



GOBIERNO DEL ESTADO DE MICHOACÁN

Instituto Tecnológico Superior de Tacámbaro

MÉTODOS GEOELÉCTRICOS EN
MEXQUITIC DE CARMONA, SLP.
CON FINES DE APROVECHAMIENTO
DEL AGUA.

X. INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN GEOCIENCIAS

P R E S E N T A
LUIS DIEGO PINEDA MEDINA

Asesor Interno: Dr. Rafael Maciel Peña

Asesor Externo: M.C. David Ernesto Torres Gaytán

TACÁMBARO DE CODALLOS, MICHOACÁN

AGRADECIMIENTOS

A dios por ser mi guía y mi fortaleza, por estar siempre a mi lado.

A mis padres, gracias por el esfuerzo y sacrificio que han compartido conmigo a lo largo de esta nueva aventura.

A mi abuelo que siempre conté con su apoyo, estuvo conmigo en los momentos más bonitos que pasaron a lo largo de esta carrera, también en los momentos difíciles.

A mi novia que con su paciencia y comprensión me ayudo a salir adelante, fue mi gran compañera y una gran persona.

A mis asesores el Dr. Rafael Maciel Peña y al M.C. David Ernesto Torres Gaytán, por tomarse el tiempo para compartir sus conocimientos, asesorías y experiencias que ayudaron a fortalecer este trabajo.

A mis amigos y profesores por compartir conmigo su tiempo, su sabiduría y su apoyo constante a lo largo de mi formación en el Instituto Tecnológico superior de Tacámbaro.

Al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), a la División de Geociencias Aplicadas por permitirme realizar mi estancia de residencias en su institución.

RESUMEN

El agua es un elemento vital que en muchas zonas del mundo es escaso. Para la comunidad Pachona municipio de escalerillas, en el estado de San Luis Potosí, por lo que el Instituto Potosino, brinda apoyo para la exploración de agua subterránea dando como resultado el presente proyecto.

La exploración de agua se realiza por medio de estudios geofísicos, como son Sondeos Eléctricos Verticales.

Los métodos geoeléctricos utilizados son a través de la configuración schlumberguer, este método mostro ser un muy buen complemento.

Los datos fueron obtenidos en campo utilizando el equipo Syscal R2 y después fueron invertidos en el software IPY2WIN.

ÍNDICE

CAPITULO I GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN.....	1
DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	2
LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	4
PROBLEMAS A RESOLVER.....	5
OBJETIVOS.....	5
General.....	5
Específicos.....	5
JUSTIFICACIÓN.....	6

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES.....	8
LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO.....	9
FISIOGRÁFIA	10
CLIMA.....	10
HIDROLOGÍA.....	10
GEOMORFOLOGÍA.....	11
GEOLOGÍA.....	11
ESTRATIGRAFÍA.....	12
GEOLOGÍA DEL ACUÍFERO.....	13
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	14
GEOLOGIA DEL SUBSUELO.....	14
HIDROGEOLOGÍA.....	14
MÉTODOS ELÉCTRICOS.....	16
RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.....	17
RESISTIVIDAD APARENTE.....	18
MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.....	18
PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LA ROCA.....	18

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL.....	20
CONFIGURACIÓN WENNER.....	21
CONFIGURACIÓN SCHLUMBERGER.....	22
CONFIGURACIÓN DIPOLO-DIPOLO.....	22

CAPITULO III DESARROLLO

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO SYSCAL R2.....	25
METODOLOGÍA DE LOS SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES	26

CAPITULO IV RESULTADOS

CONCLUIONES	47
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	48

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

CAPÍTULO I GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN

La necesidad de aprovechar los recursos hídricos en el mundo se ha incrementado considerablemente en las últimas décadas, como resultado principal de un crecimiento de la población y la urbanización. En una escala global, existen aproximadamente 1,385 millones de km³ de agua en el planeta; sin embargo, el 97% es agua de mar y solamente el 2.67% es agua fresca. Del total de esa cantidad de agua fresca (37 millones de km³) el 76.5% está almacenada en los polos y glaciares. Otro 22.9% está presente como agua subterránea y una pequeña fracción de 1,500 km³ (0.004%) aparece en algún momento en los ríos del planeta (Guevara, 2007).

El trabajo pretende estudiar el subsuelo mediante métodos geoelectrónicos (SEV) para poder tener un mayor conocimiento de los acuíferos y como es que se comportan.

El interés de este trabajo viene dado por el desabasto de agua ya que es un recurso indispensable para la vida diaria y es necesario buscar alternativas que nos ayuden a cubrir la demanda de dicho recurso es por eso que se realizan estudios en los lugares de interés.

El estudio puede aportar conocimiento del acuífero, saber en qué tipo de rocas se encuentra, conocer su comportamiento, poder determinar cuánta agua podremos extraer, así como saber extraer el recurso para no sobre explotarlo, con el estudio podemos saber la profundidad que se va a perforar.

CAPÍTULO I GENERALIDADES

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

El Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C., IPICYT, fundado el 24 de noviembre del año 2000, es un Centro Público de investigación multi e interdisciplinario del Sistema CONACYT y representa un esfuerzo importante en pro de la descentralización de las actividades científicas y tecnológicas en el país. Esto fue también posible gracias al interés explícito del Gobierno del Estado de San Luis Potosí, quien aportó recursos para la construcción de los primeros edificios que albergan al Instituto. El IPICYT cuenta con grupos de investigación de alta calidad, que además de generar conocimientos de frontera y formar recursos humanos a nivel licenciatura y posgrado, interacciona con los diversos sectores de la sociedad para apoyar el desarrollo del San Luis Potosí del siglo XXI. El Instituto es una Asociación Civil, y tiene como fundadores asociados al Gobierno del Estado de San Luis Potosí, al Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología, a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, a la Secretaría de Educación Pública, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, al Centro de Investigación en Matemáticas, A. C. y al Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C. El IPICYT fue establecido con el propósito de proveer a la región de un espacio alternativo para el cultivo de las ciencias naturales y exactas, así como para desarrollar tecnologías vinculadas a la solución de problemas locales, regionales y nacionales. El Instituto considera también entre sus objetivos estratégicos la difusión y transferencia del conocimiento generado por sus actividades de investigación, así como la formación de recursos humanos de excelencia en campos del conocimiento de frontera. En el IPICYT se cultivan líneas de investigación en las disciplinas de Biología Molecular, Materiales Avanzados, Matemáticas Aplicadas, Ciencias Ambientales y Geociencias Aplicadas. Los requerimientos de la sociedad, así como las oportunidades y limitaciones del entorno están presentes en la selección de estas áreas de conocimiento. En este sentido, cabe destacar que una de las características distintivas del Instituto es abordar problemas de investigación de

CAPÍTULO I GENERALIDADES

manera interdisciplinaria en las áreas de ciencias exactas y naturales. Aunque su compromiso inmediato está ligado al Estado de San Luís Potosí, su misión ciertamente le permite trascender la región y tener cabida en los ámbitos nacional e internacional, debido a la excelencia de sus productos de investigación y a la oportunidad existente para los proyectos estratégicos que desarrolla en las áreas de conocimiento de su ámbito de competencia.



Figura 1. Instituto potosino de investigación científica y tecnológica. A.C.

CAPÍTULO I GENERALIDADES

LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

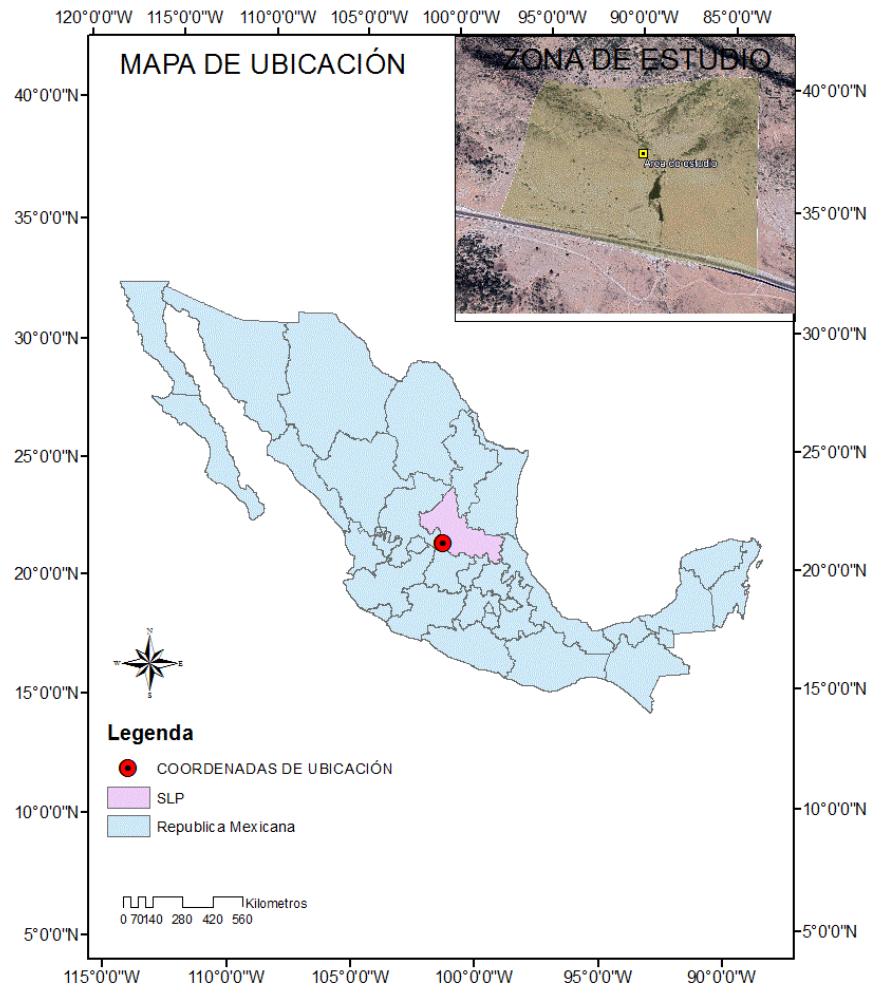


Figura 1.1 Mapa de ubicación, San Luis Potosí

CAPÍTULO I GENERALIDADES

PROBLEMAS A RESOLVER

Debido a la necesidad de agua en el lugar escalerillas ubicado en san Luis potosí, se realizaron estudios eléctricos para Ubicar un sitio favorable para la obtención de agua subterránea y así extraerla para utilizarla en la ganadería, ya que no contaban con el agua suficiente para abastecer dicha necesidad.

OBJETIVO GENERAL

Detección de un sitio favorable para la perforación de un pozo profundo con técnicas de resistividad eléctrica (análisis de 10 sondeos) en el municipio de Mexquitic de Carmona, SLP. Con fines de aprovechamiento del agua.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la profundidad del acuífero
- Determinar el tipo de roca
- Hacer la inversión geofísica de 10 sitios
- Recomendar el mejor sitio para la extracción de agua a gran escala

CAPÍTULO I GENERALIDADES

JUSTIFICACIÓN

La falta de agua, es un problema que a menudo encontramos en diferentes lugares del país, en la localidad de escalerillas, municipio de Mexquitic de Carmona san Luis potosí, se presenta un caso de desabasto de agua en el sector ganadero, los animales estaban sufriendo deshidratación debido a la sequía, es por ello que se realizaron estudios geoelectricos para poder ubicar un sitio favorable y así cubrir la demanda de dicho liquido ya que el agua encontrada serviría para su aprovechamiento.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES

Los primeros ensayos de los métodos eléctricos iniciaron en el siglo XVIII, cuando en 1720 Gray y Wheeler descubrieron la propiedad resistiva de las rocas y posteriormente en 1746 Watson descubrió que el suelo es conductor. En 1815, Fox descubrió el fenómeno de Polarización Espontanea o Natural (SP). Este fenómeno fue utilizado en 1830 en Cornwell Inglaterra para estudiar extensiones de depósitos de cobre. En 1883 diversos investigadores dirigieron su atención a campos producidos artificialmente y, en ese mismo año, Brown creó un sistema de prospección eléctrica con 2 electrodos. En 1912, Schlumberger considerado como el “Padre de la prospección eléctrica”, presenta la idea de usar mediciones de resistividad eléctrica para estudiar los cuerpos del subsuelo. Este método fue adoptado primero en geología por compañías petroleras para la búsqueda de reservorios petroleros y delimitar las formaciones geológicas (Meyer de Stadelhofen, 1991). Posteriormente en 1913 nuevamente Schlumberger, descubre el yacimiento de sulfuro en Borl, Servia por medio de SP, siendo el primer hallazgo geofísico de mineral no metálico. A partir de este momento los métodos geoelectricos de campo artificial se desarrollaron notablemente hasta nuestros días. En 1915 Schlumberger y el americano Wenner idean independientemente dispositivos tetraelectreodicos simétricos para la aplicación del método Sondeo Eléctrico Vertical (SEV). Entre los años 1950 y 1970 se desarrolló la metodología de interpretaciones de SEV sobre medios estratificados tanto para campo constante como variable (Orellana and Mooney, 1996). A partir de los años ochenta aparecieron algoritmos inversos que generan imágenes eléctricas del suelo con adecuada resolución, destacando el algoritmo desarrollado por (Loke and Barker, 1996) siendo altamente efectivos para estudios geoelectricos someros.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO SAN LUIS POTOSÍ.

Se localiza en la porción centro-occidental del estado de San Luis Potosí, tiene una extensión del orden de los 1980 km² (Figura 2)

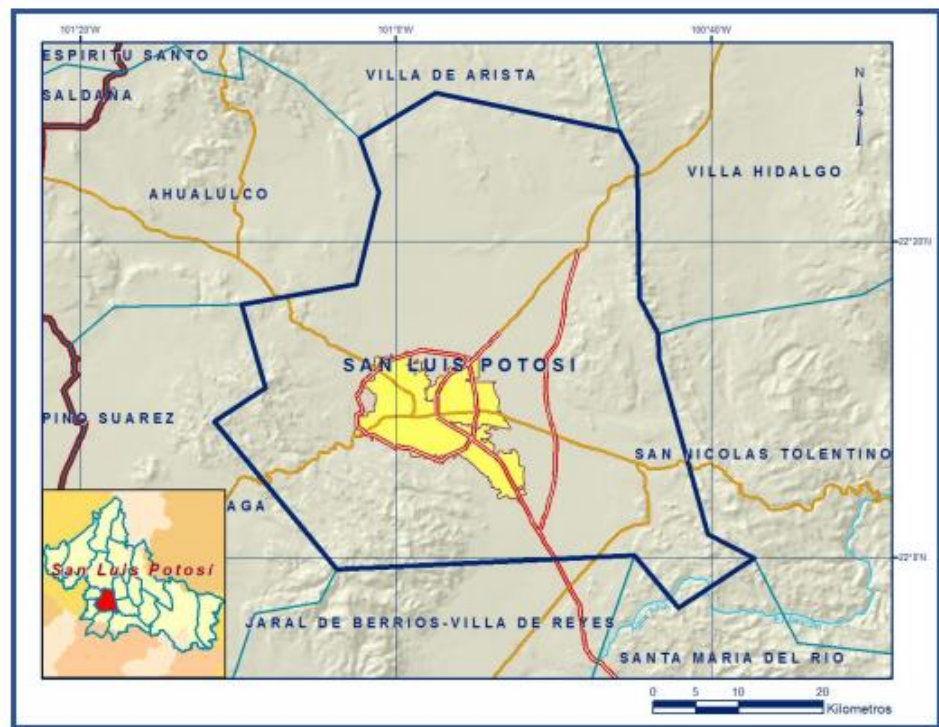


Figura 2. Localización del acuífero

Abarca la totalidad del municipio de Soledad de Graciano Sánchez, la mayor parte de los municipios de San Luis Potosí y Cerro de San Pedro, así como una pequeña fracción de los de Mexquitic de Carmona, Ahualulco y Villa de Zaragoza.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

FISIOGRAFÍA

Provincia Fisiográfica

La región analizada forma parte de la Provincia Fisiográfica de la Mesa Central y corresponde a una cuenca endorréica con elevación promedio en la zona del valle de 1840 msnm, la cual queda limitada en su porción occidental, meridional y septentrional por sierras de topografía escarpada de hasta 2700 msnm, y al oriente, con elevaciones de 2200 msnm.

CLIMA

En la mayor superficie del acuífero prevalece el clima semiárido semiseco templado con verano cálido.

Se determinaron los valores medios anuales de precipitación, temperatura y evaporación potencial de 402.6 mm, 17.5 °C y 2038.7 mm, respectivamente.

HIDROLOGÍA

La zona geohidrológica de San Luis Potosí se ubica dentro de la Región Hidrológica N° 37 denominada El Salado.

Corresponde a la Subregión hidrológica N° 37. La zona geohidrológica comprende la cuenca del río Santiago, su principal colector y se forma a partir de los escurrimientos que proceden de una serie de pequeñas sierras situadas al W y SW de la Ciudad de San Luis Potosí. Sobre él se han construido dos presas para control de avenidas denominadas San José y El Peaje.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

GEOMORFOLOGÍA

Dentro de la zona se distinguen las siguientes topoformas: Valle tectónico: Es una depresión rectangular que se prolonga hacia el graben de Villa de Reyes al sur, y Villa de Arista, al norte, está limitado por fallas de gran ángulo de rumbo N-S., se considera que el colapsamiento alcanzó hasta 500 m.

Sierras de elevación intermedia: Al occidente y suroccidente, el valle es bordeado por la Sierra de Alvarez que es un pilar tectónico formado por rocas volcánicas de relieve abrupto a moderado con laderas que tienen inclinaciones entre 15 y 45%, el drenaje es de tipo rectangular.

Al oriente, el valle queda limitado por la Sierra de Álvarez, que es también un pilar tectónico conformado por rocas calcáreas de edad cretácica intensamente plegadas con su eje orientado de NW a SE, el drenaje en esta zona es de tipo dendrítico. Al norte, el valle queda separado de la zona geohidrológica de Villa de Arista por otro pilar vulcano-tectónico denominado Alto “La Melada”.

GEOLOGÍA

El valle de San Luis fue originado por una fosa tectónica limitada por fallas escalonadas de gran ángulo, con rumbo preferencial N-S, la cual fue rellenada por sedimentos aluviales, lacustres y material piroclástico; la emisión de esta última no modificó las características principales del relieve, persistiendo las cuencas hidrográficas formadas a principios del Terciario. El zócalo rocoso es formado por derrames lávicos y/o ignimbritas de edad terciaria (Latita Portezuelo, y/o Ignimbrita Cantera

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

ESTRATIGRAFÍA

Las rocas que conforman las sierras que bordean al valle, son predominantemente de tipo efusivo de edad terciaria y material piroclástico que incluye ignimbritas, tobas y brechas de composición riolítica. Alcanzan su máxima expresión en la porción central y suroeste de la Sierra de San Miguelito que constituye el límite occidental de la cuenca.

Esta secuencia cubre a rocas sedimentarias marinas del Cretácico superior (Formaciones Caracol, Soyatal y Cárdenas), las cuales se hallan expuestas únicamente en la frontera oriental (Cerro de San Pedro) y en algunos pequeños afloramientos, en forma de lomeríos al noreste del valle, que a su vez sobreyacen a calizas del Cretácico inferior (Formaciones Cuesta del Cura y La Peña), también expuestas en la margen oriental del valle. La tectónica cortante se manifiesta por fallas longitudinales que constituyen un sistema con orientación preferencial N40°W así como uno normal al anterior que originaron pilares y fosas tectónicas.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

GEOLOGÍA DEL ACUÍFERO

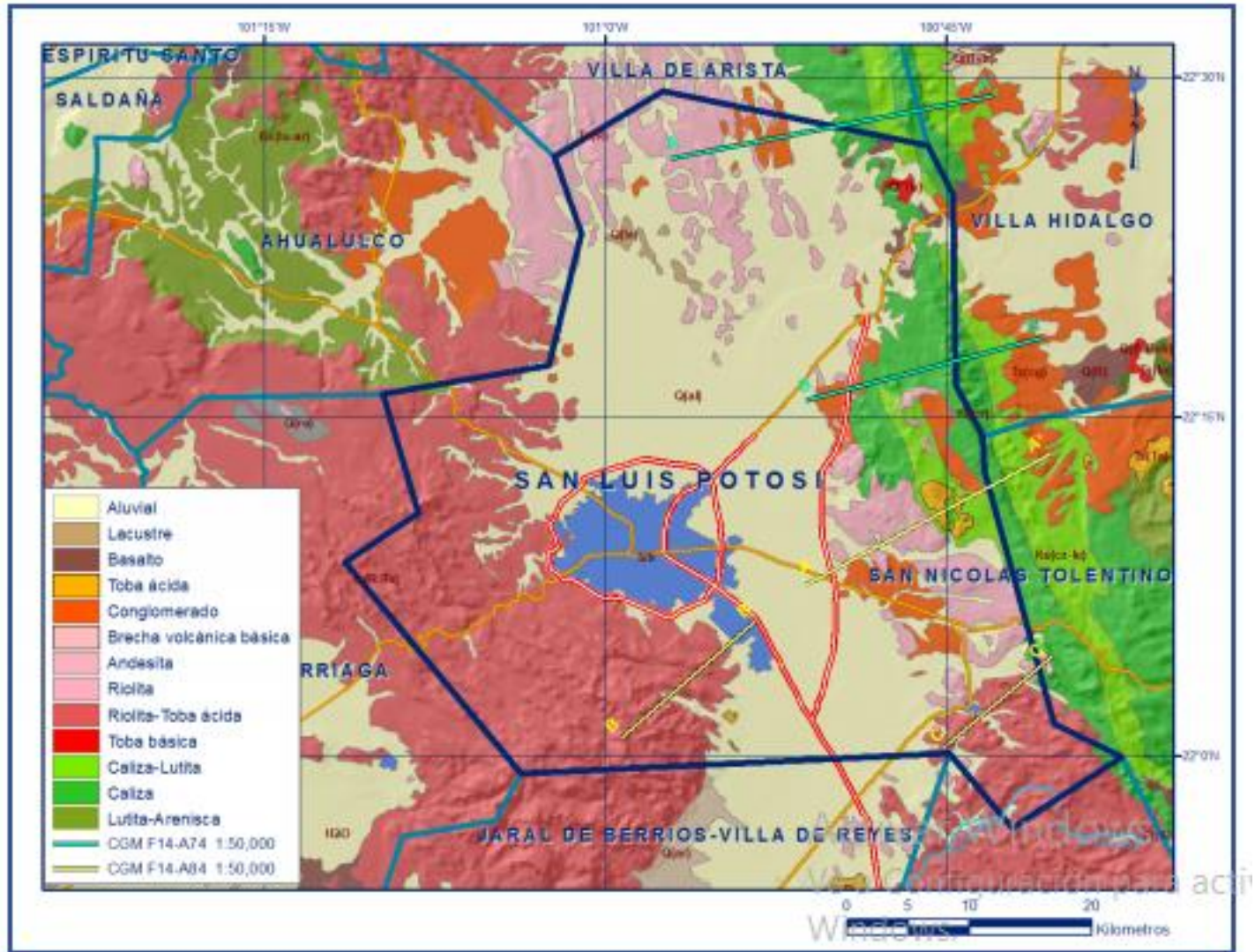


Figura 2.1 Geología general del acuífero

Basados en cortes litológicos de pozos y exploraciones geofísicas se asigna un espesor a los materiales granulares que rellenan el graben de 50 a 300 m, con la mayor potencia en el centro del valle, en tanto que el espesor del material volcánico fluctúa entre 400 y 500m.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

Geología Estructural

El valle de San Luis corresponde con una fosa tectónica limitada por fallas normales escalonadas de gran ángulo, con rumbo preferencial N-S, la cual fue rellenada por sedimentos aluviales, lacustres y material piroclástico.

GEOLOGÍA DEL SUBSUELO

Las rocas ígneas se distribuyen en la mayor parte del subsuelo del valle de San Luis Potosí.

En el valle de San Luis Potosí, el espesor del material aluvial es muy variado, coincidente con las irregularidades del relieve sepultado, alcanza espesores máximos en su porción centro oriental (420 m). Existe un solo acuífero que funciona como libre (en la parte norte) y semiconfinado (ciudad y parte sur).

HIDROGEOLOGÍA

Tipo de acuífero

En el valle de San Luis, desde los comienzos de la explotación geohidrológica, se registran 2 niveles piezométricos claramente diferenciados, infiriéndose la existencia de 2 unidades geohidrológicas cuyas características ha sido posible conocer con el desarrollo de la explotación.

La más somera se relaciona con un complejo sistema de acuíferos de reducidas dimensiones, interconectados entre sí, comportándose como libres, semiconfinados y esporádicamente, como confinados. Sin embargo, la interdependencia que muestra el conjunto, en el que se establece una dirección de flujo única y bien definida, así como otras características comunes hacen posible considerarlo como un único acuífero que abarca una superficie de unos 230 km², constituido por sedimentos granulares de origen aluvial, con un espesor variable entre 4 y 60 m; los

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

niveles piezométricos se establecen a profundidades menores a los 50 m, hallándose los más superficiales (4 m) en la zona urbana y al suroeste de la Delegación de Pozos, incrementándose hacia el este, hasta alcanzar la profundidad máxima de 40 m, en la porción noreste, la base del acuífero consiste de un estrato continuo de sedimentos con alto contenido arcilloso (acuitardo).

Este sistema recibe una recarga natural por infiltración de los escurrimientos que descienden de la sierra de San Miguelito, al oeste y suroeste, así como una fracción de la precipitación en toda su superficie. El flujo subterráneo, que se conserva hasta la actualidad sin variaciones significativas, ocurre desde las porciones oeste y suroeste, con dirección al oriente, identificándose una descarga subterránea en la porción oriental donde la capa de material arcilloso que lo limita a profundidad; esta descarga se confirma por las observaciones piezométricas en esta área, que solo registran un nivel profundo, correspondiente al acuífero inferior. En forma natural ocurre también un drenado del sistema superior, por percolación continua del agua que contiene, a través del estrato arcilloso.

Con el desarrollo de la explotación geohidrológica la recarga al sistema se ha incrementado por los aportes de retornos de riego y pérdidas en las redes de agua potable y alcantarillado. Las descargas también han aumentado por la comunicación de los dos sistemas acuíferos, a través del ademe y filtro de grava de un considerable número de pozos cuya terminación no incluye la cementación del tramo correspondiente al espesor del acuífero superior.

El sistema profundo consiste en un acuífero de composición mixta, cuya parte superior es formada por material aluvial con un espesor medio de 200 m; su porción más profunda es constituida por rocas ígneas (tobas arenosas riolíticas y latitas) que presentan una topografía sepultada muy compleja; la base de este acuífero es formada también por rocas ígneas impermeables.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

El espesor medio saturado de este acuífero se calcula, con base en cortes litológicos, de unos 300 a 350 m; funciona como acuífero libre y en algunas zonas como semiconfinado. La recarga de este acuífero ocurre por infiltración del agua de lluvia en las rocas ígneas que conforman su frontera occidental, así como la infiltración ya descrita del agua del sistema superior. En

condiciones de flujo estable el movimiento del agua subterránea era hacia el sur, prosiguiendo más allá del área que se considera como límite de su cuenca geohidrológica (a la altura del poblado La Pila) hasta la zona en la que emplaza su cauce el río Santa María (Graben de Enramadas) donde el flujo subterráneo adquiere una dirección hacia el este. Esta zona de descarga también lo era para el acuífero de Villa de Reyes en la época en la que no se había desarrollado su explotación geohidrológica.

MÉTODOS ELÉCTRICOS

El método eléctrico por corriente continua se basa en la medición de un parámetro físico característico de las rocas o suelos investigados, que es la resistividad eléctrica. La aplicación de esta metodología está orientada hacia los ambientes en que los distintos estratos pueden diferenciarse a partir del conocimiento de su resistividad, o expresados de otra forma, “Los límites geológicos que interesan al investigador deben ser al mismo tiempo los límites de separación de las rocas con diferente resistividad” (Iaakubovskii y Liajov, 1980). El propósito de los estudios de resistividad eléctrica como se mencionó anteriormente, es determinar la distribución de resistividad en los cuerpos del subsuelo. Las corrientes eléctricas generadas artificialmente, se inyectan al suelo y se mide la diferencia de potencial resultante. Los valores de resistividad medidos proporcionan información sobre la forma de las heterogeneidades del subsuelo y de sus propiedades eléctricas (Kearey y Brooks, 1991). Cuanto mayor es el contraste de resistividad entre el(los) cuerpo(s), objeto(s) de estudio y las rocas circundantes, más fácil es su detección (Banton et al., 1997).

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

La resistividad eléctrica es una propiedad física que caracteriza el comportamiento de un material ante el paso de una corriente eléctrica. Cuando circula una corriente a través de un material, este le ejerce una resistencia que depende de sus propiedades eléctricas. Si ofrece mucha resistencia al paso de la corriente estamos en presencia de un material mal conductor y si ofrece baja resistencia es un buen conductor.

Para cuerpos simples, la resistividad ρ (Ohm.m) es definida por la siguiente ecuación: $\rho = R (S L)$

Donde R es la resistencia eléctrica (Ohm), L la longitud del cuerpo (m) y S es la sección cruzada del área (m^2) La resistencia eléctrica del cuerpo R (Ohm), es definido por la ley de Ohm dada por la siguiente formula: $R = V I$

Donde " V " es el voltaje (Volts) e " I " es la intensidad de corriente (Amper).

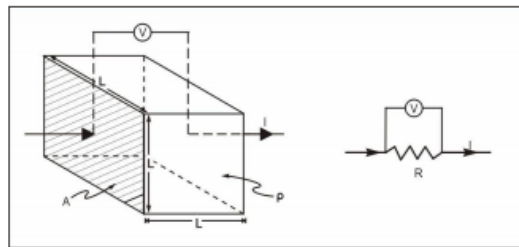


Figura 2.2 Ley de ohm

La caída de potencial V entre 2 puntos por los que circula una corriente eléctrica de intensidad I , es proporcional a esta y a la resistencia R que ofrece el medio al flujo de la corriente (Auge, 2008).

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

RESISTIVIDAD APARENTE

El terreno sobre el cual se realizan las mediciones eléctricas puede ser definido como un semi-espacio infinito, considerando el aire como aislante. Si un semi-espacio infinito es homogéneo e isótropo desde el punto de vista eléctrico, éste será caracterizado por un solo valor de resistividad medido desde la superficie. Si el medio es heterogéneo, el valor de resistividad medido en superficie incluye la contribución de todos los materiales, con sus respectivas resistividades, por donde circula la corriente. Este valor, medido en superficie, se denomina resistividad aparente.

MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

El método de resistividad eléctrica mide la diferencia de potencial en puntos sobre la superficie de la tierra que es producida directamente por flujos de corriente eléctrica en el subsuelo. Esto conduce a la determinación de distribución de resistividad en el subsuelo y en una interpretación de los materiales de la tierra. (Principles of Applied Geophysics, 1996).

PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LAS ROCAS

Los métodos geoelectrónicos se basan en el análisis de la respuesta que el suelo ofrece a un estímulo eléctrico inducido artificialmente o de origen natural, es por ello que después de aplicar dichos métodos se pueden conocer las propiedades eléctricas de las rocas y de los minerales que componen el medio de estudio, lo cual es necesario para hacer una buena interpretación geológica.

La resistividad eléctrica (Ohm.m) de un material describe la dificultad que encuentra la corriente a su paso por él. De igual manera se puede definir la conductividad (σ) como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica al atravesar el material (Orellana, 1982). La literatura le ha asignado valores de resistividad de los diferentes tipos de rocas Ohm.m.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

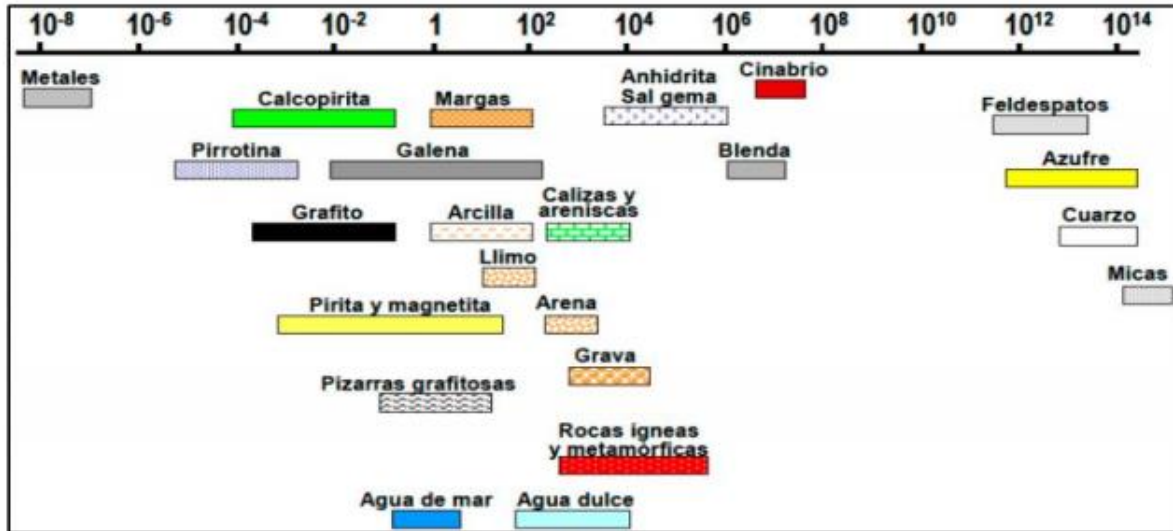


Figura 2.3 Muestra la resistividad promedio que manejan los diferentes tipos de materiales del subsuelo (Tomada de López-Hidalgo, 2004).

La resistividad eléctrica de una roca no depende solo de su litología, también depende de las características físicas que presenta la roca del subsuelo como su porosidad, contenido de agua, estructura, forma de las partículas, orientación, distribución de tamaño de las partículas, capacidad de intercambio catiónico y composición de cationes (Friedman 2005).

Son pocos los componentes geológicos saturados o secos que presentan baja resistividad o alta conductividad entre los que pueden mencionarse a minerales metálicos como calcopirita, pirita, magnetita, galena, pirrotina, etc. El grafito también presenta elevada conductividad eléctrica, pero la mayoría de los minerales no metálicos, al igual que las rocas tienen resistividades significativamente mayores en general entre 2 y 6 órdenes de magnitud superiores (tomado de Auge, 2008).

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL

El Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) es una de las técnicas tradicionales más utilizadas en la prospección geofísica, cuyo objetivo de dicho método es la investigación de la distribución vertical de la resistividad eléctrica en el medio de estudio. Es aplicado en diferentes disciplinas geológicas; como la minería, la exploración petrolera, pero fundamentalmente en la hidrogeología (Orellana, 1982).

El método eléctrico SEV es una aplicación práctica de la ley de Ohm que en general consta de cuatro electrodos, dos de ellos (A y B) por los que se inyecta una corriente eléctrica " I " al terreno, y los otros dos (M y N), que miden la diferencia de potencial " ΔV " creada por los electrodos A y B. (Orellana, 1980). Los electrodos A y B están unidos por medio de cables aislados a un generador eléctrico, mientras que los electrodos M y N se conectan a un equipo receptor capaz de medir la diferencia de potencial.

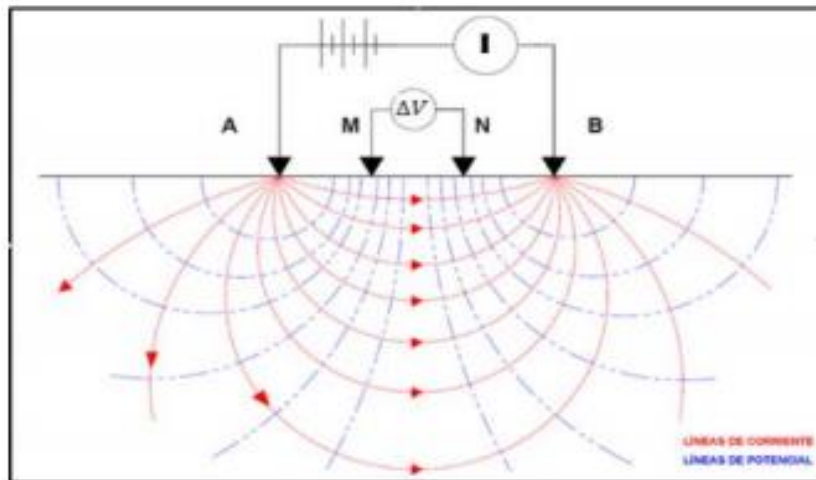


Figura 2.4. Metodología del sondeo eléctrico vertical (SEV) (Tomada de Rodríguez-Rodríguez, 2016).

La diferencia de potencial ΔV se mide entre los electrodos M y N y es dada por la

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

ecuación: $\Delta V = \rho I 2\pi \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right]$

Donde AM, BM, AN y BN representan la distancia geoelectrica entre los electrodos A y M, B y M, A y N, B y N respectivamente. La resistividad eléctrica es calculada usando: $\rho = \left[2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \frac{\Delta V}{I} = K \frac{\Delta V}{I}$

Donde K es el coeficiente geométrico que depende de las distancias mutuas entre los cuatro electrodos A, B, M y N.

CONFIGURACIÓN WENNER

En la configuración Wenner se utilizan cuatro electrodos alineados y simétricos con respecto al centro distribuidos de la siguiente manera: A, M, N y B haciendo que la distancia entre M – N sea igual en A – M y la misma entre N – B. La profundidad de estudio se incrementa aumentando la distancia mutua entre todos los electrodos (Mussett and Khan, 2000).

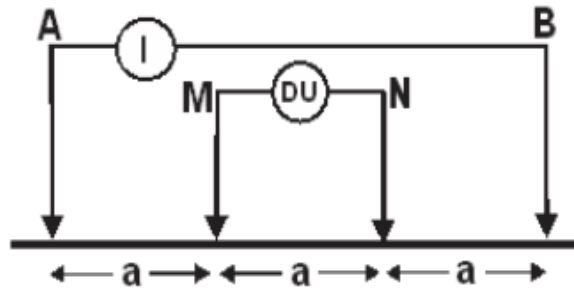


Figura 2.5 Configuración eléctrica del arreglo tipo Wenner

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

CONFIGURACIÓN SCHLUMBERGER

La configuración Schlumberger es un arreglo tetraelectródico simétrico igual que el Wenner, pero la distancia entre los electrodos de corriente A y B es mucho mayor (al menos 5 veces) que, entre los electrodos de potencial M y N, por lo que manteniendo invariable la separación M – N se aumenta la distancia entre A y B para incrementar la profundidad de estudio (Orellana, 1982).

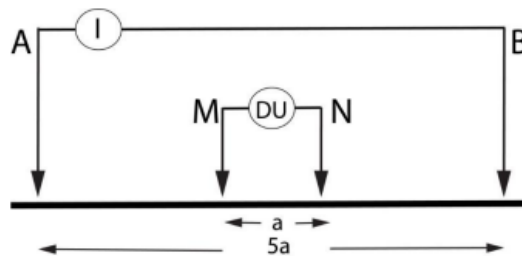


Figura 2.6 Configuración geométrica del arreglo Schlumberger

CONFIGURACIÓN DIPOLO – DIPOLO

En el arreglo Dipolo – Dipolo la distribución de los electrodos es M, N, A y B. En este arreglo, una mayor profundidad de la penetración de la corriente se obtiene aumentando la distancia entre los centros de los dipolos A – B y M – N (Mussett and Khan, 2000).

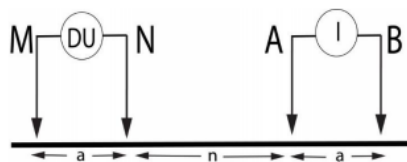


Figura 2.7 Configuración geométrica del arreglo Dipolo – Dipolo

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

La combinación arreglo - espaciamiento muestra diferentes detalles en la observación del perfil que pueden ser más o menos relevantes de acuerdo al objetivo del estudio y a las particularidades que se pretenden definir (Weinzettel y Dietrich, 2009), donde la diferencia de potencial eléctrico en la vecindad del flujo de corriente, así como también la corriente inyectada hacen posible determinar la resistividad aparente del subsuelo (Telford et al., 1990)

CAPITULO III

DESARROLLO

CAPITULO III. DESARROLLO

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO SYSCAL R2

La unidad Syscal R2 es una unidad de alta potencia diseñado para estudios de resistividad eléctrica aplicados para exploración de agua subterráneas, ingeniería civil, investigación de estructuras geológicas y exploración de minerales.

Potente.

Usa una fuente externa DC para energizar el subsuelo (voltaje de salida máximo 800V):

Convertidor suministrado por una batería de 12V - 250W DC/DC.

Convertidor suministrado por un generador de motor estándar - 1200W AC/DC.

Automático

Controlado por un microprocesador para:

Compensación automática auto-potencial.

Ganancias automáticas para mediciones de corriente y voltaje.

Apilamiento automático para mejorar la relación señal-ruido y para optimizar el tiempo de adquisición.

Calcula y muestra la resistividad aparente automáticamente para los arreglos de electrodos más comunes (Schlumberger y Wenner, Gradiente, Dipolo-Dipolo, etc).



Imagen 3 equipo SYSCAL R2

CAPITULO III. DESARROLLO

METODOLOGÍA DE LOS SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES

Se realizaron un total de 10 sondeos eléctricos verticales en la modalidad Schlumberger, cada uno tiene hasta 27 mediciones, con un espaciamiento máximo entre electrodos de Corriente AB/2 de 1000 metros y de espaciamiento entre electrodos de Potencial MN/2 de 100 metros; para cada sondeo se realizó hasta un máximo de 5 empalmes; en cada estación se obtuvo una lectura de resistividad aparente en [Ohm-m].



Imagen 3.1 Trabajo de campo con el equipo SYSCAL R2

CAPITULO III. DESARROLLO

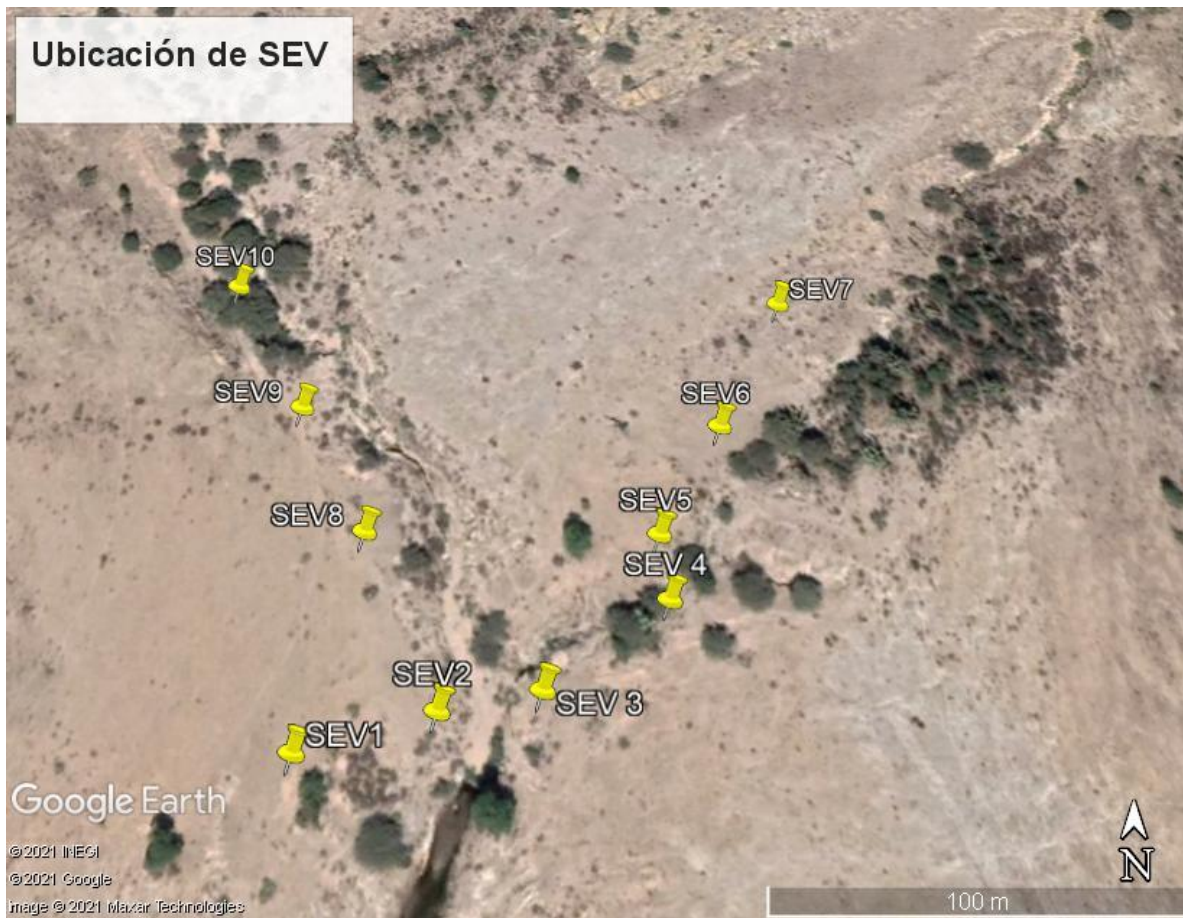


Imagen 3.2 Ubicación en Google Earth Pro de los sondeos eléctricos verticales

CAPITULO III. DESARROLLO

SEV	X	Y	Altitud(m)	AB/2(m)
1	101°08'51.9"	22°06'15.5"	2183	1000
2	101°08'50.6"	22°06'15.8"	2180	1000
3	101°08'49.7"	22°06'16.0"	2183	1000
4	101°08'48.3"	22°06'16.7"	2184	1000
5	101°08'49"	22°06'17.8"	2185	1000
6	101°08'47.9"	22°06'18.4"	2188	1000
7	101°08'47.2"	22°06'19.8"	2192	1000
8	101°08'51.4"	22°06'17.3"	2189	1000
9	101°08'52.2"	22°06'18.6"	2190	1000
10	101°08'53.1"	22°06'20"	2190	1000

Tabla 3.1 Especificaciones de los sondeos eléctricos verticales

Los datos obtenidos en campo, se metieron a tablas de Excel para de ahí pasarlos al software IPY2WIN y realizar la inversión.

CAPITULO III. DESARROLLO

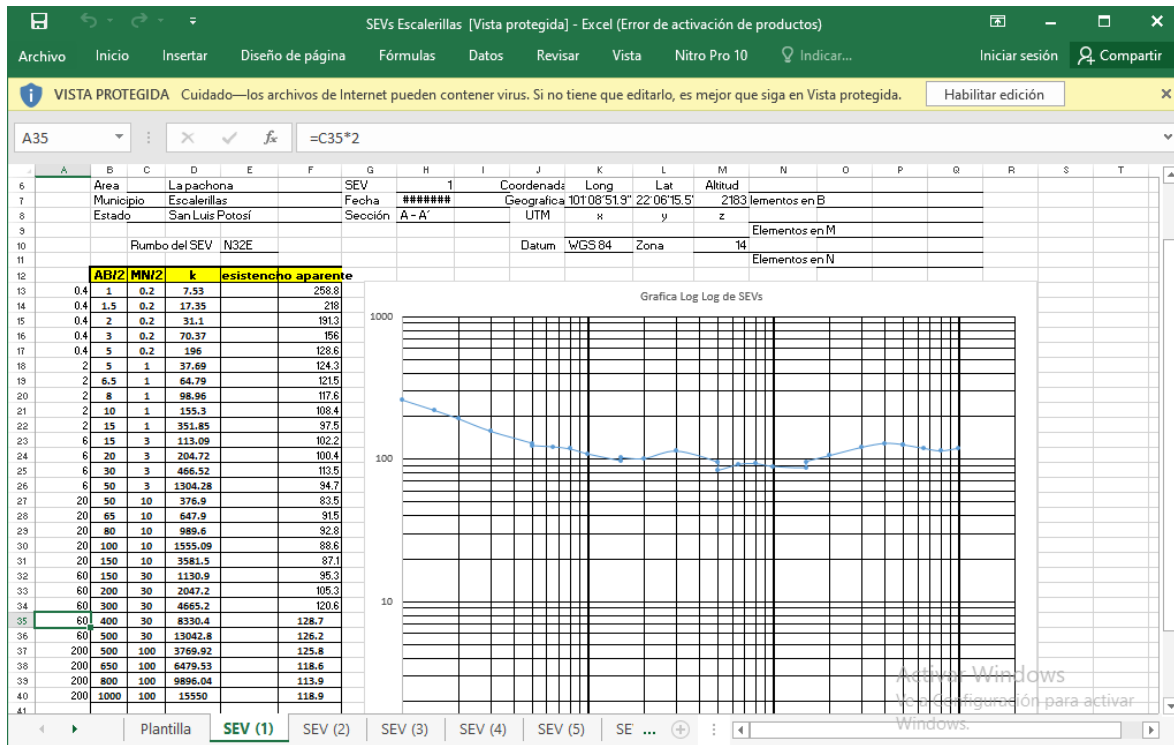


Imagen 3.3 Datos del SEV en tablas de excel

Despues de excel se pasaron al software IPY2WIN, la abertura AB/2, MN/2 y la resistividad aparente y se obtuvo la siguiente curva.

CAPITULO III. DESARROLLO

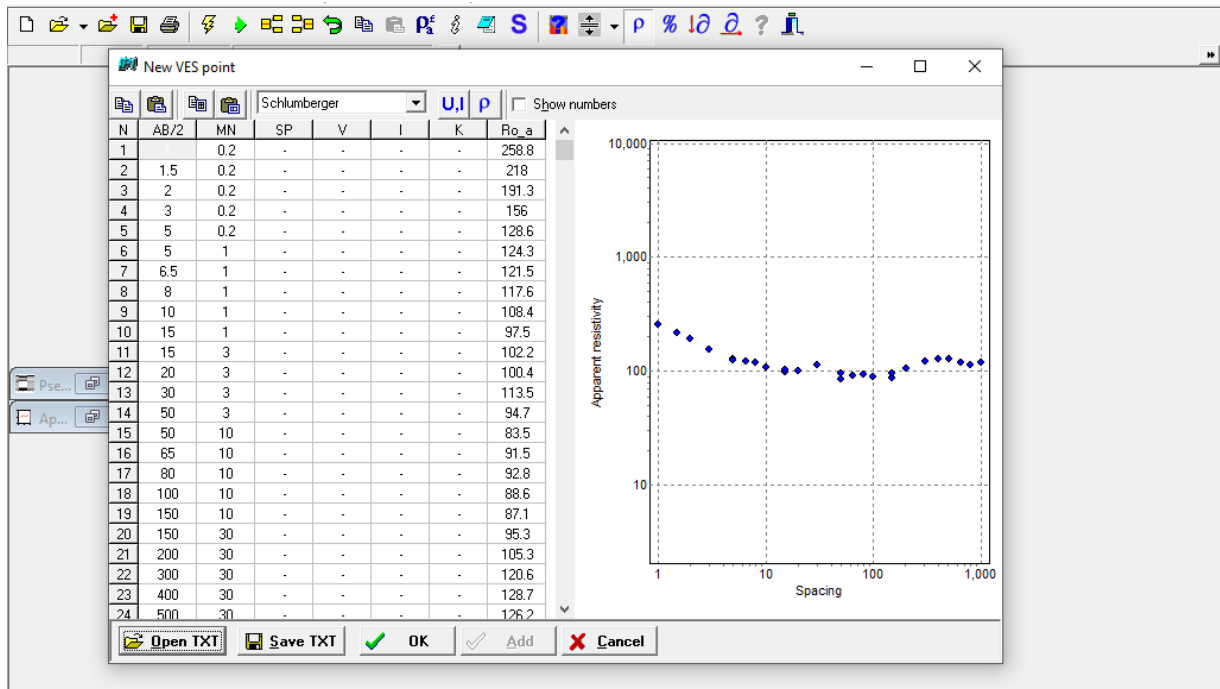


Imagen 3.4 SEV 1 en software IPI2WIN

Posteriormente cada uno de los sondeos se procesó en IPI2win, los sondeos se corrigieron manualmente, aunque también pueden realizarse de manera automática en el programa.

CAPITULO III. DESARROLLO

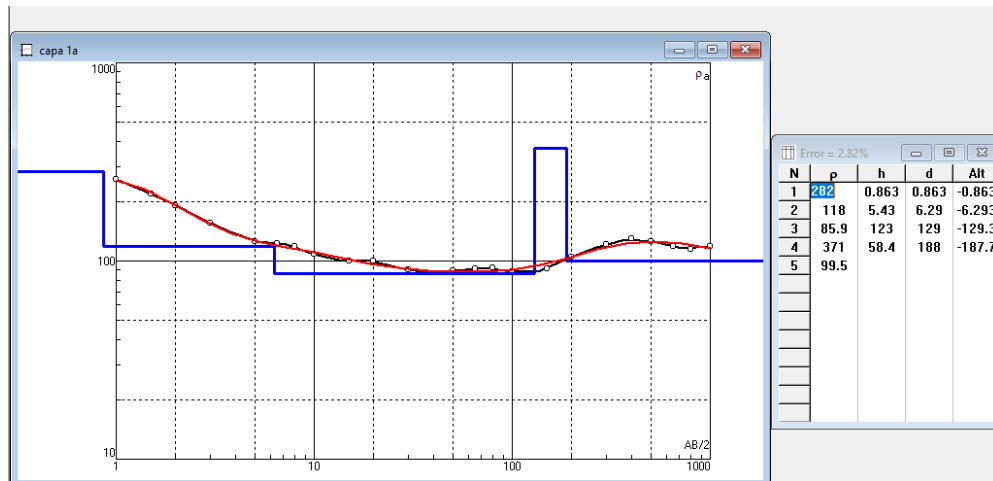


Imagen 3.5 ajuste de las capas en el IPI2WIN

Para realizar las secciones se deben de poner los SEV que van a ir en la sección, también es necesario poner las distancias que están uno de otro, así como poner la altura sobre el nivel del mar de cada uno.

The screenshot shows the 'Information' dialog box in the IPI2WIN software. It contains the following information:

- Profile comments:** A text area for entering comments.
- Number of points - 3**
- Array type:** A dropdown menu set to '"S" - Schlumberger'.
- Coordinates' table:** A table with the following data:

N	VES names	X	Z
1	capa 1a	0	2183
2	capa 2a	36	2180
3	capa 3a1	100	2183
- Array type:** Radio buttons for 'Schlumberger' (selected), 'Pole-dipole', and 'Express (AB=2AOmax)'.
- Corrected curve:** A checkbox that is currently unchecked.
- Buttons:** OK, New, Cancel, and Help.

Imagen 3.6 Distancias y altura sobre el nivel del mar de cada sondeo

CAPITULO III. DESARROLLO

Ya que están todos los SEV tenemos como resultado una sección como la de la imagen (3.7) en la cual observamos las distancias de cada sondeo, la resistividad de cada material y la profundidad a la que se encuentra.

Fueron generadas 3 pseudo secciones, Las pseudo secciones se realizaron a partir del ajuste de las capas y con base en la ubicación e información de los sondeos como lo es su altura sobre el nivel del mar y la distancia que tiene un sondeo del otro.

La pseudo sección1, fue generada a partir de los Sondeos Eléctricos Verticales 1, 2 y 3 como se muestra en la figura (4.21)

La Pseudo sección 2, fue generada a partir de los Sondeos Eléctricos Verticales 3,4, 5, 6 y 7 como se muestra en la siguiente figura (4.22)

La Pseudo sección3, fue generada a partir de los Sondeos Eléctricos Verticales 2, 8, 9 y 10 como se muestra en la figura (4.22)

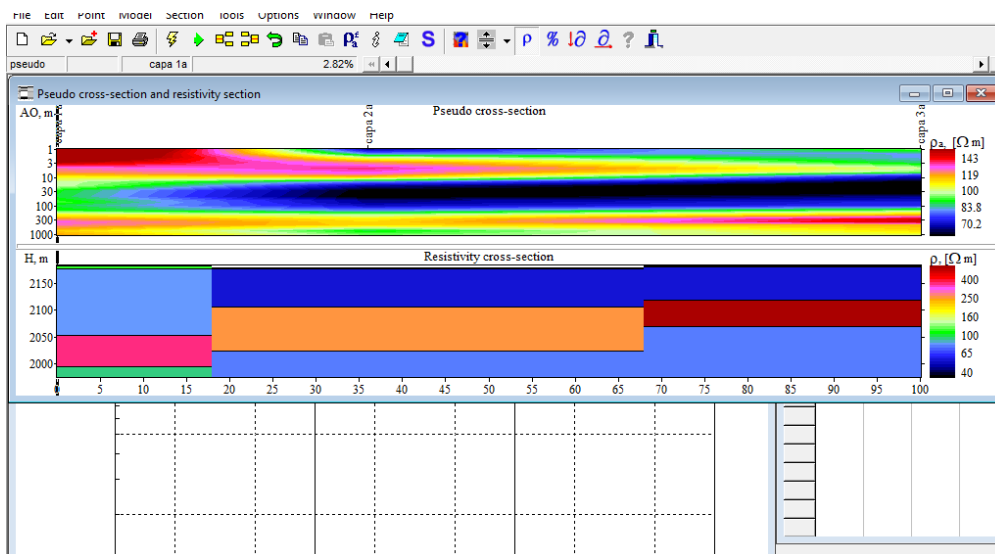


Imagen 3.7 pseudo sección

CAPITULO IV

RESULTADOS

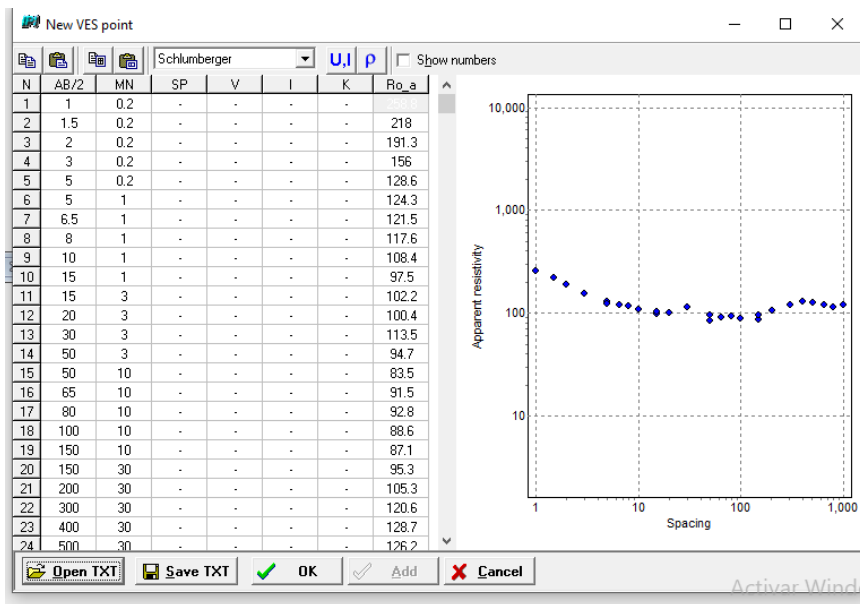


Figura 4 Sondeo Eléctrico Vertical 1

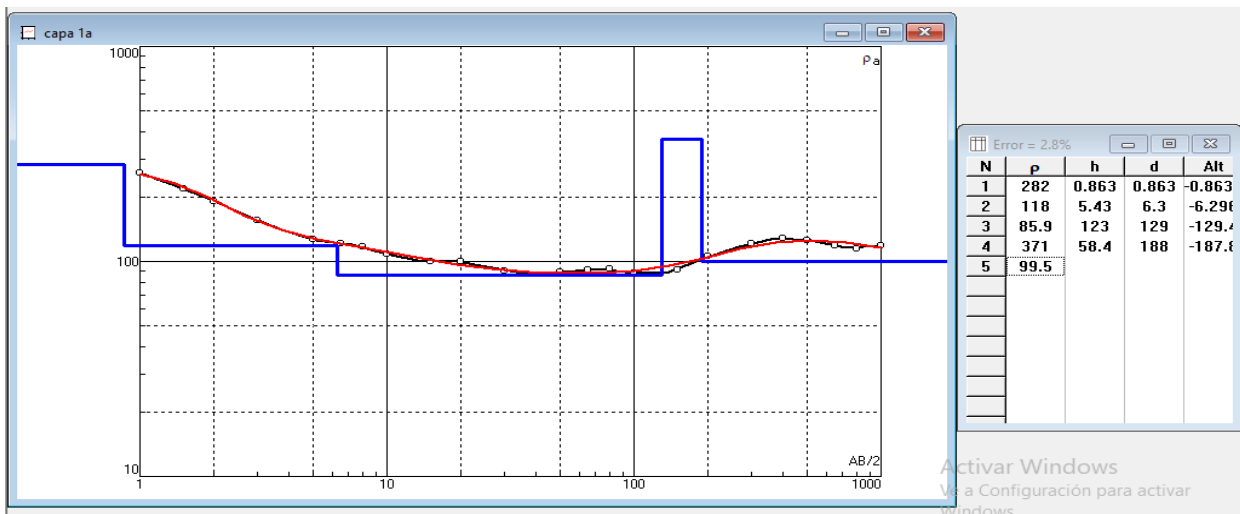


Figura 4.1 SEV 1 curva QHK

Numero de capa	Resistividad	Tipo de roca
1	282	Areniscas arcillosas
2	118	Ignimbrita
3	85.9	Toba volcánica
4	371	Caliza
5	99.5	Arcillas

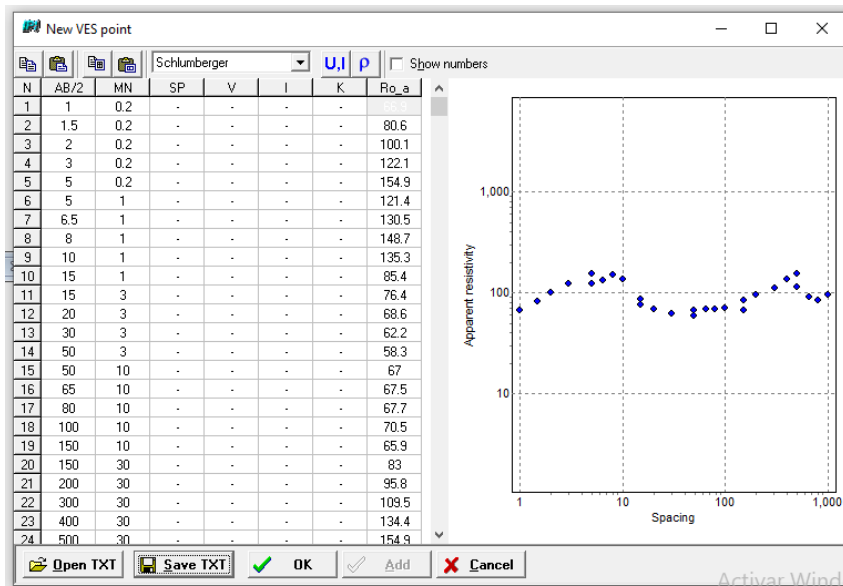


Figura 4.2 Sondeo Eléctrico Vertical 2

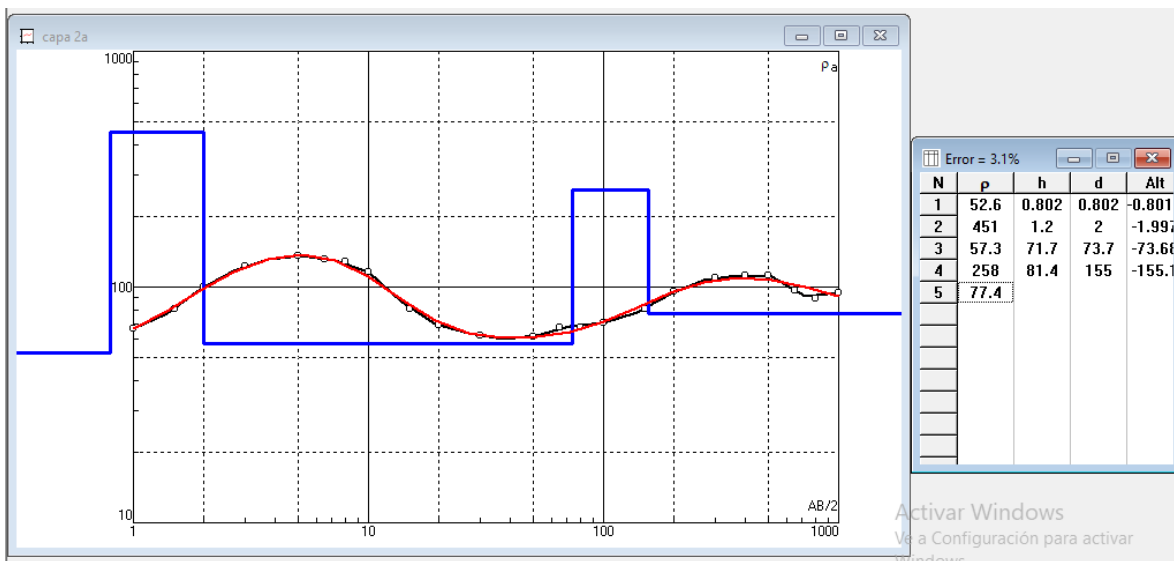


Figura 4.3 SEV 2 curva KHK

Numero de capa	Resistividad	Tipo de roca
1	52.6	Toba Riolítica
2	451	Lavas
3	57.3	Arenisca
4	258	Arenas y gravas con agua dulce
5	77.4	Toba Riolítica

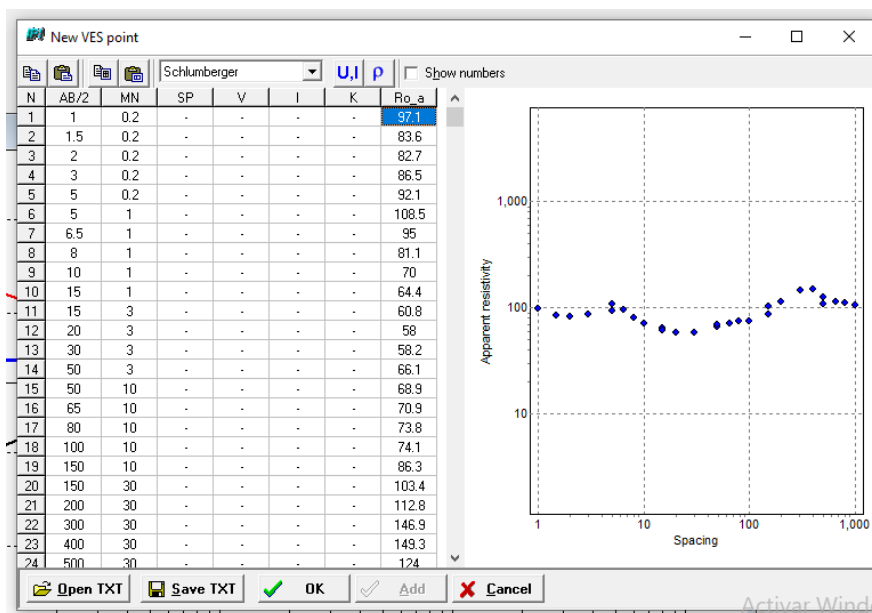


Figura 4.4 Sondeo Eléctrico Vertical 3

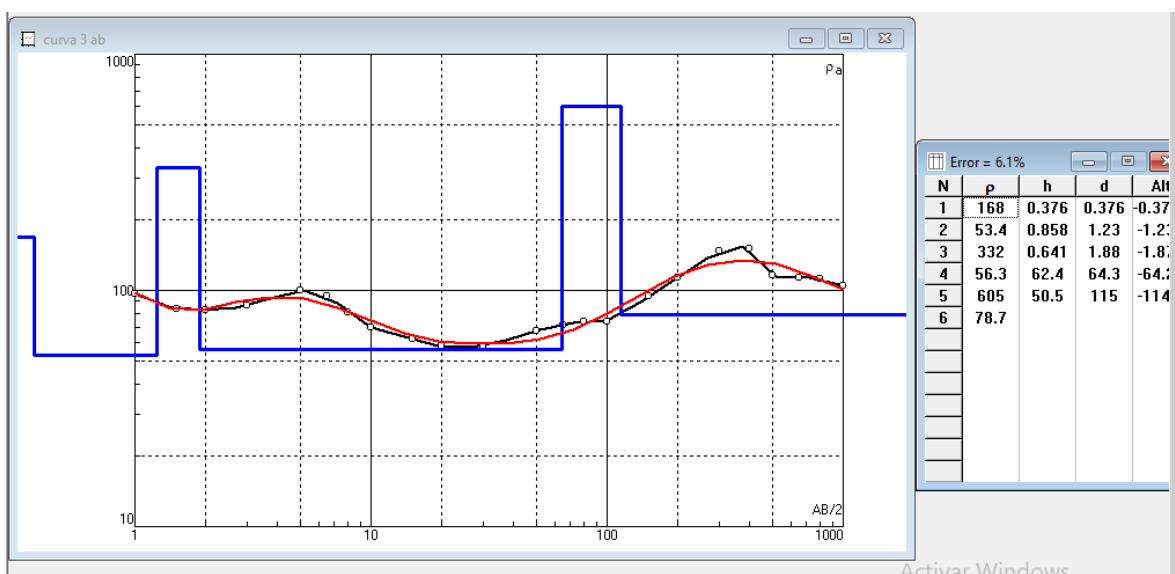


Figura 4.5 SEV 3 curva HKHK

Numero de capa	Resistividad	Tipo de roca
1	168	Arenas arcillosas
2	53.4	Toba Riolítica
3	332	Calizas
4	56.3	Arenisca
5	605	Basalto
6	78.7	Arcillas

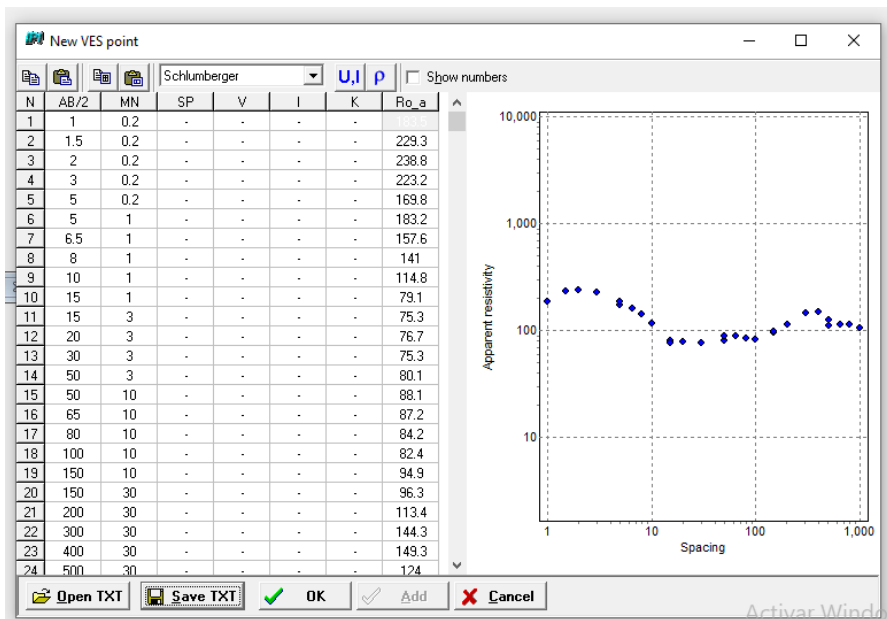


Figura 4.6 Sondeo Eléctrico Vertical 4

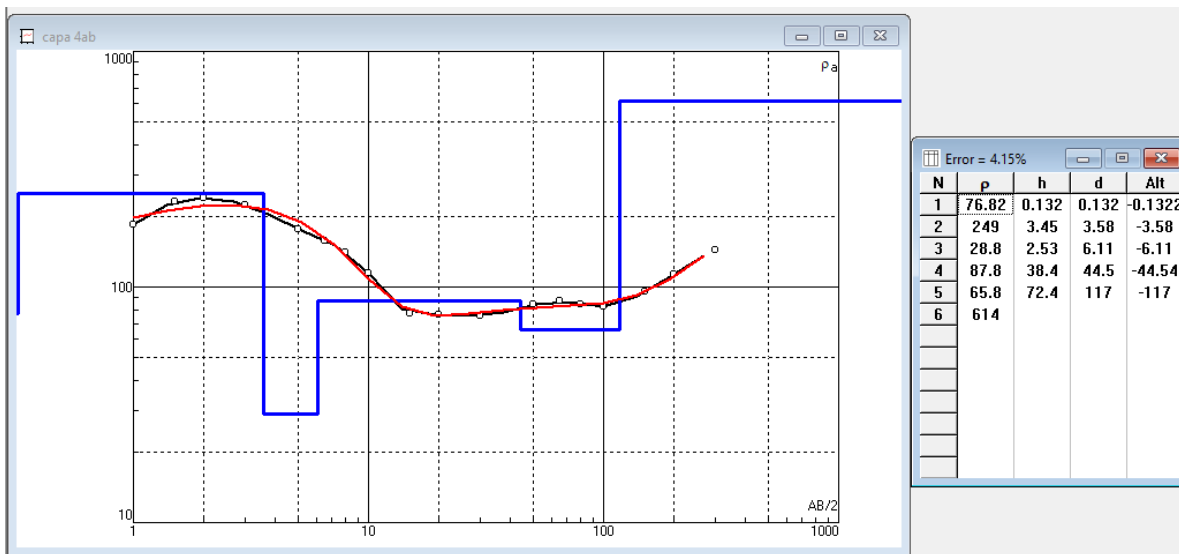


Figura 4.7 SEV 4 capas KHKH

Numero de capa	Resistividad	Tipo de roca
1	76.80	Toba Riolítica
2	249	Arenas arcillosas
3	28.8	Riolita
4	87.8	Tovas volcánicas
5	65.8	Arenisca
6	614	Calizas

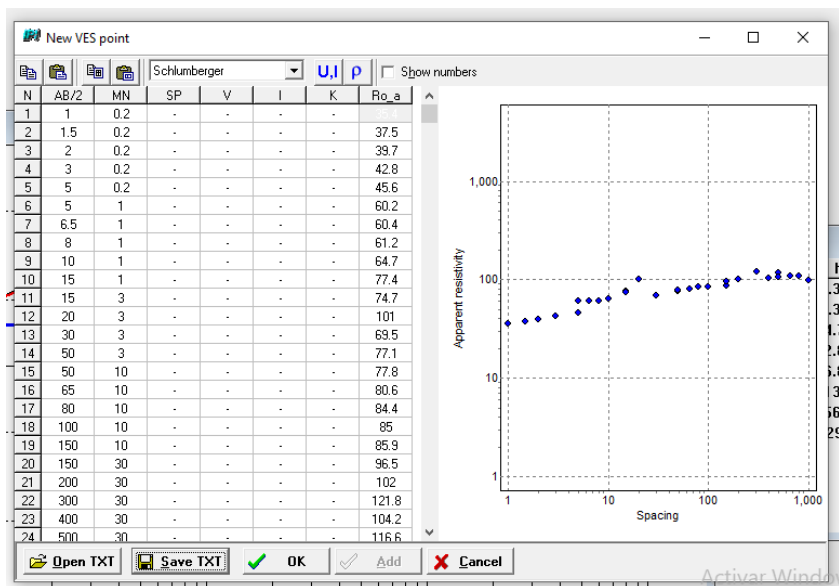


Figura 4.8 Sondeo Eléctrico Vertical 5

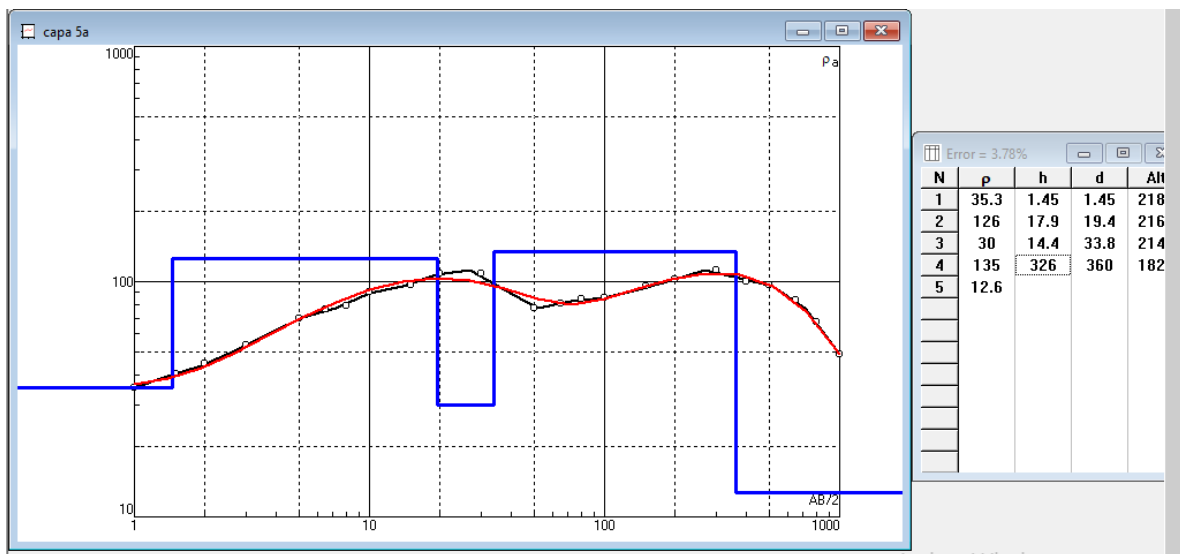


Figura 4.9 SEV 5 curva KHH

Numero de capa	Resistividad	Tipo de roca
1	35.3	Riolita
2	126	Areniscas arcillosas
3	30	Toba Riolítica
4	135	Caliza
5	12.6	Limo

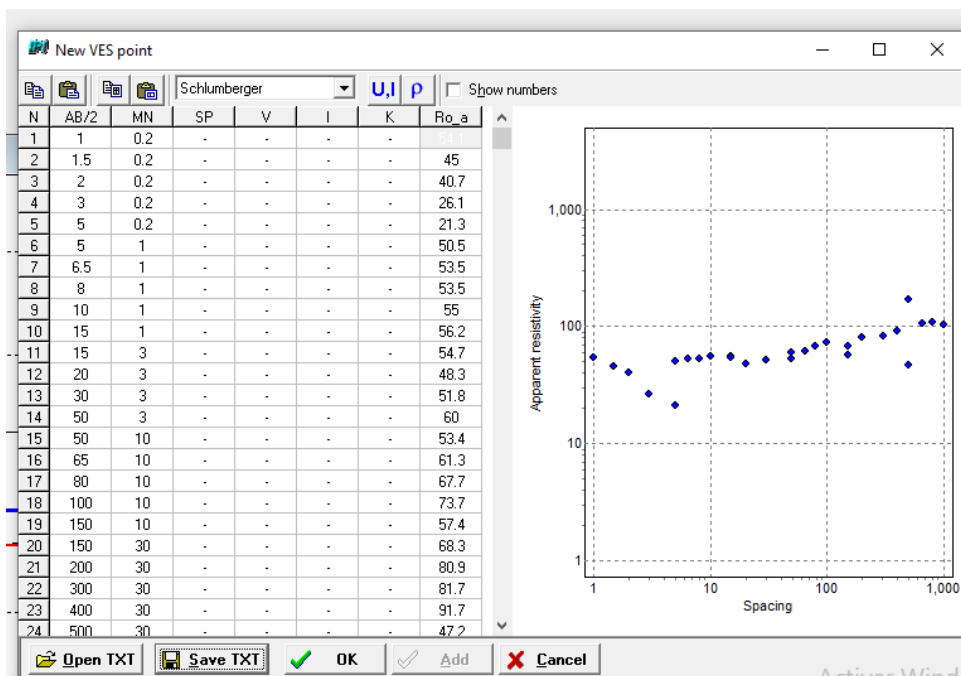


Figura 4.10 Sondeo Eléctrico Vertical 6

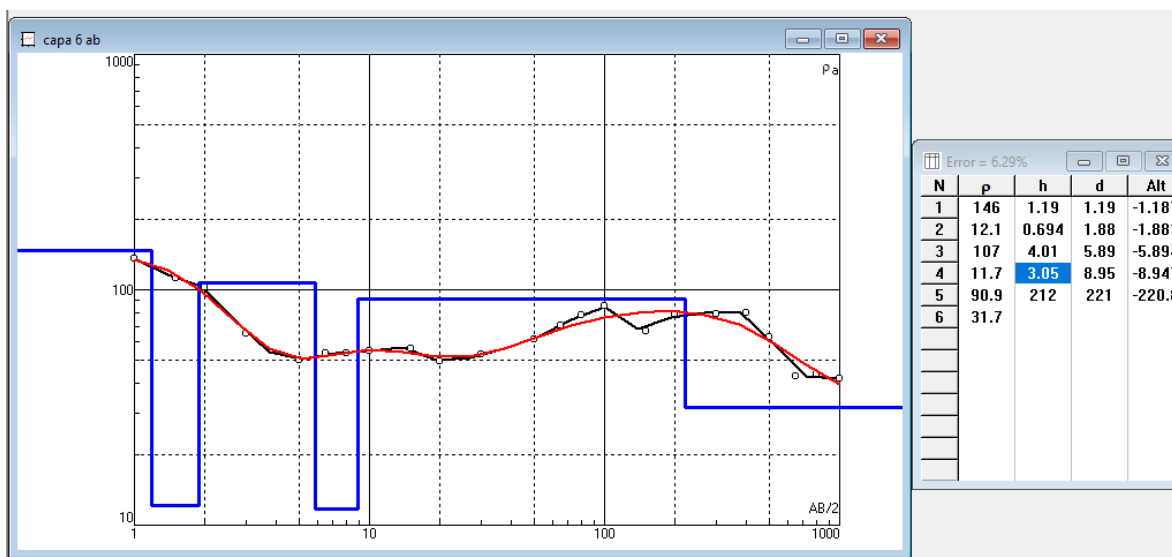


Figura 4.11 SEV 6 curva HKHK

Numero de capa	Resistividad	Tipo de roca
1	146	Areniscas arcillosas
2	12.1	Arena
3	107	Ignimbrita
4	11.7	Arena
5	90.9	Tobas volcánicas
6	31.7	Riolita

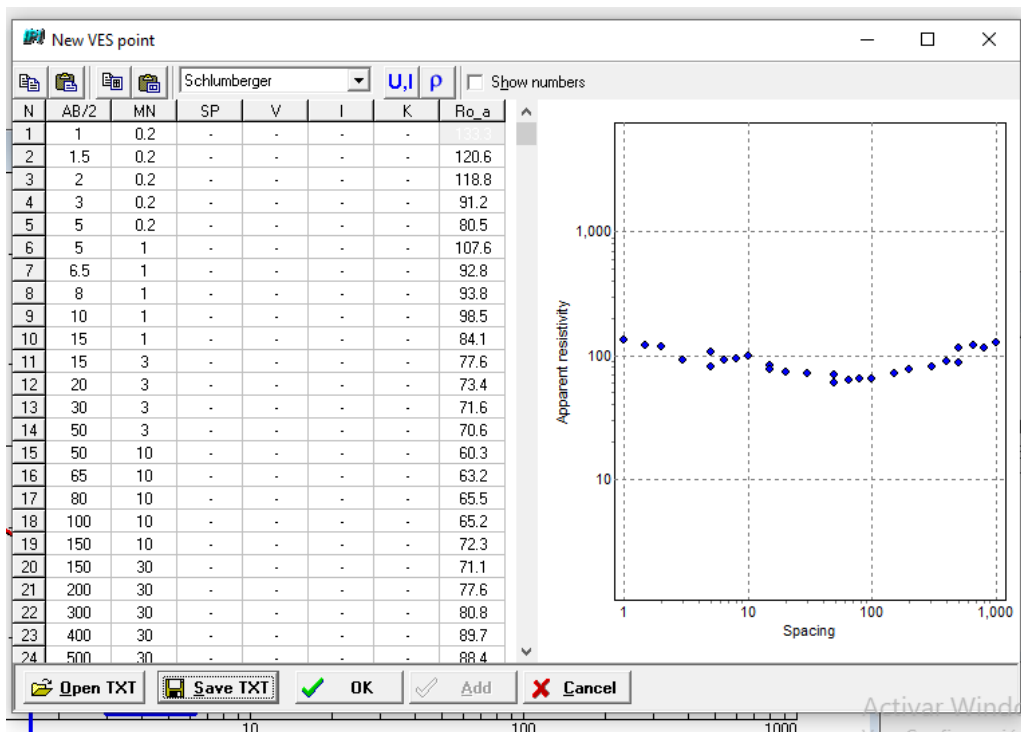


Figura 4.12 Sondeo Eléctrico Vertical 7

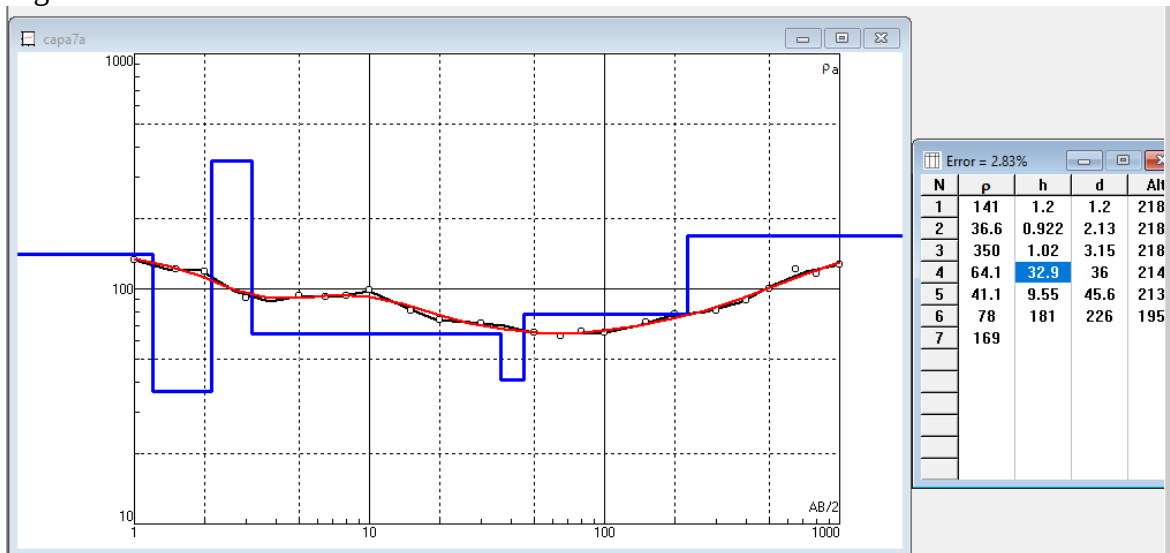


Figura 4.13 SEV 7 curva HKQHA

Numero de capa	Resistividad	Tipo de roca
1	141	Limos
2	36.6	Conglomerado
3	350	Caliza
4	64.1	Agua subterránea
5	41.1	Riolita
6	78	Agua subterránea
7	169	Basalto

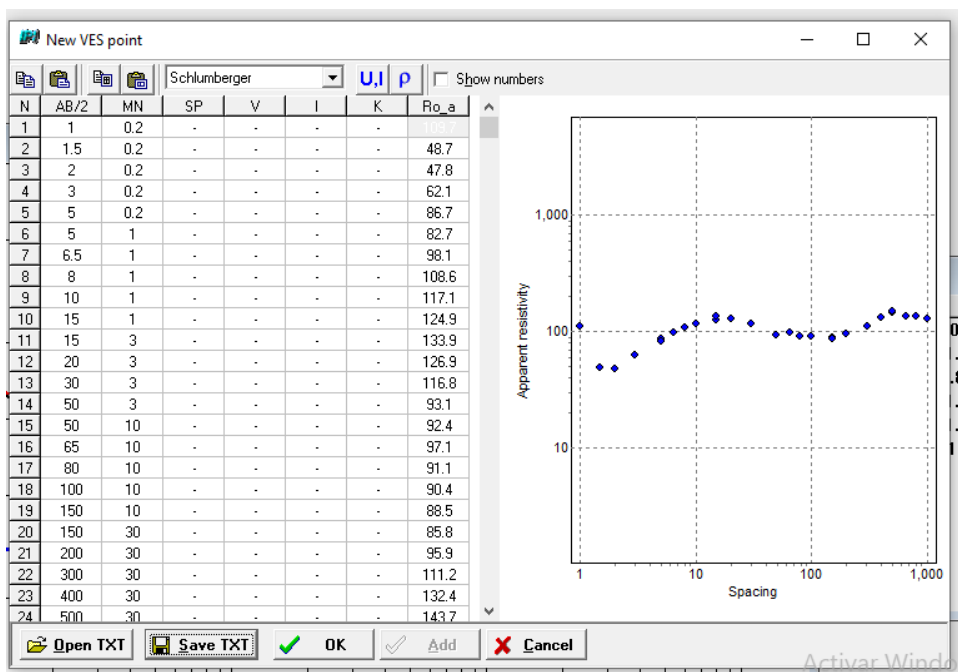


Figura 4.14 Sondeo Eléctrico Vertical 8

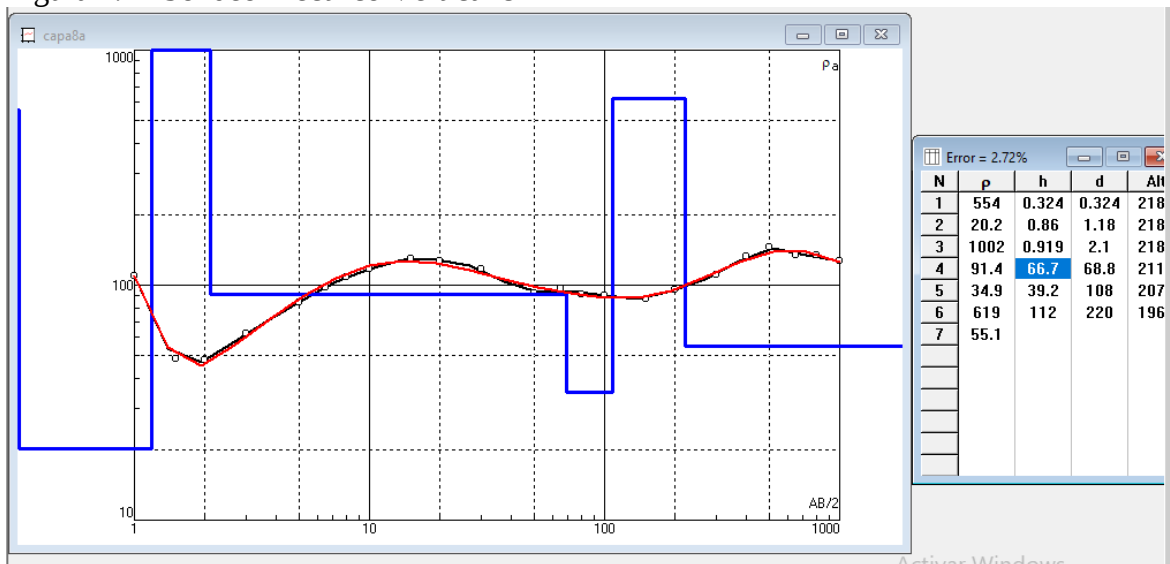


Figura 4.15 SEV 8 curva HKHHK

Numero de capa	Resistividad	Tipo de roca
1	554	Caliza
2	20.2	Limo
3	1002	Arenas y gravas secas
4	91.4	Ignimbrita
5	34.9	Conglomerado
6	619	Areniscas cuarcitas
7	55.1	Toba riolítica

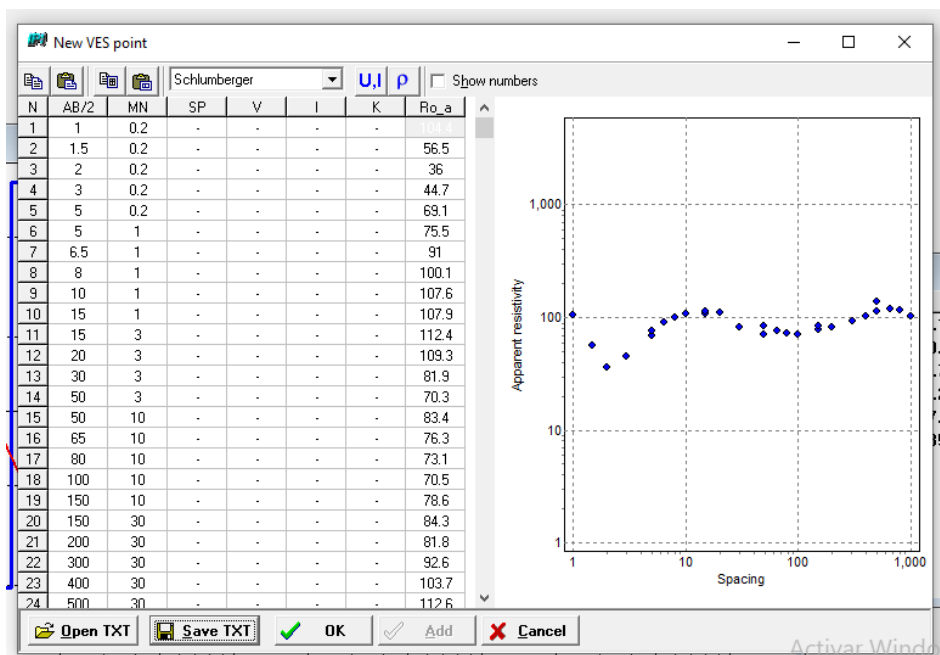


Figura 4.16 Sondeo Eléctrico Vertical 9

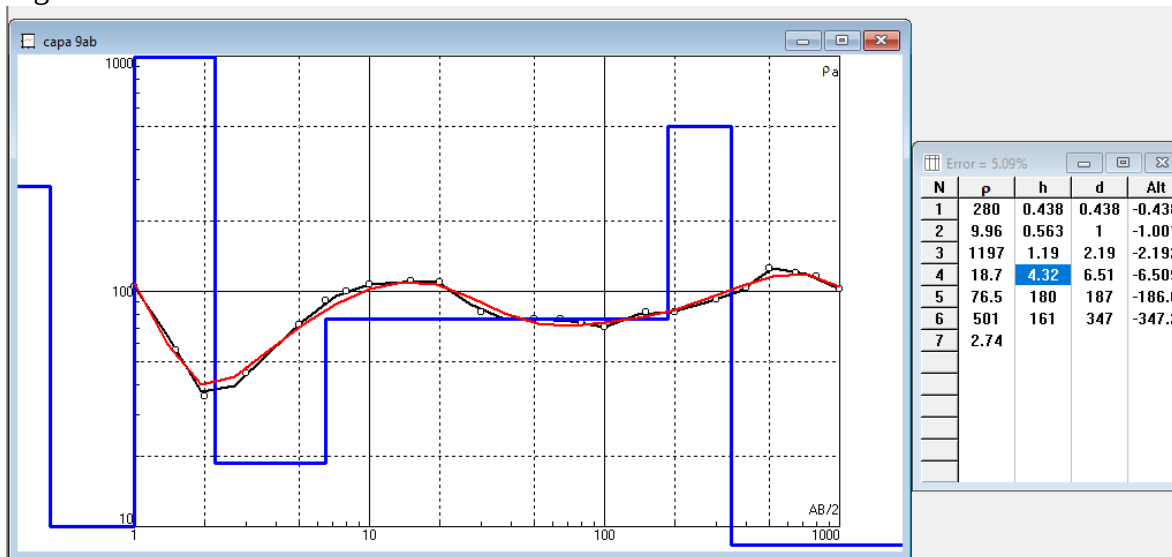


Figura 4.17 SEV 9 curva HKHAK

Numero de capa	Resistividad	Tipo de roca
1	280	Arenas arcillosas
2	9.96	Aluvión
3	1197	Arenas con gravas secas
4	18.7	Limo
5	76.5	Toba Riolítica
6	501	Caliza
7	2.74	Arcillas

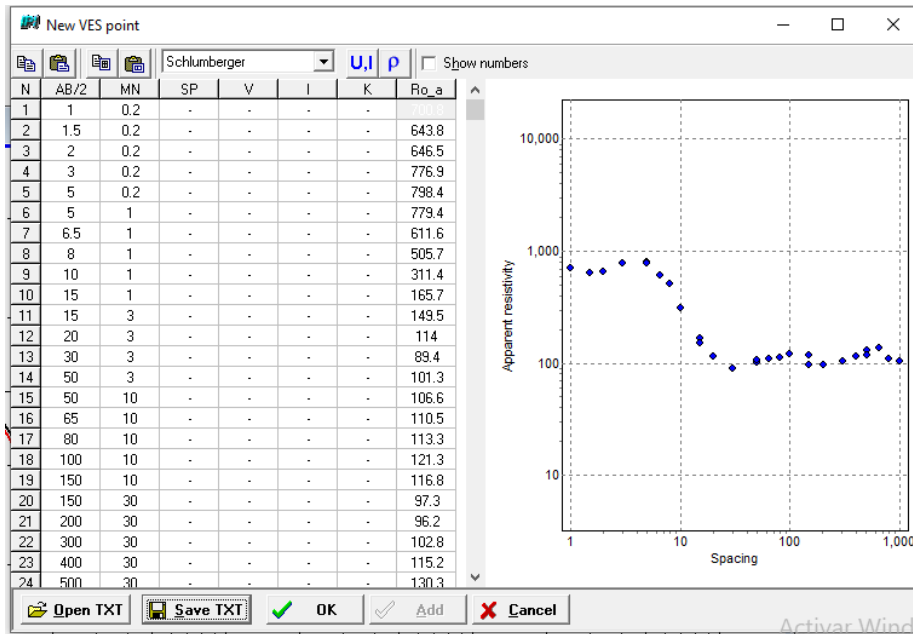


Figura 4.18 Sondeo Eléctrico Vertical 10

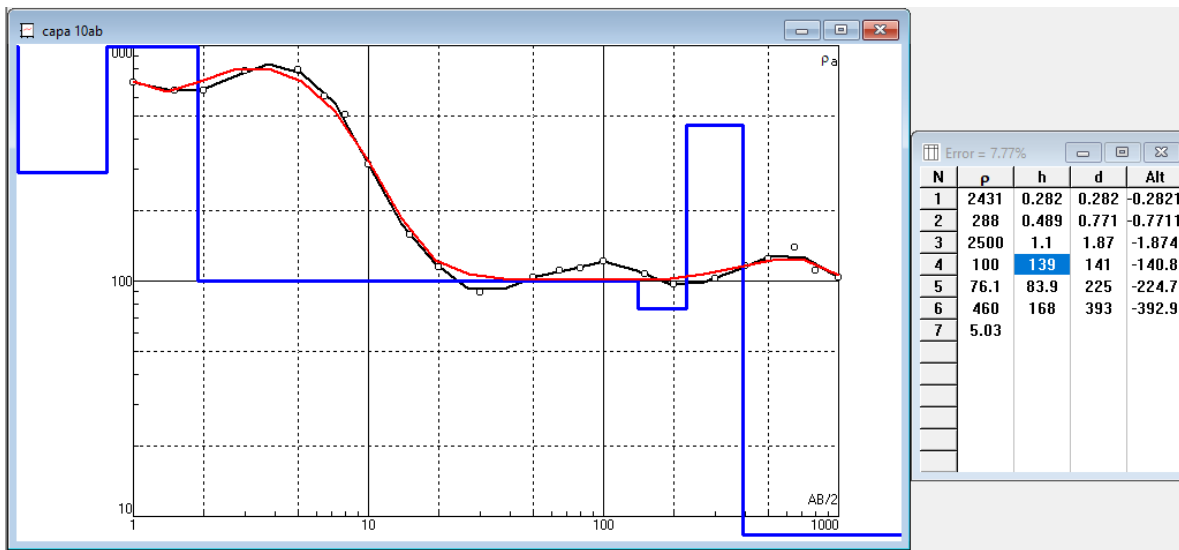


Figura 4.19 SEV 10 curva HKQHK

Numero de capa	Resistividad	Tipo de roca
1	2431	Lavas
2	288	Areniscas arcillosas
3	2500	Calizas
4	100	Ignimbrita
5	76.1	Toba riolítica
6	460	Arenas y gravas con agua dulce
7	5.03	Aluvión

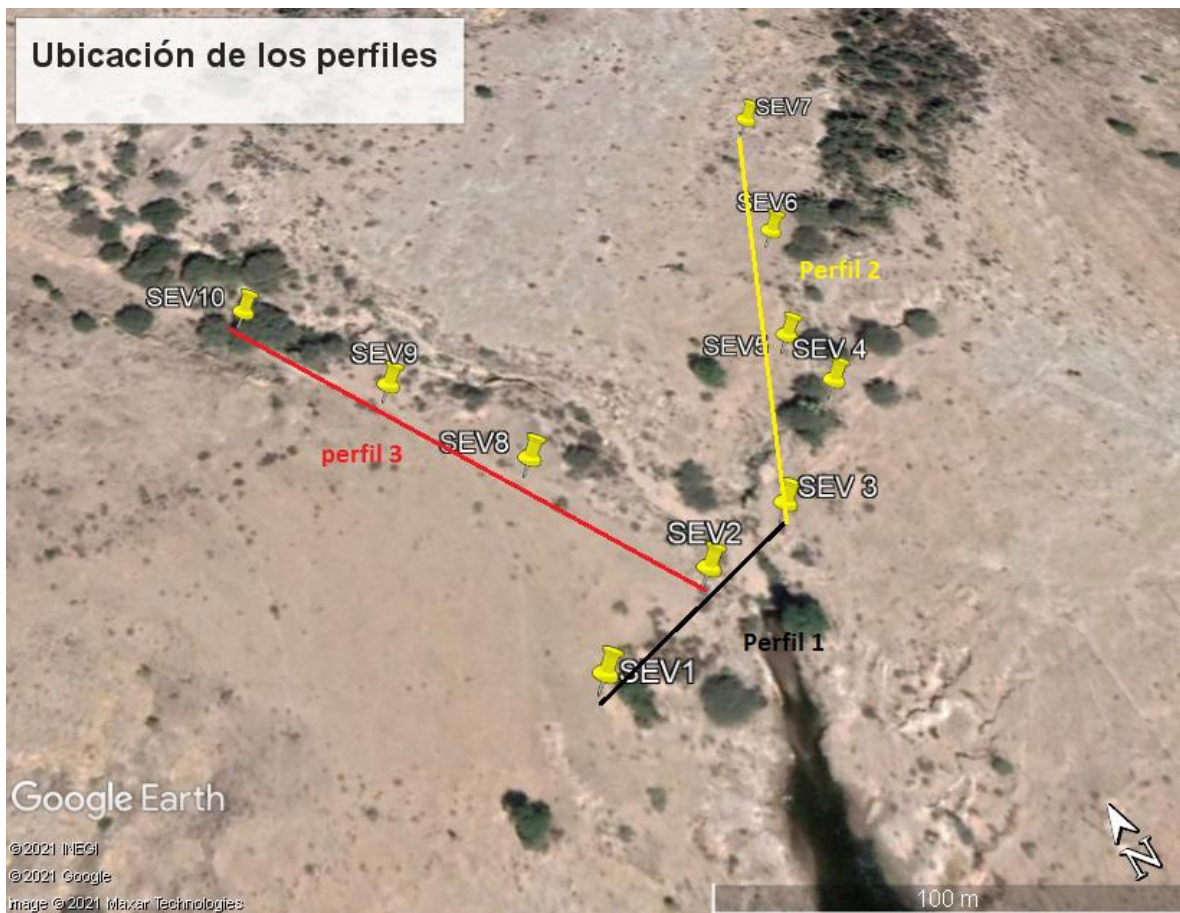


Imagen 4.20 Mapa de perfiles

El perfil 1 corresponde a los Sondeos Eléctricos Verticales 1,2 y 3

El perfil 2 corresponde a los Sondeos Eléctricos Verticales 3, 4, 5, 6 y 7

El perfil 3 corresponde a los Sondeos Eléctricos Verticales 2, 8, 9 y 10

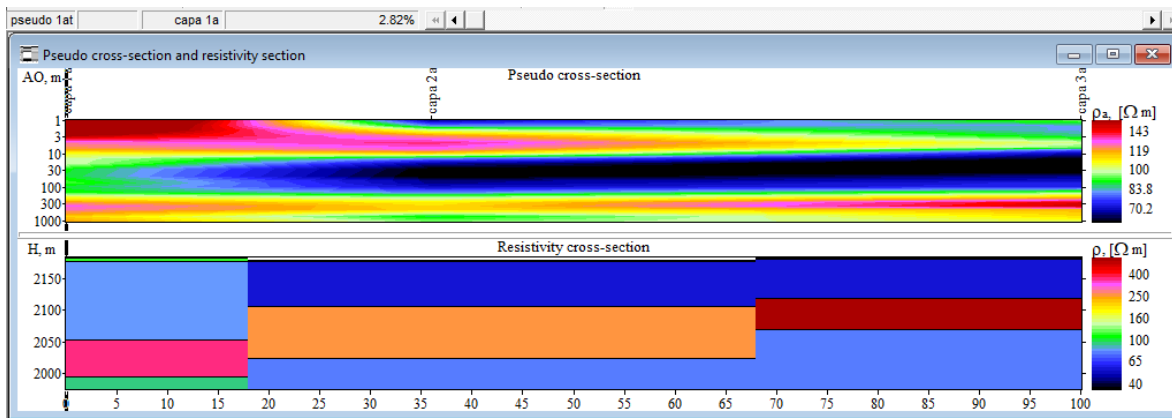


figura 4.21Pseudo 1

En la seudosección 1 podemos observar que las zonas con mayor conductividad, son las de color azul, conforme van subiendo los colores, se van haciendo más resistivas, las zonas de color rojo que nos indican que son zonas con mayor resistividad.

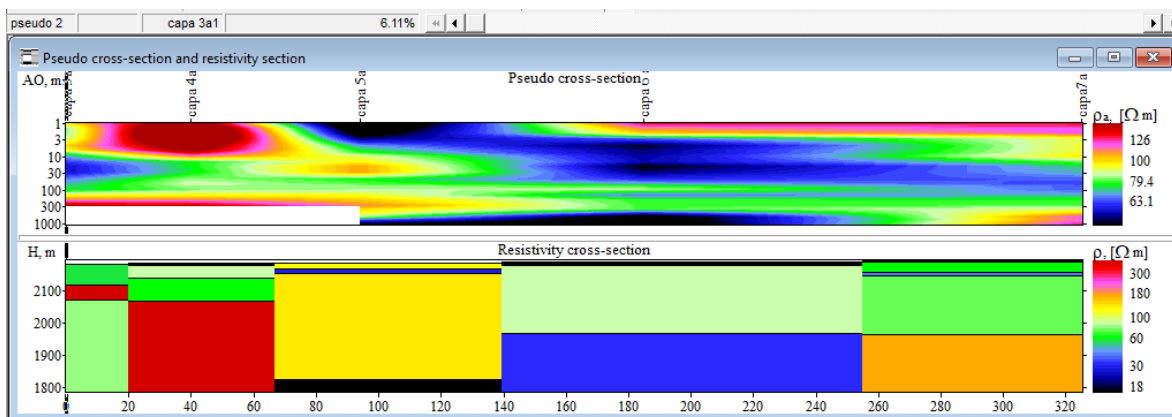


Figura 4.22Pseudo 2

En la seudosección 2 podemos observar zonas conductivas en color azul junto a los sondeos 5y 6 conforme se van separando de estos dos sondeos va aumentando la resistividad de tal manera que observamos que en el sondeo 4 es donde se encuentra el cuerpo con mayor resistividad.

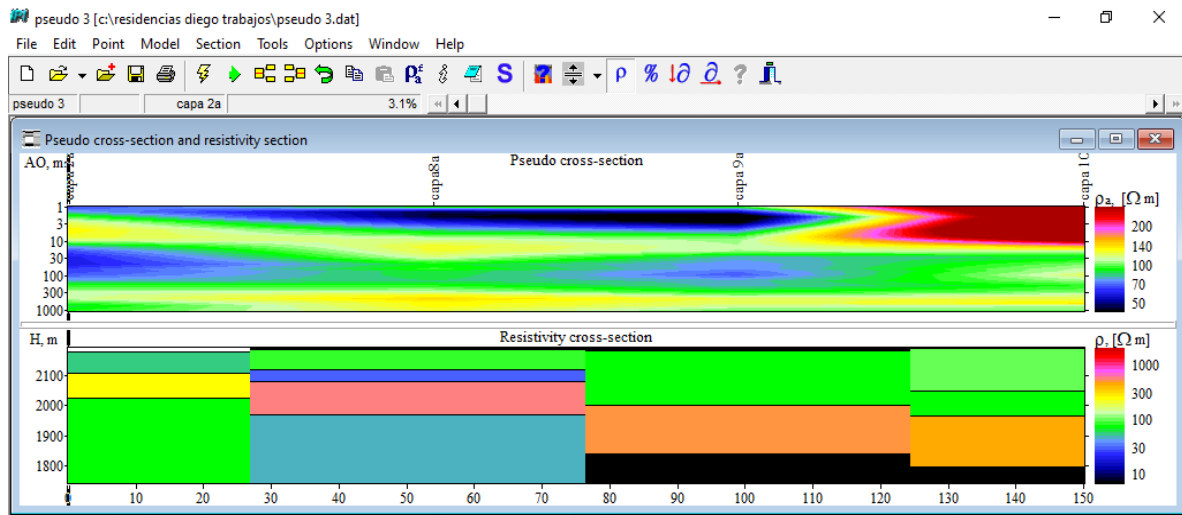


Figura 4.23 Pseudo 3

En la seudosección 3 podemos observar zonas conductivas en color azul, dentro de esta zona se ubican los sondeos 8 y 9, y las zonas de color rojo que nos indican la resistividad más en el que se ubica el sondeo 10

CONCLUSIONES

Analizando los sondeos eléctricos verticales, la probabilidad de encontrar agua en el sondeo eléctrico vertical numero 2 es buena ya que nos está indicando que donde se encuentra ubicado dicho sondeo, la resistividades bajas, tiene una profundidad a partir de 73metros, con un tipo de roca KHK se encuentra ubicado gravas con agua dulce sobre toba Riolitica.

Por otro lado, también existe la probabilidad de encontrar agua e el sondeo eléctrico vertical número 5 con un tipo de roca KHH, calizas y limos y una profundidad a partir de 33metros.

El sondeo 8 a partir de los 108 metros de profundidad, con tipo de roca HKHHK conglomerado y areniscas.

Yo recomiendo como mejor sitio el sondeo eléctrico 2 ya que se encuentra a una profundidad considerable. Con un tipo de roca con capacidad de almacenar y transmitir el agua fácilmente

Fuentes de información

Toledo Baca, J. C. (2015). Aplicación de los métodos geoelectricos en la prospección geofísica.

DE PUEBLA, E. E. A. V. (2001). Comisión Nacional del Agua.

Mballa, L. V., & Espericueta, F. H. (2018). Las políticas públicas de abastecimiento de agua potable y saneamiento para la localidad de Escalerillas, San Luis Potosí–México: escenarios y percepción ciudadana. *Agua y territorio*, (11), 137-152.

Valencia, J. D. C., & GARCIA, E. G. (2011). *Manual para la interpretación del perfil de resistividad obtenido al realizar el estudio de la resistividad del suelo a partir de las configuraciones del método de Wenner* (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Tecnología Eléctrica).

Junciel, L. D. (2003). *Medición de conductividad en materiales superconductores* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).

Hernandez Diaz, M. C. (2019). *Aplicación de métodos geoelectricos para la detección de zonas de filtración en la presa Gonzalo N. Santos, San Luis Potosí* (Master's thesis).

Yañez-Rodriguez, M. D. L. A. (2019). *Caracterización del acuífero Río verde, San Luis Potosí con el método magnetotélúrico* (Master's thesis).

Ríos Ramírez, R. D., & Sánchez Alvarez, J. M. (2020). Estudio geofísico mediante sondeos eléctricos verticales (Wenner–Schlumberger) para determinar las características del suelo del sector la Planicie, Morales 2020.

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

Ríos Ramírez, R. D., & Sánchez Alvarez, J. M. (2020). Estudio geofísico mediante sondeos eléctricos verticales (Wenner–Schlumberger) para determinar las características del suelo del sector la Planicie, Morales 2020.