



# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA  
COLEGIO DE INGENIERÍA GEOFÍSICA

**DETERMINACIÓN DE ZONAS POTENCIALMENTE  
ALMACENADORAS DE AGUA A PARTIR DE SONDEOS  
ELÉCTRICOS VERTICALES EN LA LOCALIDAD DE JOSÉ MARÍA  
MORELOS MUNICIPIO DE CUAPIAXTLA, TLAXCALA.**

Tesis

Que para obtener el grado de  
LICENCIADO EN INGENIERÍA GEOFÍSICA

Presenta

NAHEMA RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ

Asesor

M.en C VÍCTOR MANUEL RAMÓN MÁRQUEZ

Puebla, Puebla

Octubre 2015



Oficio No. S.AC. 3143/15  
**ACEPTACIÓN TEMA TESIS**

**C. NAHEMA RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ**  
**PASANTE DE LA CARRERA DE**  
**INGENIERÍA GEOFÍSICA**  
**DE LA B.U.A.P.**  
**PRESENTE.**

En atención a la autorización del Tema de Tesis que puso Usted a consideración de esta Facultad, se turnó la misma al :

**ING. GEOL. ISAAC RAÚL SORIANO GARIBO**  
**COORDINADOR DEL COLEGIO DE INGENIERÍA GEOFÍSICA**

Habiendo autorizado el tema denominado:

**“DETERMINACIÓN DE ZONAS POTENCIALMENTE ALMACENADORAS DE AGUA A PARTIR DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES EN LA LOCALIDAD DE JOSÉ MARÍA MORELOS MUNICIPIO DE CUAPIAXTLA, TLAXCALA”**

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como Asesor Interno de esta tesis al **M. en C. VICTOR MANUEL RAMÓN MÁRQUEZ.**

Sin otro particular de momento, me es grato quedar de usted.

ATENTAMENTE

“PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR”

H. Puebla de Z., 1º de octubre de M, 2015

**M.I. EDGAR IRAM VILLAGRAN ARROYO**  
**DIRECTOR**



C.c.p.- Mesa de Exámenes Profesionales

Asesor

Archivo

M'EIVA\*M'AEPS\*rba.

Facultad  
de Ingeniería

Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio  
s/n, edif. 108 C, Col. San Manuel,  
Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C.P. 72570  
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

M.I. EDGAR IRAM VILLAGRAN ARROYO  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA DE LA B.U.A.P.

Presente.

El suscrito: M.C. VICTOR MANUEL RAMÓN MÁRQUEZ, **Asesor Interno** del Tema de Tesis denominado:

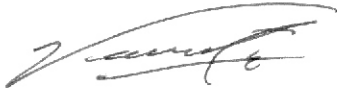
“DETERMINACIÓN DE ZONAS POTENCIALMENTE ALMACENADORAS DE AGUA A PARTIR DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES EN LA LOCALIDAD DE JOSÉ MARÍA MORELOS MUNICIPIO DE CUAPIAXTLA, TLAXCALA”

Presentado por la C. NAHEMA RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, Pasante de la Carrera de Ingeniería Geofísica, y en atención al oficio No.3143/15, de fecha 19 de octubre del presente año, me permito informar a usted que **después de haber revisado cuidadosamente** el contenido temático, la metodología, la redacción y la ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente **autorizar la impresión** de la misma.

Lo que hago de su conocimiento para los efectos legales a que haya lugar.

ATENTAMENTE

H. Puebla, de Z., 16 de octubre de 2015



M.C. VICTOR MANUEL RAMÓN MÁRQUEZ.  
ASESOR

C.c.p.- Interesado  
Expediente  
rba

“Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano.”

*Isaac Newton*

## **Dedicatoria**

**A mi mamá**, Cila Hernández Domínguez por creer en cada uno de los sueños que he tenido y ayudarme a realizarlos, por su orientación y eterno amor.

**A mi familia**, la bendición más grande de mi vida y mi mejor porra.

**A mis primos**, como muestra de que siempre que uno quiera los sueños se hacen realidad.

**A Javier**, por estar, por ser y por tu infinito amor capaz de vencer cualquier adversidad.

## **Agradecimientos**

A Dios, quien ha estado presente en mi vida desde que decidió regalármela y es el pilar invisible sobre el que me sostengo.

Al presidente del comisariado ejidal de José María Morelos, Sr. José Ángel Valadez Cruz que me brindó las facilidades para realizar los sondeos en los terrenos de su comunidad así como información valiosa del pozo Morelos No.1

Al M. en C Víctor Manuel Ramón Márquez mi asesor y amigo por dirigirme a lo largo de todo el proceso, por compartir conmigo sus conocimientos y dedicarme el tiempo necesario para concluir con el presente trabajo.

Al Ing. Isaac Raúl Soriano Garibo en quien además de ser mi maestro y coordinador encontré un amigo. Gracias por orientarme, apoyarme y prepararme intelectualmente a lo largo de la carrera.

A mis sinodales M. en C. José Serrano e Ing. Manuel Uribe Arriaga por orientarme durante todo el proceso y por contribuir con sus conocimientos.

A las brigadas de compañeros de diferentes generaciones del colegio que me apoyaron en las diferentes campañas de los SEV. ¡Gracias chicos!

A mi mamá por vivir conmigo la aventura de estos seis largos años en otro estado lejos de la familia, por ser mi principal porra y festejar conmigo cada uno de mis logros, por esperar y tener paciencia en este último paso.

A mi mejor amigo Josué por alentarme y porque gracias a sus “¿cómo va la tesis?” me hizo esforzarme más con tal de que dejara de preguntar. ¡Gracias!

## Tabla de contenido

<b>Resumen</b> .....	1
<b>Introducción</b> .....	2
<b>Objetivos</b> .....	4
<b>Capítulo 1. Zona de estudio</b> .....	<b>5</b>
Ubicación geográfica y vías de comunicación.....	5
Marco geológico .....	6
Geología regional .....	6
Subprovincia fisiográfica Lagos y volcanes de Anáhuac .....	8
Geología local.....	11
Clima.....	13
Hidrología .....	14
<b>Capítulo 2. Marco teórico</b> .....	<b>16</b>
Conceptos básicos .....	16
Ecuaciones generales del método eléctrico .....	16
Resistividad aparente.....	20
Resistividad en las rocas .....	21
<b>Capítulo 3. Metodología</b> .....	<b>23</b>
Método eléctrico .....	23
Sondeo eléctrico vertical .....	23
Arreglo geométrico .....	25
Schlumberger .....	25
Características del equipo.....	26
Adquisición de datos .....	27
Procesamiento de datos .....	29
SEV1.....	30
SEV2.....	30
SEV3.....	31
SEV4.....	32
SEV5-SEV9 .....	33
SEV10.....	36

SEV11-SEV13.....	37
<b>Capítulo 4. Interpretación .....</b>	<b>40</b>
Unidades geoelectricas .....	40
Perfiles geoelectricos .....	40
Perfil I.....	41
Perfil II.....	42
Perfil III.....	43
Perfil IV .....	44
Perfil V .....	45
Perfil VI .....	46
Perfil VII .....	47
Perfil VIII .....	48
Perfil IX .....	49
Perfil X .....	50
Correlación geofísica-geológica.....	53
Perfil I.....	54
Perfil II.....	56
Perfil V .....	57
Perfil VII .....	59
Perfil X .....	60
<b>Conclusiones.....</b>	<b>62</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>64</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>67</b>

## Lista de figuras

Fig1. Mapa de localización de José María Morelos localidad de Cuapixtla, Tlaxcala..5	
Fig2. Ubicación de la FTVM con sus tres sectores y de las principales provincias geológicas de México.. .....	7
Fig3. Ubicación de la FVTM o Eje Neovolcánico y sus subprovincias.. .....	9
Fig4. Distribución de las diferentes topofomas en el estado de Tlaxcala .....	10
Fig5. Carta geológica de la zona de estudio .. .....	12
Fig6. Clima de la zona de estudio .. .....	13
Fig7. Localización del Río Alzayanca y los diferentes cuerpos de agua en relación a la zona de estudio .. .....	15
Fig8. Aplicación de corriente eléctrica al terreno .. .....	17
Fig9. Vectores de densidad de corriente producidos por un electrodo puntual en semiespacio homogéneo de radio r (Modificada de Orellana, 1982).. .....	19
Fig10. Arreglo general de los SEV. Electrodo de corriente (AB), electrodo de potencial (MN) .. .....	24
Fig11. Dispositivo Schlumberger. Separación interelectrónica a, $S=AB/2$ . (Introduction to geophysical prospecting, p.762) .. .....	25
Fig12. Equipo de prospección SARIS .. .....	26
Fig13. Panel de control SARIS .. .....	26
Fig14. Saris conectado mediante cables a los electrodos AB y MN .. .....	27
Fig15. Ubicación de los SEV .. .....	28
Fig16. Curvas representativas de los SEVS .. .....	29
Fig17. Modelo de capas SEV1 .. .....	30
Fig18. Modelo de capas SEV2 .. .....	31
Fig19. Modelo de capas SEV3 .. .....	32
Fig20. Modelo de capas SEV4 .. .....	33
Fig21. Modelo de capas SEV5-SEV9 .. .....	34
Fig22. Modelo de capas SEV10 .. .....	37
Fig23. Modelo de capas SEV11-SEV13.....	38
Fig24. Distribución de los diez perfiles geoelectrónicos en el área de estudio .. .....	40
Fig25. Perfil geoelectrico I con sus valores de resistividad .. .....	41
Fig26. Perfil geoelectrico II .. .....	42
Fig27. Perfil geoelectrico III .. .....	43

Fig28. Perfil geoelectrico IV ..	44
Fig29. Perfil geoelectrico V ..	45
Fig30. Perfil geoelectrico VI ..	46
Fig31. Perfil geoelectrico VII ..	47
Fig32. Perfil geoelectrico VIII ..	48
Fig33. Perfil geoelectrico IX ..	49
Fig34. Perfil geoelectrico X ..	50
Fig35. Integración de los diez perfiles geoelectricos con la ubicación de cada SEV ..	51
Fig36. Vista superior de los 10 perfiles geoelectricos..	51
Fig37. Vista superior de la distribución de las resistividades de los diez perfiles geoelectricos ..	52
Fig38. Interpretación Perfil I-I'. Unidades geoelectricas con unidades geológicas..	54
Fig39. Interpretación Perfil II-II'. Unidades geoelectricas con unidades geológicas..	56
Fig40. Interpretación Perfil V-V'. Unidades geoelectricas con unidades geológicas..	57
Fig41. Interpretación Perfil VII-VII'. Unidades geoelectricas con unidades geológicas..	59
Fig42. Interpretación Perfil X-X'. Unidades geoelectricas con unidades geológicas..	60

## **Lista de tablas**

Tabla 1. Tabla de resistividades comunes de algunas rocas y materiales del subsuelo (Milson, 2003;Orellana,1982 y William, 2007).....	22
Tabla 2. Coordenadas de los SEV.....	28
Tabla 3. Unidades geoeléctricas identificadas y sus rangos de resistividades... ..	40
Tabla 4. Unidad geoeléctrica con la geología asociada... ..	53

## Resumen

En el presente trabajo se empleó la geofísica en la modalidad de sondeo eléctrico vertical con arreglo Schlumberger en la Localidad de José María Morelos, Cuapiaxtla, Estado de Tlaxcala para determinar la distribución vertical de la resistividad en el subsuelo. Los valores obtenidos determinaron cuatro unidades geoeléctricas las cuales se interpretaron geológicamente de acuerdo a las condiciones geológicas de la región.

La profundidad de exploración máxima fue aproximadamente de 130 m, la distribución de la resistividad eléctrica en las partes más someras se presentan resistividades de media a alta mientras que en las partes profundas se observan resistividades bajas.

Las unidades geológicas con resistividades menores se asociaron a tobas de mediana consolidación y a arenas volcánicas con saturación; por otra parte se identificaron andesitas fracturadas y material de tipo aluvial las cuales se muestran en las secciones construidas.

El nivel freático fue ubicado en cada uno de los perfiles generados y varía de acuerdo a la ubicación de la unidad con potencial hidrológico identificada en cada perfil.

## Introducción

El crecimiento y desarrollo de la sociedad siempre ha dependido en gran medida de la disponibilidad de los recursos básicos necesarios. El agua es uno de los recursos más importantes.

La sociedad emplea el agua dulce para uso doméstico, el riego y la industria; sin embargo, el crecimiento desmedido de la población y el constante cambio de uso de suelo han llevado a que constantemente se tengan que hacer estudios geofísicos para localizar nuevas posibles fuentes de agua para uso humano y agrícola.

El estado de Tlaxcala se encuentra en un área del país donde la escasez de agua superficial va cada vez más en aumento debido principalmente a las condiciones climáticas, sobreexplotación y cambio de uso de suelo.

En el área donde se encuentra Cuapixtla se presenta la desventaja de tener alta concentración de aprovechamiento del agua para uso agrícola principalmente.

La prospección geoeléctrica en su modalidad de sondeo eléctrico vertical (SEV) es una de las técnicas geofísicas mayormente empleada en la actualidad para la búsqueda de zonas con potencial de almacenamiento de agua en lugares donde no se cuenta con información alguna de la existencia de agua.

En el presente trabajo se empleó el arreglo Schlumberger para conocer la distribución vertical de las resistividades en el subsuelo en el municipio de José María Morelos, lo que a su vez permitió generar un modelo geoeléctrico. A partir del

modelo geoelectrico se establecieron los contactos entre las diferentes unidades geoelectricas de acuerdo a sus distintos valores de resistividades encontrados.

Las unidades geoelectricas relacionadas con la geología existente dentro de la zona de estudio permitieron identificar capas geológicas que podrían ser potencialmente almacenadoras de agua.

## **Objetivos**

### **General**

- Identificar las características geoelectricas del subsuelo mediante el uso de la prospección geoelectrica en el municipio de José María Morelos, Cuapixtla, Estado de Tlaxcala.

### **Específicos**

- Establecer un modelo de capas geoelectricas a partir de los sondeos eléctricos verticales.
- Utilizar la geología de la zona, como restricción en el modelo de capas geoelectricas para identificar capas geológicas.
- Determinar las unidades geoelectricas con potencial de almacenamiento de agua y el nivel freático.

## Capítulo 1. Zona de estudio

### Ubicación geográfica y vías de comunicación

Los sondeos eléctricos verticales para el desarrollo del presente trabajo se llevaron a cabo en la localidad de José María Morelos, municipio de Cuapiaxtla, Tlaxcala.

José María Morelos se localiza al oriente del municipio de Cuapiaxtla transitando por la carretera federal MEX 136 y continuando por un camino de terracería entre las coordenadas  $19^{\circ}21'46.63''$  latitud **N** y  $97^{\circ}41'54.33''$  longitud **W** con una elevación sobre el nivel del mar de 2 400 metros.

La zona de estudio colinda al norte con el municipio de Libres, al oriente con la localidad de La Soledad, al poniente con la localidad de Ignacio Allende y al sur con el Río Altzayanca (Figura 1).



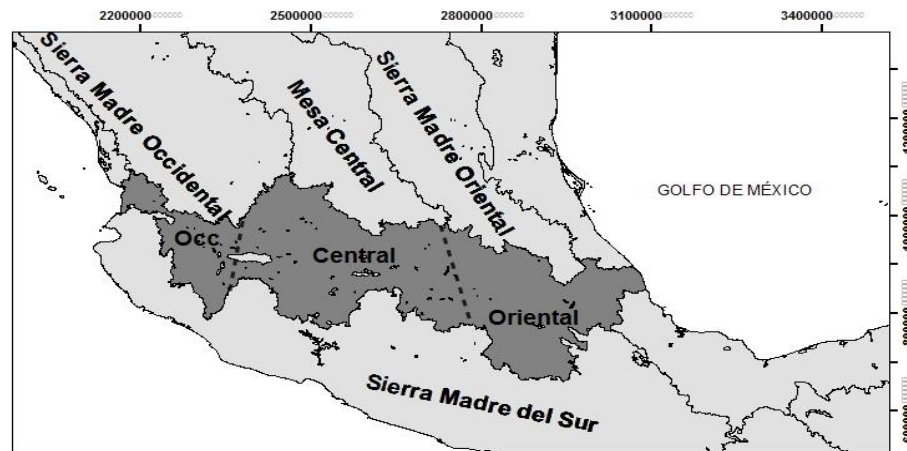
*Figura 1:* Mapa de localización de José María Morelos localidad de Cuapiaxtla, Tlaxcala.

## **Marco geológico**

### **Geología Regional**

El área de estudio se ubica en el estado de Tlaxcala, dentro del sector oriental de la Provincia Geológica denominada Faja Volcánica Transmexicana o bien la provincia fisiográfica llamada Eje Neovolcánico, cuyo origen ha sido relacionado principalmente con la subducción de la placa de Cocos debajo de la placa Norteamericana. La FVTM está constituida por cerca de 8 000 estructuras volcánicas dentro de las cuales destacan los grandes aparatos volcánicos del país entre las que destacan el Popocatepetl, Iztaccíhuatl, la Malinche, Pico de Orizaba y el Nevado de Colima. (Demant, et. al, 1978). Con aproximadamente 1000 km de longitud y una amplitud irregular entre los 80 y 230km, y se distribuye con una dirección preferencial E-W en su parte central y oriental, W-NW y E-SE en su parte occidental (Figura 2).

Algunos autores han propuesto la división de la FVTM en tres sectores con base en su geología y tectónica como se muestra en la Figura 2: una porción occidental entre la costa del Golfo de California y la junta triple de los rifts de Zacoalco, Chapala y Colima (Demant, 1986); una porción central comprendida entre dicha estructura y el sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende (Alaniz-Álvarez *et al.*, 2002a); y una porción oriental entre este sistema y la costa del Golfo de México.



*Figura 2:* Ubicación de la FVTM con sus tres sectores y de las principales provincias geológicas de México.

En la porción del territorio que comprende Tlaxcala en el sector oriental de la FVTM existen afloramientos de rocas volcánicas como: andesitas, riolitas, basaltos, tobas y brechas volcánicas. Además de contar con zonas extensas de sedimentos lacustres, fluviales y fluvio-glaciares y brechas sedimentarias. (INEGI, 1986)

La actividad volcánica en Tlaxcala se ha presentado en diferentes periodos geológicos, siendo ésta la condicionante de la geología del Estado.

La actividad volcánica más importante se dio durante el Terciario y Cuaternario y prueba de ello es la abundancia en el estado de materiales típicos de cada periodo.

Las rocas del Terciario están representadas principalmente por rocas ígneas extrusivas en forma de coladas y piroclásticas, así como por rocas sedimentarias en menor medida, mientras que del Cuaternario se presentan en gran cantidad por

suelos aluviales y residuales y algunos eventos volcánicos menores en forma de cenizas volcánicas.

Afloran también en el territorio del estado rocas ígneas extrusivas como andesitas y basaltos; rocas volcánicas como rolitas, dacitas, brechas volcánicas básicas, brechas sedimentarias, conglomerados y tobas ácidas, básicas e intermedias. Siendo las tobas los materiales de mayor abundancia distribuidas en toda la zona y áreas circunvecinas.

Las rocas sedimentarias están representadas por los afloramientos de limolitas, areniscas y algunas calizas con pocas exposiciones por encontrarse en la mayoría de los casos cubiertas por los eventos volcánicos mencionados anteriormente y finalmente como producto del intemperismo de las rocas preexistentes se encuentran los suelos residuales y algunos aluviales y lacustres cubriendo la parte superficial de la zona de interés.

### **Subprovincia fisiográfica Lagos y volcanes de Anáhuac**

El estado de Tlaxcala se localiza dentro de la Subprovincia Fisiográfica Lagos y volcanes de Anáhuac, que es la más grande de las catorce subprovincias fisiográficas que conforman la FVTM compuesta de sierras volcánica que alternan con lomeríos y amplias mesetas.



- Lomeríos de tobas con llanuras.
- Meseta basáltica con cañadas.
- Meseta basáltica escalonada con lomerío.
- Sierra volcánica con estrato volcanes.
- Sierra volcánica de laderas escarpadas.

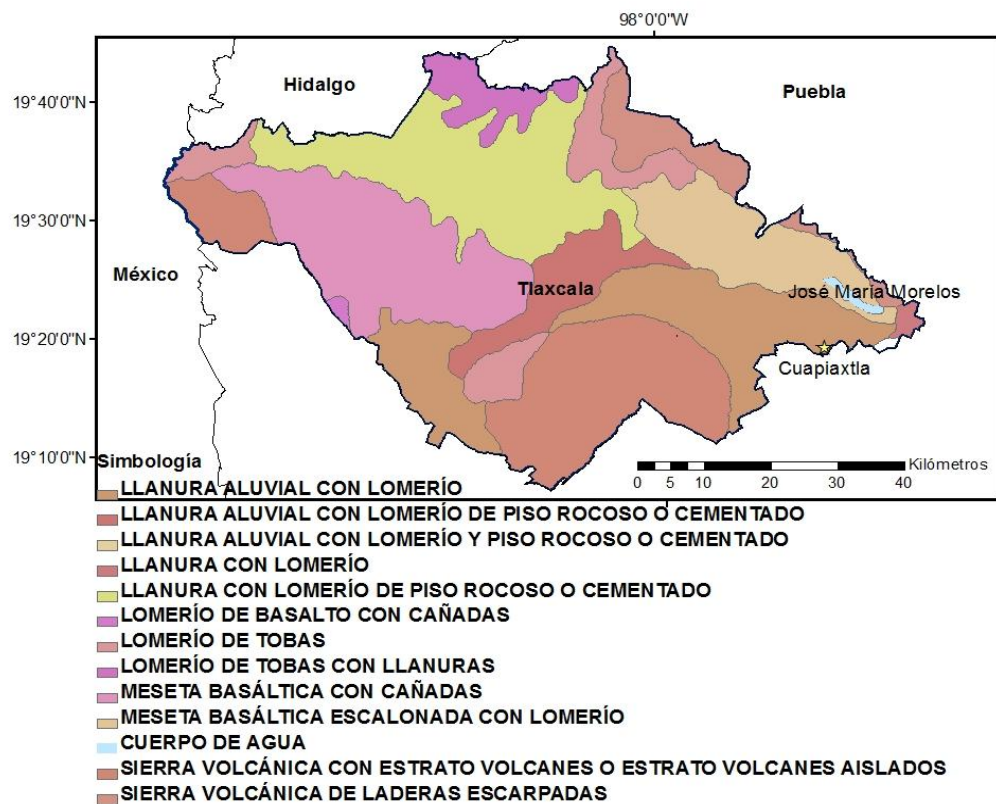


Figura 4: Distribución de las diferentes toposformas en el estado de Tlaxcala.

Específicamente para la localidad de José María Morelos se presenta el sistema de toposformas de gran meseta basáltica escalonada con lomeríos donde existen elevaciones entre los 2300 a 2400 metros.

## **Geología local**

En la localidad de José María Morelos afloran en su mayoría arenas limosas de origen volcánico color café rojizo de baja consolidación, formando suelos residuales.

Hacia al NE de la zona de estudio, en el Cerro Seco se encuentran afloramientos de Andesitas del Terciario Superior producto de derrames de fisura de lava con una amplia distribución hacia el noroeste formando un sistema de serranías entre las que figuran el cerro San Rafael, la Cantera y el crestón entre otros, encontrando un sistema de fallas de tipo normal con una orientación noroeste-sureste a la altura de la mesa las animas, así como también un sistema de fracturas con una dirección preferencial noreste-suroeste, distribuidas tanto al oriente como al poniente del área de estudio.

En los afloramientos estudiados de las andesitas se determinó una coloración que va del gris claro al gris verdoso encontrándose sana, fracturada, muy fracturada, o en su caso en forma de bloques, observando que los afloramientos presentaban una composición muy variable producto de una diferenciación magmática.

Hacia la parte Sur, en las inmediaciones del Río Altzayanca se desarrolla un amplio valle donde se encuentran grandes depósitos de material aluvial constituidos principalmente por pequeños cantos rodados, arenas, limos y arcillas, así como tobas arenosas cubriendo parte importante de este valle.

En dirección SW hacia la comunidad de La Cantera están aflorando Tobas ácidas de edad Cuaternaria sobreyaciendo a rocas sedimentarias, presentan color ocre, son de composición riolítica y dacítica. Estas rocas se encuentran soldadas, intemperizadas y fracturadas, ricas en cuarzo.

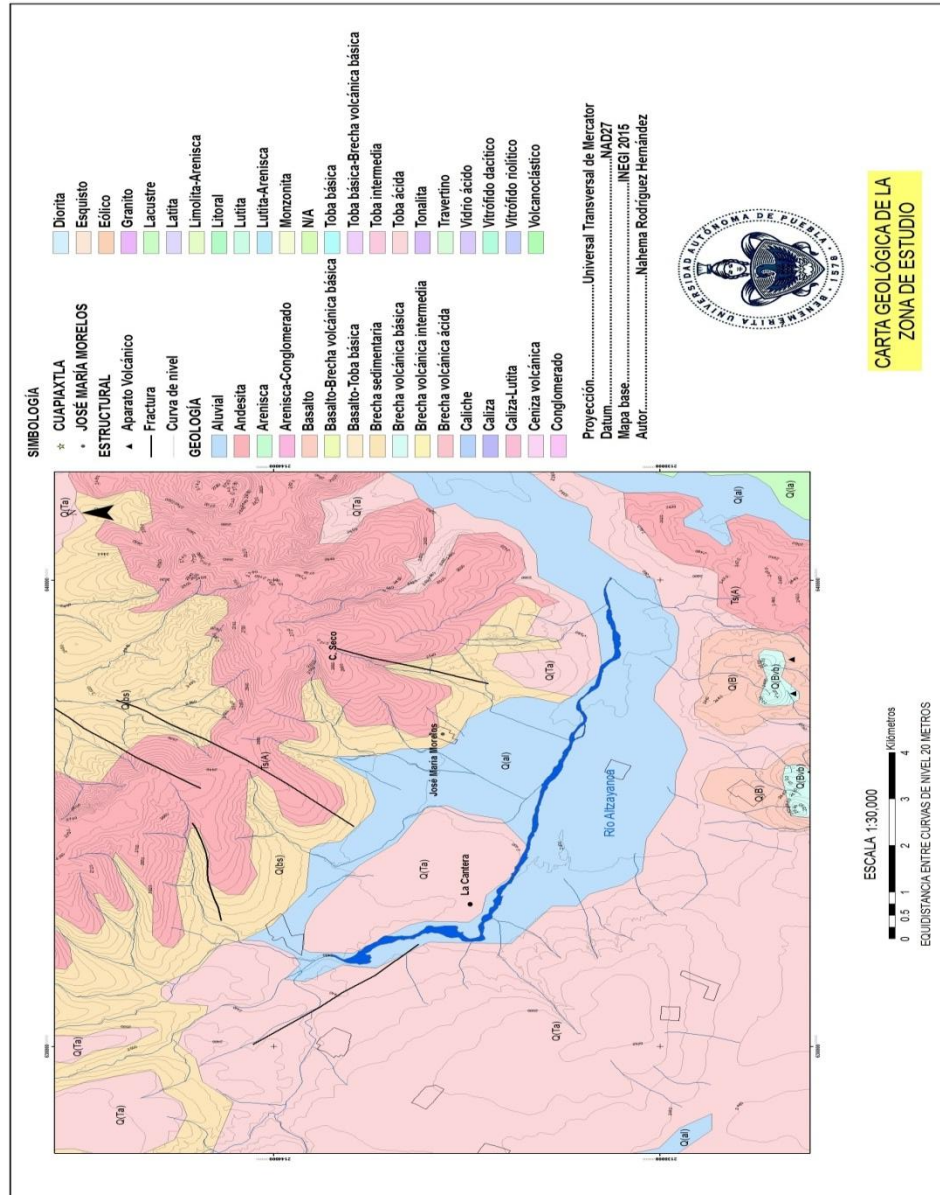


Figura 5: Carta geológica de la zona de estudio.

### Clima

La posición geográfica, el relieve, la distancia al mar, los vientos predominantes y la deforestación son algunos de los factores que determinan el tipo de clima de una región.

En el caso específico de la zona de estudio, factores como los vientos dominantes provenientes del sureste que se ven disminuidos al chocar con el volcán La Malinche, la continua deforestación ha repercutido directamente en la cantidad de precipitación y el cambio de uso de suelo con fines agrícolas influyen para definir el clima predominante.

De acuerdo a la modificación del Sistema de Clasificación Climática de Köppen hecho por la M. en C. Enriqueta García para la zona de estudio el tipo de clima predominante es de tipo seco a semiseco templado BS1kw(w) el cual se caracteriza de acuerdo a CONABIO,2000 por una precipitación anual de 500-600 mm; presentándose lluvias en verano y algunas escasas el resto del año haciendo de esta zona una de las más secas del Estado de Tlaxcala.

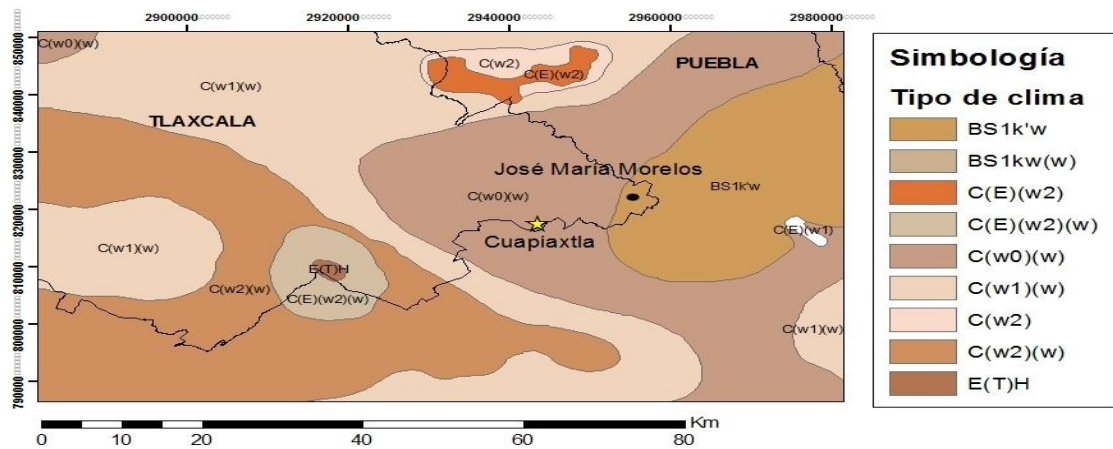


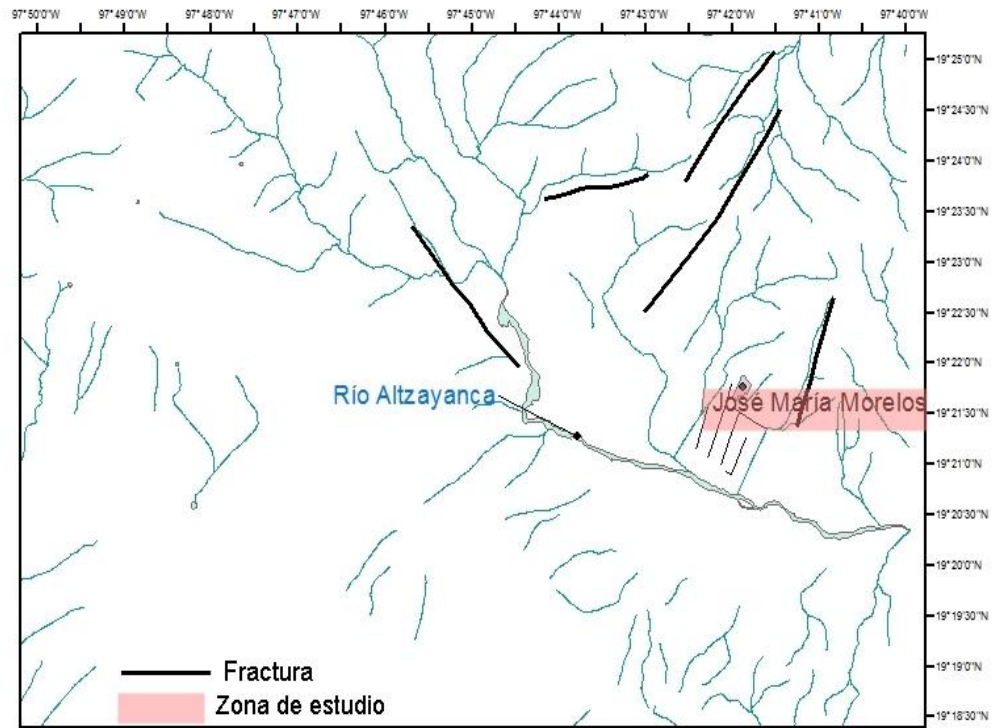
Figura 6: Clima de la zona de estudio.

## Hidrología

La zona de estudio se ubica en el extremo suroeste de la región hidrológica del Alto Balsas (RH-18), específicamente en la cuenca cerrada de Libres-Oriental, originada a principios de la era cenozoica con el cambio del régimen de escurrimiento de la región cuando el agua fue estancada producto de una serie de fisuras de emisiones volcánicas que cerraron el paso a la escorrentía superficial que drenaba hacia el sureste de la estructura volcánica de la Malinche para integrarse al sur con el río Atoyac, afluente del río Balsas.

El área de estudio recibe una serie de escurrimientos provenientes de la sierra de la Cantera con una dirección sensible hacia el sur con corrientes de tipo intermitente que algunas de ellas desaparecen y otras más en época de lluvias llegan a la corriente principal del Río Alzayanca para descargar sus aguas en la cuenca de Libres-Oriental.

De acuerdo a lo anterior, el Río Alzayanca representa el cuerpo de agua más importante y cercano a la zona de estudio, ubicado hacia la parte sur, con régimen intermitente y una orientación NW-SE.



*Figura 7:* Localización del Río Altzayanca y los diferentes cuerpos de agua en relación a la zona de estudio.

El patrón del drenaje de los escurrimientos superficiales de agua en el área de interés es de tipo subdendrítico característico de suelos de textura fina con direcciones NW-SE y NE-SW asociadas a la serie fracturas que presentan la misma orientación del patrón de drenaje localizadas al NE y NW de la zona de estudio.

## Capítulo 2. Marco teórico

### Conceptos básicos

En física, la *resistencia eléctrica* es una característica que presenta cualquier material al aplicarle una diferencia de potencial  $V$  entre dos puntos de su superficie y medir la corriente eléctrica  $i$  que resulta. (Resnik, p.121, 1999)

La resistencia  $R$  deducida de la ley de Ohm es, entonces:

$$R = \frac{V}{i}$$

$V$  en volts,  $i$  en amperes; por lo tanto  $R$  se define en volts/ampere. 1volt/1ampere equivale a la unidad **Ohm** ( $\Omega$ ) en el SI.

$R$  depende de la geometría y naturaleza del material, por lo que puede ser escrita también en términos de su longitud  $l$ , su sección transversal  $s$  y su resistividad  $\rho$  como:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

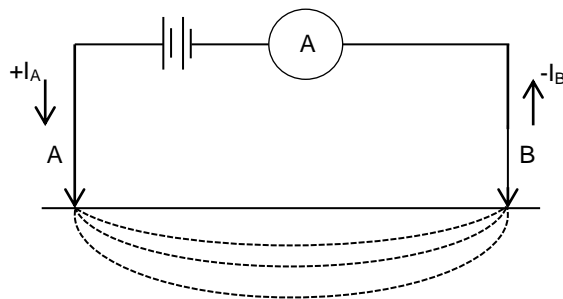
La resistividad  $\rho$  es una característica propia de un material y tiene unidades de *ohm x metro* en el SI, la longitud  $l$  se mide en metros ( $m$ ) y la sección  $s$  en  $m^2$ .

### Ecuaciones generales del método eléctrico

Las corrientes eléctricas utilizadas en la prospección eléctrica se mueven en un espacio tridimensional en el subsuelo. Para hacer el problema más fácil de

abordar Orellana propone considerar que el subsuelo se compone de varias zonas, dentro de cada una de las cuales la resistividad es constante, separadas entre sí por superficies límite perfectamente planas. (Resnik, p.104,1999)

Considerando que un subsuelo compuesto por un semiespacio de resistividad  $\rho$ , el otro semiespacio, de resistividad infinita lo representará la atmósfera. Para establecer el campo eléctrico se necesita una fuente generadora de corriente que a través de dos electrodos de corriente **A** y **B** suministre corriente al subsuelo. (Resnik, p.105, 1999)



*Figura 8:* Aplicación de corriente eléctrica al terreno.

La corriente  $I_A$  penetra por **A** en el subsuelo y después de recorrer el semiespacio regresa por **B** con intensidad  $I_B$  para cerrar el circuito.

Para establecer las leyes del fenómeno considerado, se parten de las ecuaciones de Maxwell

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$$

Donde por tratarse de un campo estacionario, habrán de anularse las derivadas temporales, entonces

$$\nabla \times E = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \times H = J \quad (2)$$

Considerando la ecuación (1), la cual dice que el campo eléctrico  $E$  es conservativo o irrotacional, este se puede expresar mediante un potencial escalar  $U$ .

$$E = -\nabla U \quad (3)$$

La ley de Ohm en su forma diferencial para medios isótropos que expresa que la densidad de corriente  $J$  en un punto, tiene la misma dirección y sentido que el campo  $E$  en el mismo punto y es proporcional a él también debe cumplirse.

$$J = \sigma E \quad (4)$$

El factor de proporcionalidad es la conductividad  $\sigma$  inversa de la resistividad  $\rho$ .

En todos los puntos se cumplirá la ecuación de continuidad

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot J = 0 \quad (5)$$

Que se reduce a

$$\nabla \cdot J = 0 \quad (6)$$

En todos los puntos, excepto en los electrodos.

Combinando las ecuaciones (4), (5) y (6), se tiene que

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = \nabla \cdot \sigma \mathbf{E} = 0$$

Esta ecuación es la más general de la proyección eléctrica, desarrollándola,

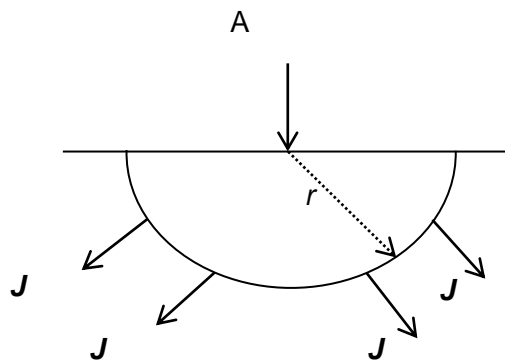
$$\nabla \cdot \sigma \mathbf{E} = \sigma \nabla \cdot \mathbf{E} + \mathbf{E} \cdot \nabla \sigma = -\sigma \nabla \cdot \nabla U + \mathbf{E} \cdot \nabla \sigma = -\sigma \nabla^2 U + \mathbf{E} \cdot \nabla \sigma = 0$$

Si dentro de cada zona de conductividad uniforme  $\nabla \sigma = 0$ , se tiene que

$$\nabla^2 U = 0$$

La ecuación anterior es la ecuación de Laplace que es válida en todo el semiespacio conductor, pero no en los electrodos, ni en las superficies de discontinuidad de la resistividad.

Si se traza alrededor del electrodo **A** y dentro del semiespacio inferior una superficie semiesférica, en cualquier punto de ella, la densidad de corriente **J** tendrá el mismo valor.



*Figura 9:* Vectores de densidad de corriente producidos por un electrodo puntual en semiespacio homogéneo de radio  $r$  (Modificada de Orellana, 1982).

La integral de  $\mathbf{J}$  sobre la superficie semiesférica será igual a  $I$  por lo que si el radio es  $r$  se tendrá

$$2\pi r^2 J = I$$

$$J = \sigma E = \frac{I}{2\pi r^2}$$

De donde

$$E = \frac{I}{\sigma 2\pi r^2} = \frac{I\rho}{2\pi r^2}$$

Lo que expresa que el campo  $\mathbf{E}$  de un electrodo puntual es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia  $r$ .

### **Resistividad aparente**

Si el subsuelo representara un medio homogéneo la resistividad medida en dicho medio, sería la resistividad verdadera. Sin embargo, debido a que existen heterogeneidades en el medio, el valor de la resistividad varía con respecto a las posiciones relativas de los electrodos, atribuidas a un valor calculado que es condicionado por las propiedades físicas del medio y la geometría del arreglo de electrodos ocupado.

Por lo que se tiene que

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I}$$

Donde:

$\rho_a$ = resistividad aparente [Ohm·m]

$k$ = factor geométrico (depende del arreglo de los electrodos) [m]

$\Delta V$ = diferencia de potencial [V]

$I$ = intensidad de corriente [A]

### **Resistividad en las rocas**

El subsuelo no puede considerarse como un medio homogéneo debido a los diversos materiales de los que se compone así es que la resistividad de una roca en el subsuelo no solo depende de los minerales constituyentes de la misma sino que se deben tener en cuenta otros factores que la determinan como la presencia de fluidos en los poros, fracturas o huecos y la presencia de arcillas, por mencionar algunos.

En la siguiente tabla se muestran los rangos típicos de resistividad de rocas volcánicas comunes.

*Tabla 1:* Tabla de resistividades comunes de algunas rocas y materiales del subsuelo.

<b>Tipo de material</b>	<b>Resistividad eléctrica (Ohm·m)</b>
<b>Capa superficial del suelo</b>	50-100
<b>Arena seca</b>	50-500
<b>Arena saturada</b>	20-180
<b>Material Aluvial</b>	100-500
<b>Arcilla</b>	1-100
<b>Caliza</b>	300-3000
<b>Roca intemperizada</b>	100-1 000
<b>Arenisca arcillosa</b>	50-300
<b>Roca ígnea</b>	100-10 000

## Capítulo 3. Metodología

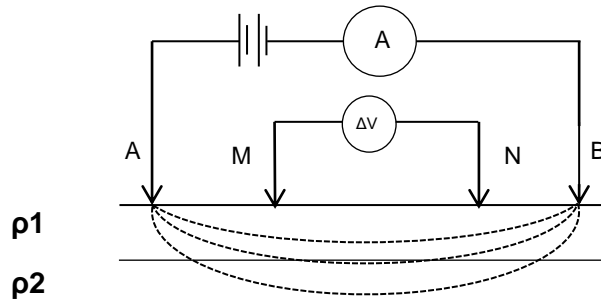
### Método eléctrico

El método eléctrico también denominado geoelectrico representa la técnica geofísica más usada en la exploración de agua subterránea ya que por medio de las mediciones de la diferencia de potencial del suelo efectuadas en superficie, permite conocer la distribución en profundidad de la resistividad  $\rho$ .

### Sondeo eléctrico vertical (SEV)

Para el presente trabajo se realizaron mediciones de resistividades aparentes del subsuelo a partir del método llamado sondeo eléctrico vertical (SEV), que permite conocer la distribución vertical de las resistividades aparentes bajo un punto sondeado a partir de la diferencia de potencial registrada en la superficie, con lo cual se puede determinar el límite entre las capas horizontales del subsuelo.

Este tipo de prospección geoelectrica consiste en determinar la resistividad aparente con un mismo tipo de dispositivo pero con separación creciente entre los electrodos de corriente y de potencial. (Orellana, p.142)



*Figura 10:* Arreglo general de los SEV. Electrodo de corriente (AB), electrodo de potencial (MN).

Los electrodos de corriente A B inyectan corriente continua al terreno creando un campo artificial de corriente y la determinación de la diferencia de potencial que genera dicha corriente es registrada por los electrodos de potencial M N.

Con el fin de obtener información cuantitativa relativa a los parámetros geoelectrónicos del subsuelo, se mide la diferencia de potencial no en un sólo punto, sino en un conjunto de puntos, distribuidos entre las distancias más corta y más largas del dispositivo.

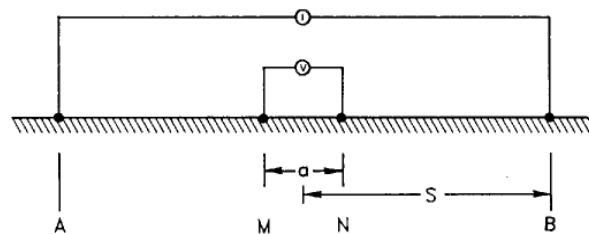
A medida que los electrodos A y B se separan la corriente eléctrica va penetrando en las capas del subsuelo de tal manera que si la distancia de separación AB aumenta, la corriente circula a mayor profundidad. De acuerdo con Orellana, para un medio isótropo y homogéneo, el 50% de la corriente circula por encima de la profundidad  $AB/2$  y el 70% por encima de la profundidad AB.

## Arreglo geométrico

### Schlumberger

El arreglo eléctrico Schlumberger es considerado el más eficaz y usado, la idea que supone es hacer tender la distancia de separación interelectródica  $a$  en MN a cero. (Orellana, p.116). Los electrodos AB se separan progresivamente dejando a los electrodos de potencial MN fijos en el centro del arreglo.

Lo anterior implica mantener la separación interelectródica  $a$  entre MN muy pequeña; sin embargo, cuando la distancia AB se hace muy grande tal que la diferencia de potencial en MN es muy pequeña, se reposicionan M y N. En las mediciones de campo suele tomarse en cuenta que  $MN \leq AB/5$  y cada vez que los electrodos M y N se reposicionan se comienza a abrir progresivamente A y B pero siempre repitiendo un par de puntos comunes en cada  $AB/2$  cuando M y N se reposicionan, a este movimiento de electrodos se le conoce como empalme.



*Figura 11:* Dispositivo Schlumberger. Separación interelectródica  $a$ ,  $S=AB/2$ . (Dobrin, M. B. & Savit, C. H., 1988).

### Características del equipo

Para la exploración geoelectrica se empleó el equipo de prospección de aguas subterráneas SARIS (Scintrex Automated Resistivity Imaging System) que consiste básicamente en tres partes: una consola electrónica, un módulo multielectrodo que permite conectar electrodos o cables inteligentes y una batería de 24V.



Figura 12: Equipo de prospección SARIS.

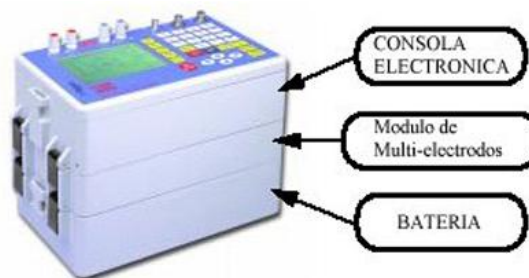


Figura 13: Panel de control SARIS.

La intensidad de corriente máxima que suministra el SARIS es de 1000mA con un voltaje de hasta 500 V.

Además se emplearon cuatro electrodos AB y MN; dos carretes de cables para conectar la consola a los electrodos AB y dos más que se conectaron a los electrodos MN.



*Figura 14:* Saris conectado mediante cables a los electrodos AB y MN.

### **Adquisición de datos**

Se realizaron 13 sondeos eléctricos verticales con una separación máxima de AB/2 de 250 metros en cada punto medido. Los intervalos AB/2 utilizados fueron 2,4,6,8,10,15,20,25,30,40,60,80,100,150,200 y 250.

Las coordenadas UTM de cada sondeo se presentan a continuación:

Tabla 2: Coordenadas de los SEV

SEV	X	Y
1	636599.42	2140653
2	636657.08	2140745
3	636710.7	2140834
4	636560.04	2140922
5	636384	2140790
6	636419	2140851
7	636484	2140970
8	636224.06	2140899
9	636247.01	2140951
10	636292.7	2141084
11	636069	2140897
12	636089	2140959
13	636129	2141079



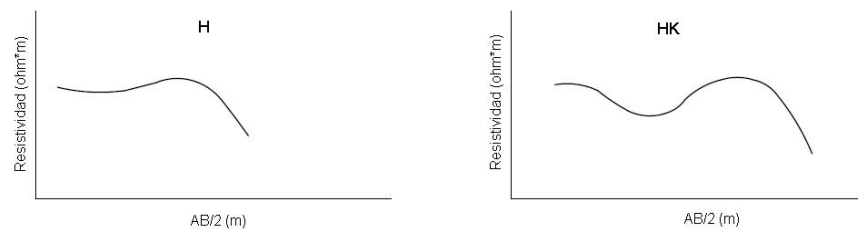
Figura 15: Ubicación de los SEV.

## Procesamiento de datos

Para el procesamiento de los SEV se ocupó el software IPI2WIN de licencia libre que permite proponer modelos de  $n$  capas geoelectricas.

El procesamiento dentro del software de las curvas obtenidas en campo con el método inverso dio como resultado modelos de capas eléctricas con márgenes de error similares menores a 10% exceptuando dos casos cuyos errores fueron de 12.2% y 20.7% los cuales se describe más adelante

En un rápido análisis de las curvas de todos los SEV se observa que estos se pueden clasificar en dos curvas tipo (Figura 16).



*Figura 16: Curvas representativas de los SEVS.*

La curva H de tres capas y la curva HK de cuatro. A la curva H se asocian los SEV: 8,11, 12 Y 13; a la curva HK los SEV: 1-7, 9 y 10.

## SEV1

Para este sondeo se logró un buen ajuste del modelo de capas a la curva teórica con un erro considerable de 9.48 %.

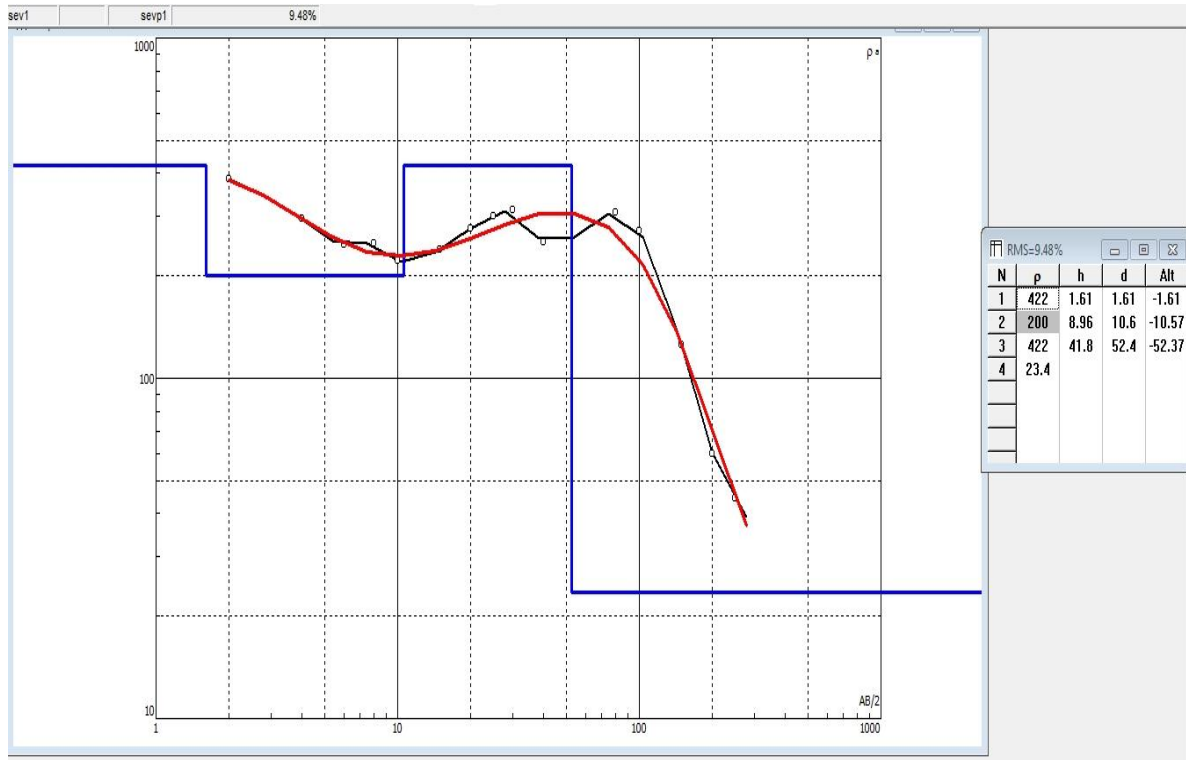


Figura 17: Modelo de capas SEV1.

## SEV2

La curva de campo del SEV2 presentó una lectura anómala en  $AB/2=200$ , punto donde se realizó un empalme con muy poco voltaje por lo que se desprecia dicha lectura y solo se consideró la lectura del mismo punto después de realizar el

empalme. El error es relativamente bajo y la trayectoria de la curva coincide con la del SEV1.

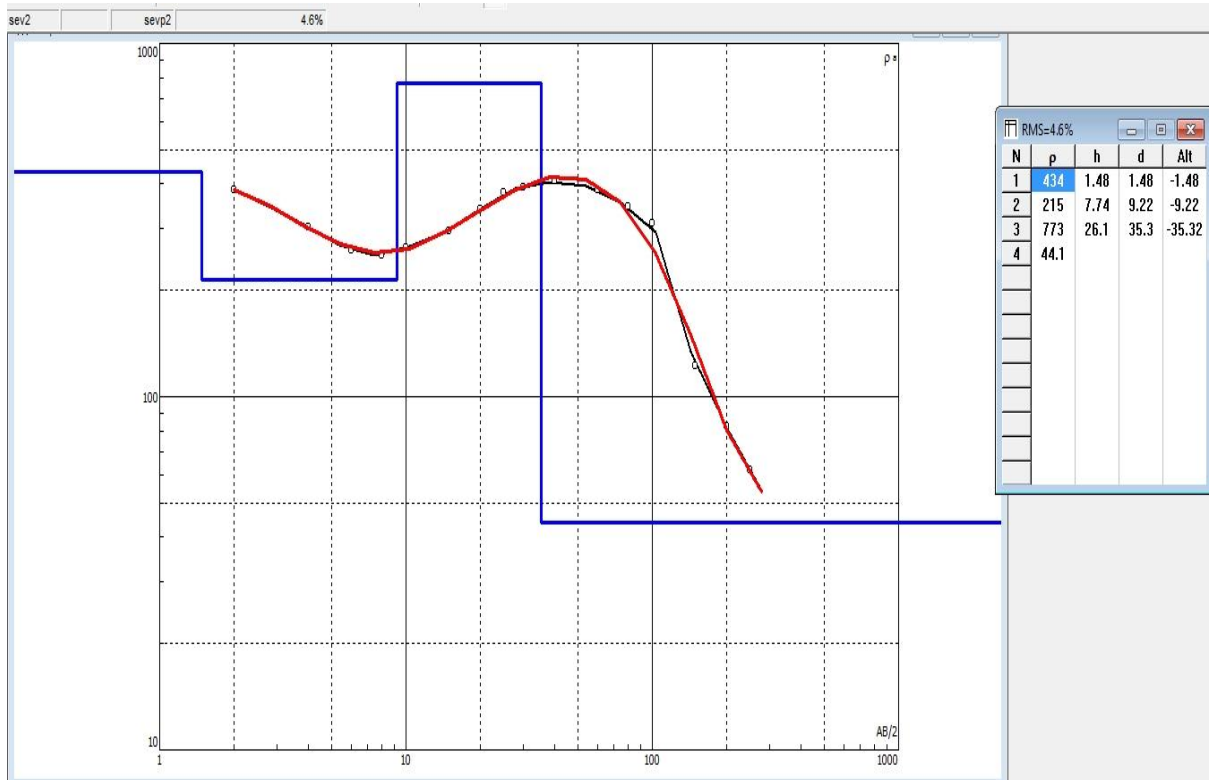


Figura 18: Modelo de capas SEV2.

### SEV3

En este SEV a pesar de que la curva de campo se presentó con poco ruido, fue difícil ajustar el modelo de capas a la curva de datos observada en la última parte de la misma. El mejor ajuste que se logró se dio con un 9.8% de error.

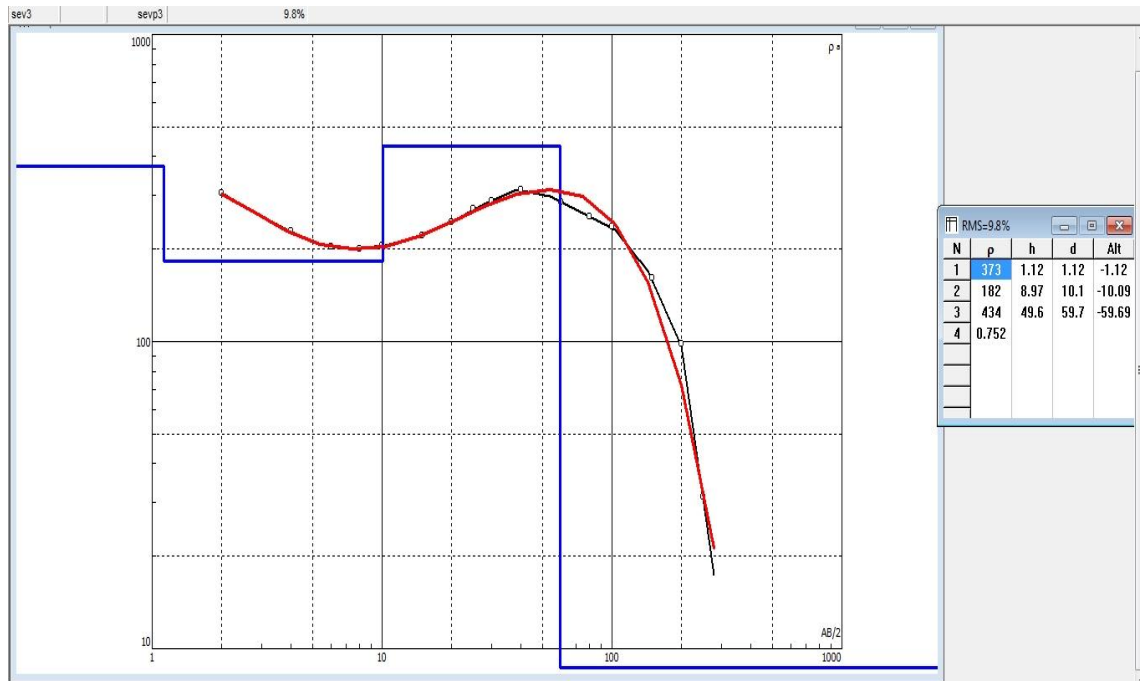


Figura 19: Modelo de capas SEV3.

## SEV4

Para este SEV se decidió eliminar la lectura del último punto medido,  $AB/2=250$ , porque alteraba la continuidad de la curva de datos y por la poca intensidad de señal ( $\Delta V$ ) que hace que la lectura tomada sea poco confiable.

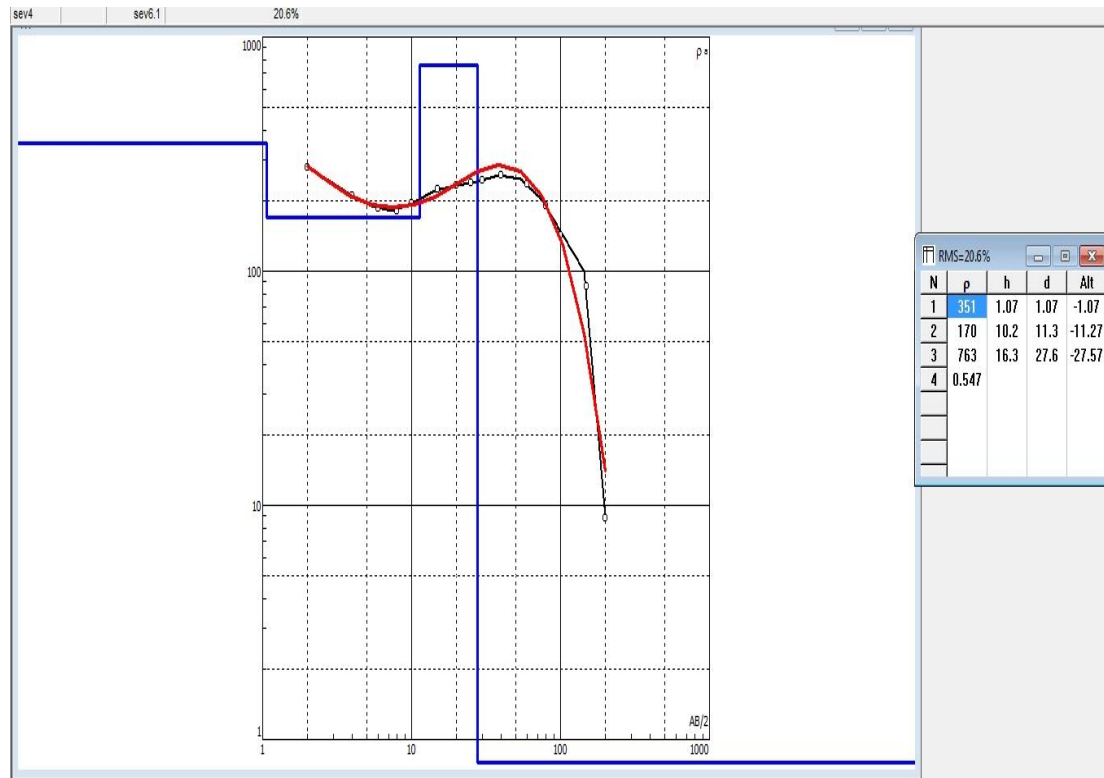
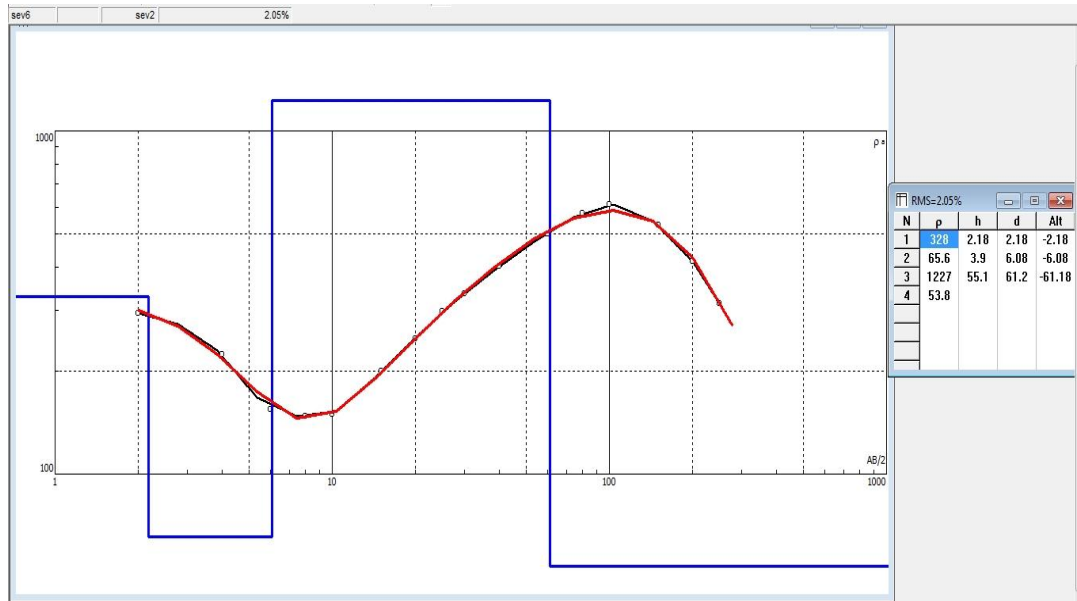
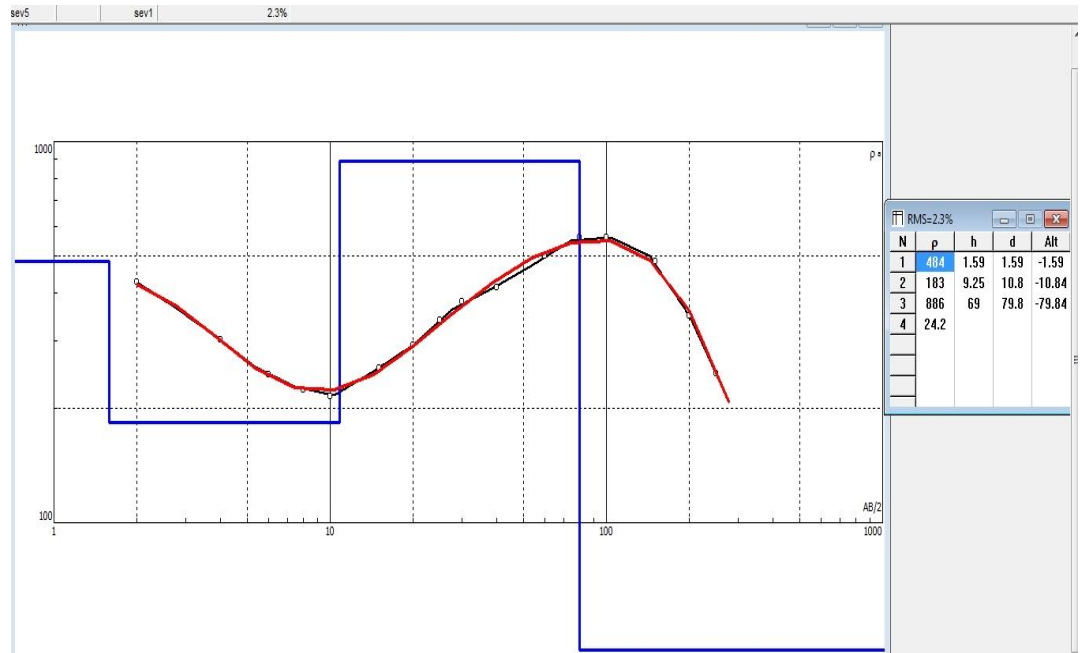
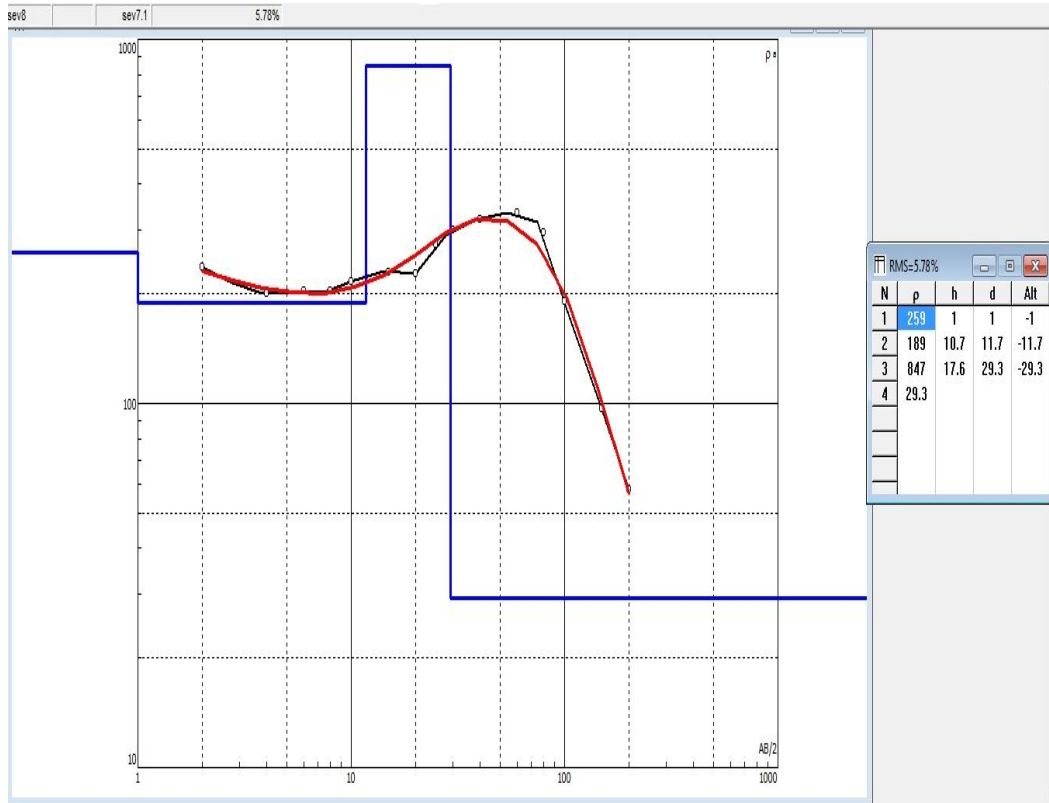
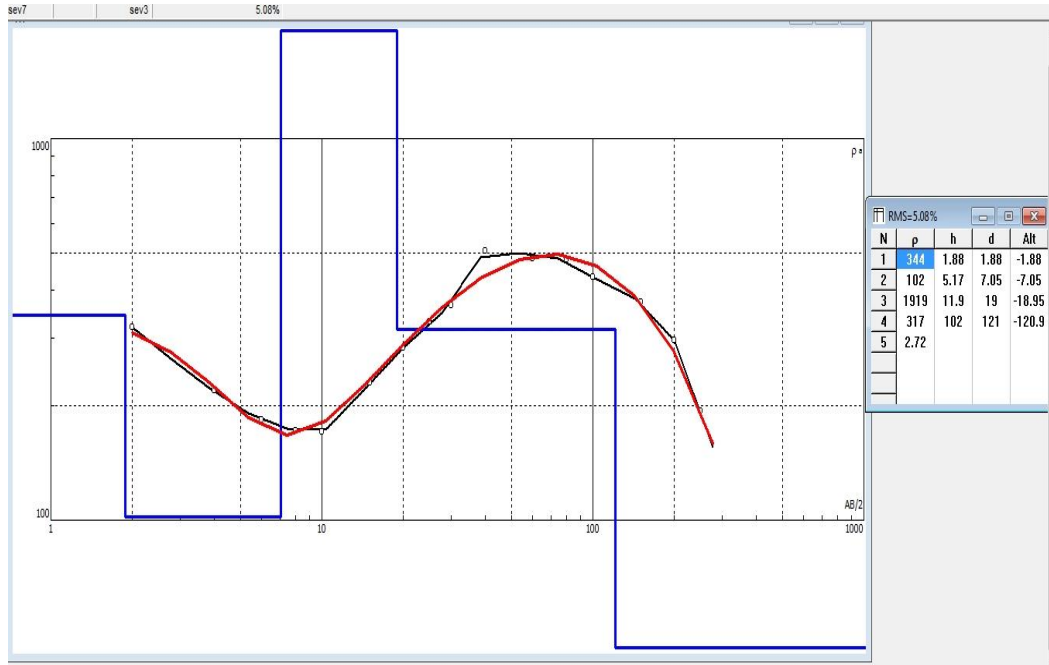


Figura 20: Modelo de capas SEV4.

### SEV5-SEV9

Los SEV comprendidos entre el SEV5 y el SEV8 no requirieron ningún ajuste de los datos tomados en campo, presentando en general una buena correlación del modelo de capas a la curva de datos obtenidos en campo. Los errores obtenidos varían desde el 2.28% al 5.78% lo que confirma el buen ajuste del modelo a la curva de datos.





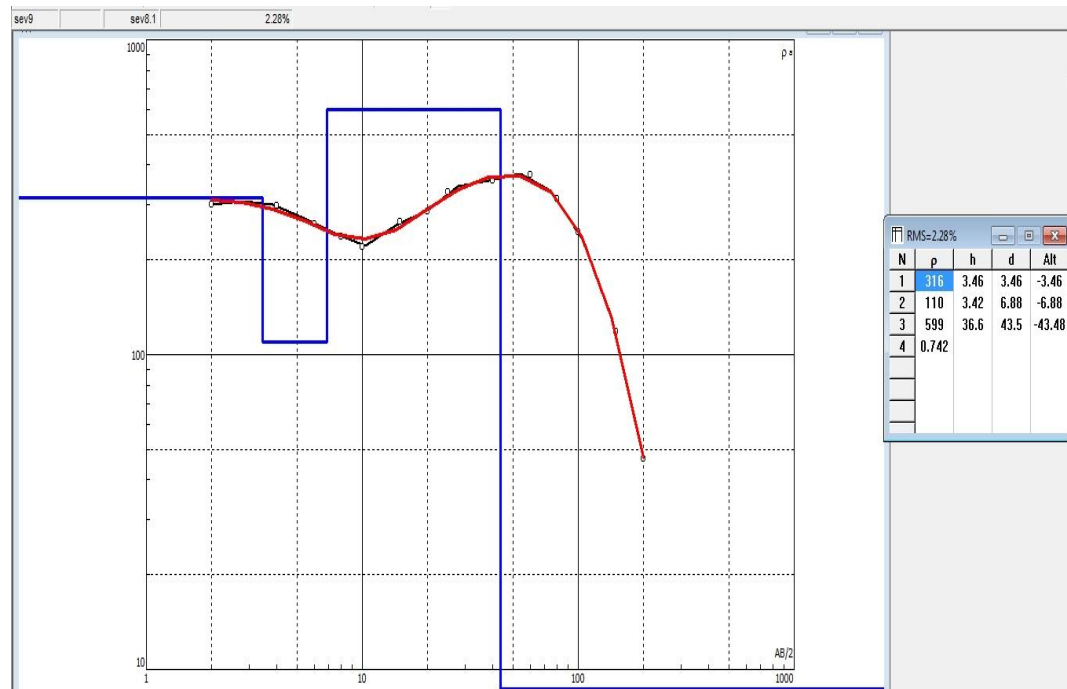


Figura 21: Modelo de capas SEV5-SEV9.

## SEV10

En el SEV10 como en el SEV4 la última lectura de  $AB/2=250$  se representó como un pico en la curva de datos de campo, lo anterior aunado a la poca intensidad de señal ( $\Delta V$ ) registrada fue decisivo para no considerar dicho punto en la generación del modelo de capas. El modelo de capas final para este SEV se obtuvo con un error de 4.29%

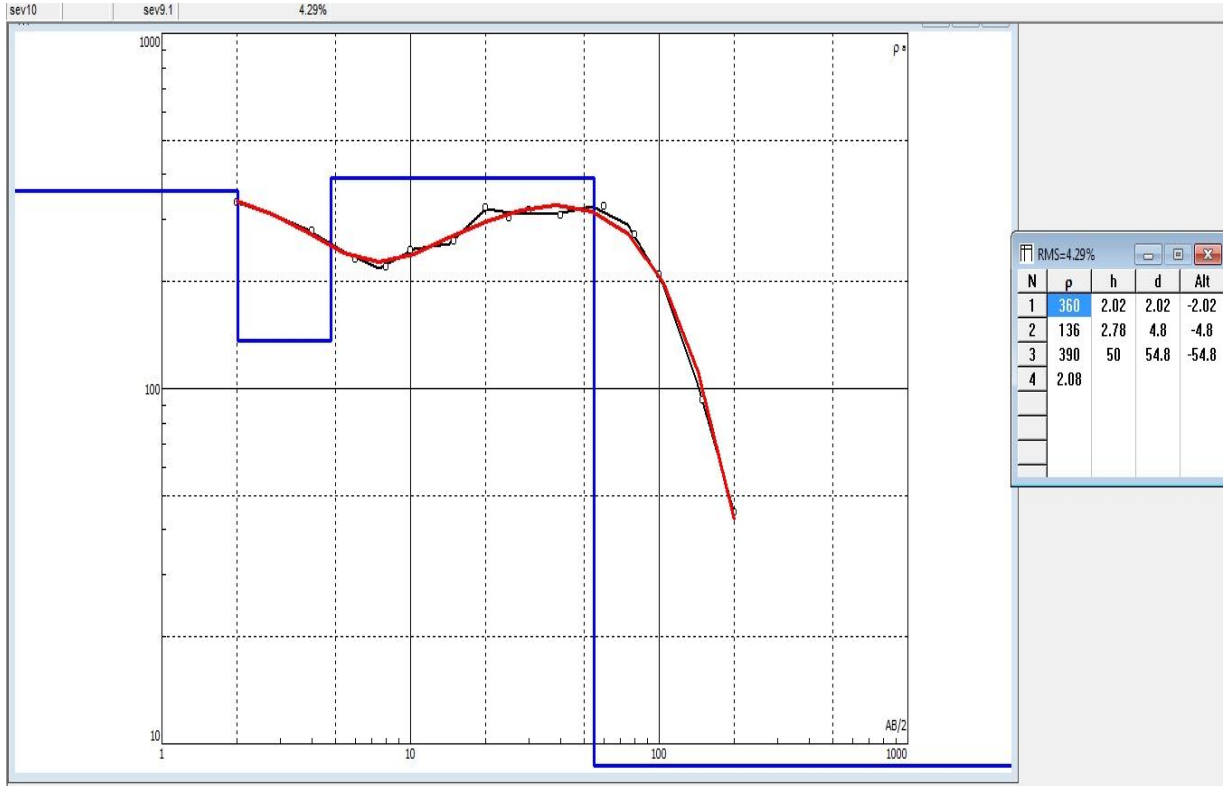
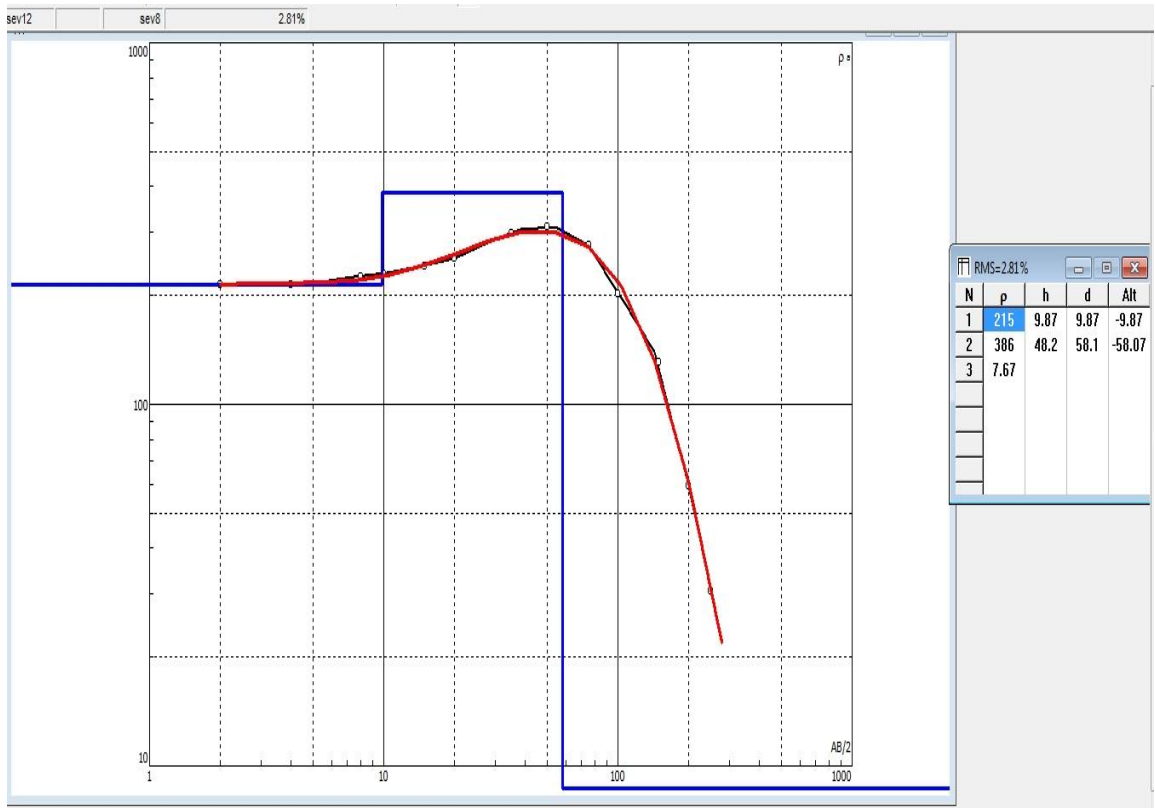
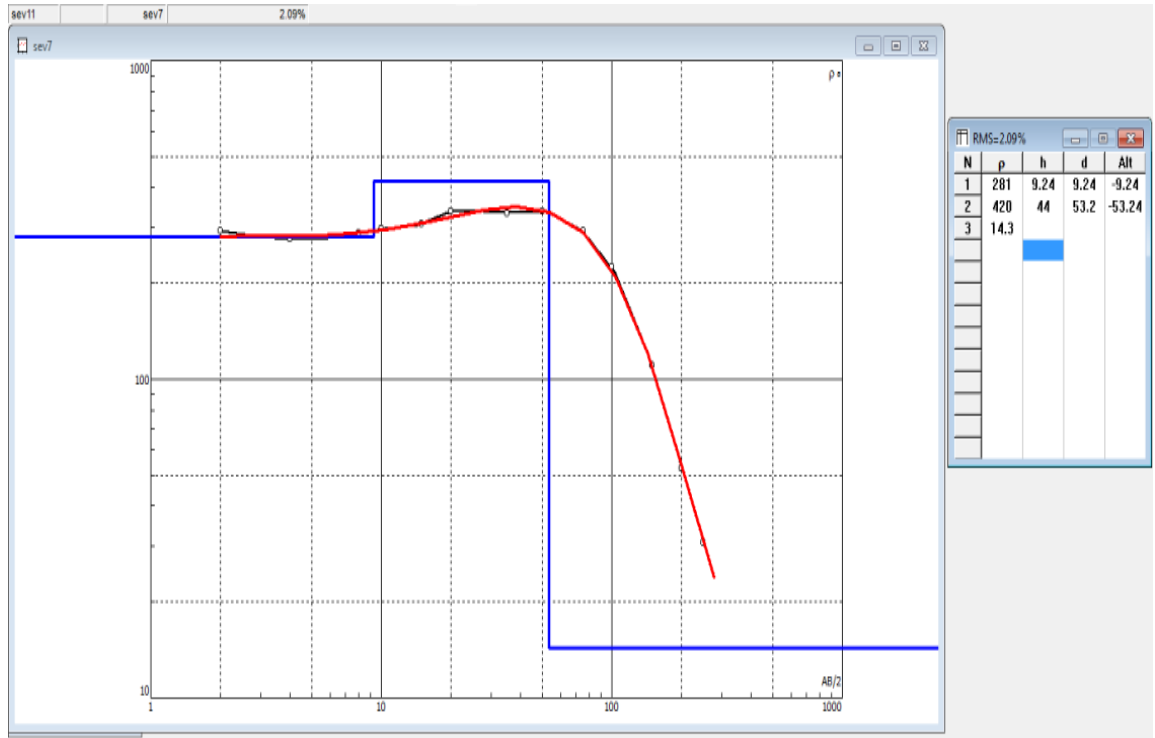


Figura 22: Modelo de capas SEV10.

### SEV11-SEV13

Los modelos de capas de los SEV11, SEV12 y SEV13 presentan muy buena correlación con la curva de datos con errores relativamente bajos que van de 2.09% a 2.81%



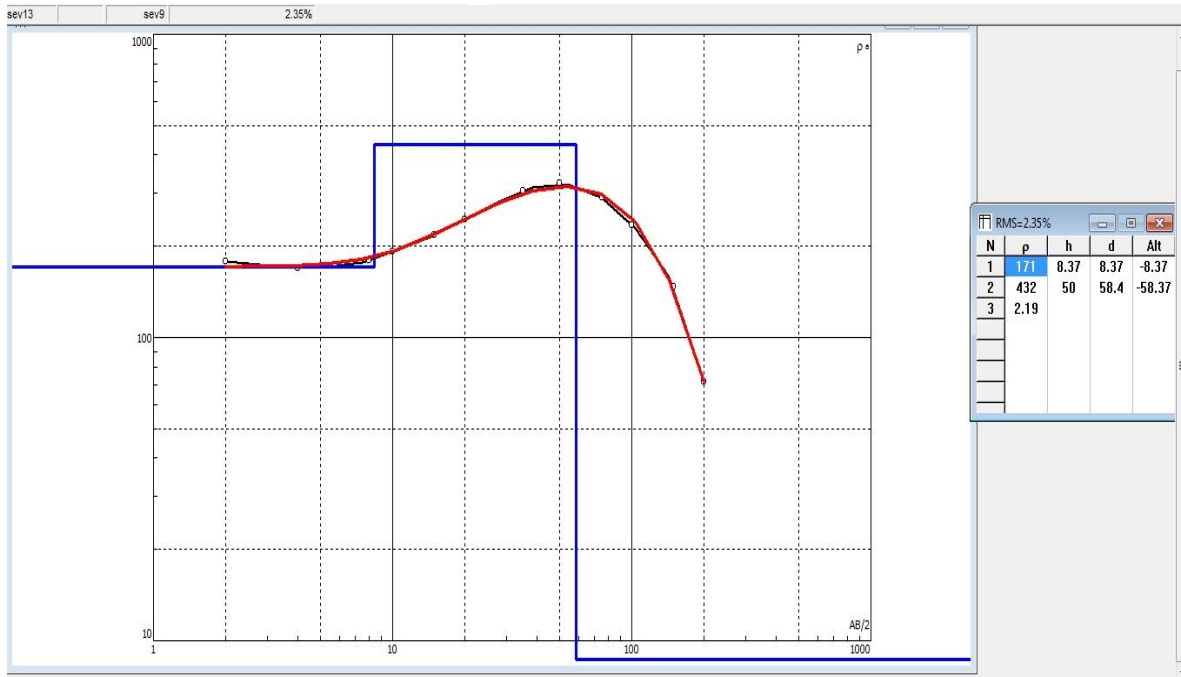


Figura 23: Modelo de capas SEV11- SEV13.

## Capítulo 4. Interpretación

### Unidades geoelectricas

A partir de la asociación de los valores de resistividades obtenidos con la geología local se identificaron cuatro unidades geoelectricas denominadas I, II, III, y IV. El rango de resistividades para cada unidad se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3: Unidades geoelectricas identificadas y sus rangos de resistividades.

Unidad geoelectrica	Rango de resistividades( $\Omega \cdot m$ )
I	0.542-65.6
II	102-281
III	316-390
IV	420-1919

### Perfiles geoelectricos

Se realizaron un total de diez perfiles geoelectricos cuya distribución se muestra en la Figura 24. La alineación de los perfiles I-I', II-II' y III-III' es SE-NW mientras que los perfiles IV-IV', V-V', VI-VI', VII-VII', VIII-VIII', IX-IX' y X-X' presentan dirección SW-NE.

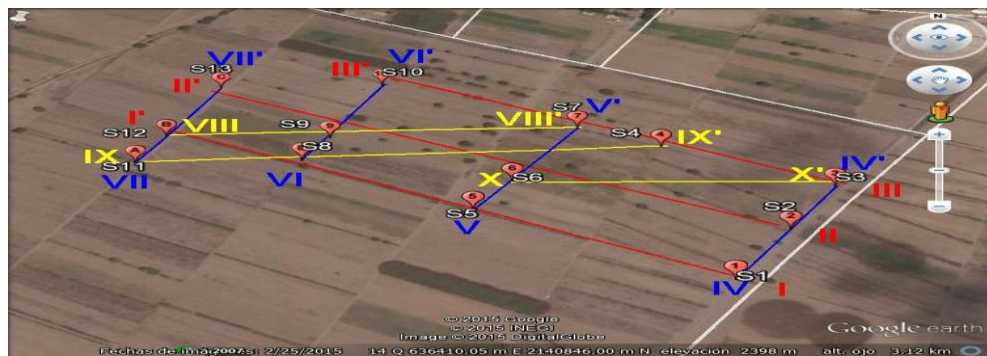


Figura 24: Distribución de los diez perfiles geoelectricos en el área de estudio.

## Perfil I

Este perfil geoelectrico está conformado por los sondeos SEV1, SEV5, SEV8 y SEV12 con distanciamiento entre sondeo y sondeo de 257 m, 192 m y 152m respectivamente que resultan en una longitud total de 601 m.

A partir de los rangos de resistividades en este perfil se determinaron las unidades geoelectricas I, II, III y IV. La profundidad de exploración fue de aproximadamente 80 m.

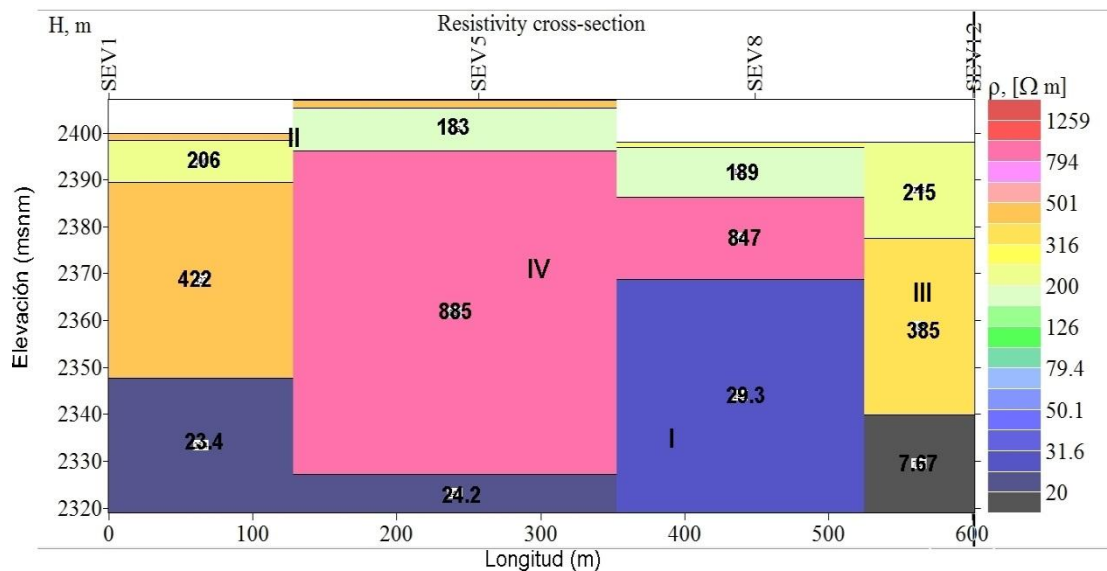


Figura 25: Perfil geoelectrico I con sus valores de resistividad.

La unidad I en este perfil está representada por bajas resistividades del orden de 7.67, 23.4, 24.2 y 29.3  $\Omega \cdot m$  mientras que la unidad II se asocia a resistividades de 183, 189, 206 y 215  $\Omega \cdot m$ . La unidad III se encuentra en este perfil

con los 385  $\Omega \cdot m$ ; por su parte la unidad IV está representada por valores de resistividad de 422, 847 y 885  $\Omega \cdot m$ .

**Perfil II**

Conformado por los sondeos SEV2 y SEV13 con espaciamiento de sondeo a sondeo de 621 m.

De acuerdo a los rangos de las resistividades de los sondeos se identificaron las unidades geoelectricas I, II, y IV. La profundidad se este perfil es de 70 m.

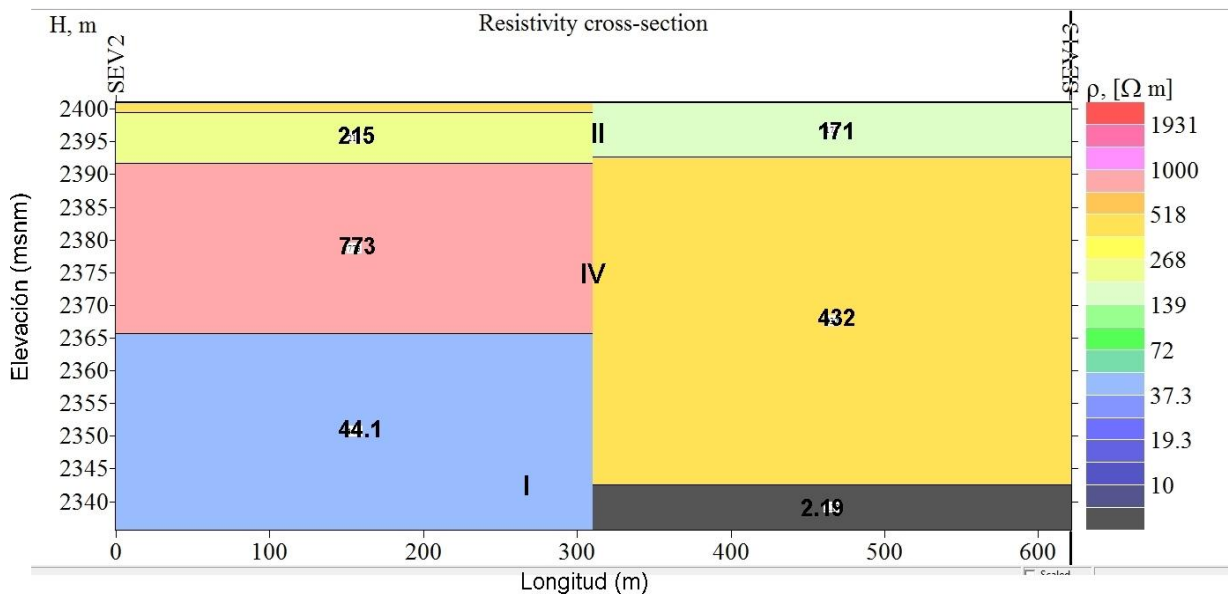


Figura 26: Perfil geoelectrico II.

La unidad I está representada por resistividades de 2.19 y 44.1  $\Omega^*m$ , la unidad II por los 171 y 215  $\Omega^*m$ . Los 432 y 773  $\Omega^*m$  representan a la unidad IV.

### Perfil III

El perfil III-III' se compone de los sondeos SEV3, SEV4, SEV7 y SEV10 con separaciones entre ellos de 169 m, 94 m y 223 m respectivamente. La longitud total de este perfil es de 486 m.

En este perfil se identificaron las unidades geoelectricas I, III y IV.

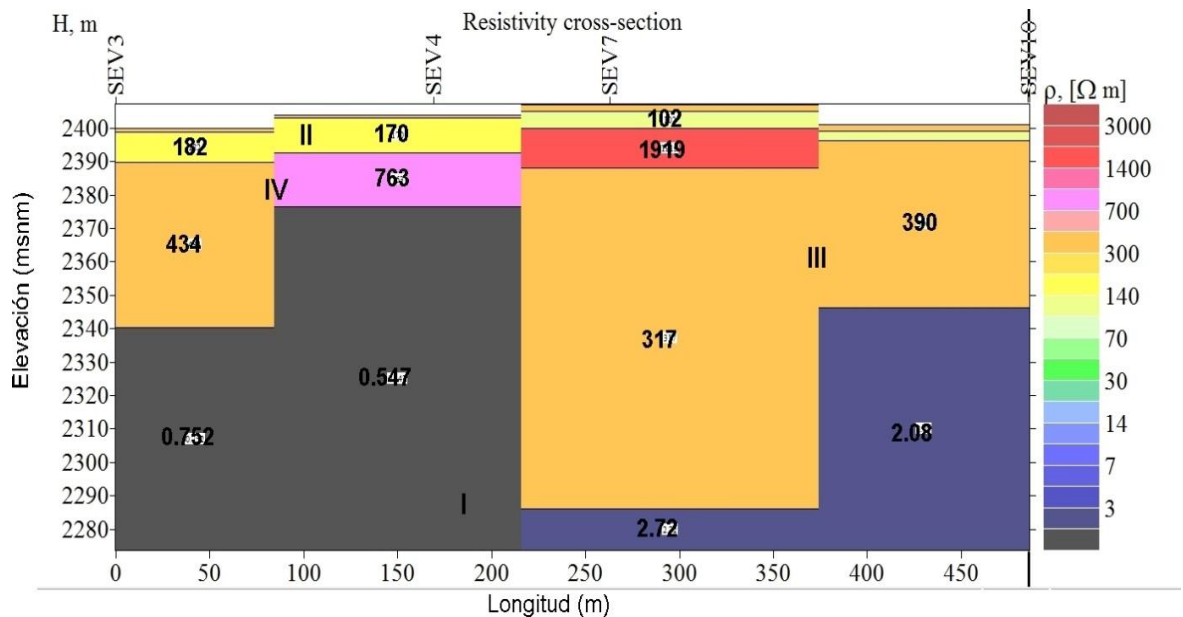


Figura 27: Perfil geoelectrico III.

La unidad I se presenta con resistividades de 0.547, 0.752, 2.08 y 2.72  $\Omega^*m$ , mientras que resistividades de 102, 170 y 182  $\Omega^*m$  representan a la unidad II. Por

su parte la unidad III se encuentra en este perfil con valores de 317 y 390  $\Omega \cdot m$ . Por último la unidad IV para este perfil se conforma de las resistividades 434, 763 y 1919  $\Omega \cdot m$ .

#### Perfil IV.

El presente perfil se compone de los sondeos SEV1, SEV2 y SEV3 con separaciones de 110m y 103 m entre ellos, resultando en una longitud total de 213 m. En este perfil se identificaron las unidades geoelectricas: I, II y IV y su profundidad es de 65 m.

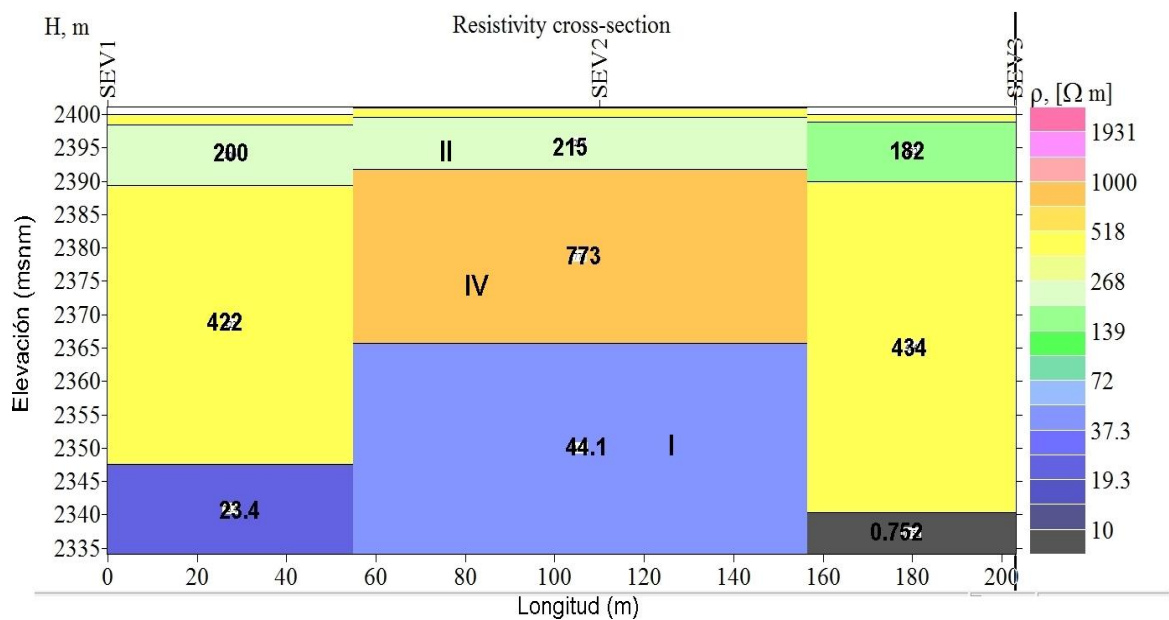


Figura 28: Perfil geoelectrico IV.

Las resistividades 0.752, 23.4 y 44.1  $\Omega \cdot m$  representan la unidad I en este perfil, las resistividades del orden de los 182, 200 y 215  $\Omega \cdot m$  pertenecen a la unidad II. La unidad IV se define por los 422 y los 773  $\Omega \cdot m$ .

## Perfil V

Los sondeos SEV5, SEV6 y SEV7 con distanciamentos entre sondeo y sondeo de 71 m y 136 m respectivamente forman este perfil cuya longitud total es de 207 m.

A partir de las resistividades en este perfil se identificaron las cuatro unidades geoelectricas. La profundidad explorada fue de 120 m aproximadamente.

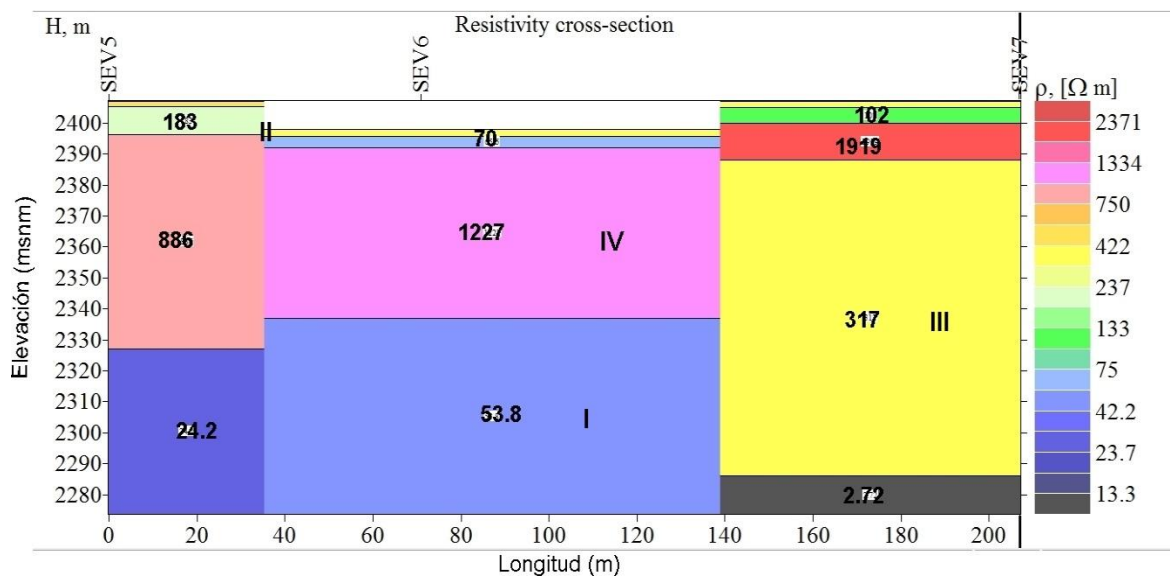


Figura 29: Perfil geoelectrico V.

Para este perfil, la unidad I se identifica con los valores de 2.72, 24.2 y 53.8  $\Omega \cdot m$ . La unidad II se observa con los 102 y 183  $\Omega \cdot m$ , las resistividades de 317  $\Omega \cdot m$  indican la presencia de la unidad III. La unidad IV se define por las resistividades 886, 1227 y 1919  $\Omega \cdot m$ .

## Perfil VI

Constituido por los sondeos SEV8, SEV9 y SEV10 con espaciamiento entre cada sondeo de 58 m y 135 m respectivamente, el perfil VI-VI' tiene una longitud total de 193 m. En este perfil se identificaron cuatro unidades geoelectricas y su profundidad de exploración fue de 60 m.

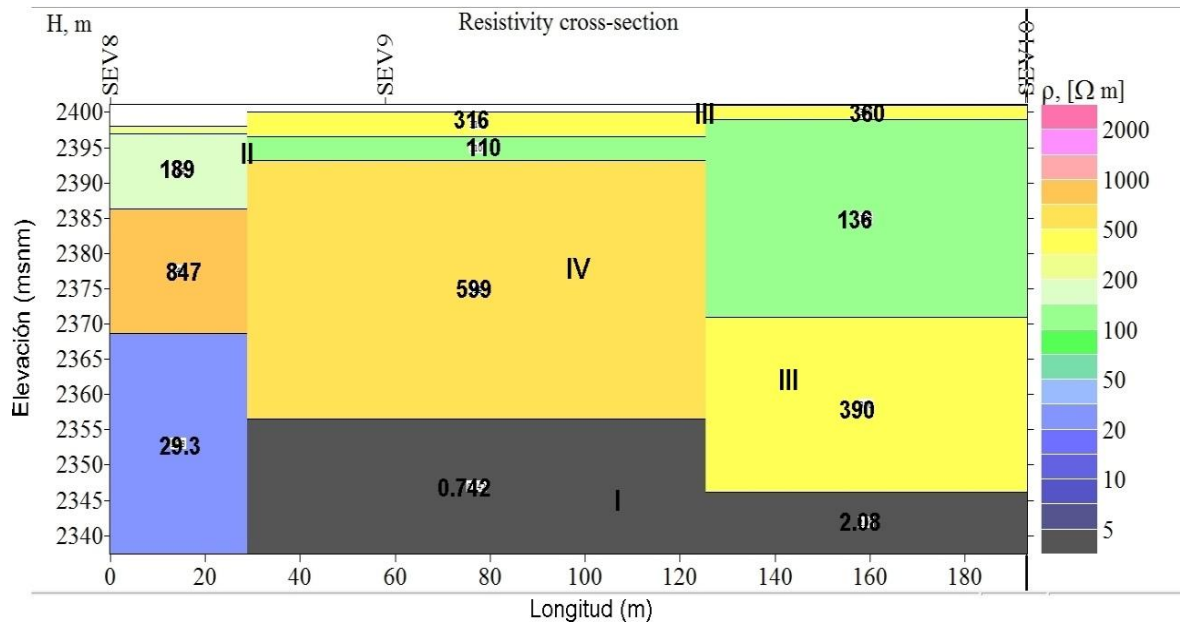


Figura 30: Perfil geoelectrico VI.

La unidad I se identificó por resistividades de 0.742, 2.08 y 29.3  $\Omega \cdot m$ , la unidad II se observa con valores de resistividad de 110 y 189  $\Omega \cdot m$  mientras que la unidad III se presenta con 316, 360 y 390  $\Omega \cdot m$ . La de mayor resistividad, unidad IV, se representa por los 599 y 847  $\Omega \cdot m$ .

## Perfil VII

Los sondeos que componen el perfil VII son SEV11, SEV12 y SEV13. La distancia entre cada uno de ellos es de 64 m y 124.16 m. La longitud total del perfil es de 188.16 m.

Las unidades geoelectricas II, III y IV fueron identificadas en este perfil cuya profundidad de exploración fue de 65 m.

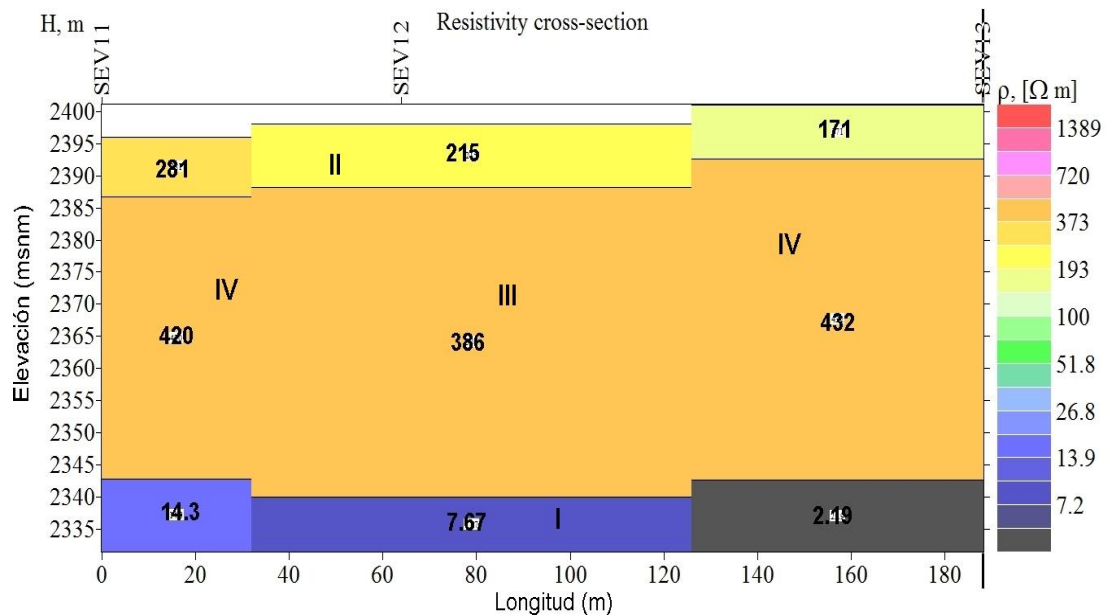


Figura 31: Perfil geoelectrico VII

Las resistividades 2.19, 7.67 y 14.3  $\Omega \cdot m$  permiten identificar a la unidad I para este perfil, los valores de 171, 215 y 281  $\Omega \cdot m$  representan a la unidad II. La unidad III se observa en el presente perfil con los 386  $\Omega \cdot m$ ; por último la unidad IV se identifica en el perfil por los 420 y 432  $\Omega \cdot m$ .

### Perfil VIII

El perfil VIII se compone de los sondeos SEV12, SEV9 y SEV7 los cuales se encuentran separados uno de otro por 155 m y 238 m respectivamente resultando en una longitud total para el perfil de 393 m.

Para este perfil se definieron las unidades geoelectricas I, II, III y IV. La profundidad de exploración fue de 65 m.

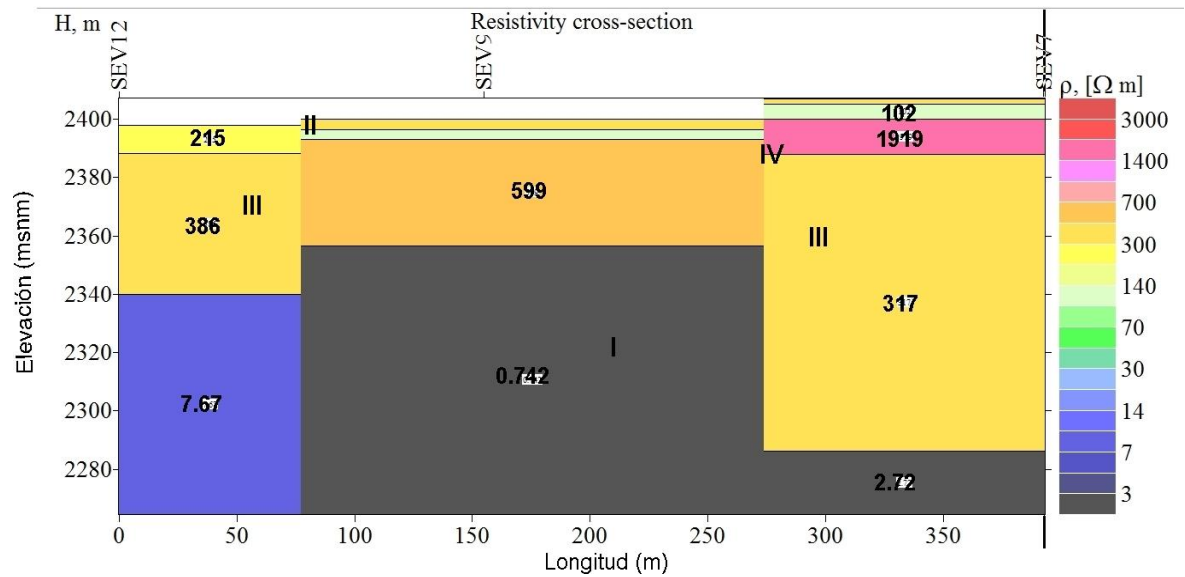


Figura 32: Perfil geoelectrico VIII.

Las resistividades de 0.742, 2.72 y 7.67  $\Omega \cdot m$  conforman la unidad I, la unidad II se identifica a partir de las resistividades de 102 y 215  $\Omega \cdot m$ ; la unidad III se observa con valores de 317 y 386  $\Omega \cdot m$ . La última unidad geoelectrica identificada es la IV a partir de los 599 y 1919  $\Omega \cdot m$ .

## Perfil IX

Los sondeos que componen el perfil IX son el SEV11, SEV8 y SEV4 con separaciones de 154 m y 337 m de sondeo a sondeo que resultan en una longitud total del perfil de 491 m.

En el presente perfil se determinaron las unidades geoelectricas I, II y IV. La profundidad explorada fue de 60 m.

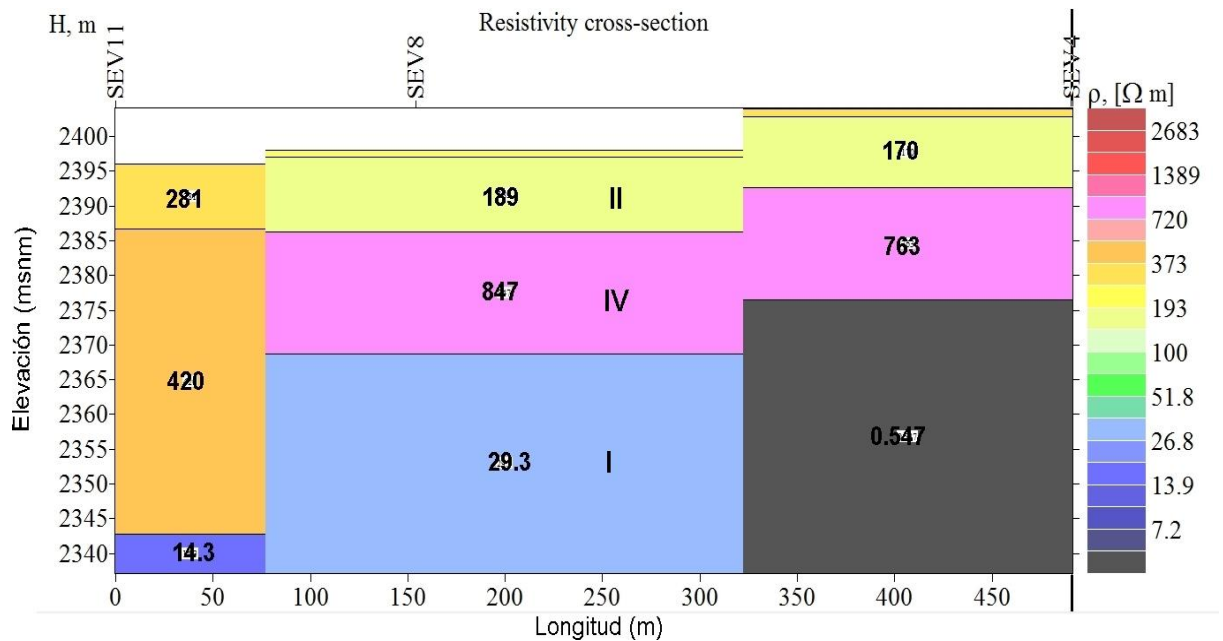


Figura 33: Perfil geoelectrico IX.

Las resistividades de 0.547, 14.3 y 29.3  $\Omega \cdot m$  caracterizan a la unidad I en este perfil, las resistividades de 170, 189 y 281  $\Omega \cdot m$  a la unidad II. La presencia de la unidad IV en el perfil está definida por los 420, 763 y 847  $\Omega \cdot m$ .

## Perfil X

Para formar el perfil X-X' se utilizaron los sondeos SEV6 y SEV3 con espaciamiento entre sondeo y sondeo de 290 m.

Las unidades I, II, III y IV fueron identificadas para este perfil. La profundidad de exploración es de 70 m.

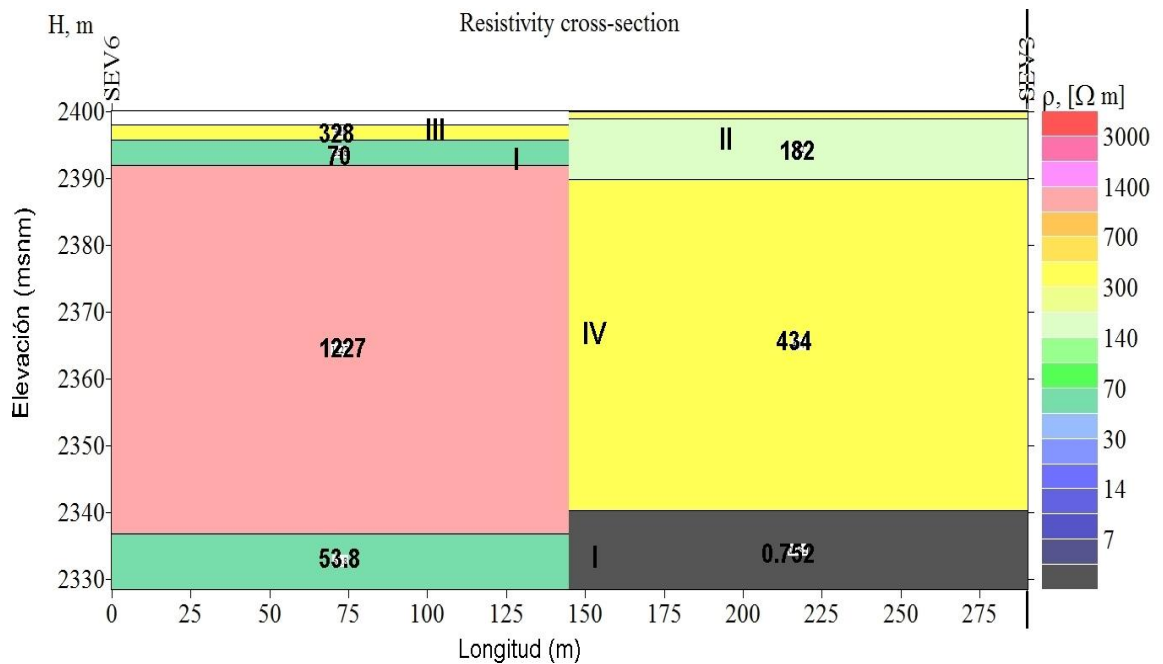
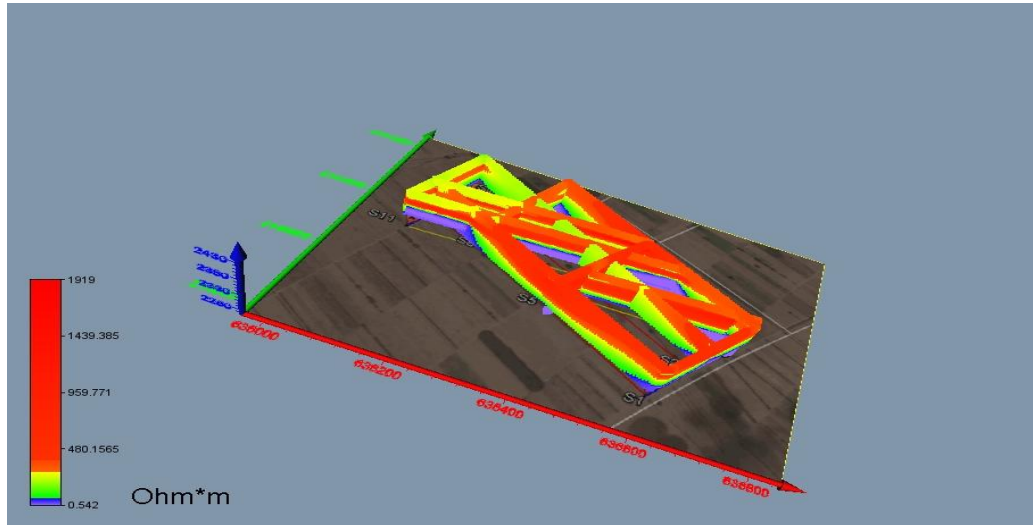


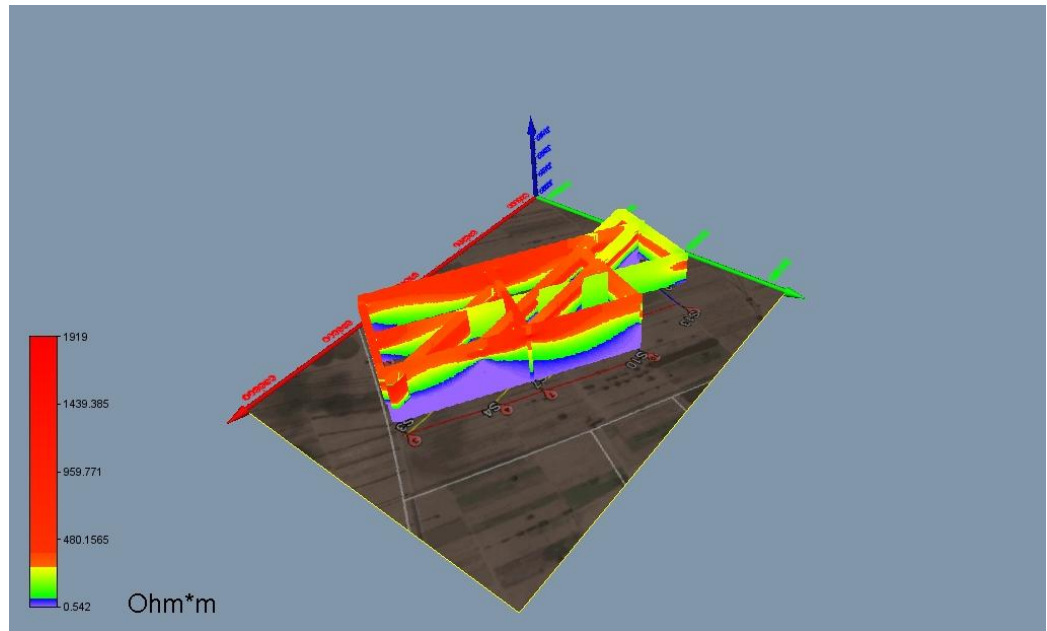
Figura 34: Perfil geoelectrico X.

La unidad I se hace presente en el perfil X-X' con resistividades de 0.752 y 53.8  $\Omega \cdot m$ . La unidad II se identificó en este perfil por los 182  $\Omega \cdot m$ ; los 328  $\Omega \cdot m$

caracterizan a la unidad III. La unidad IV se muestra con resistividades de 434 y 1227  $\Omega \cdot m$ .



*Figura 35:* Integración de los diez perfiles geoelectrónicos con la ubicación de cada SEV.



*Figura 36:* Vista superior de los 10 perfiles geoelectrónicos.

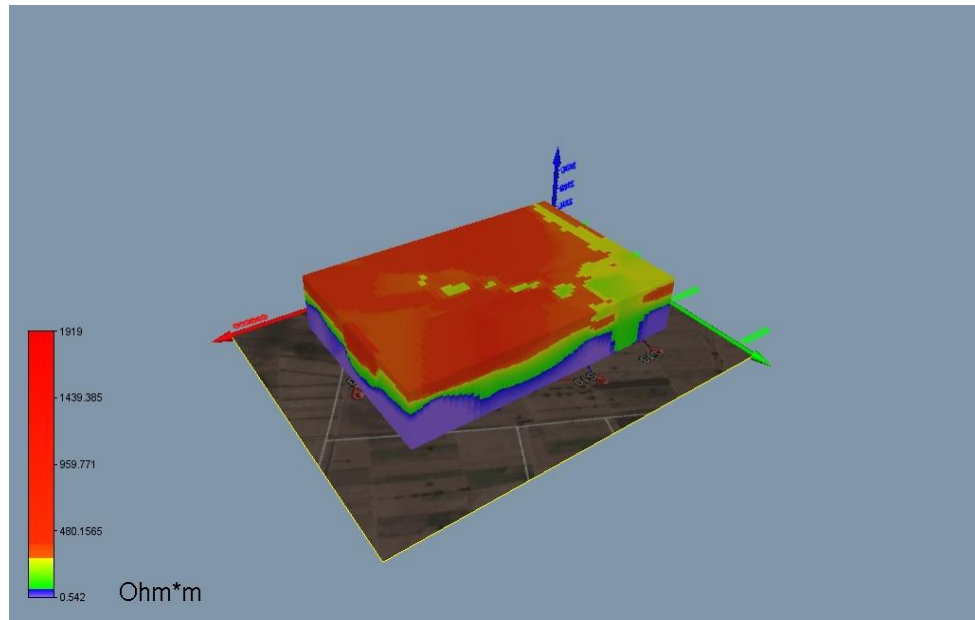
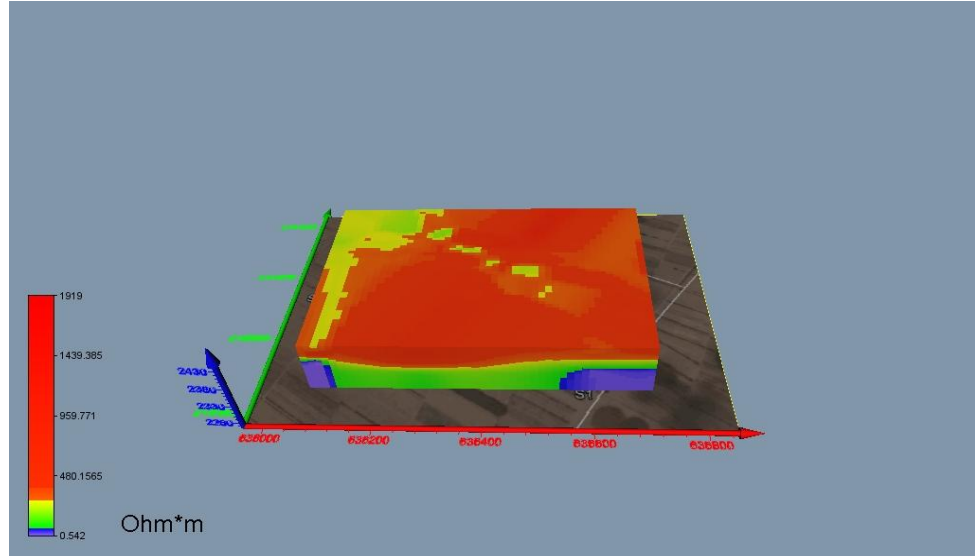


Figura 37: Vista superior de la distribución de las resistividades de los diez perfiles geoelectricos.

### Correlación geofísica-geológica

De acuerdo a la geología observada en el área, y la información disponible de la zona de estudio, y los valores de resistividades obtenidos a partir del procesamiento de los datos, se asociaron las unidades geoeléctricas a las unidades geológicas mencionadas en la tabla siguiente.

*Tabla 4:* Unidad geoeléctrica con la geología asociada.

Unidad geoeléctrica	Geología Asociada
I	Arenas volcánicas
II	Tobas areno-limosas
III	Aluvión
IV	Andesita/ Andesita fracturada

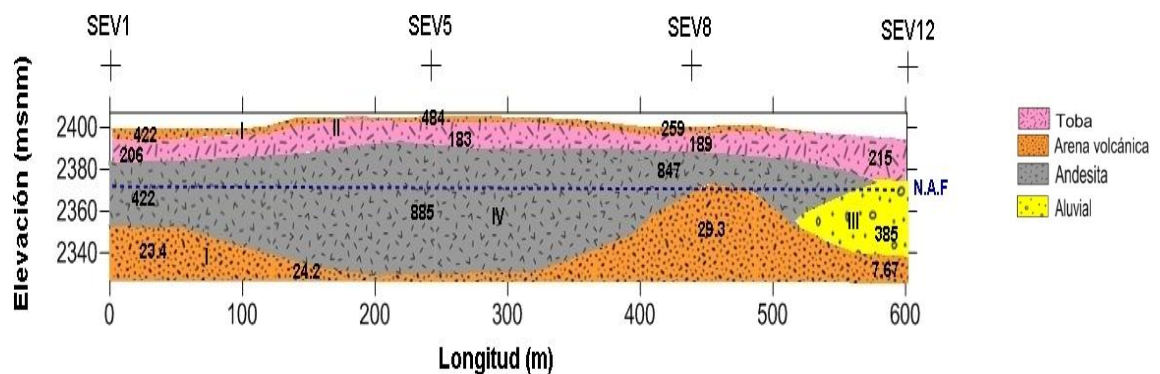
Con el análisis de la información geológica de la zona de estudio se reajustaron los rangos de resistividades previamente establecidos para cada unidad geoeléctrica con el fin de facilitar el proceso de interpretación.

Cercano a la zona de estudio, aproximadamente a 8 metros del SEV9 se encuentra un pozo llamado Morelos No.1 terminado en 1978 en cuyo título de concesión se menciona que el nivel estático del acuífero se encuentra a los 32.90 m de profundidad y cuyo aforo es de 30 litros por segundo (Anexos); sin embargo debido a que el acuífero que provee de agua a la localidad de José María Morelos

se encuentra sobreexplotado se espera encontrar el nivel freático a diferente profundidad.

Las unidades interpretadas como arenas volcánicas, arenas volcánicas saturadas y andesita ya sea consolidada o fracturada se observan en los diez perfiles mientras que las unidades de tobas y aluvi3n solo se presentan en algunos de ellos. A continuaci3n se describen las unidades geol3gicas interpretadas de los perfiles de mayor inter3s.

### Perfil I



*Figura 38:* Interpretaci3n Perfil I-I'. Unidades geoele3tricas con unidades geol3gicas.

En este perfil, la unidad m3s superficial se asocia a arenas volc3nicas secas con resistividades que oscilan entre los 215  $\Omega \cdot m$  y 422  $\Omega \cdot m$  con espesor variable presentando 5 m debajo del SEV1 el cual se acuña hacia el SEV12 con probabilidades bajas de almacenamiento de agua, como consecuencia de que las

rocas de esta unidad presentan una alta permeabilidad y el agua baja buscando los niveles de saturación.

Subyaciendo a las arenas volcánicas se observa un depósito de tobas arenolimosas con un espesor inicial debajo del SEV1 de 10 m y uno final de 20 m aproximadamente por debajo del SEV12. Las resistividades que caracterizan a esta unidad van de los  $183 \Omega \cdot m$  a los  $215 \Omega \cdot m$ .

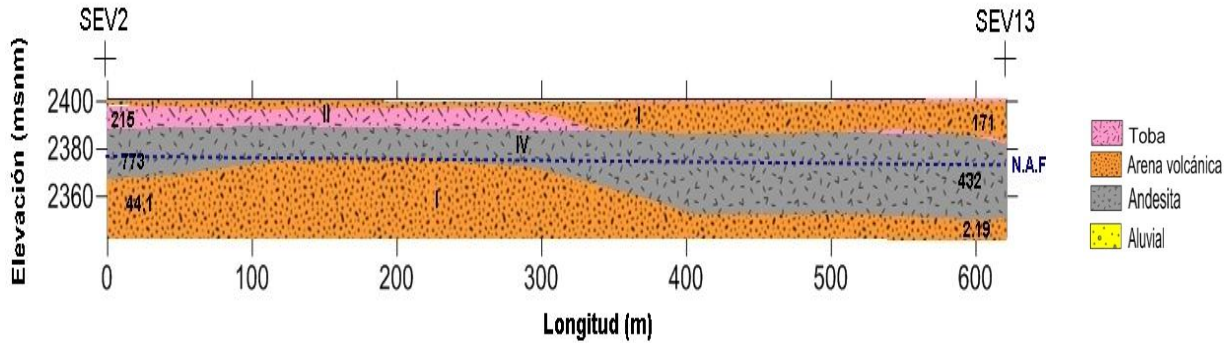
Debajo del depósito de tobas se presenta una capa de andesita parcialmente saturada en forma de derrame con un espesor por debajo del SEV1 de 30 m que se hace más potente debajo del SEV5 alcanzando los 60 m y bajo el SEV8 se adelgaza hasta los 15 m. Los valores de resistividad para esta unidad van desde los  $422 \Omega \cdot m$  hasta los  $856 \Omega \cdot m$ .

La unidad geoelectrica III asociada a material aluvial saturado se presenta debajo del SEV12 donde alcanza los 40 m de espesor y es identificada por los  $386 \Omega \cdot m$ .

El nivel freático para este perfil se identificó a los 30 m de profundidad.

A partir de los 40 m de profundidad se obtuvieron valores de resistividad que varían de  $7.67$  a  $29.3 \Omega \cdot m$  identificándolos como arenas saturadas con contenido de arcilla que subyacen a las andesitas y al material aluvial. El espesor de esta unidad es indefinido a lo largo de todo el perfil.

## Perfil II



*Figura 39:* Interpretación Perfil II-II'. Unidades geoelectricas con unidades geológicas.

En este perfil la unidad superficial de arenas volcánicas presenta un espesor inicial muy reducido que hacia el SEV13 crece alcanzando los 20 m. Esta unidad presenta una resistividad de  $434 \Omega \cdot m$  bajo el SEV2 y  $171 \Omega \cdot m$  en el SEV13.

La unidad II asociada con tobas se encuentra por debajo de las arenas con un espesor más o menos constante de 10 m que se acuña hacia el centro del perfil con una resistividad de  $215 \Omega \cdot m$  en el SEV2.

La unidad IV relacionada con andesitas fracturadas se presenta a partir de los 10 m de profundidad, con un espesor máximo de 30 m que se halla debajo del SEV13 con  $432 \Omega \cdot m$  y su espesor mínimo de 20 m se localiza debajo del SEV2 con una resistividad de  $773 \Omega \cdot m$ , esta unidad se encuentra saturada parcialmente debido al fracturamiento que presenta.

La zona de aireación del acuífero se identificó a los 25 m de profundidad.

Subyaciendo al paquete de andesitas se determinó un depósito de arenas saturadas con resistividades de  $44.1 \Omega \cdot m$  bajo el SEV2 y de  $2.19 \Omega \cdot m$  en el SEV13. El espesor de esta unidad es indefinido.

### Perfil V

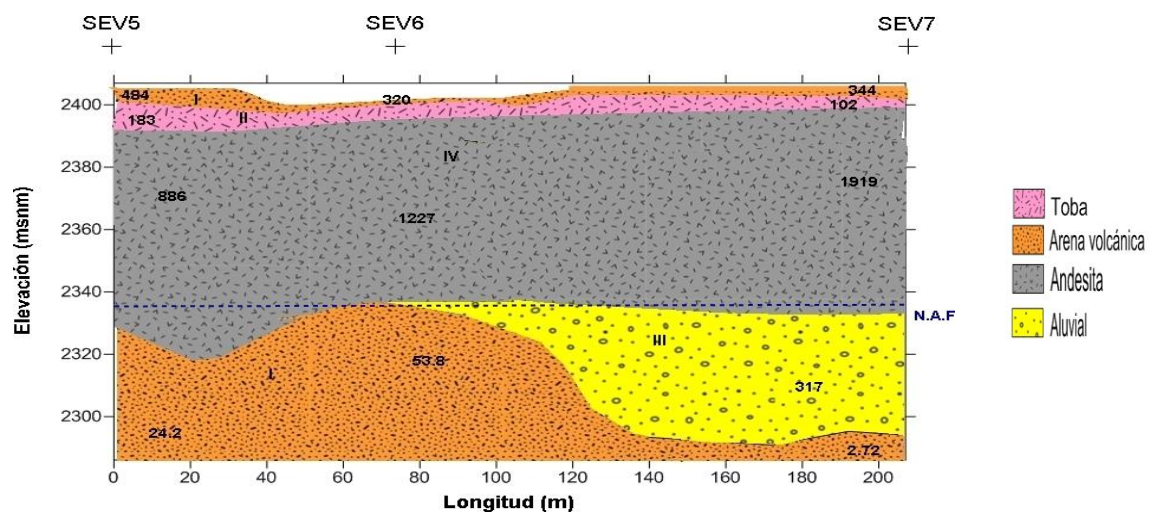


Figura 40: Interpretación Perfil V-V'. Unidades geoeléctricas con unidades geológicas.

La unidad geoeléctrica I se puede observar en la parte somera con un espesor de 7 m debajo del SEV5 que se adelgaza debajo del SEV6 y el SEV7. Esta unidad se asoció con arenas volcánicas por presentar resistividades que varían entre los  $328 \Omega \cdot m$  y los  $484 \Omega \cdot m$ .

Debajo de la capa de arenas se identificó un depósito de tobas que presentan un espesor constante de 10 m a lo largo de todo el perfil. Los valores de resistividades a partir de los cuales se dedujo la existencia de las tobas son del orden de los  $183 \Omega \cdot m$  bajo el SEV5 y  $102 \Omega \cdot m$  en el SEV7.

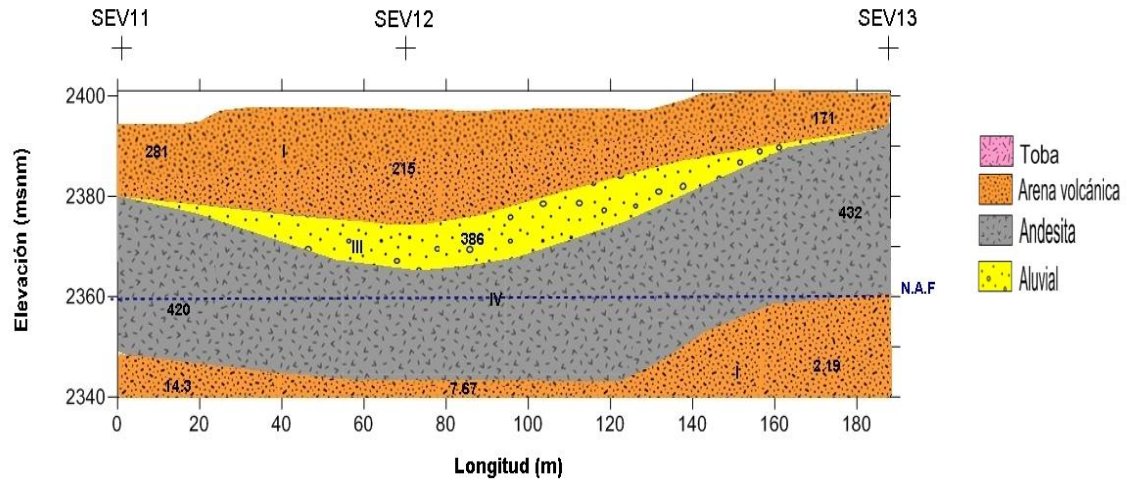
Subyaciendo al depósito de tobas se encuentra un paquete de andesitas consolidadas con resistividades altas de  $886 \Omega \cdot m$  bajo el SEV5,  $1227 \Omega \cdot m$  bajo el SEV6 y de  $1919 \Omega \cdot m$  en el SEV7. Su espesor de 60 m se mantiene más o menos constante a lo largo de todo el perfil y las posibilidades de almacenamiento de agua son reducidas debido al grado de consolidación de la unidad.

El nivel freático para el presente perfil se identificó aproximadamente a los 70 m de profundidad.

Un paquete de arenas volcánicas saturadas con contenido arcilloso se observa aproximadamente a los 70 m de profundidad por debajo del SEV5 con  $24.2 \Omega \cdot m$ ,  $53.8 \Omega \cdot m$  debajo del SEV6 y  $2.72 \Omega \cdot m$  en el SEV7. Su espesor es indefinido.

Hacia el final del perfil contrastando lateralmente con las resistividades de las arenas volcánicas saturada se determinó un depósito de material aluvial identificado por los  $317 \Omega \cdot m$  bajo el SEV7. Dicho depósito se encuentra parcialmente saturado y presenta un espesor de 60 m en el SEV7.

## Perfil VII



*Figura 41:* Interpretación Perfil VII-VII'. Unidades geoelectricas con unidades geológicas.

En este perfil se encuentra superficialmente la unidad de arenas volcánicas con espesor variable de los 10 m debajo del SEV11, de 15 m bajo el SEV 12 y de aproximadamente 5 m en el SEV13. Los valores con los que se caracterizó esta unidad fueron de 281  $\Omega \cdot m$  bajo el SEV11, 215  $\Omega \cdot m$  en el SEV12 y de 171  $\Omega \cdot m$  bajo el SEV13.

Subyaciendo a las arenas por debajo del SEV12 se encuentra la unidad III asociada como material aluvial definida por los 386  $\Omega \cdot m$ , su espesor es de 10 m en el SEV12 y es de 35 m.

Debajo de las arenas, específicamente por debajo del SEV11 se encuentra la unidad de andesitas fracturadas con espesor variable de 25 a 35 m presentando una resistividad característica de  $420 \Omega \cdot m$  bajo el SEV11 y  $422 \Omega \cdot m$  en el SEV13. Esta unidad presenta posibilidades de acumulación de agua debido al fracturamiento presente en ella.

El nivel freático para este perfil se ubicó a los 40 m de profundidad.

Debajo del SEV11, en los 50 m de profundidad se localiza un depósito de arenas saturadas que presentan resistividades bajas que van de los  $2.19 \Omega \cdot m$  bajo el SEV13 a los  $14.3 \Omega \cdot m$  bajo el SEV11 y cuyo espesor es indefinido.

### Perfil X

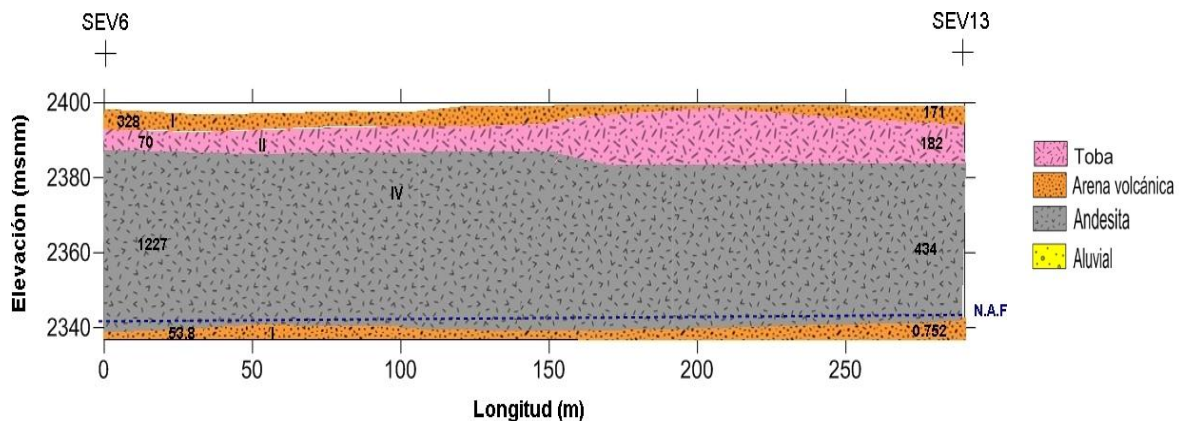


Figura 42: Interpretación Perfil X-X'. Unidades geoelectricas con unidades geológicas.

Para este perfil se interpretó también la unidad I como arenas volcánicas en el nivel superficial. Dicha unidad presenta un espesor continuo de aproximadamente 5 m a lo largo de todo el perfil. Sus resistividades características son de 328  $\Omega \cdot m$  bajo el SEV6 y de 171  $\Omega \cdot m$  bajo el SEV3.

Debajo de las arenas volcánicas, a los 5 m de profundidad se observa material de resistividad baja a media, 70  $\Omega \cdot m$  bajo el SEV6 y 182  $\Omega \cdot m$  en el SEV3 que se asocia con tobas areno-limosas de mediana consolidación .que alcanzan un espesor máximo hacia la mitad del perfil de 10 m.

Subyaciendo al depósito de tobas se encuentra un paquete de andesitas que debajo del SEV6 se presentan consolidadas como así lo evidencia su resistividad de 1227  $\Omega \cdot m$  mientras que hacia el SEV3 donde presentan 434  $\Omega \cdot m$  de resistividad se hallan fracturadas. Su espesor de 50 m se mantiene más o menos constante a lo largo del perfil. Debido a su grado consolidación esta unidad presenta pocas posibilidades de almacenamiento de agua aunque se considera que las partes fracturadas se encuentran saturadas parcialmente.

El nivel freático se ubicó a los 60 m de profundidad aproximadamente.

En este perfil, las arenas saturadas se presentan a los 60 m de profundidad. Sus resistividades características varían de los 0.607  $\Omega \cdot m$  bajo el SEV3 a los 53.8  $\Omega \cdot m$  bajo el SEV6. El espesor de estas arenas es indefinido.

## Conclusiones

De acuerdo a los valores de resistividad eléctrica obtenidos en la prospección realizada, las observaciones de campo y la interpretación de datos, se considera que dada la naturaleza de los depósitos volcánicos estos se fueron acomodando de acuerdo a las paleo-formas existentes en el momento de su expulsión volcánica por lo que en las secciones no se muestran espesores continuos si no que más bien rellenando en algunos casos las depresiones existentes en la zona estudiada.

En la interpretación se identificaron cuatro unidades geológicas a partir de los valores de resistividades obtenidos en los modelos de capa y de la información geológica disponible del área de estudio; encontrándose una capa superficial con valores de resistividad que varían de los 171  $\Omega \cdot m$  a los 484  $\Omega \cdot m$  presente en todos los perfiles y que es asociada a arenas volcánicas secas. Este estrato se encuentra definido en todos los perfiles desde la superficie hasta los 20 m de profundidad.

La segunda unidad geológica fue identificada como tobas areno-limosas la cual se encuentra debajo de las arenas volcánicas. Esta unidad se presenta en todos los perfiles excepto en el perfil VII. Sus valores de resistividad varían de los 70  $\Omega \cdot m$  a los 215  $\Omega \cdot m$  y su espesor mayor de 25 m se encuentra en el perfil VI.

Una unidad correspondiente a depósitos de aluvión saturado fue identificada en seis de los diez perfiles con valores de resistividad de 317  $\Omega \cdot m$  a los 390  $\Omega \cdot m$ . Su espesor mayor se halla en el perfil III donde alcanza los 60 m.

La cuarta unidad corresponde a andesitas consolidadas y en algunas zonas fracturadas debido a la acción de las fracturas cercanas a la zona de estudio se aprecia en todos los perfiles en la mayoría de ellos subyaciendo al depósito de tobas, sus resistividades varían de los 420  $\Omega \cdot m$  a 773  $\Omega \cdot m$  para las andesitas fracturadas y de los 847  $\Omega \cdot m$  a 1919  $\Omega \cdot m$  para las andesitas sanas asociando estos últimos valores a coladas de lava originadas seguramente por fisuras de emisión. El espesor más potente de esta unidad se encuentra debajo del perfil VIII.

La capa con alto potencial hidrológico se determinó a profundidades que varían en cada perfil encontrándose en el rango de los 70 m de profundidad en la parte más profunda a los 30 metros de profundidad en la parte somera y es asociada a arenas volcánicas saturadas con presencia de arcillas con resistividades del orden de los 0.542  $\Omega \cdot m$  a los 53.8  $\Omega \cdot m$ .

El nivel freático se determinó entre los 30 m y los 70 m de profundidad en la zona de estudio.

La variación del nivel freático puede atribuirse a que en la zona de estudio se presenta sobreexplotación de agua debido a una gran concentración de pozos de uso agrícola.

Los resultados del presente trabajo se correlacionan con la información disponible de un estudio geofísico previo realizado en las coordenadas X: 636384, Y: 2140790 (cerca del SEV5) en el cual se determinó la existencia de la capa de mayor potencial geohidrológico a 80 metros de profundidad. En dicho punto en Mayo del presente año se inició la perforación de un pozo (Anexos).

## Bibliografía

Arrubarrena Moreno, M. (2010). Caracterización de un sitio contaminado por hidrocarburos usando tomografía de resistividad eléctrica (Tesis de pregrado). UNAM, Facultad de Ingeniería. México, DF.

Auge, M. (2008). *Métodos geoeléctricos para la prospección de agua subterránea*. Recuperado de: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/ProspeccGoelec.pdf>

Calzada Mendoza, J. M. (2007). Mapas geoquímicos de metales pesados de suelos del Estado de Tlaxcala, México (Tesis de maestría).UNAM, Centro de Geociencias. Querétaro, Qro.

Cosenza Muralles, A. B. (2006). El sondeo eléctrico vertical como metodología geofísica en el estudio de capas acuíferas en la finca "El Baúl", Santa Lucía Cotzumalguapa (Tesis de pregrado). Universidad de san Carlos de Guatemala, Guatemala.

Demant, A. (1978). Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología*, 2 (2), 172-187.

Dobrin, M. B. & Savit, C. H. (1988). *Introduction to Geophysical Prospecting*. (4ta. Ed.) Singapur: McGraw-Hill.

Espinosa Cortés, R. M. (2010). Prospección hidrogeológica y factibilidad de extracción de agua subterránea en el poblado de Xoxocotla, municipio de Puente de Ixtla, Morelos, México (Tesis de pregrado). UNAM, Facultad de Ingeniería. México, DF.

Estrada, L. A. (2012). *Apuntes de prospección eléctrica para alumnos de la Facultad de Geología de la Universidad Nacional de Tucuman*. Recuperado de: <http://www.herrera.unt.edu.ar/geofisica/Geoelectrica%20para%20Geologos.pdf>

Gómez Tuena, A., Orozco Esquivel, M. T. y Ferrari, L. (2005). Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, volumen conmemorativo del centenario* (3), 227-283.

Hernández Rodríguez, M. de L. (s.f). *Valoración y uso del agua subterránea en Tlaxcala*. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/foro4/17marzo/assessment/valoracion.pdf>

INEGI (1984). *Anuario estadístico del Estado de Tlaxcala*. México.

INEGI (s. f). *Provincias y subprovincias fisiográficas de México*. Recuperado de: <https://proteccionforestal.files.wordpress.com/2011/09/anexo-4-provincias-y-subprovincias-fisiogrc3a1ficas-de-mc3a9xico.docx> anexo 4 provincias y subprovincias fisiograficas de méxico .doc

Loke, M. H. (2004). *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Recuperado de: [https://www.ualberta.ca/~unsworth/UA-classes/223/loke\\_course\\_notes.pdf](https://www.ualberta.ca/~unsworth/UA-classes/223/loke_course_notes.pdf)

Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of Geophysics*. Nueva York: Universidad de Cambridge.

Medín Molina, J. (s. f). *Campo eléctrico*. Recuperado de: <http://136.145.236.36/isdweb/Curso-fisica-2/Presentaciones/pres113012.pdf>

Méndez Rivero, F. & Torres López, E. J. (2010). Exploración geoelectrica, gravimétrica y magnetométrica en la región de La Ceiba-Poza Rica, Estados de Puebla y Veracruz (Tesis de pregrado). UNAM, Facultad de Ingeniería. México, DF.

Milsom, J. (2003). *Field Geophysics*. (3ra. Ed.) Inglaterra: Wiley.

Morán Zenteno, J. D. (s.f). *Geología de la República Mexicana*. México: INEGI.

Nieto Oropeza, D. H. (2007). Caracterización geoelectrica del subsuelo en los valles del Río Mamo y Quebradas Topo y Tacagua para prospección de aguas subterráneas (Tesis de pregrado). Ilustre Universidad Simón Bolívar, Sartenajas.

Orellana, E. (1982). *Prospección geoeléctrica en corriente continua*. (2da. Ed.) Madrid: Editorial Paraninfo.

Prospección eléctrica en corriente continua. (2013). Recuperado de: [http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda/estaticas/sites/consejeria/areas/carreteras/documentos/Calidad/20130924\\_Prospeccion\\_electrica.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda/estaticas/sites/consejeria/areas/carreteras/documentos/Calidad/20130924_Prospeccion_electrica.pdf)

Ramírez Miguel, N. (2010). Caracterización de fallas y fracturas mediante tomografía eléctrica utilizando electrodos de acoplamiento capacitivo (Tesis de pregrado). UNAM, Facultad de Ingeniería. México, DF.

Ramos Leal, J. A., López Loera, H., Martínez Ruiz, V. J. y Arando Gómez, J. J. (2007). Sucesión de eventos y geometría de la parte central del acuífero del graben de Villa de Reyes (San Luis Potosí, México) inferida a partir de datos geoeléctricos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24 (1), 31-46.

Resnik, R., Krane, K. & Halliday, D. (1999) *Física Vol. 2*. (4ta Ed.). México: Continental.

Reyes Serrano, J. R (2013). Estudio geofísico de resistividad para definir las características eléctricas del subsuelo que sirvan de apoyo a la identificación de capas con posibilidades de contener agua en la zona oriental del municipio de Hidalgo de Parral, Estado de Chihuahua (Tesis de pregrado). UNAM, Facultad de Ingeniería. México, DF.

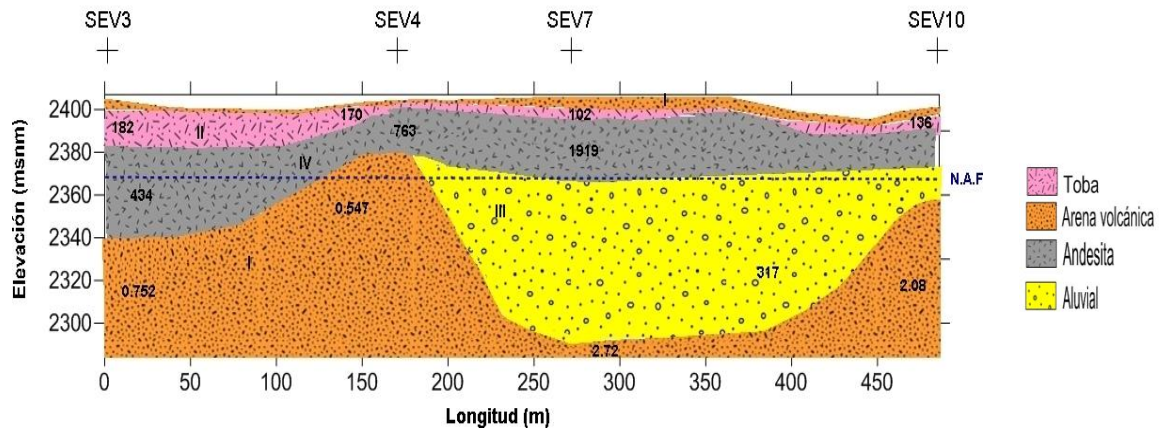
SEMARNAT-INE & Gobierno del Estado de Tlaxcla. (2001) *Ordenamiento Ecológico del Estado de Tlaxcala*. Instituto de Ecología.

Spalletti, L. A. & D'Elia, L. (s.f). *Rocas piroclásticas y sedimentación en ambientes volcánicos*. Recuperado de: <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/sedimentologia/pdf/piroclasticas.pdf>

Telford, W. M., Geldart, L. P. & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics*. (2da. Ed.) Cambridge: Universidad de Cambridge.

## ANEXOS

### Interpretación Perfil III



La unidad más superficial de este perfil corresponde de arenas volcánicas que se asociaron a resistividades de  $373 \Omega \cdot m$  bajo el SEV3,  $351 \Omega \cdot m$  bajo el SEV4,  $344 \Omega \cdot m$  bajo el SEV7 y  $360 \Omega \cdot m$  en el SEV10. Esta unidad cuenta con un espesor muy reducido a lo largo de todo el perfil.

Debajo de la capa de arenas volcánicas se ubicó un depósito de tobas que presentan su espesor máximo de 10 m debajo del SEV3. Esta unidad presenta resistividades del orden de los  $182 \Omega \cdot m$  bajo el SEV3,  $170 \Omega \cdot m$  en el SEV4,  $102 \Omega \cdot m$  en el SEV7 y  $136 \Omega \cdot m$  en el SEV10.

Subyaciendo al depósito de tobas se identificó una capa de andesitas en su mayoría fracturadas con resistividades de  $434 \Omega \cdot m$  bajo el SEV3,  $763 \Omega \cdot m$  bajo el SEV4 y  $1919 \Omega \cdot m$  en el SEV10. El mayor espesor de la unidad se encuentra debajo

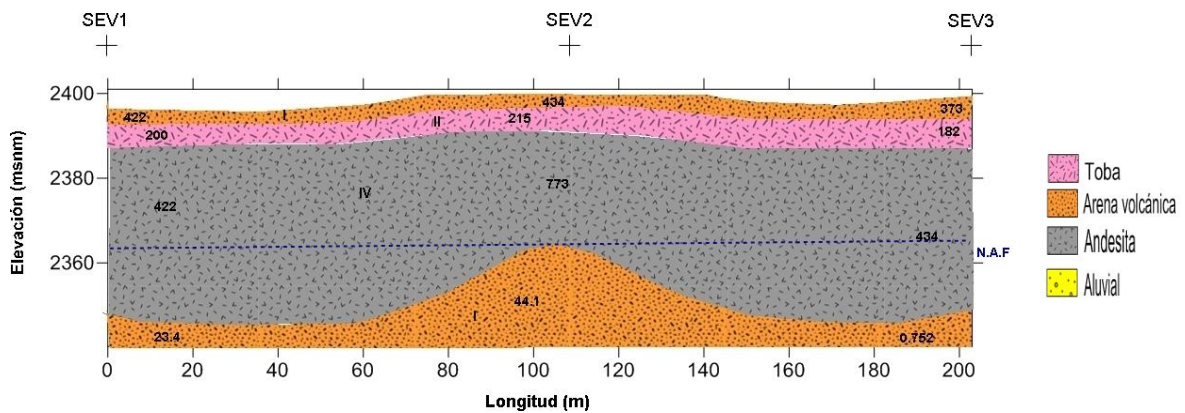
del SEV3 donde alcanza 40 m mientras que bajo el SEV7 tiene 10 m. La unidad se encuentra parcialmente saturada bajo el SEV3.

La zona de aireación para este perfil se determinó a los 30 m de profundidad.

Por debajo del SEV7 a los 30 m de profundidad se encuentra un depósito de material aluvial saturado que presenta su espesor más potente de 80 m debajo del SEV7 que se adelgaza hacia el SEV10. Sus resistividades características son  $317 \Omega \cdot m$  en el SEV7 y  $390 \Omega \cdot m$  en el SEV10.

La unidad más profunda consiste de arenas volcánicas con contenido de arcilla saturadas como lo evidencia su rango de resistividades de  $0.547 \Omega \cdot m$  bajo el SEV4 a  $2.72$  bajo el SEV7. Este depósito de arenas tiene espesor indefinido.

#### Interpretación Perfil IV



En la parte más superficial se identificaron arenas volcánicas secas con un espesor más o menos constante de 5 m a lo largo de la sección. Las resistividades a

partir de las cuales se identificaron las arenas volcánicas son de  $422 \Omega \cdot m$ ,  $434 \Omega \cdot m$  y  $373 \Omega \cdot m$  bajo el SEV1, SEV2 y SEV3 respectivamente.

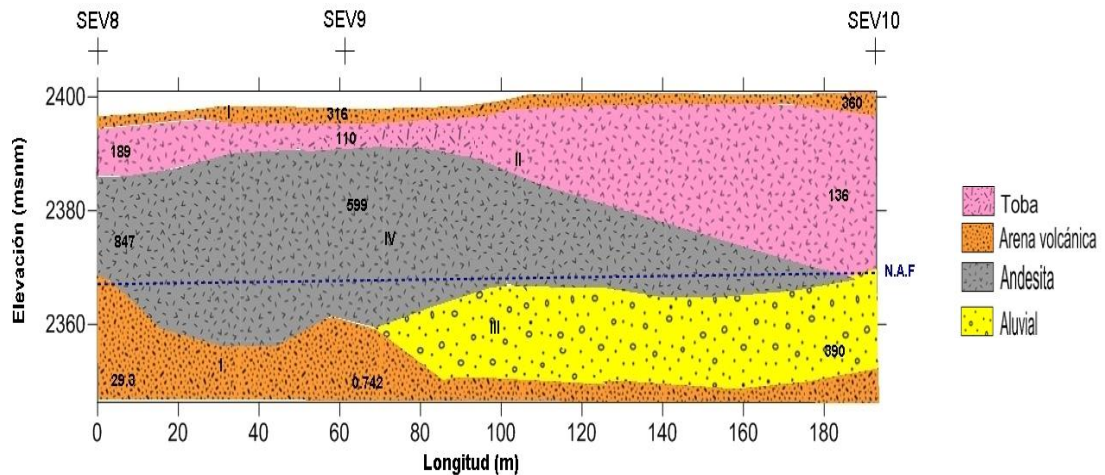
Subyaciendo a las arenas volcánicas se identificó un depósito de tobas areno-limosas con espesor más o menos constante de 5 m en todo el perfil presentando resistividades de  $200 \Omega \cdot m$  en el SEV1, de  $215 \Omega \cdot m$  en el SEV2 y de  $182 \Omega \cdot m$  en el SEV3. La permeabilidad de esta unidad permite que el agua se infiltre hacia la zona de saturación.

Un paquete de andesitas fracturadas se identificó a los 10 m de profundidad y presenta resistividades del orden de los  $422 \Omega \cdot m$  en el SEV1,  $773 \Omega \cdot m$  en el SEV2 y  $434$  bajo el SEV3. Su espesor de 55 m se mantiene casi constante en todo el perfil. Estas andesitas están parcialmente saturadas debido al grado de fracturamiento que presentan.

El nivel freático para este perfil se ubicó a los 35 m de profundidad.

La unidad más profunda es un depósito de arenas volcánicas saturadas con espesor indefinido y las resistividades que la caracterizan son los  $23.4$  bajo el SEV1,  $44.1$  en el SEV2 y  $0.752$  bajo el SEV3.

### Interpretación Perfil VI



En el nivel superior de este perfil se presenta una capa de arenas volcánicas cuyo espesor menor de 5 m se mantiene constante a lo largo del perfil presentando resistividades de  $259 \Omega \cdot m$  bajo el SEV8,  $316 \Omega \cdot m$  debajo del SEV9 y  $360 \Omega \cdot m$  en el SEV10.

La unidad de arenas volcánicas se encuentra sobreyaciendo a un depósito de tobas que se encuentran relleno paleo-depresiones con resistividades del orden de los  $189 \Omega \cdot m$  en el SEV8,  $110 \Omega \cdot m$  bajo el SEV9 y  $136 \Omega \cdot m$  en el SEV10. Su espesor mínimo de 5 m se encuentra bajo el SEV9 mientras que su espesor máximo de 25 m se halla bajo el SEV10.

El nivel freático para este perfil se determinó a los 35 m de profundidad.

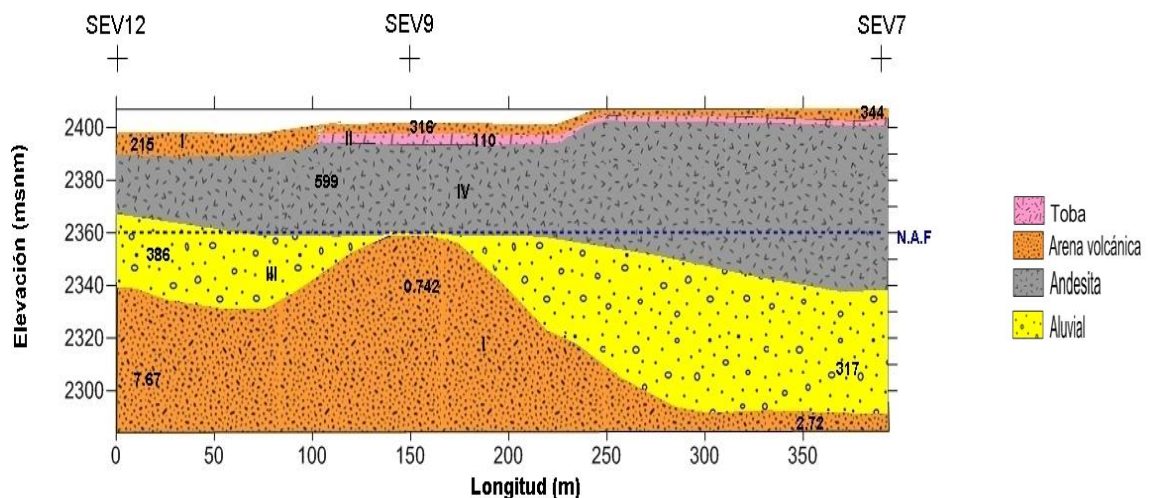
A los 10 m de profundidad bajo el SEV8 se encuentra una capa de andesitas consolidadas que hacia el SEV9 se presentan fracturadas. Los  $847 \Omega \cdot m$  bajo el SEV8 representan a las andesitas con mayor consolidación y los  $599 \Omega \cdot m$  en el

SEV9 representan a las andesitas fracturadas. El espesor inicial de esta capa es de 20 m que se amplía hacia el SEV9 donde alcanza los 40 m. La parte fracturada de esta unidad se encuentra parcialmente saturada.

Por debajo del SEV10 a los 30 m de profundidad se encuentra un depósito de materiales aluviales saturados con espesor de 25 m y que presenta una resistividad de  $390 \Omega \cdot m$ .

Un depósito de arenas saturadas con contenido de arcillas se presenta debajo del material aluvial con un espesor indefinido. Estas arenas se determinaron a partir de valores de resistividad de  $29.3 \Omega \cdot m$  en el SEV8,  $0.742 \Omega \cdot m$  en el SEV9 y 2.08 en el SEV10.

### Interpretación Perfil VIII



En este perfil la unidad superficial de arenas volcánicas se presenta con un espesor variable de 10 a 5 m que se acuña hacia el SEV7 presentado una resistividad de 215  $\Omega \cdot m$  bajo el SEV12, de 316  $\Omega \cdot m$  bajo el SEV9 y de 344 en el SEV7.

Subyaciendo a las arenas volcánicas se encuentra un depósito de tobas con un espesor muy pequeño. Esta unidad se presenta desde el SEV9 donde presenta una resistividad de 110  $\Omega \cdot m$  hasta el SEV12 donde tiene una resistividad de 102  $\Omega \cdot m$ .

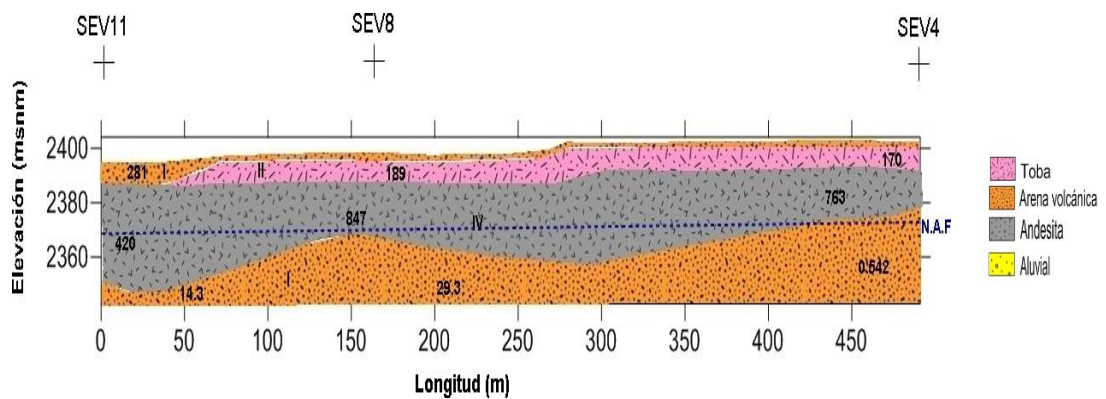
Se identificó una unidad de andesitas de mediana a alta consolidación por debajo de las arenas volcánicas y las tobas. Esta unidad presenta un espesor máximo de 50 m en el SEV7 y uno mínimo de 20 m bajo el SEV7. Un valor de resistividad de 1919  $\Omega \cdot m$  bajo el SEV7 se asoció a andesitas de alta consolidación mientras que la resistividad de 599  $\Omega \cdot m$  bajo el SEV9 se asoció a andesitas fracturadas.

Bajo el SEV12 a 30 m de profundidad aproximadamente se determinó un depósito de material aluvial parcialmente saturado con resistividad de 386  $\Omega \cdot m$  y un espesor de 30 m. Esta unidad es interrumpida lateralmente debajo del SEV9 arenas saturadas para volver a presentarse debajo del SEV7 donde alcanza un espesor máximo de 60 m con una resistividad de 317  $\Omega \cdot m$ .

La zona de aireación en este perfil se determinó a los 50 m de profundidad.

La unidad más profunda se identificó como arenas volcánicas saturadas de acuerdo a resistividades del rango de los  $0.742 \Omega \cdot m$  en el SEV9 a los  $7.67 \Omega \cdot m$  bajo el SEV12. El espesor de esta unidad es indefinido.

### Interpretación Perfil IX



En el nivel superficial del presente perfil con un espesor inicial menor a los 10 m y que se reduce hacia el final del perfil se presenta la unidad de arenas volcánicas secas. Dicha unidad tiene resistividades de  $281 \Omega \cdot m$  en el SEV11,  $259 \Omega \cdot m$  en el SEV8 y  $351 \Omega \cdot m$  en el SEV4.

Debajo de la unidad de arenas volcánicas se identificó un depósito de tobas con espesor de 10 m debajo del SEV8 y del SEV4. Esta unidad presenta resistividades de  $189 \Omega \cdot m$  en el SEV8 y  $170 \Omega \cdot m$  en el SEV4.

Se presenta a los 10 m de profundidad una capa de andesitas de mediana a alta consolidación parcialmente saturadas. Hacia el centro del perfil, bajo el SEV8,

se identificaron las andesitas con mayor consolidación con  $847 \Omega \cdot m$ . Debajo del SEV11 y SEV4 se encuentran andesitas fracturadas identificadas a partir de los  $420 \Omega \cdot m$  y  $763 \Omega \cdot m$  respectivamente. El espesor de esta unidad bajo el SEV11 es de 40 m que se reduce a 10 m bajo el SEV4.

A los 35 m de profundidad se identificó el nivel freático para este perfil.

Subyaciendo a la capa de andesitas se observa un depósito de arenas volcánicas saturadas cuyo espesor es indefinido con resistividades del orden de los  $14.3 \Omega \cdot m$  bajo el SEV11,  $29.3 \Omega \cdot m$  bajo el SEV8 y  $0.547$  en el SEV4.

#### Trabajo de campo





Título de concesión del pozo Morelos No.1

**REPRESENTACION EN EL ESTADO DE TLAXCALA**  
 EFECTUADA DE UNIDADES DE MEDIDA CARACTERISTICAS Y DIFERENTES DEL SISTEMA INTERNACIONAL Y SUPERFICIALES

<p><b>1 LOCALIZACION</b></p> <p>Nombre del Sistema: <b>MORELOS No. 1</b></p> <p>Agua a Nivel Medio: <b>MORELOS</b></p> <p>Cuencas y Puntos Geográficos: <b>AGUAS SUBTERRANEAS</b></p> <p>Municipio: <b>GUANAJUATO</b></p> <p>Comandante en Jefe: <b>S.A.A.S.</b></p> <p>Región: <b>17</b> (Comando en Jefe de la Zona de Apoyos)</p> <p>Estación: <b>MORELOS No. 1</b></p>	<p><b>2 METODO POSIBLE DE AFORO</b></p> <p>Estación: <b>R</b></p> <p>Muestreo: <b>PERFORADO</b></p> <p>Fecha: <b>AGOSTO DE 1977</b></p> <p>Horario: <b>13 DE 1980</b></p> <p>Nombre de la estación: <b>MORELOS No. 1</b></p>	<p><b>3 SERVICIO</b></p> <p>Tipo de aprovechamiento: <b>POZO PROFUNDO</b></p> <p>Costo Total: <b>30</b> (Lvs. Miles de Pesos y Céntimos)</p> <p>Horario: <b>40-00-00</b> (Lvs. Miles de Pesos y Céntimos)</p> <p>Horario de Emisión: <b>20-00-00</b></p> <p>Horario de Recepción: <b>20-00-00</b></p> <p>Horario de Cierre: <b>8</b> (Estaciones)</p> <p>Horario de Apertura: <b>8</b> (Estaciones)</p> <p>Horario de Cierre: <b>2,00</b></p>
<p><b>4 APROVECHAMIENTO</b></p> <p>No. y/o Nombre del Pozo o Equipo: <b>MORELOS No. 1</b></p> <p><b>POZO:</b> Profundidad: <b>160.0</b> m. Diámetro: <b>30</b> cm. A.S.N.M. <b>2400</b></p> <p><b>ADEME:</b> Profundidad: <b>160.0</b> m. Diámetro: <b>30</b> cm. Prueba de Verticalidad: <b>30</b> m. Con desplazamiento entre centros de <b>37.10</b> cm. GASTO: <b>32.90</b> m. Nivel Dinámico ó Altura de Bombeo: <b>32.90</b> m.</p> <p><b>BOMBA:</b> Tipo: <b>JACUZZI</b> Marca: <b>JACUZZI</b> Capacidad: <b>30</b> l.p.s. Profundidad: <b>ACETRE</b> m. Diámetro: <b>30</b> cm. Lubricación: <b>ACETRE</b> Velocidad: <b>1,800</b> r.p.m. Tazones: <b>30</b> Tipo: <b>ACETRE</b> Cantidad: <b>30</b></p> <p><b>MOTOR:</b> Eléctrico: <b>TRIFASICO</b> Comb. int. <b>1013010</b> Marca: <b>MOTONES US. DE MEX.</b> Modelo: <b>30</b> No. de Serie: <b>1,800</b> Potencia: <b>30</b> H.P. Velocidad: <b>1,800</b> r.p.m. Tipo de Combustible: <b>ACETRE</b> Capacidad del Tanque: <b>30</b> Lts.</p> <p><b>Cabezal de Engranes:</b> Potencia: <b>30</b> H.P. Relación: <b>30</b> No. de Serie: <b>30</b> Marca: <b>DELTA MEX.</b></p> <p><b>TRANSFORMADOR:</b> Modelo: <b>150</b> Marca: <b>DELTA MEX.</b> Capacidad: <b>150</b> VA. Otras: <b>AFRANCADOR, INTERRUPTOR, APARTARRAYO</b></p> <p><b>INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS:</b> Caseta de Protección y Control: <b>SI</b> (SI) (NO) Medidor Volumétrico: <b>NO</b> Marca: <b>DELTA MEX.</b> Tipo: <b>DELTA MEX.</b></p>	<p><b>5 ZONA DE RIEGO</b></p> <p>Nombre: <b>MORELOS No. 1</b></p> <p>Superficie: <b>30</b> Ha.</p> <p>Beneficiarios: <b>30</b></p> <p>Fecha de Inicio: <b>30-00-00</b></p> <p>Fecha de Fin: <b>30-00-00</b></p>	<p><b>6 CAMINOS</b></p> <p>En Asfalto: <b>30</b> Km.</p> <p>En Tierra: <b>30</b> Km.</p> <p><b>7 CLIMA</b></p> <p>Clasificación (Temperatura): <b>NOVIEMBRE</b> <b>SECO</b></p> <p>Período de Heladas: <b>NOVIEMBRE</b> <b>SECO</b></p> <p>Período de Lluvias: <b>AGOSTO</b> <b>SECO</b></p> <p>Yuntas Cultivos: <b>NOVIEMBRE</b> <b>SECO</b></p>

**4 APROVECHAMIENTO**

No. y/o Nombre del Pozo o Equipo: **MORELOS No. 1**

**POZO:** Profundidad: **160.0** m. Diámetro: **30** cm. A.S.N.M. **2400**

**ADEME:** Profundidad: **160.0** m. Diámetro: **30** cm. Prueba de Verticalidad: **30** m. Con desplazamiento entre centros de **37.10** cm. GASTO: **32.90** m. Nivel Dinámico ó Altura de Bombeo: **32.90** m.

**BOMBA:** Tipo: **JACUZZI** Marca: **JACUZZI** Capacidad: **30** l.p.s. Profundidad: **ACETRE** m. Diámetro: **30** cm. Lubricación: **ACETRE** Velocidad: **1,800** r.p.m. Tazones: **30** Tipo: **ACETRE** Cantidad: **30**

**MOTOR:** Eléctrico: **TRIFASICO** Comb. int. **1013010** Marca: **MOTONES US. DE MEX.** Modelo: **30** No. de Serie: **1,800** Potencia: **30** H.P. Velocidad: **1,800** r.p.m. Tipo de Combustible: **ACETRE** Capacidad del Tanque: **30** Lts.

**Cabezal de Engranes:** Potencia: **30** H.P. Relación: **30** No. de Serie: **30** Marca: **DELTA MEX.**

**TRANSFORMADOR:** Modelo: **150** Marca: **DELTA MEX.** Capacidad: **150** VA. Otras: **AFRANCADOR, INTERRUPTOR, APARTARRAYO**

**INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS:** Caseta de Protección y Control: **SI** (SI) (NO) Medidor Volumétrico: **NO** Marca: **DELTA MEX.** Tipo: **DELTA MEX.**

**7. CARACTERISTICAS DE OPERACION**

1. Uso a que se destina el agua extraída Agrícola  
(Agrícola, Industrial, Doméstico, Abrevadero, Abastecimiento Público, Servicios, etc.)
2. Altura del brocal sobre el nivel del mar 2400
3. Litros por segundo que se obtienen con la bomba trabajando 30
4. Profundidad del espejo del agua antes de bombear 32.90  
(Nivel estático)
5. Profundidad del espejo del agua bombeando 37.10  
(Nivel dinámico)
6. ¿En cuánto tiempo se establece el nivel de bombeo desde que se pone a trabajar el equipo? .....
7. ¿En cuánto tiempo se recupera el espejo del agua hasta su nivel original, desde que se suspende el bombeo? .....
8. Horas que trabaja la bomba al día para uso: Agrícola 18 Industrial .....  
Doméstico ..... Abast. Público ..... Abrevadero ..... Servicios ..... Otros .....
9. Días que trabaja la bomba al año para uso: Agrícola 270 Industrial .....  
Doméstico ..... Abast. Público ..... Abrevadero ..... Servicios ..... Otros .....

- 24880

**B. ACLARACIONES AL USO DEL AGUA**

10. Volumen Anual 524880 M<sup>3</sup>

1. En caso de uso Agrícola, ¿qué cultivos se van a regar? MAIZ, Frijol, Papa, Frijoles
2. Superficie total del Predio 34-00-00 Superficie que se riega con el agua de la obra 34-00-00 Superficie que puede abrirse al cultivo 34-00-00
3. En caso de uso Industrial, especificar lo que se produce boj
4. En caso de uso de Abrevadero, indicar número y clase de ganado 200 vacas, 120 caballos, 300 borregos, 500 chivos y 60 burras
5. En caso de uso de Servicios, indicar en qué se emplea el agua Hotels, Hoteles, Centros Deportivos y Culturales, Ciervos, Mercados, Sanitarios, Baños y Albercas Públicas, venta autorizada de agua para cualquier uso, etc. y en general el Agua del Sub suelo utilizada en cualquier lugar donde se presten servicios con lucro
6. Otro uso En ocasiones para uso doméstico cuando se desconecta el equipo

Lug 2-10-02

PROHIBIR LAS PERSONAS QUE APROVECHEN AGUAS SUBTERRANEAS CON OBRAS ARTIFICIALES, EN CUMPLIMIENTO A LO DISPUESTO POR EL ARTICULO 107 DE LA LEY FEDERAL DE AGUAS.

**1. DATOS DEL PROPIETARIO**

1. Nombre del propietario *SOCIADAD DE USUARIOS*  
*FINCA MORELOS No 1 MUNICIPIO CUAPIXTLA (PARTE)* PEDRO MUÑOZ VALDEZ

2. Nacionalidad *MEXICANA*

3. Dirección para recibir correspondencia *16 SEPTIEMBRE No 79 col. JOSE MARIA*  
*MORELOS, MUNICIPIO CUAPIXTLA, TLX*  
(Ver nota IV al final)  
(Calle y número)  
(Ciudad, Municipio y Estado)

4. Tel. \_\_\_\_\_

**2. DATOS DE LOCALIZACION DEL PREDIO**

1. Nombre del Predio donde está el pozo *ESIDO LA SOLEDAD*

2. Ubicación del Predio *JOSE MARIA MORELOS MUNICIPIO CUAPIXTLA, TLX*  
(Indicar Poblado más cercano, Municipio y Estado)

3. Colindancias: Al Norte *ESIDO LA SOLEDAD* Al Este *ESIDO LA SOLEDAD*  
Al Sur *ESIDO LA SOLEDAD* Al Oeste *ESIDO LA SOLEDAD*

Fotos perforación de pozo en las coordenadas X:636384, Y: 2140790

