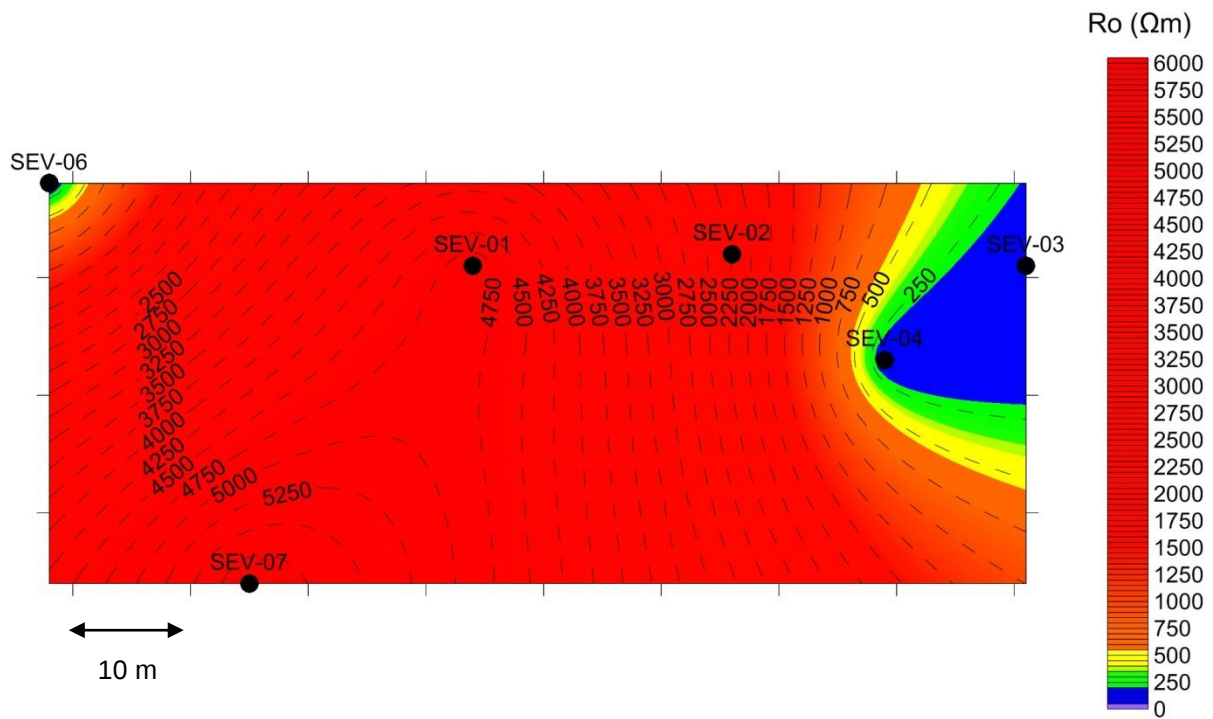
Capa No.	ρ (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	51.9	1	1
2	24.3	1.09	2.09
3	84.4	1.82	3.9
4	13.8	4.49	8.39
5	2894	2.98	11.4
6	565	3.46	14.8
7	6000	19.4	34.3
8	525	6.31	40.6
9	4000		

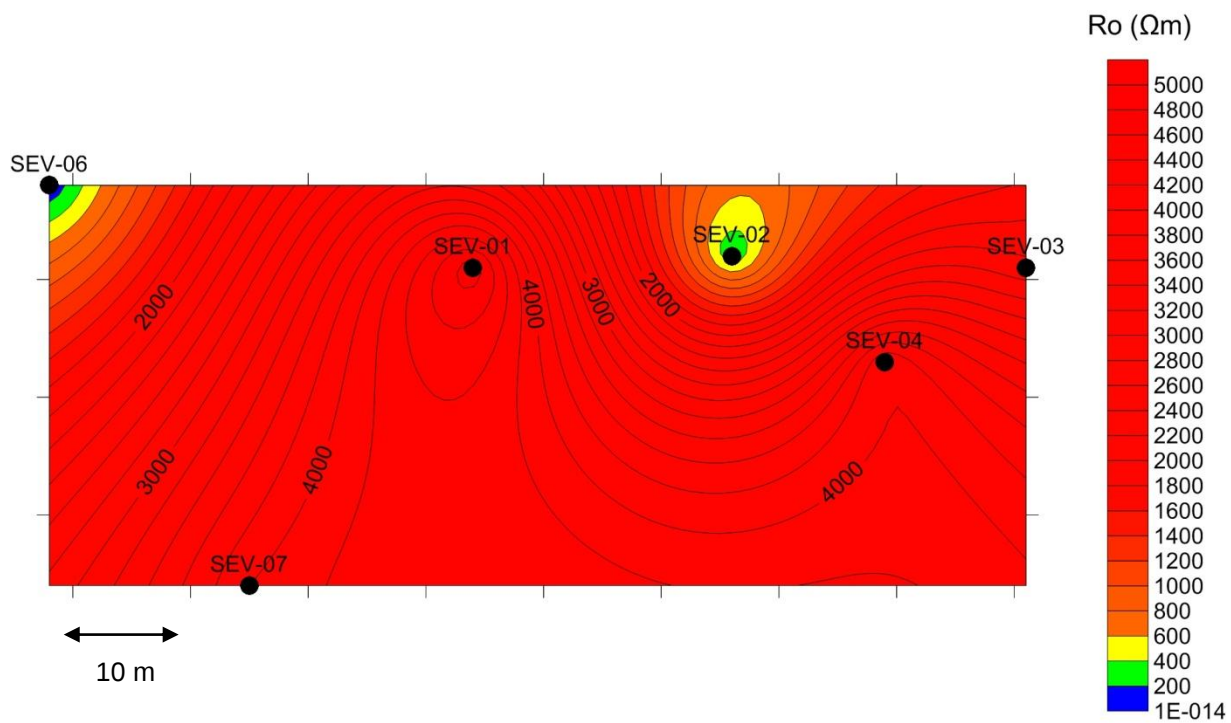
Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 7.









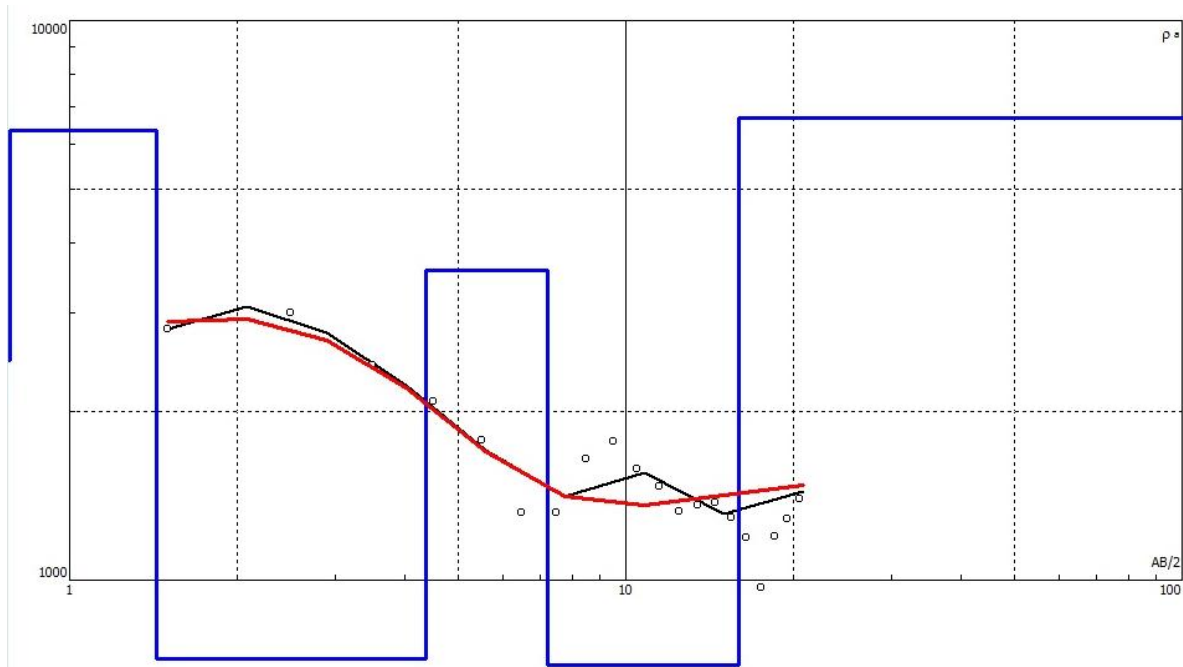


Mapa isoresistivo a una profundidad de 50 m (Puntos negros = ubicación de los SEVs).

ANEXO 3

CURVAS DE RESISTIVIDAD DEL PROSPECTO “B”

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-2



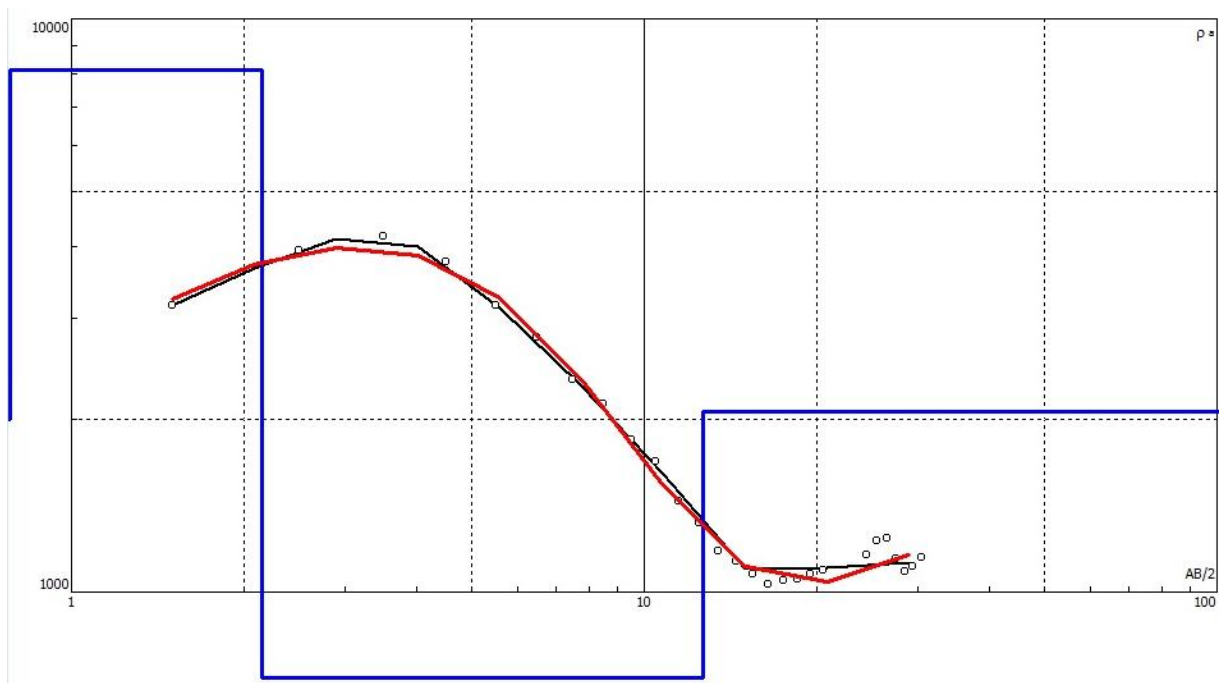
RMS = 5.59%

Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 2 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	2468	0.75	0.75
2	6362	0.683	1.43
3	723	2.94	4.37
4	3580	2.86	7.23
5	705	8.73	16
6	6710		

Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 2.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-3



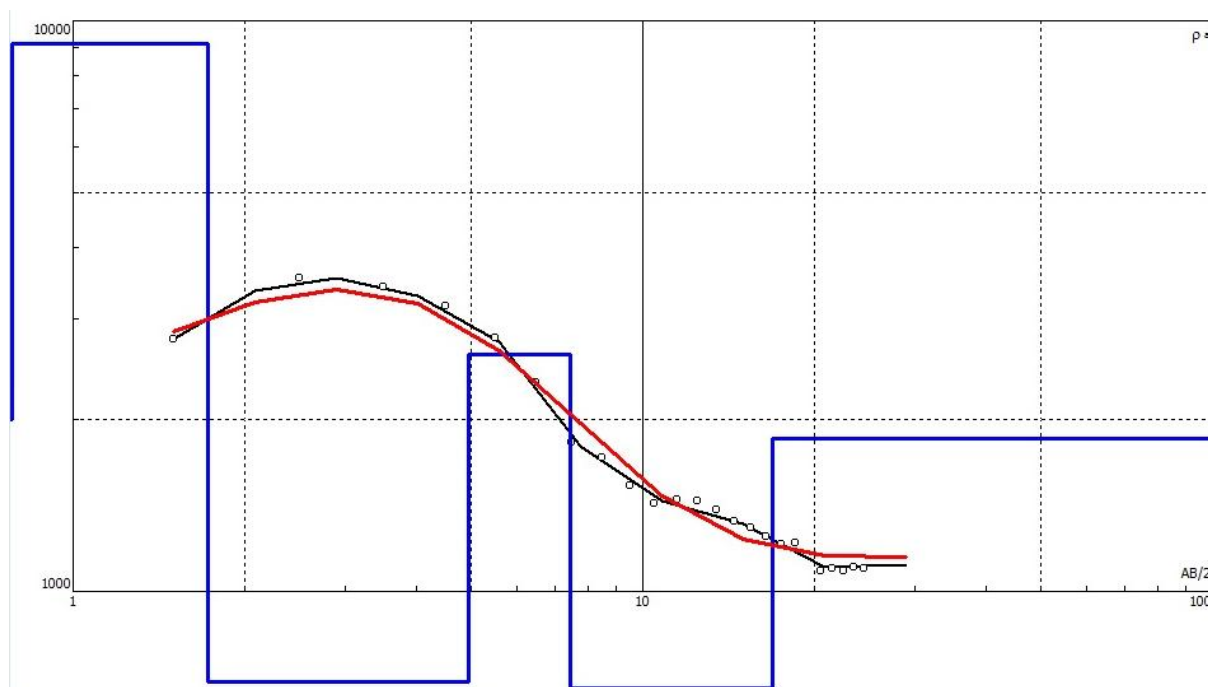
RMS = 3.35%

Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 3 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	2000	0.61	0.61
2	8142	1.54	2.15
3	709	10.5	12.6
4	2064		

Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 3.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-4



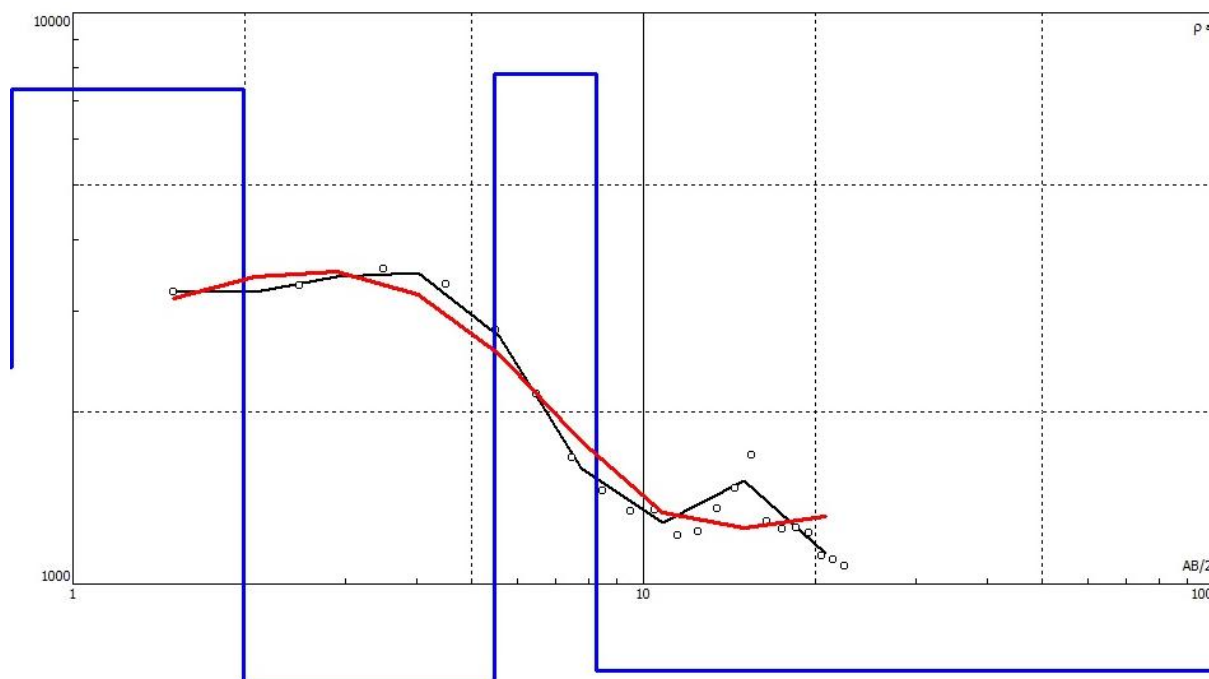
RMS = 4.78%

Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 4 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	2005	0.75	0.75
2	9116	0.974	1.72
3	694	3.22	4.94
4	2601	2.52	7.46
5	677	9.43	16.9
6	1853		

Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 4.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-5



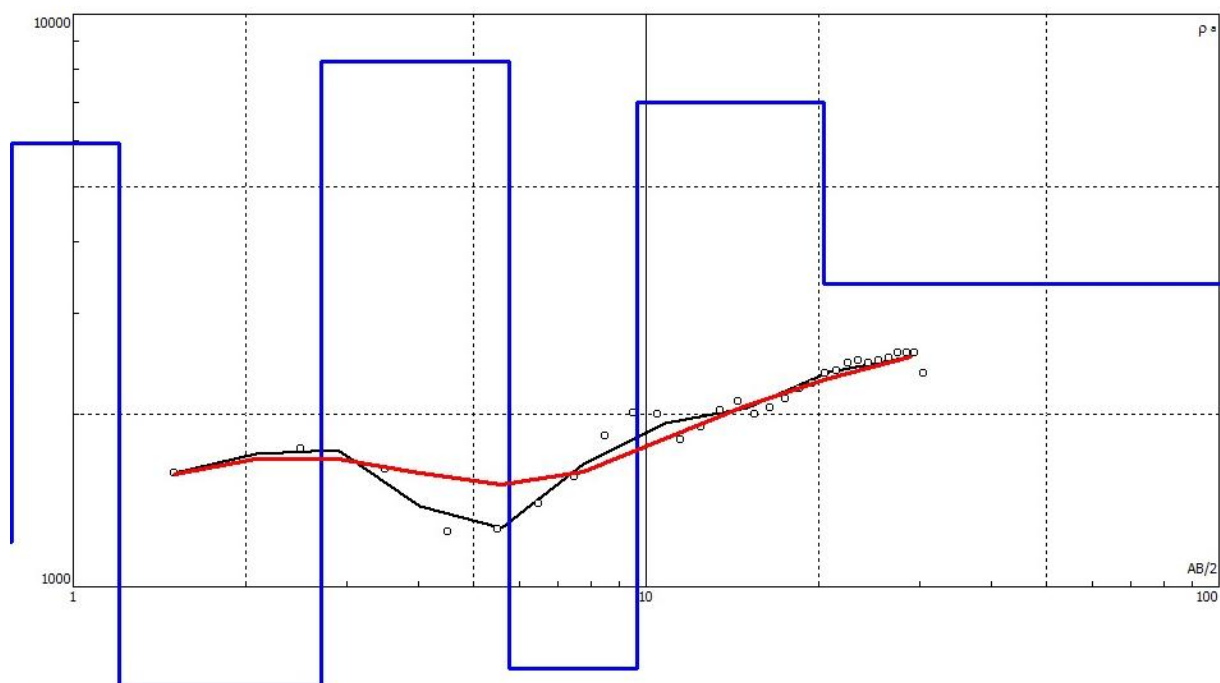
RMS = 10.1%

Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 5 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	2390	0.755	0.755
2	7350	1.24	2.0
3	455	3.49	5.49
4	7814	2.8	8.28
5	705		

Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 5.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-6



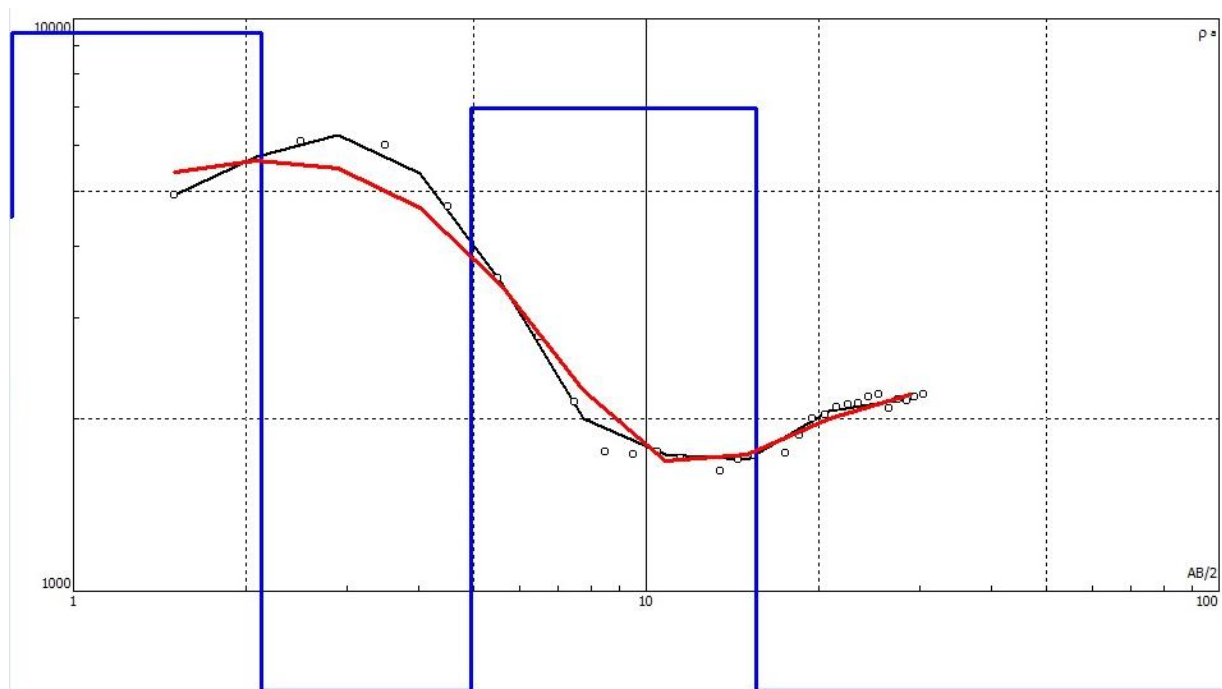
RMS = 7.45%

Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 6 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	1195	0.75	0.75
2	5950	0.453	1.2
3	460	1.51	2.71
4	8268	3.05	5.76
5	720	3.88	9.64
6	7005	10.8	20.4
7	3380		

Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 6.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-7



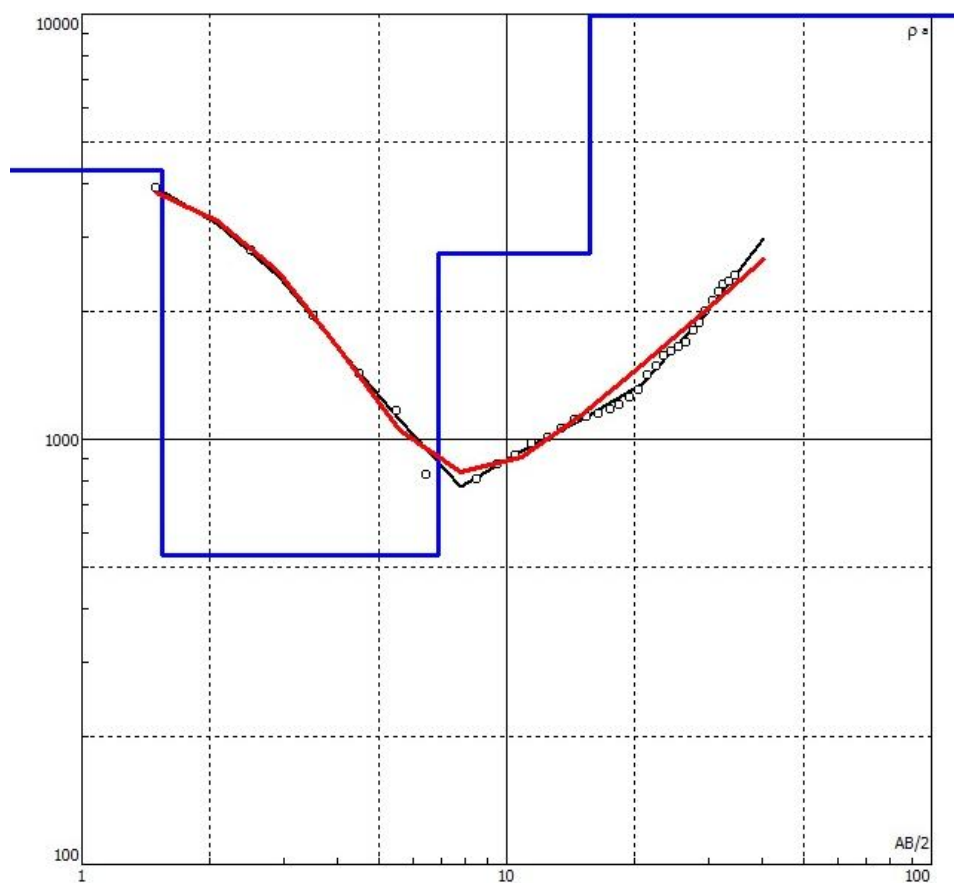
RMS = 7.79%

Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 7 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	4500	0.75	0.75
2	9450	1.38	2.13
3	460	2.82	4.95
4	6978	10.6	15.6
5	470		

Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 7.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-8



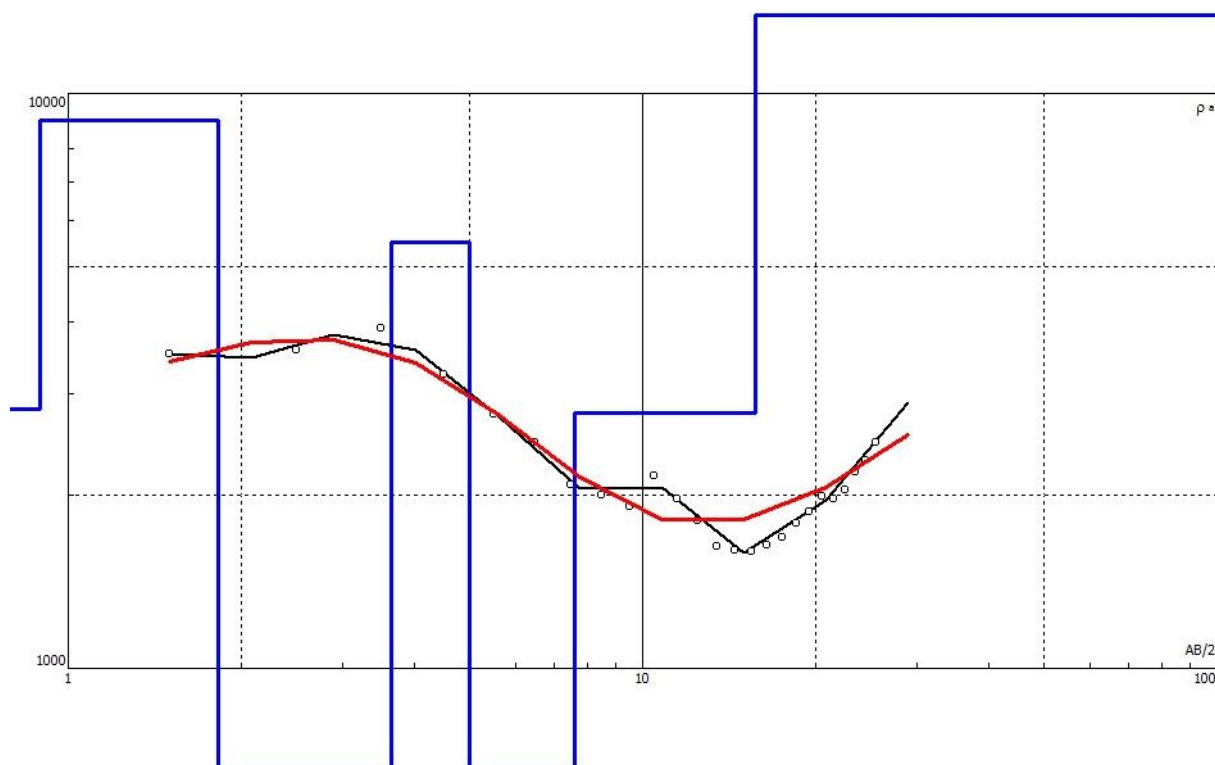
RMS = 5.64%

Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 8 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ωm)	espesor (m)	profundidad (m)
1	4302	1.54	1.54
2	534	5.37	6.91
3	2736	8.79	15.7
4	22000		

Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 8.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-9



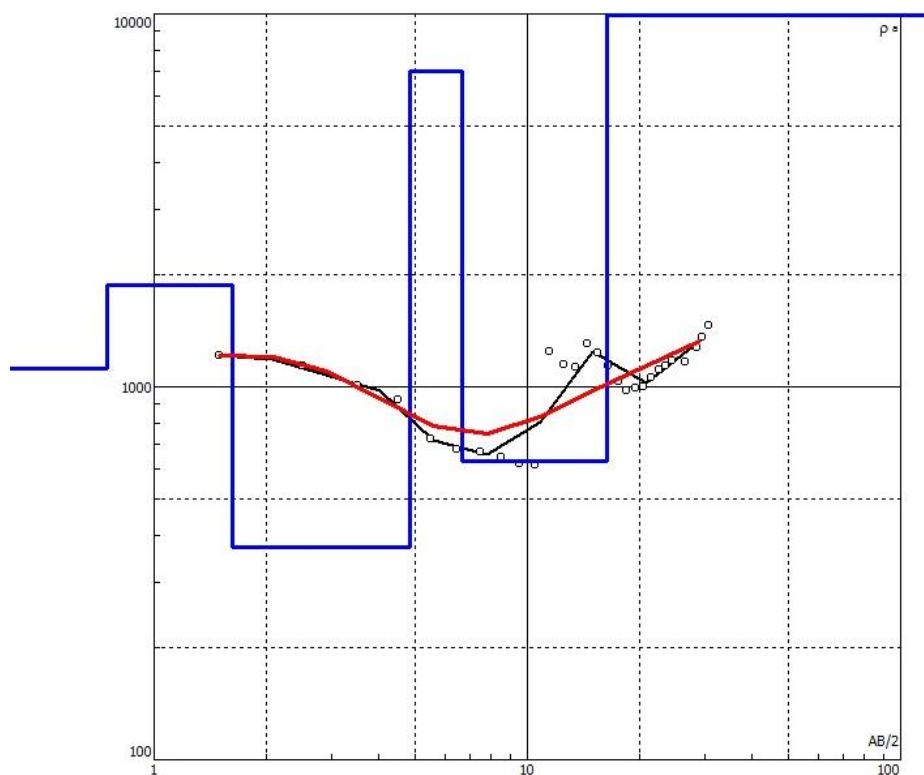
RMS = 7.94%

Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 9 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ωm)	espesor (m)	profundidad (m)
1	2830	0.893	0.893
2	8960	0.931	1.82
3	607	1.83	3.65
4	5509	1.34	4.99
5	633	2.62	7.61
6	2781	8.11	15.7
7	22000		

Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 9.

CURVA DE RESISTIVIDAD PARA EL SEV-10



RMS = 9.75%

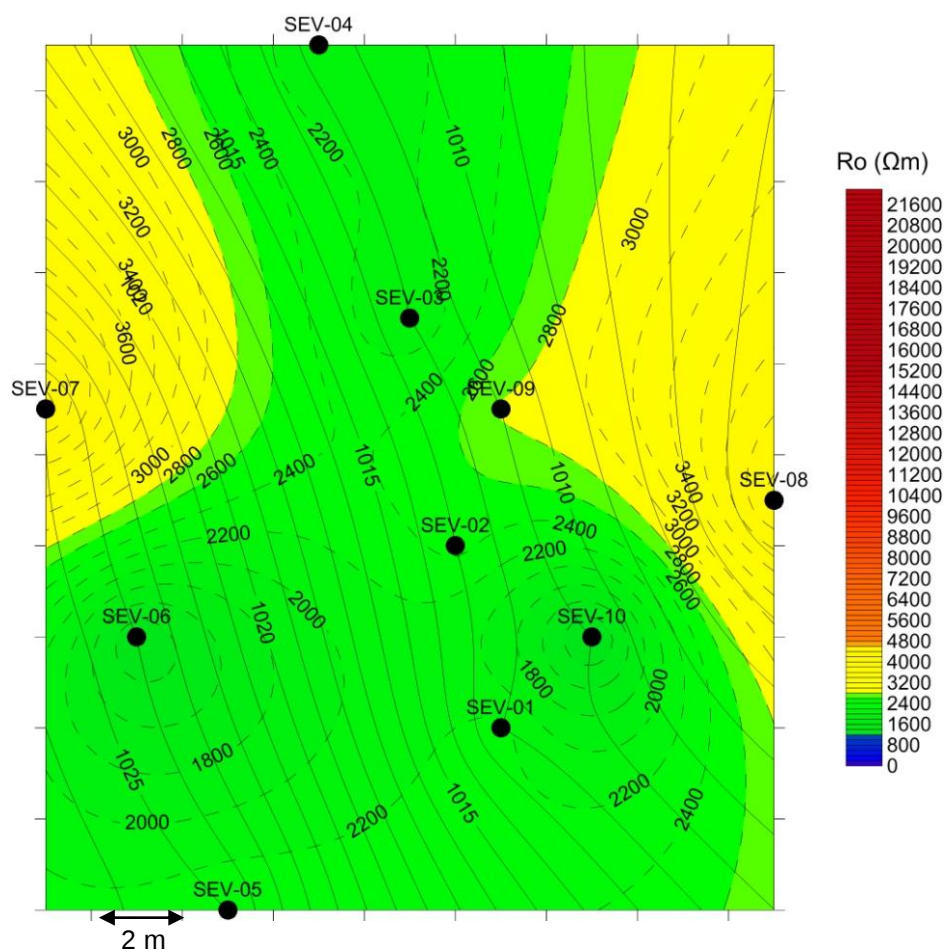
Curva de resistividad (Ωm) generada por el programa IPI2WIN para el SEV 10 (Líneas: negro = curva de campo; rojo = curva teórica; azul = curva de resistividad verdadera).

Capa No.	ρ (Ohm.m)	espesor (m)	profundidad (m)
1	1120	0.75	0.75
2	1875	0.871	1.62
3	370	3.22	4.84
4	7020	1.83	6.67
5	630	9.67	16.3
6	22000		

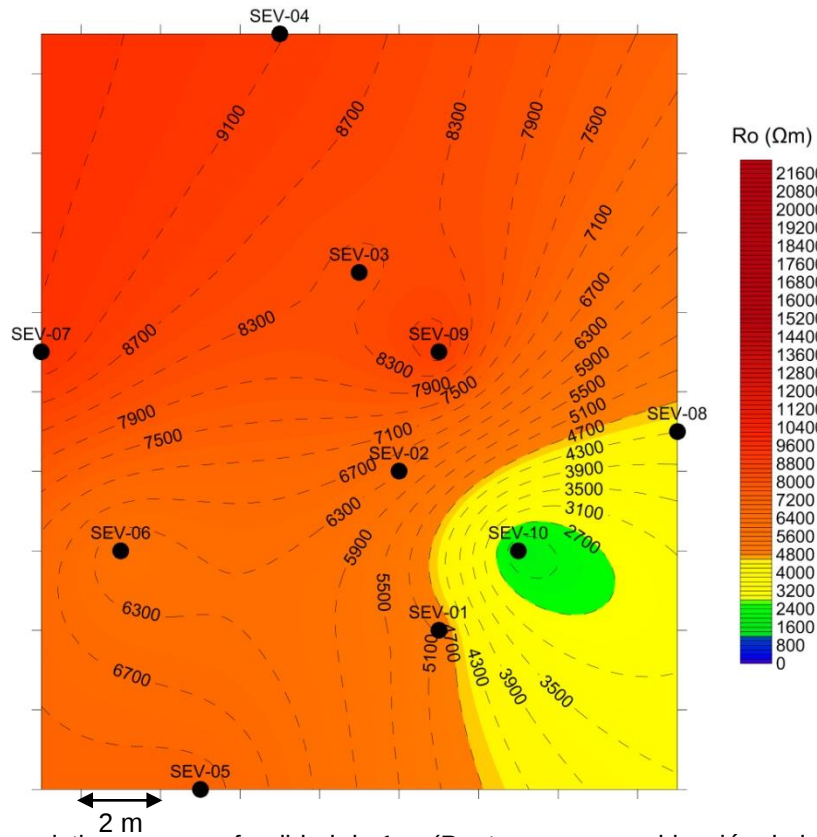
Valores de resistividad verdadera, espesores y profundidad de cada una de las capas para el SEV 10.

ANEXO 4

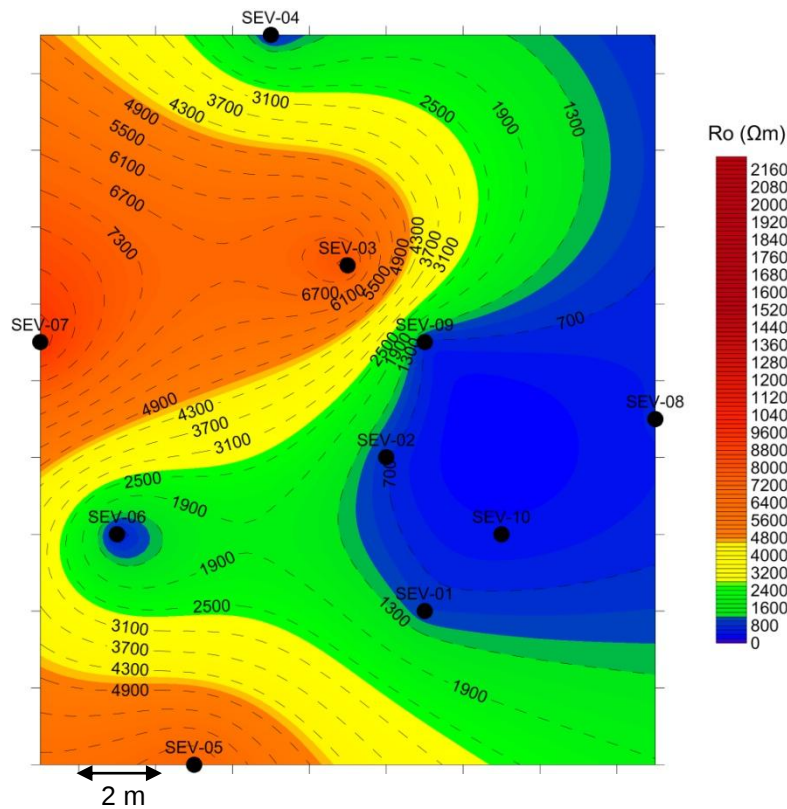
MAPAS DE ISORESISTIVIDAD DEL PROSPECTO “B”



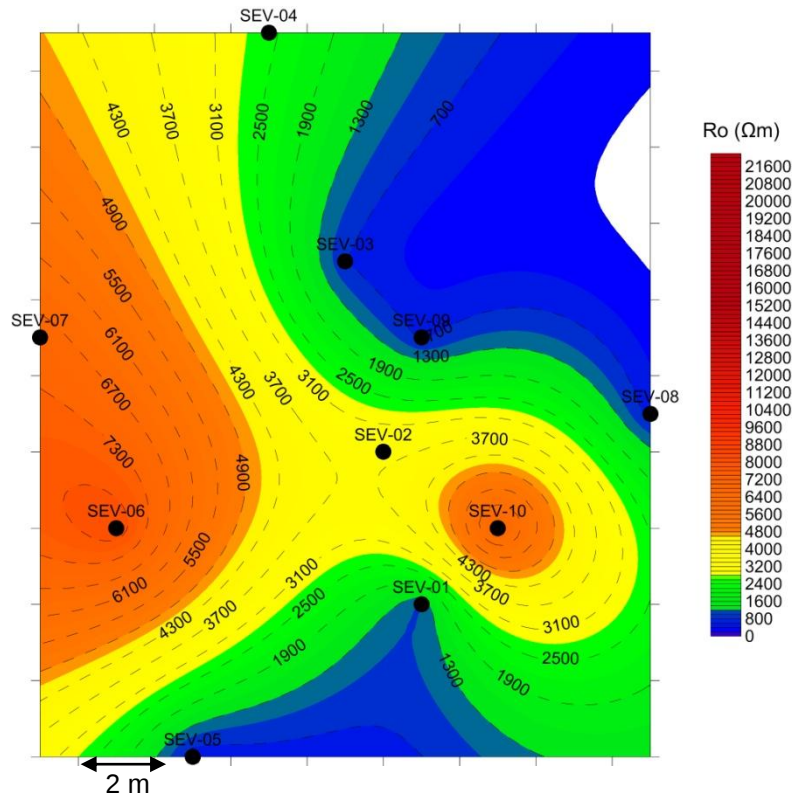
Mapa isoresistivo a nivel superficial (Líneas continuas = curvas de nivel topográfico, puntos negros = ubicación de los SEVs).



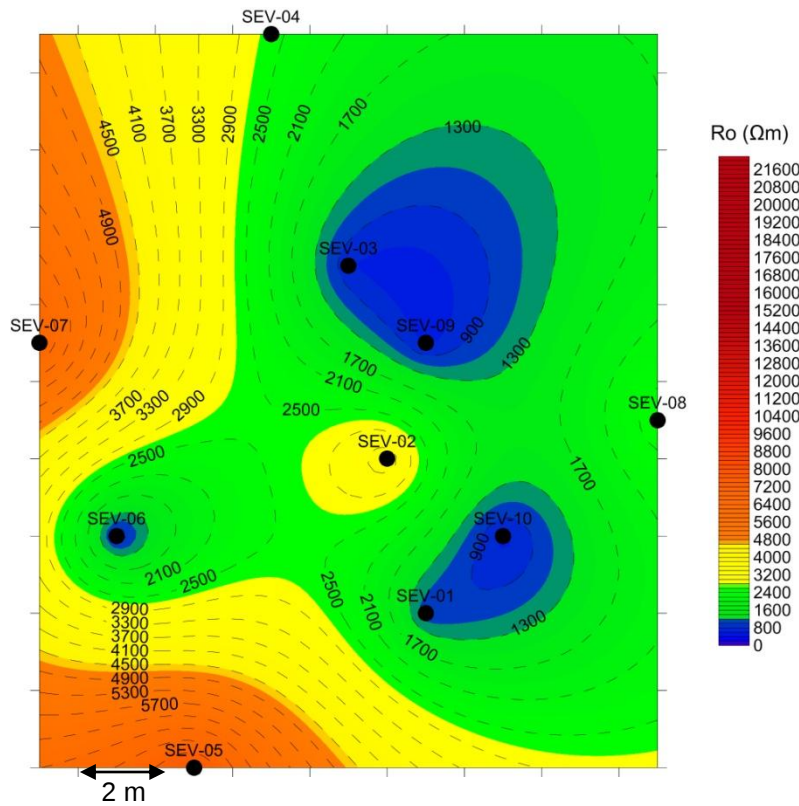
Mapa isoresistivo a una profundidad de 1 m (Puntos negros = ubicación de los SEVs).



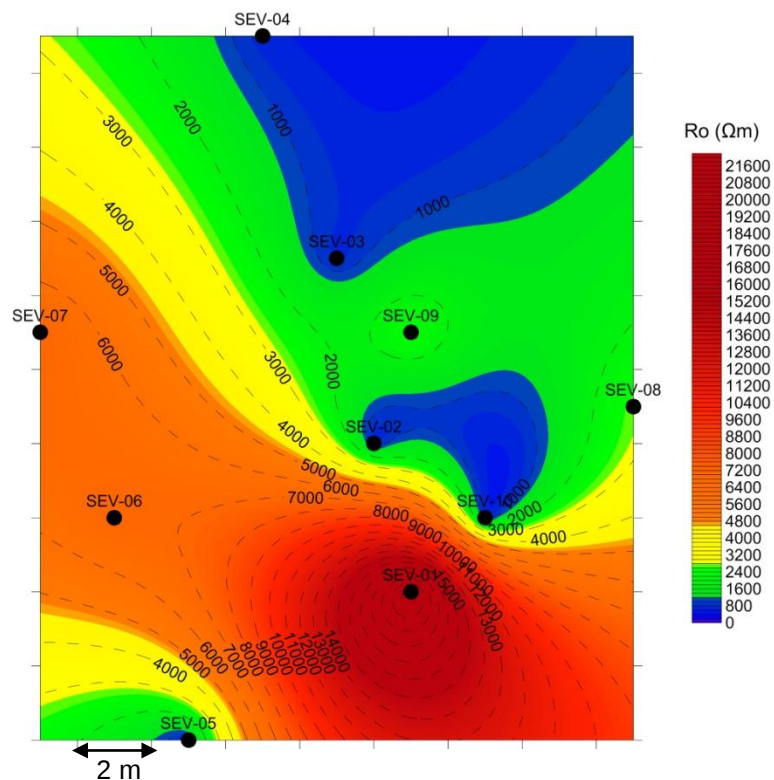
Mapa isoresistivo a una profundidad de 2 m (Puntos negros = ubicación de los SEVs).



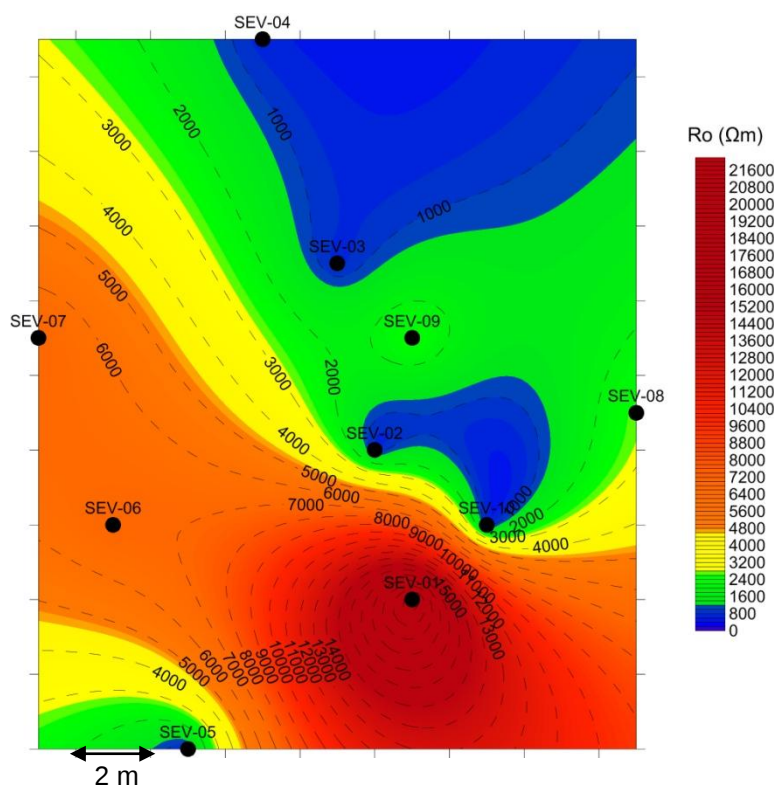
Mapa isoresistivo a una profundidad de 5 m (Puntos negros = ubicación de los SEVs).



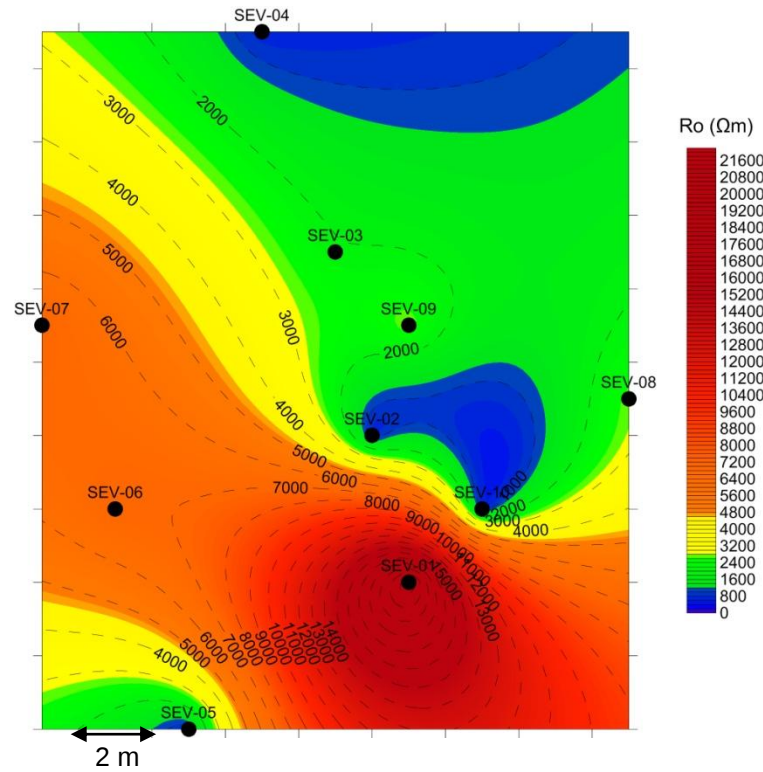
Mapa isoresistivo a una profundidad de 7 m (Puntos negros = ubicación de los SEVs).



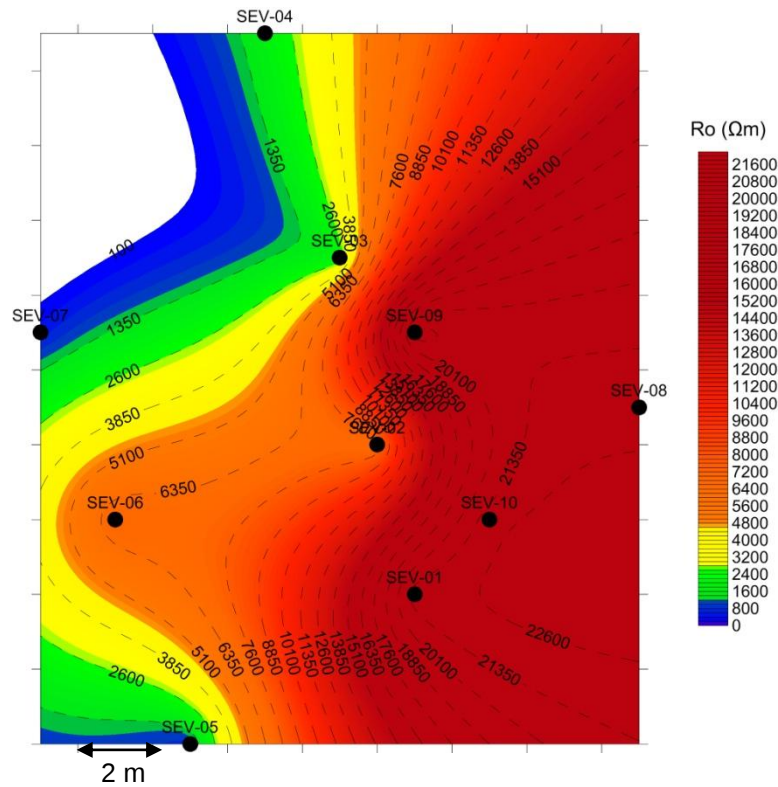
Mapa isoresistivo a una profundidad de 10 m (Puntos negros = ubicación de los SEVs).



Mapa isoresistivo a una profundidad de 12 m (Puntos negros = ubicación de los SEVs).



Mapa isoresistivo a una profundidad de 15 m (Puntos negros = ubicación de los SEVs).



Mapa isoresistivo a una profundidad de 17 m (Puntos negros = ubicación de los SEVs).