



---

PROYECTO

EXPLORACIÓN GEOFÍSICA  
GEOHIDROLÓGICA CERRO  
COLORADO

A SOLICITUD DE

Extracciones Basálticas S.A. de C.V.

ESTUDIO GEOFÍSICO  
GEOELÉCTRICO

REALIZADO POR

Ingeniero Geofísico Juan Jesús Torres  
Solano

Cédula profesional: 12293507  
Fecha de inicio: 21 de junio de 2023  
Fecha de entrega: 07 de julio de 2023  
San Nicolás de Los Garza, N.L.

# Índice de Contenidos

<b>1. Resumen</b>	<b>1</b>
<b>2. Generalidades</b>	<b>2</b>
2.1. Localización . . . . .	2
2.2. Antecedentes . . . . .	3
2.3. Objetivos . . . . .	3
<b>3. Características físicas del sitio</b>	<b>5</b>
3.1. Fisiografía local y regional . . . . .	5
3.2. Geomorfología y condiciones de sitio . . . . .	5
3.3. Recursos hidráulicos locales y regionales . . . . .	5
3.4. Hidrogeología . . . . .	7
3.5. Información climática . . . . .	8
<b>4. Geología</b>	<b>9</b>
4.1. Geología local y regional . . . . .	9
<b>5. Marco teórico y metodología</b>	<b>11</b>
5.1. Geofísica - método geoeléctrico . . . . .	11
5.1.1. Sondeos eléctrico vertical (SEV) . . . . .	11
descripción del equipo de prospección . . . . .	12
5.2. Metodología de adquisición y procesado geofísico . . . . .	13
5.2.1. Adquisición en campo (SEV) . . . . .	15
5.3. Pre-procesado y procesado geofísico (SEV) . . . . .	15
5.3.1. Criterios de modelado 1D de inversión . . . . .	16
5.3.2. Criterios de seudo-sección . . . . .	16
<b>6. Resultados e interpretación</b>	<b>18</b>
6.1. Resultados de SEV's y modelos de inversión 1D . . . . .	18
6.1.1. S1-LN-EBSA . . . . .	19
6.1.2. S2-LN-EBSA . . . . .	20
6.1.3. S3-LN-EBSA . . . . .	21
6.2. Resultados de seudo secciones . . . . .	22
6.2.1. Seudo sección S1-S3-LN-EBSA . . . . .	23
6.2.2. Seudo sección S2-S1-LN-EBSA . . . . .	24
6.2.3. Seudo sección S2-S3-LN-EBSA . . . . .	25
<b>7. Conclusión</b>	<b>26</b>
<b>Referencias</b>	<b>27</b>
<b>Anexo A. Sondeos Eléctricos Verticales</b>	<b>28</b>
A.1. Sondeo S1-LN-EBSA . . . . .	28
A.2. Sondeo S2-LN-EBSA . . . . .	30
A.3. Sondeo S3-LN-EBSA . . . . .	31

**Anexo B. Evidencia fotográfica****34**

## Índice de Figuras

1.	Mapa de ubicación. . . . .	2
2.	Disposición de los SEV's. . . . .	4
3.	Mapa de cuenca y subcuenca RH-24. . . . .	6
4.	Mapa local de red de causes y escorrentías. . . . .	7
5.	Perfil geológico del sitio de estudio. . . . .	8
6.	Mapa Geológico de la zona de estudio. . . . .	9
7.	Distribución del arreglo Schlumberger. . . . .	11
8.	Modelo de inversión 1D S1-LN-EBSA. . . . .	19
9.	Modelo de inversión 1D S2-LN-EBSA. . . . .	20
10.	Modelo de inversión 1D S3-LN-EBSA. . . . .	21
11.	Seudo sección S1-S3. . . . .	23
12.	Seudo sección S2-S1. . . . .	24
13.	Seudo sección S2-S3. . . . .	25
A.1.	Distribución del arreglo Schlumberger sondeo S1-LN-EBSA. . . . .	28
A.2.	Distribución del arreglo Schlumberger sondeo S2-LN-EBSA. . . . .	30
A.3.	Distribución del arreglo Schlumberger sondeo S3-LN-EBSA. . . . .	32
B.1.	S1-LN-EBSA, sitio de estudio preparación de adquisición geofísica. . . . .	34
B.2.	S1-LN-EBSA, vista de dirección de tendido. . . . .	34
B.3.	S1-LN-EBSA, Punto de atribución del sondeo. . . . .	34
B.4.	S2-LNEBSA, disposición del arreglo y vista lateral del segundo sondeo. . . . .	35
B.5.	S2-LN-EBSA, punto de atribución del sondeo. . . . .	35
B.6.	S3-LN-EBSA, preparación del sitio tres para adquisición geofísica. . . . .	35
B.7.	S3-LN-EBSA, punto de atribución del sitio de estudio . . . . .	36

## Índice de Tablas

1.	Coordenadas de los SEV. . . . .	3
2.	Descripción de la metodología de adquisición y procesado geofísico . . . . .	14
3.	Modelo de inversión 1D sitio S1-LN-EBSA. . . . .	19
4.	Modelo de inversión 1D sitio S2-LN-EBSA. . . . .	20
5.	Modelo de inversión 1D sitio S3-LN-EBSA. . . . .	21
A.1.	Coordenadas del punto de atribución S1-LN-EBSA. . . . .	28
A.2.	Sondeo 1, datos de adquisición en campo. . . . .	29
A.3.	Coordenadas del punto de atribución S2-LN-EBSA. . . . .	30
A.4.	Sondeo 2, datos de adquisición en campo. . . . .	31
A.5.	Coordenadas del punto de atribución S3-LN-EBSA. . . . .	31
A.6.	Sondeo 3, datos de adquisición en campo. . . . .	33

## 1. Resumen

Solicitud de la empresa Extracciones Basálticas S.A. de C.V., se realizo el trabajo denominado EXPLORACIÓN GEOFÍSICA GEOHIDROLÓGICA CERRO COLORADO (EGGH-CC), teniendo una fecha de inicio de 18 de Junio del 2023 al 7 de Julio del 2023, periodo en el cual se realizo la planeación (ver capítulo 2, 3 y 4), ejecución de 3 sondeos, modelado / procesado, la elaboración del informe Geofísico y entrega del mismo.

Realizado en las inmediaciones del predio minero Cerro Colorado con el objetivo de identificar el acuífero y la configuración geológica en la cual se encuentra. El estudio se realizo el día 21 de Junio del 2023, iniciando a las 5:20am y finalizando a las 01:24pm, durante la ejecución se alcanzo temperatura mínima de 32°C y 49°C como máxima (medida en campo).

Se Realizaron un total de 3 sondeos eléctricos verticales mediante el método schlumberger (ver capítulo 5), teniendo como resultado la identificación de las unidades geológicas (ver capítulo 6) y su correlación con el acuífero de la zona de estudio completando los objetivos planteados para el presente estudio (ver capítulo 7).

## 2. Generalidades

### 2.1. Localización

El sitio de estudio se ubica a 29 kilómetros al SW del Municipio de Lampazos De Naranjo, sobre la carretera numero 1 Nuevo León-Colombia. La ruta de acceso se traza en el figura 1, con coordenadas UTM WGS84 14R 351186 m E 2960074 m N (Ver mapa 1).

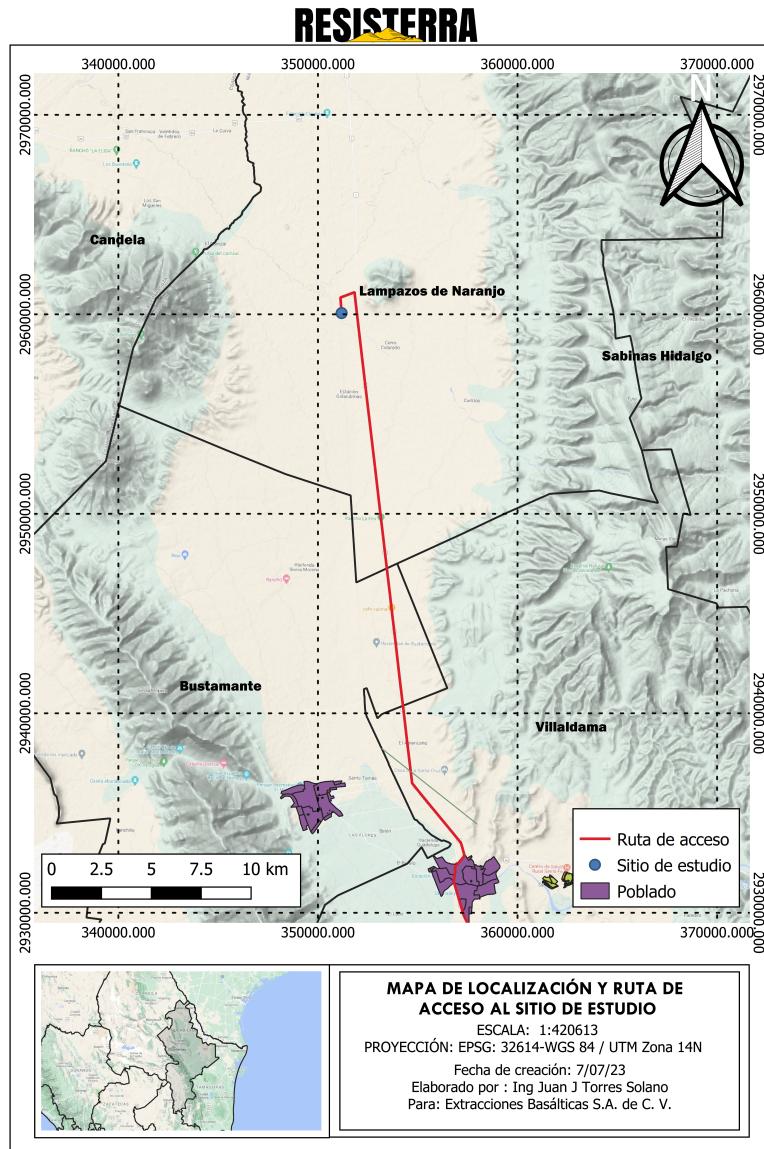


Figura 1: Mapa de localización y ruta de acceso.

El sitio de estudio se encuentra a 122 kilómetros de Monterrey capital, se accede mediante la carretera federal Monterrey-Nuevo Laredo, aproximadamente a 29.7 km de Ciudad Villaldama y a

27.3 km de la localidad de Bustamante, al pasar el kilómetro 115 se toma el primer acceso a mano izquierda, avanzando 770 m, girando nuevamente en dirección izquierda y continuando 770 m, donde es posible identificar una bascula de carga sobre las vías del férreas (ver figura 2), lugar donde se ubican los sitios designados para realizar los levantamientos, cuya ubicación exacta se describe en la tabla siguiente:

Tabla 1: Coordenadas de los SEV.

Sitio	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altitud
S1-LN-EBSA	351187 m E	2960040 m N	410 msnmm
S2-LN-EBSA	351183 m E	2960097 m N	409 msnmm
S3-LN-EBSA	351240 m E	2960078 m N	410 msnmm

<sup>1</sup> Coordenadas de los puntos de atribución, proyección: WGS-84 / UTM Zona 14N.

## 2.2. Antecedentes

la región se encuentra dentro de una extensa cuenca desértica, dominada estructuras sedimentarias de origen laramídico, como son depósitos sedimentarios y estructuras tipo atolón, de igual modo se observan unidades volcánicas del periodo Terciario de acuerdo con el SGM (2023)[9], las cuales dominan la geomorfología local, intrucionando discordantes por sobre las unidades sedimentarias y dada la naturaleza de la estructura volcánica, incrementando la captación geohídrica en temporadas de lluvia, permitiendo tener una captación eficiente en las unidades geológicas estructurales relacionadas(Ver Figura 6).

Como es posible notar el intrusivo volcánico que conforma el llamado Cerro Colorado así como la explotación a cielo abierto y el destape de las estructuras geológicas favorece considerablemente la captación hídrica efectiva en la zona, representando una factor a corto y largo plazo favorable a la recarga del acuífero de la cuenca. Esto aunado a la amplia distribución del cono aluvial y depósitos de limos, áreas y gravas de la serranía, proporcionan un ambiente propicio para una infiltración que se sospecha favorable, solo siendo afectado por la baja ocurrencia de lluvias durante el año.

## 2.3. Objetivos

- Identificar la profundidad de saturación en las unidades geológicas características del sitio.
- Evaluación de condiciones locales que favorezcan la recepción y almacenamiento hídrico.
- Delimitar zonas recarga y descarga del acuífero.
- Inferir distribución y alcance de las unidades geológicas relacionadas al acuífero a partir de los resultados de inversión 1D.

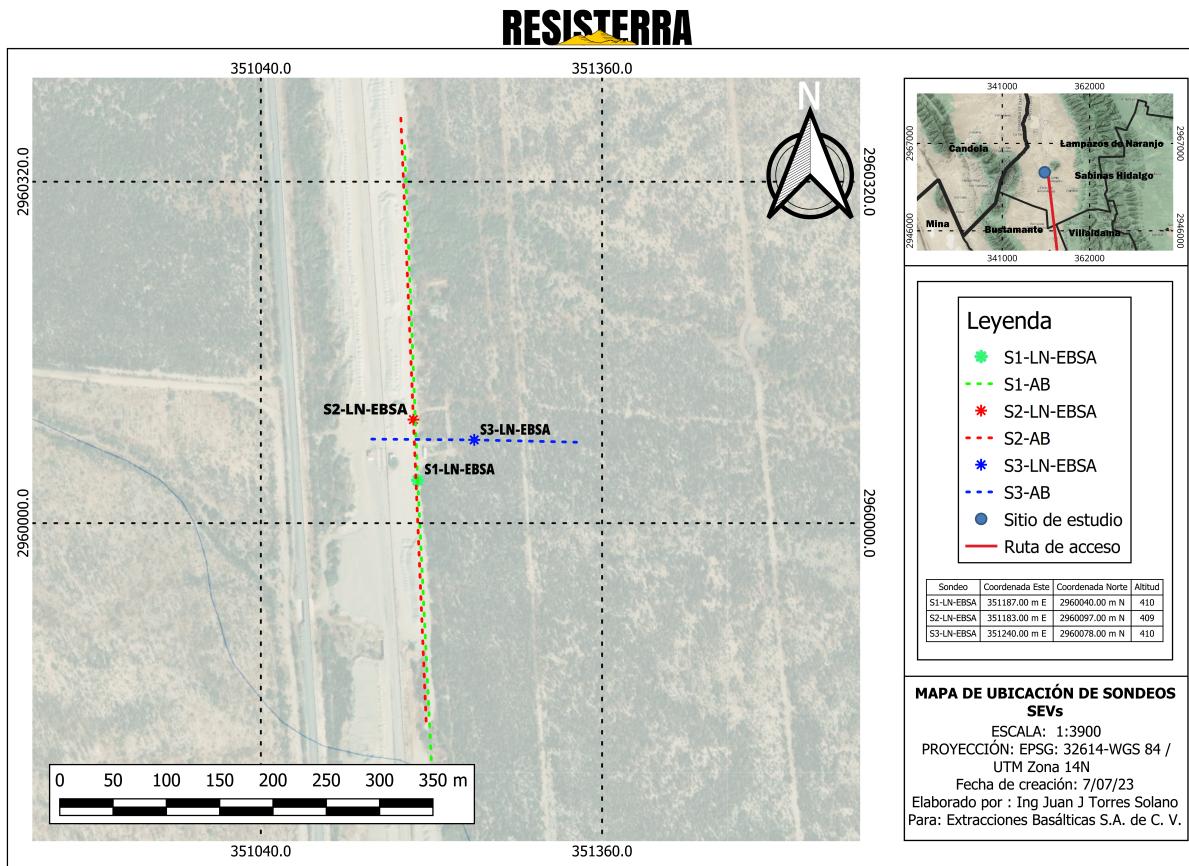


Figura 2: Sitio de estudio donde se realizaron los sondeos eléctricos verticales (SEV's) y la así como las direcciones, longitud máxima alcanzada de apertura de los sondeos.

### 3. Características físicas del sitio

#### 3.1. Fisiografía local y regional

La zona de estudio se encuentra dentro de La cuenca P. Falcón . R. Salado, perteneciente a la región hidrográfica Bravo Conchos, enclavada en la Subprovincia de la Sierra Madre Oriental denominada Sierras y Llanuras Coahuilenses [9], los afluentes presentes en la cuenca son de carácter intermitente naciendo en las Serranías y continuando hasta llegar al Rio Salado y posteriormente al rio Bravo, el afluente cruza una cuenca de relieves suaves y contrastes abruptos, mientras avanza en dirección NNW.recorriendo cerca de 300 Km, que va desde los 580 msnmm a los 106 msnmm al llegar al afluente del Rio Bravo, dentro de la cuenca se identifica una altitud máxima de 1800 msnmm hasta los 409 msnmm correspondientes al sitio de estudio

#### 3.2. Geomorfología y condiciones de sitio

El área de estudio, se distinguen dos zonas geomorfológicas diferentes, correspondientes a montañas plegadas y planicies, se ubica dentro de la provincia fisiográfica de La Sierra Madre Occidental, dentro de la Subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses, cuyos límites Norte corresponden a la Provincia Llanura Costera del Golfo Norte (INEGI, 2021 [5]), misma donde desemboca la cuenca.

El sitio se limita al Este con el Sinclinal Santa Rita, al Norte en la región de estudio predominan serranías, al Oeste encontramos Pico la Víbora, Sierra Lampazos y Pico Treviño , al Este se pueden identificar Sierra Morena, Cerro Cabeza de León y Sierra Bustamante, que se levantan sobre un valle aluvial, el cual se encuentra cortado por un conjunto de cuerpos volcánicos, destacando el cerro Providencia, El Carrizal, Cerro Colorado que contrastan en forma y relieve la continuidad del valle y serranías [2].

El relieve primario está constituido principalmente por montañas plegadas y corresponden a la Provincia Sierra Madre Oriental, formada por rocas sedimentarias de origen marino con una dirección preferencial de NW-SE, así mismo el terreno se encuentra cortado por numerosos arroyos y cauces estacionales que cruzan dentro del valle.

Las estructuras geológicas presentes se encuentran altamente erosionado y las geoformas se mantienen reconocibles, tanto los cinturones de plegamiento como las unidades volcánicas, las formas acumulativas asociadas a las anteriores, constituyen conos de deyección, abanicos aluviales y mantos proluviales; los valles sinclinales se encuentran llenos por detritos que dan lugar a planicies aluviales.

Debido al estado que guardan los rasgos del relieve controlados por procesos endógenos, así como las formas denudativas y acumulativas, se interpreta que la región combina elementos de las dos primeras etapas de erosión de Davis.

#### 3.3. Recursos hidráulicos locales y regionales

La zona de estudio se encuentra en la Región Hidrológica: RH-24 Bravo-Conchos que pertenece a la vertiente del Golfo de México, localmente la escorrentía fluye hacia el Arroyo El Chapote, perteneciente a la Subcuenca RH24Di A. Chapote con una superficie de 1125 Km cuadrados, perteneciente a la Cuenca Rio Salado [4].

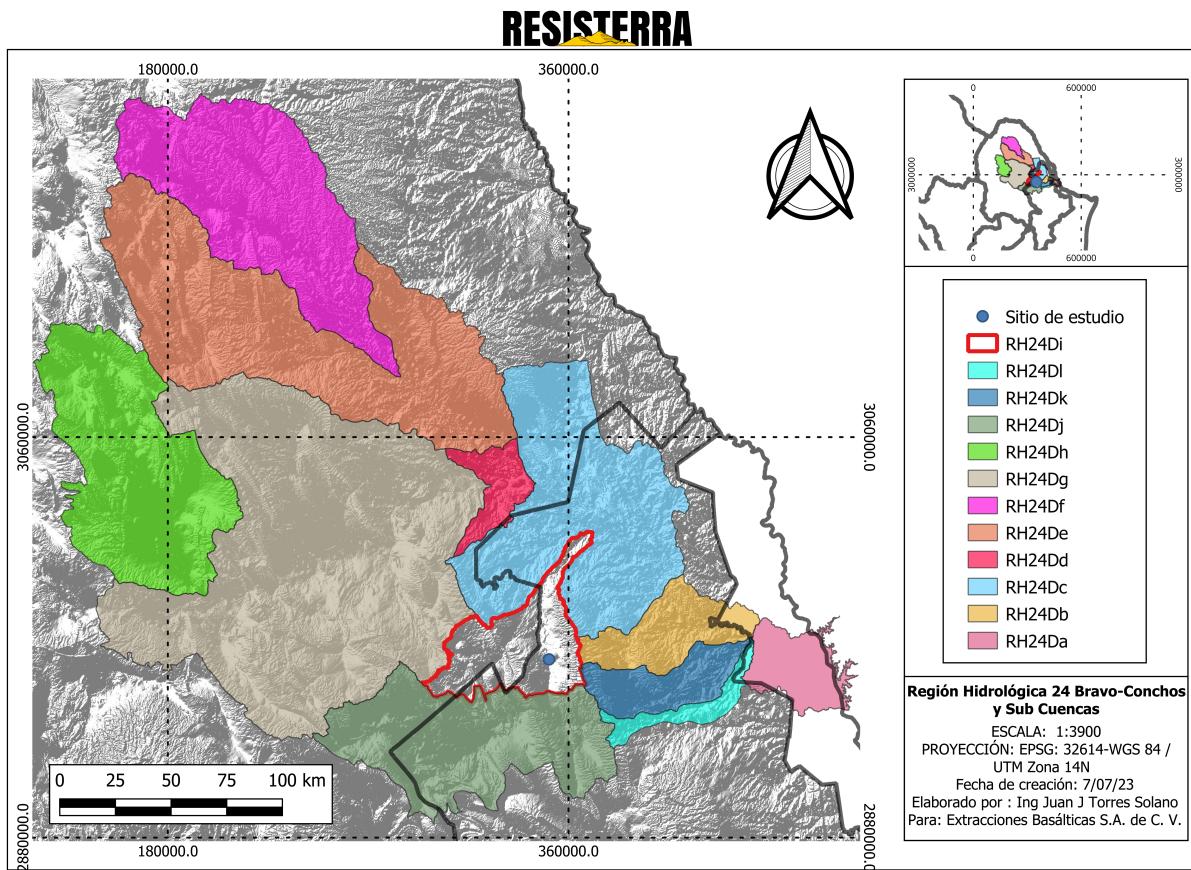


Figura 3: Región Hidrológica 24 Bravos-Conchos y Sub cuencas.

La red de cauces de escorrentía, se caracteriza por relieves poco marcados en el valle y abruptos en las serranías, mismos causes son de carácter temporal y presentan una amplia distribución dado que localmente se identifican cambios fisiográficos abruptos, que van de sinuosos a rectilíneos, se observan un gran numero de pozas temporales.

La dirección de flujo de escorrentía dentro de la Subcuenca RH24Di-A. Chapote presenta una dirección preferencial NNW, en dirección al afluente del Rio Salado (ver Figura 3)[6].

Dentro de la Subcuenca se identifica el acuífero correspondiente a la zona de estudio, denominado Lampazos-Villaldama, con clave 1901, abarcando la porción sur del municipio de Lampazos del Naranjo y Bustamante, geológicamente se encuentra estructurado por dos tipos de depósitos, en la parte superficial por depósitos sedimentarios cuaternarios constituidos por conos aluviales y depósitos sedimentarios del reciente, y una segunda unidad inferior compuesta por la denominada formación Upson cuya característica predominante son unidades de lutitas-limonitas del Cretácico superior (ver Figura 3).

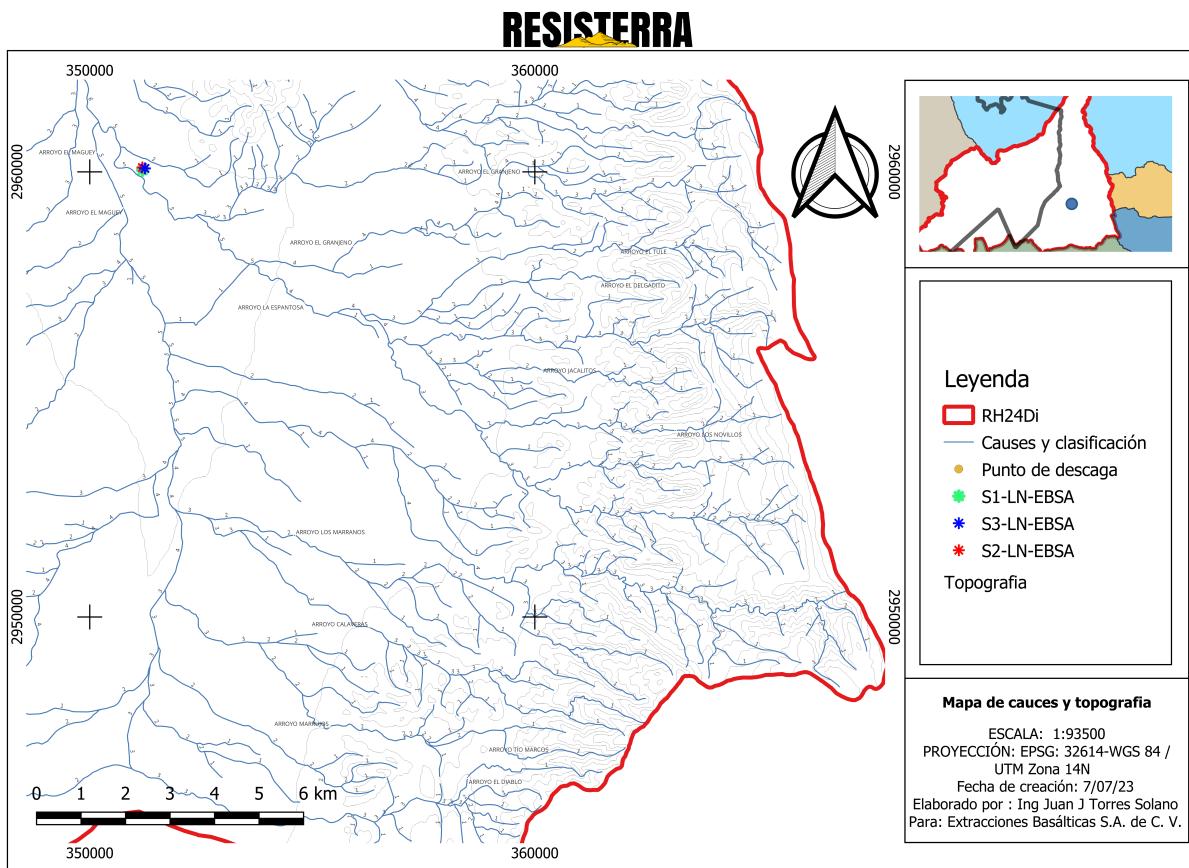


Figura 4: Red de cauces y escorrentías de la subcuenca A. Chapote, con afluencia en dirección al sitio de estudio.

### 3.4. Hidrogeología

unidades geológicas que son receptoras o condiciones favorables

Dentro de la Subcuenca se identifica el acuífero correspondiente a la zona de estudio, denominado Lampazos-Villaldama, con clave 1901, abarcando la porción sur del municipio de Lampazos del Naranjo y Bustamante, geológicamente se encuentra estructurado por dos tipos de depósitos, en la parte superficial por depósitos sedimentarios cuaternarios constituidos por conos aluviales y depósitos sedimentarios del reciente, y una segunda unidad inferior compuesta por la denominada formación Upson cuya característica predominante son unidades de lutitas-limonitas del Cretácico superior (ver Figura 5 y 6).



Figura 5: Perfil geológico de la zona de estudio, fuente SGM [9].

### 3.5. Información climática

se identifica un clima de extremos, donde la mayor parte del año es cálido y árido, propio de un clima semiseco, se registra una precipitación escasa, siendo la media general anual de entre 300 y 500 MM, en la región es común la presencia de heladas y en verano sequías prolongadas.

En la región se identifican dos climas predominantes, el primero se clasifica con un clima seco cálido semiseco correspondiente a la cuenca donde se ubica el sitio de estudio y seco cálido seco en la Sierra de Lampazos de acuerdo con **INEGI** (2023).

## 4. Geología

### 4.1. Geología local y regional

El área de estudio se encuentra emplazado en la región denominada Cuenca de Sabinas, constituida principalmente de rocas de origen marino, sujeta a procesos de plegamiento y cabalgamientos de la denominada Orogenia Laramide, propuesta por Dana (1896). Este evento generó en el periodo Cretácico Tardío-Paleógeno Temprano una serie de cadenas montañosas, desde Alaska hasta la parte Centro Este de México, denominándose Cinturón Laramide, a su vez experimentando eventos de regresión y transgresión marina, siendo parte de la Cordillera de América del Norte, denominada en México como Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras Mexicano, producto de los esfuerzos de tectónicos en consecuencia al proceso de subducción de la Placa Tectónica Farallón por debajo de la Placa Norteamericana, originando cadenas montañosas como el Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras de Chihuahua (CPCC), Cinturón Plegado de Coahuila (CPC) y Sierra Madre Oriental (SMO) (Cabello et. al. 2009).

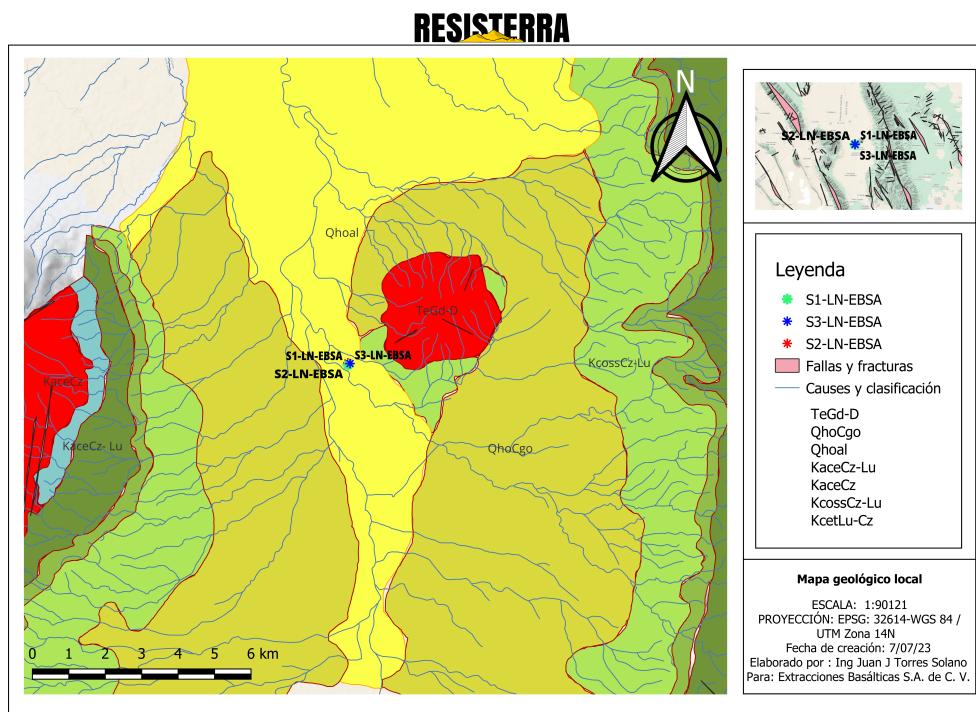


Figura 6: Mapa geológico del sitio de estudio, se puede observar los puntos de atribución y las unidades geológicas relacionadas próximas .

Así mismo dentro del CPC, se encuentra la Cuenca de Sabinas, que se caracteriza por presentar lineamiento y deformación Laramídica, correspondiente a una primera fase de deformación, es cortada por un conjunto de 16 intrusivos volcánicos a lo largo de la denominado Cinturón de Intrusivos de Candela-Monclova (Candela-Monclova Belt, CMB), mismos que son emplazados por una segunda fase de deformación caracterizada por la re-activación de fallas corticales mismas que permitieron el emplazamiento del CMB, las firmas químicas obtenidas por Cabello et. al. (2005) sugieren un origen

magmático de subducción, encontrándose a 900 Km de la paleo-trinchera a lo largo del margen del Océano Pacífico, presentando un rumbo de NW-SE a NNW-SSE (Molina-Garza et. al., 2008). (Ver Mapa 6).

Localmente se identifican a lo largo de la cuenca depósitos sedimentarios del periodo reciente, identificando cerca de los cuerpos intrusivos depósitos redondeados mal clasificados, formando unidades de conglomerados con presencia de limos y arcillas, constituyendo el cono aluvial del denominado Cerro Colorado, el cual es clasificado en un trabajo previo como un intrusivo granitoide de características porfidicas cuya composición mineralógica corresponde a la de un porfido de Sienita acuerdo al Dr. Francisco González Sánchez en su trabajo, Informe geológico del Banco de agregados Planta Cerro Colorado, solicitado por Extracciones Basálticas S. A. de C. V., en Septiembre de 2015. cuya denudación cubre gran parte de la zona, siendo cruzada por corrientes de afluentes estacionarios, y

## 5. Marco teórico y metodología

### 5.1. Geofísica - método geoeléctrico

Es un método de prospección Geofísica el cual aprovecha las características de resistividad, polarización, potencial eléctrico natural y cargabilidad eléctrica de un medio geológico en un tiempo definido y en una geometría definida, a fin de establecer una relación entre la respuesta de las propiedades físicas del medio geológico con las características físicas de las unidades geológicas en un sitio de estudio, así como los elementos que interactúan y modifican la respuesta conjunta del medio geológico.

A la circulación de cargas eléctricas se le conoce como conducción eléctrica, en un medio líquido y gaseoso los iones y/o electrones presentan cargas positivas o negativas, cuando estos presentan movimiento se dice que presentan conductividad iónica lo que permite realizar mediciones y diferencias entre el comportamiento del medio ante una carga eléctrica (campo inducido) y un campo natural auto generado [3].

#### 5.1.1. Sondeos eléctrico vertical (SEV)

Las mediciones, empleando el método de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) se realizan a través de inyecciones de corriente controlada por medio de dos electrodos denominados A y B, que se colocan en los extremos del arreglo geoeléctrico, en la parte central del arreglo se coloca un electrodo denominado punto de atribución, a partir del cual se establecen las distintas distancias que obedece el arreglo geométrico establecido para el tipo de sondeo, al igual mediante dos electrodos denominados M y N, colocados a la misma distancia del punto de atribución, es medida la diferencia de potencial ( $\Delta V$ ) que indica el cambio de potencial eléctrico del medio geológico al paso de la inyección de corriente y por el cual confluye la contribución eléctrica del medio geológico circundante de acuerdo a las capacidades de resistividad eléctrica del medio, siendo la lectura de un punto de atribución única, ya que el medio geológico presenta heterogeneidad en la distribución, composición y propiedades petrofísicas distintas.

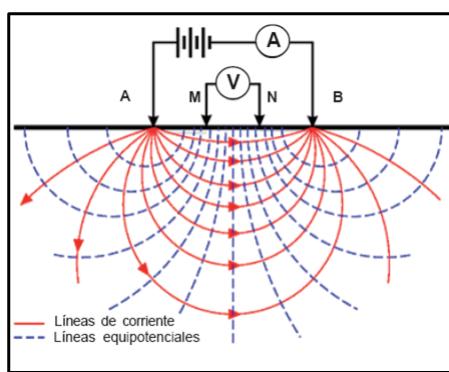


Figura 7: Ilustración del arreglo geoelectrónico y la dispersión del campo eléctrico.

El arreglo geoeléctrico empleado es el denominado Schlumberger, el cual consta de un par de electrodos de corriente y un par de electrodos de potencial, el primer par corresponden al circuito de corriente, por el que se inyecta corriente eléctrica al medio geológico y se encuentran a una misma distancia del centro del arreglo, el segundo par corresponde a los electrodos de potencial, con ellos se miden las variaciones de potencial eléctrico del medio, la apertura entre estos electrodos obedece

una geometría de donde "L" es igual a la distancia entre el primer par de electrodos denominados A y B, de la misma manera "a" se define como la distancia entre los electrodos M y N, manteniendo una relación de distancia definida por el tipo de arreglo geoeléctrico de modo que  $L \gg a$ .

El valor de resistividad aparente  $\rho$  se obtiene al multiplicar por la razón de la  $a$  "K" diferencia de potencial y la corriente eléctrica, siendo " $K_{el}$ " factor geométrico (ver Ecuación 1 y 2), de esta manera obtenemos el valor de resistividad aparente para un punto en un medio heterogéneo.

$$\rho_a = \frac{2\pi\Delta V}{I} \left( \frac{2}{L-a} - \frac{2}{L+a} - \frac{2}{L+a} + \frac{2}{L-a} \right)^{-1} \quad (1)$$

*Ecuación 1.*

Durante la adquisición se obtienen valores de potencial " $\Delta V$ " de corriente " $I$ ", medidos directamente de la respuesta del medio geológico [7], empleando dos multímetros, se realizan 3 lecturas, a fin de obtener un promedio y reducir la incertidumbre de la toma de datos ajustando la desviación estándar por cada conjunto de datos, obteniendo el promedio general de las resistividades aparentes ( $\rho$ ) para cada punto de atribución en cada nivel del sondeo (ver Ecuación 3).

$$\rho_a = \frac{\pi \Delta V}{4 I} \left( \frac{L^2 - a^2}{a} \right) \quad (2)$$

*Ecuación 2.*

$$\rho_a = \frac{\Delta V \pi}{I} \frac{1}{4} \left( \frac{L^2}{a} \right) \quad (3)$$

*Ecuación 3.*

## descripción del equipo de prospección

Especificaciones técnicas del equipo de adquisición geoeléctrica (ver Figura B.2).

### Resistivímetro analógico

- Funciones: Sondeos Eléctricos Verticales y Tomografía de Resistividad Eléctrica
- Configuraciones Admitidas: Wenner, Schlumberger, Polo-Dipolo, Dipolo-Dipolo
- Manufacturado por Sismocontrol 2019
- Rango de Temperatura: -10 °C a 80 °C
- Fuente de poder: Generador eléctrico
- Voltaje de inyección: 100 a 1,200 Volts
- Corriente: 1 a 10 A
- Panel con conexión para sonda de TRE y SEV
- Controles manuales para cambios de canal de SEV y TRE
- Reguladores manuales de corriente

- 10 canales para estudios de tomografía
- Botón de encendido y apagado
- Botón para inyección de corriente
- Dimensiones: 47 cm x 33 cm x 25 cm
- Peso: 25 kg
- Electrodos despolarizados de  $\frac{1}{2}$  pulgada

#### Generador Eléctrico Parazzini

- Motor: 3 HP a gasolina 4 tiempos
- Frecuencia: 60 HZ
- Salida promedio: 1000 Watts
- Salida Máxima: 1200 Watts
- Volts: 110 V / Corriente alterna: 9 A
- Capacidad tanque gasolina: 6.3 Lts
- Operación continua: 7 Hrs
- Encendido: Manual
- Peso: 29 Kg
- Peso por carrete: 10 kg
- Dimensiones por carrete: 30 cm x 30 cm x 30 cm

#### Cables de corriente y potencial

- Cada carrete carga 500 m de cable para inyección de corriente y 50 m de cable de Potencial
- Sonda de electrodos de potencial para método schlumberger de 10 canales y 100 m de longitud

## 5.2. Metodología de adquisición y procesado geofísico

La planeación del levantamiento geofísico inicia a partir de establecer objetivos de exploración, se realiza un análisis geológico del sitio de estudio, se identifica la fisiografía local del terreno y

Tabla 2: Descripción de la metodología de adquisición y procesado geofísico

Día	Proceso	Descripción
18/06/23	PLANEACIÓN	<p>Se realiza un proceso de investigación previo a fin de conocer las características geomorfológicas y geológicas del sitio antes del levantamiento geofísico en campo. Se realiza un reconocimiento en campo para identificar el sitio, la problemática topográfica que presenta y establecimiento de los objetivos y sitios de estudio. Se diseña y prepara el arreglo de la cuadrícula de sondeos, así como la distribución de los niveles y las aperturas de AB y MN, así como las direcciones de apertura del arreglo geoeléctrico. Se define el código de los sondeos, a partir de:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Número de sondeo.</li> <li>2. Primera letra del municipio de la localidad.</li> <li>3. Primera letra del Estado al que pertenece el municipio.</li> <li>4. Iniciales de la empresa solicitante.</li> </ol> <p>Estableciéndose la clave para los sondeos como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• S#-LN-EBSA</li> </ul>
21/06/23	RECONOCIMIENTO Y ADQUISICIÓN DE SEV's	<p>Se realizó un reconocimiento del terreno y replanteamiento de las direcciones de apertura y posición de los sondeos, se llevó a cabo la adquisición de datos mediante el arreglo Schlumberger, en los sitios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• S1-LN-EBSA</li> <li>• S2-LN-EBSA</li> <li>• S3-LN-EBSA</li> </ul>
22/06/23 - 7/07/23	GABINETE	<p>Se realiza limpieza de datos, cálculo de resistividades aparentes, documentación complementaria, preparación de la información, procesado de datos, interpretación en crudo y en modelo de inversión geofísico, integrado de topografía, modelos 1D de sondeos, preparado de pseudo secciones, elaboración de mapas y redacción de informe.</p>

configuración hídrica local y regional. en cuanto al levantamiento geofísico se identifica la metodología y arreglo idóneo dados los objetivos a alcanzar, también se evalúan tiempos, costos, accesibilidad y la viabilidad de realizar estudio, ya sea por circunstancias climáticas o sociales.

Una vez aclarados los pormenores y la viabilidad del estudio, se realiza la planificación de las siguientes tres etapas, planeación, reconocimiento y adquisición de SEV's finalizando con trabajo de gabinete. Las etapas son detalladas a continuación (ver Tabla 2)

### 5.2.1. Adquisición en campo (SEV)

Una vez establecidos los puntos para realizar los SEV, en el proceso de planeación y reconocimiento del sitio, se lleva el equipo al sitio y se establece las direcciones de las aperturas, considerando la accesibilidad, la seguridad de los operadores y la uniformidad topográfica, a fin de reducir la concentración o dispersión de la corriente.

Establecida la dirección de apertura, se prepara el sitio, transportando el equipo de adquisición, se limpia el sitio, es decir, se despeja de maleza a fin de poder tener contacto visual con los electrodos de potencial y las líneas de apertura de potencial y se montando la sonda de potencial Schlumberger, colocando los electrodos despolarizados, montando los carretes de corriente y conectando todo el equipo en la consola central, desde donde se realizarán los cambios de electrodos y el cambio de potencia de inyección al necesitar mayor flujo de corriente (ver Figura B.1).

Se realiza una verificación de los electrodos de potencial, corroborando que estén emitiendo lectura, estén afianzados al suelo y presentan conductividad iónica (la colocación de salmuera en los electrodos no fue necesaria, ya que el medio se presentaba moderadamente saturado debido a recientes precipitaciones), se procede a encender la planta eléctrica y a realizar las mediciones (Ver Figura B.6)).

Las mediciones se realizan inyectando corriente y leyendo directamente el valor del potencial eléctrico y la corriente inducida, se anotan en la hoja de cálculo previamente configurada con el arreglo schlumberger, y se prosigue con la siguiente medición. Para las siguientes mediciones se cambia de apertura aumentando los electrodos de corriente A y B de acuerdo al arreglo Schlumberger previamente establecido. De esta forma se prosigue hasta concluir con todos los puntos de arreglo Schlumberger [8].

## 5.3. Pre-procesado y procesado geofísico (SEV)

Una vez adquiridos los datos en campo (datos en crudo), se procede a calcular la resistividad aparente (ecuación 3), se calcula profundidad aparente y se procede a organizar la información, a partir de las variaciones de resistividad aparente se establecen rangos de profundidad en los que la respuesta eléctrica es similar en valor y tendencia, a fin de agrupar por secciones geoeléctricas en una interpretación preliminar. Una vez hecho esto se procede a ingresar la información al software WinGLink.

El procesamiento, así como la inversión de datos 1D de los SEV se realiza en el software WinGLink el cual es un programa multidisciplinario desarrollado para procesar, interpretar e integrar varias disciplinas geofísicas en un entorno integrado. WinGLink utiliza una interfaz gráfica para la creación de bases de datos, la generación de proyectos, la importación y exportación de datos y modelos. Cada aplicación incluye funciones dedicadas para cada tipo de datos geofísicos.

El software nos permitirá realizar modelos de inversión; sin embargo, se requiere de consulta constante de los datos limpios, las anotaciones realizadas en campo, así como la geología del sitio, su génesis y la respuesta del modelo de tendencia, a partir de la interpretación preliminar y las observaciones en campo se relaciona el comportamiento eléctrico de la roca y su estado físico, de este modo se identifica la respuesta eléctrica que tiene una unidad geológica con condiciones específicas, como son fracturamiento, saturación, mineralización.

Tomando en consideración todo lo anterior se realiza un ajuste manual de los modelos y posteriormente se corre la inversión para realizar un ajuste de mayor precisión de la tendencia en la curva de resistividad aparente obtenida en campo, a fin de generar un modelo simplificado que integre los modelos de tendencia y el aporte geoeléctrico de las distintas unidades geoeléctricas.

### 5.3.1. Criterios de modelado 1D de inversión

Los modelos de ajuste normalmente son realizados de forma automática por WinGLink, sin embargo, la Inversión de datos deberá ser siempre supervisada, se consideran los datos limpios para omitir aquellos puntos que salgan de la tendencia normal de la curva, o que se encuentren por fuera del espectro de frecuencia de la señal total, ya que afectarán el ajuste de resistividades, espesores de cada capa y profundidades aparentes, de modo que afecten el ajuste de resistividades del modelo de inversión.

Después de realizar el ajuste y considerar la geología, las anotaciones de campo y la limpieza de datos, se tendrá como resultado en el espectro de frecuencias de resistividades aparentes, a partir de estas se definirán las resistividades para cada segmento del sondeo. Tal como se aprecia en el anexo "Resultados de Sondeos Eléctricos Verticales".

### 5.3.2. Criterios de seudo-sección

Para la selección de las direcciones de seudo secciones, S1-S3-LN-EBSA, S2-S1-LN-EBSA y S2-S3-LN-EBSA, se a considerado tener la capacidad de observar los rasgos generales y la distribución aproximada (a partir de los valores de resistividad aparente y de inversión 1D), ajustando los valores de interpolación a la topografía del sitio y distancias entre sondeos, con la finalidad de observando una posible distribución de la unidades geológicas ajustada a los valores obtenidos a partir de los resultados observados [8].

Se emplea una interpolación logarítmica a partir del "Smoothed correction" [1] a fin de poder definir de mejor manera las unidad y sus espesores aproximados, la interpolación recorre de la superficie a la profundidad máxima por lo que en la interpretación se deberá de considerar la configuración geológica y secuencia de depósitos a fin de corregir la distribución obtenida por la interpolación global a lo largo de la profundidad máxima, y así reduciendo la ambigüedad del modelo matemático.

- S1-S3-LN-EBSA: Presenta una dirección de Rumbo 63° SW-NE, coordenada inicial: 14R 351182.7 mE y 2960038 mN, coordenada final: 14R 351243.7 mE y 2960081 mN, con una longitud de 90 m

- S2-S1-LN-EBSA: Presenta una dirección de Rumbo 3° NNW-SSE, coordenada inicial: 14R 351182.3 mE y 2960103 mN, coordenada final: 14R 351186.8 mE y 2960035 mN, con una longitud de 75 m
- S2-S3-LN-EBSA: Presenta una dirección de Rumbo 15° NW-SE, coordenada inicial: 14R 351180 mE y 2960099 mN, coordenada final: 14R 351245.1 mE y 2960077 mN, con una longitud de 70 m

## 6. Resultados e interpretación

### 6.1. Resultados de SEV's y modelos de inversión 1D

En esta sección se mostraran los resultados así como la interpretación de los mismos, se presentaran las figuras correspondientes a cada sitio de estudio y las unidades en las que se dividen las a partir de la inversión 1D.

En la primera imagen, Resistividad App / AB/2, se observa la distribución de los valores de resistividad aparente ajustada, así como la curva de ajuste del modelo de inversión.

En la segunda imagen, Resistividad / Profundidad, se observa los valores de resistividad modelada y el modelo de inversión de capas 1D.

Los datos empleados y el modelo de distribución de datos en crudo corregidos se encuentran en el Anexo A

### 6.1.1. S1-LN-EBSA

En el primer sitio se obtiene un modelo de tres capas, mismas que se correlacionan con las observaciones descritas por el Servicio Geológico Mexicano [9], la primera unidad se identifica como Aluvión (Qhoal), seguido de una unidad no diferenciada de Aluvión (Qhoal) y Conglomerado Oligomítico (QhoCgo) la cual se identifica como saturada dada la respuesta geoeléctrica de potencial natural y las resistividades obtenidas mediante la inversión 1D (ver Figura 8), y finalizando con una ultima unidad de Caliza Lutita (KcossCz) de la formación Austin [10], a continuación se muestran las unidades geológicas identificadas en la zona de estudio, relacionadas a las unidades iso-resistivas respectivas, así como los espesores aproximados de cada unidad, al igual que el modelo de inversión y los resultados del procesado.

Tabla 3: Modelo de inversión 1D sitio S1-LN-EBSA.

Unidad	Resistividad	Espesor
Qhoal	150 ohm*m	6.10 m
Qhoal-QhoCgo	60 ohm*m	60.77 m
KcossCz-Lu	804.5 ohm*m	60.7 - 192 m

<sup>1</sup> Resultados de inversión 1D primer sondeo.

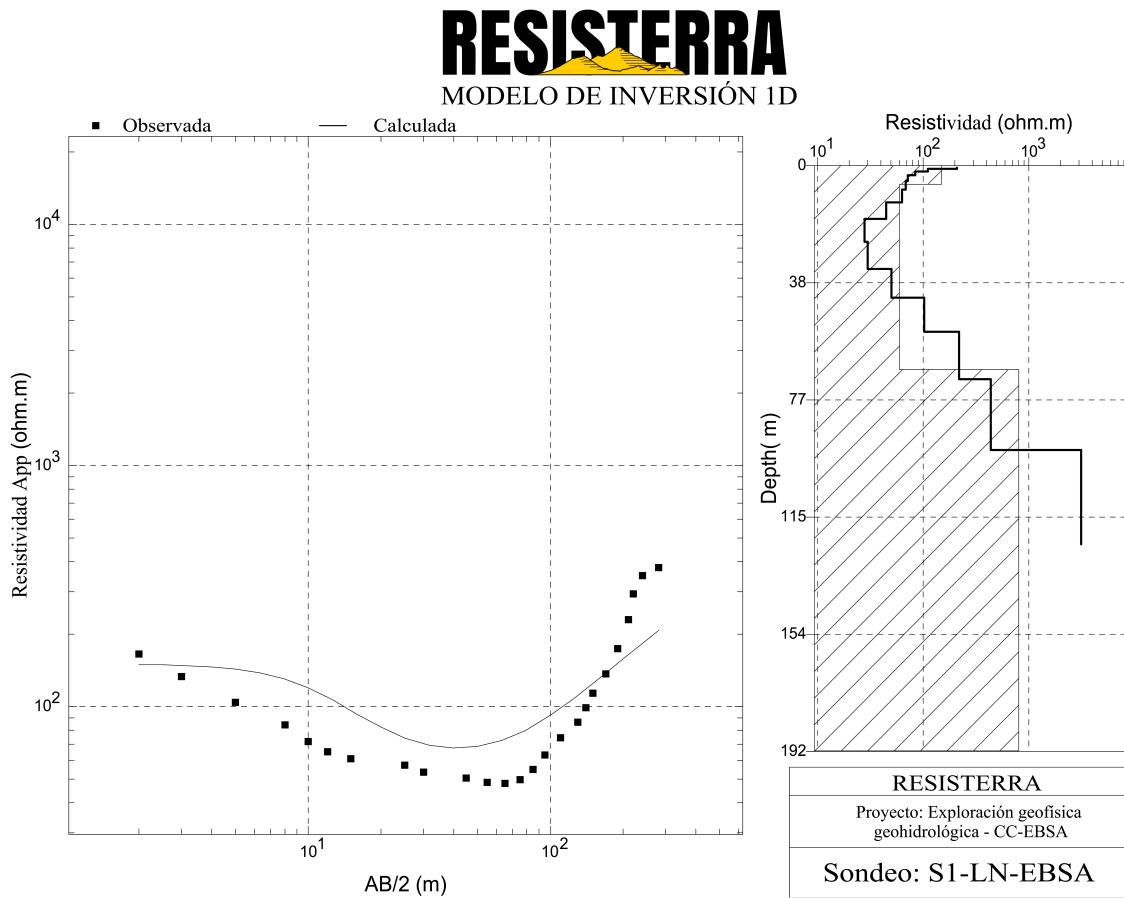


Figura 8: Modelo de invención 1D del sondeo S1-LN-EBSA.

### 6.1.2. S2-LN-EBSA

En el segundo sitio se identificó la misma respuesta, en el modelo de inversión 1D se alcanza una alta correlación entre el modelo y los datos observados, en la Figura 9 se puede observar la respuesta del modelo de inversión, la primera unidad se identifica como Aluvión (Qhoal), seguido de una unidad no diferenciada de Aluvión (Qhoal) y Conglomerado Oligomítico (QhoCgo) identificada como la unidad saturada, finalizando con una capa de alta respuesta resistiva relacionada a Caliza Lutita (KcossCz) de la formación Austin [10], a continuación se muestran las unidades geológicas identificadas en la zona de estudio, relacionadas a las unidades iso-resistivas respectivas, así como los espesores aproximados de cada unidad, al igual que el modelo de inversión y los resultados del procesado.

Tabla 4: Modelo de inversión 1D sitio S2-LN-EBSA.

Unidad	Resistividad	Espesor
Qhoal	196.01 ohm*m	6.40 m
Qhoal-QhoCgo	60 ohm*m	78.47 m
KcossCz-Lu	4765.06 ohm*m	78.4 - 174 m

<sup>1</sup> Resultados de inversión 1D segundo sondeo.

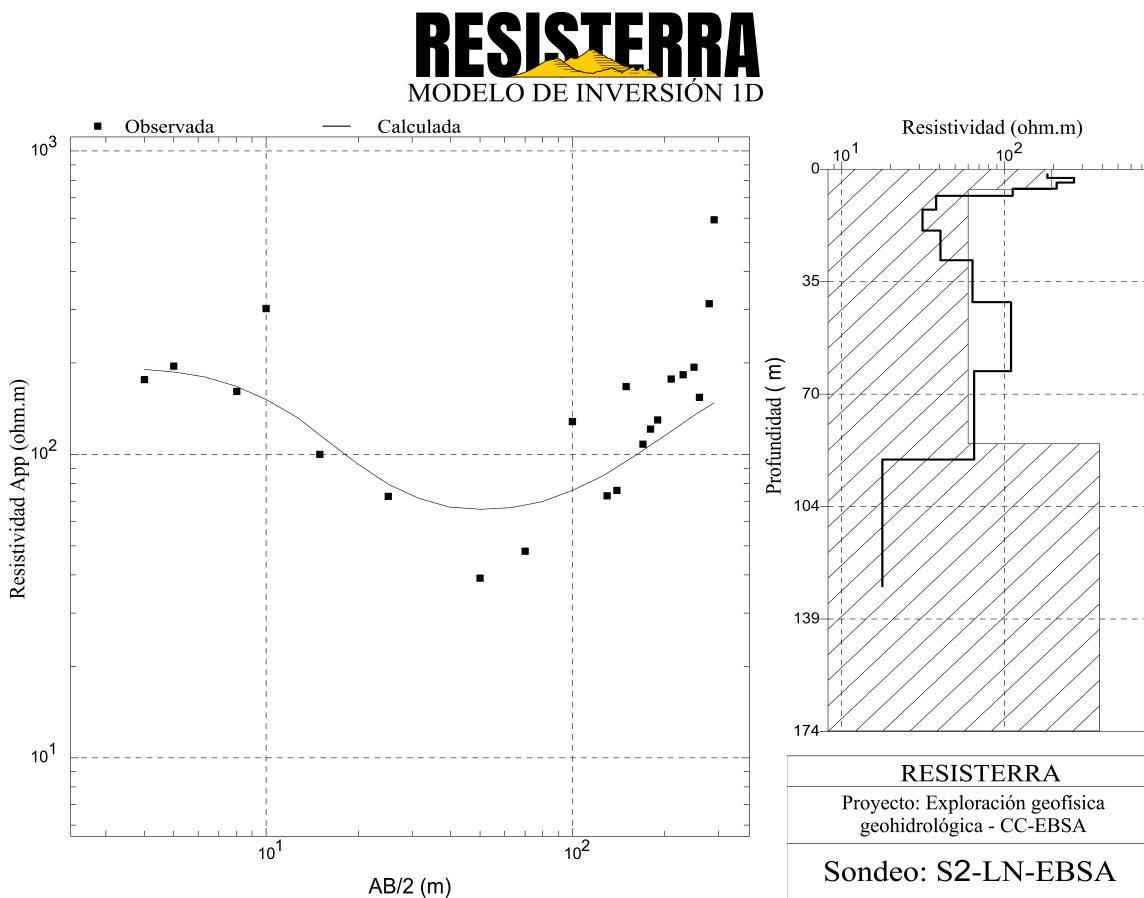


Figura 9: Modelo de invención 1D del sondeo S2-LN-EBSA.

### 6.1.3. S3-LN-EBSA

En el tercer sondeo dadas las condiciones de sitio solo se logra alcanzar una profundidad máxima de 60 m, la primera unidad iso-resistiva corresponde a Aluvial (Qhoal) no saturada, mientras que la segunda unidad iso-resistiva corresponde a una unidad no diferenciada de Aluvial (Qhoal) y Conglomerado Oligomictico (QhoCgo), cuya respuesta resistiva se relaciona directamente con una unidad saturada, a continuación se muestran las unidades geológicas identificadas en la zona de estudio, relacionadas a las unidades iso-resistivas respectivas, así como los espesores aproximados de ambas unidades, al igual que el modelo de inversión y los resultados del procesado.

Tabla 5: Modelo de inversión 1D sitio S3-LN-EBSA.

Unidad	Resistividad	Espesor
Qhoal	437.2 ohm*m	6 m
Qhoal-QhoCgo	90 ohm*m	6-70 m

<sup>1</sup> Resultados de inversión 1D tercer sondeo.

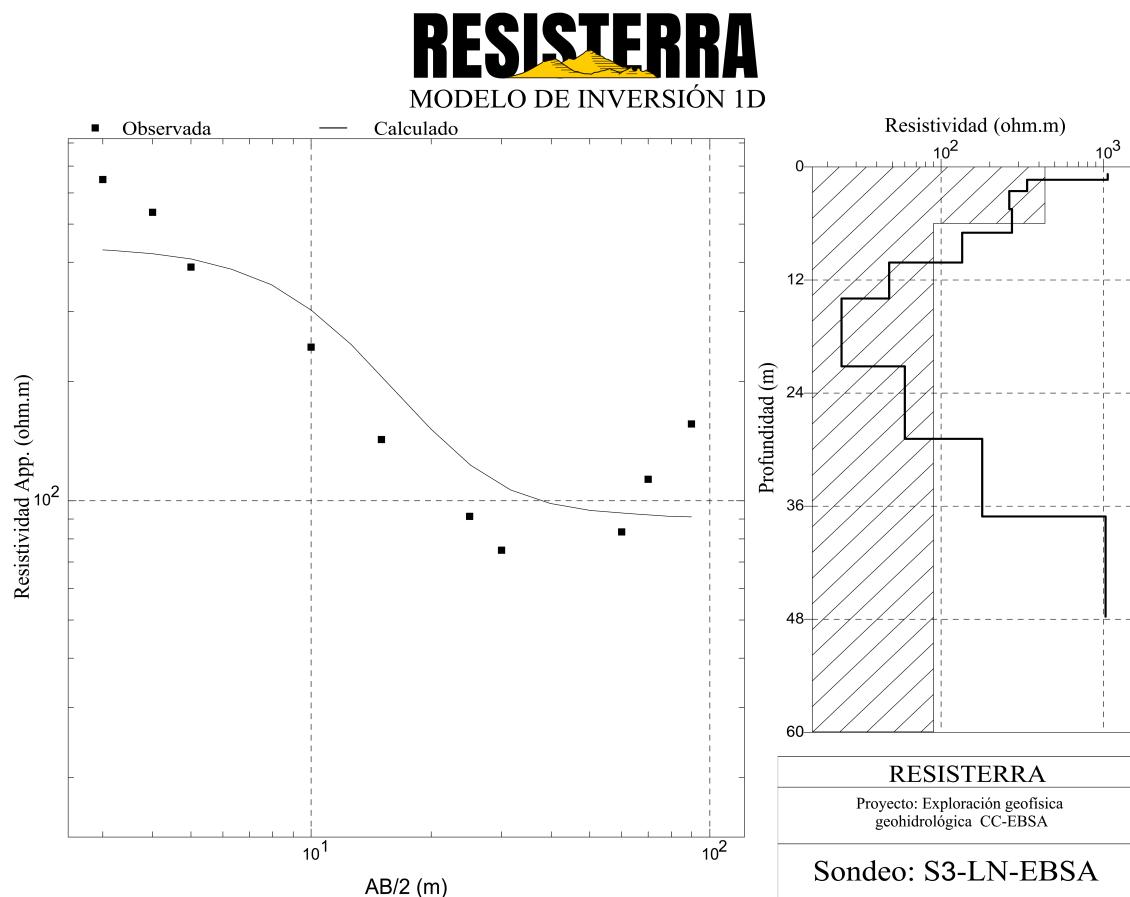


Figura 10: Modelo de invención 1D del sondeo S3-LN-EBSA.

## 6.2. Resultados de seudo secciones

En las siguientes seudo secciones, se observa la interpolación de la corrección smoothed [1] contra el perfil del modelo de inversión 1D respectivo a cada sitio (correspondiente a la barra de colores que se ubica justo debajo del sitio del sondeo), de igual forma se observa la profundidad máxima obtenida y la correlación entre las unidades identificadas mediante el grid de interpolación.

La primera unidad iso resistiva, apegada al contexto geológico del sitio de estudio y donde de observa en la correlación entre los resultados del modelo de inversión, corresponde a una primera unidad de Aluvial (Qhoal) identificada en la parte superior, con valores de resistividad calculada de 150 ohm\*m, 196 ohm\*m y 437 ohm\*m para el primer, segundo y tercer sondeo respectivamente, siendo mucho mas claro en el modelo de inversión 1D que en el grid de interpolación.

La una segunda unidad corresponde a una serie no diferenciada de Aluvial (Qhoal) y Conglomerado Oligomítico (QhoCgo), con valores de resistividad calculada que va de 60 a 90 ohm\*m para los tres sondeos, esta unidad iso resistiva se identifica en el grid como el área de colores del rango azul a morado, siendo las capas mas conductivas, es de importante mencionar que la respuesta y comportamiento resistivo es congruente con unidades de Conglomerado Oligomítico (QhoCgo) saturado y que el espesor de esta unidad iso resistiva va de los 60.7 a 78.4 m en los tres sitios.

La ultima Unidad iso resistiva presenta valores resistivos altos, del orden de los 804 a 4765 ohm\*m los cuales se correlacionan a posibles unidades de Caliza Lutita (KcossCz) de la formación Austin [10], presentes en la zona de estudio, ya que por su constitución y baja permeabilidad se espera una una resistividad alta, por lo que se asocian a esta unidad, es posible identificarla en los seudo secciones como el are de tono verde a rojo.

Finalmente se infiere una relación entre las seudo secciones dado el resultado de las resistividades calculadas a partir de el modelo de inversión 1D, ya que en los tres modelos es claro el mismo comportamiento geoléctricos y la misma respuesta asociada a las unidades geológicas identificadas en el sitio.

### 6.2.1. Seudo sección S1-S3-LN-EBSA

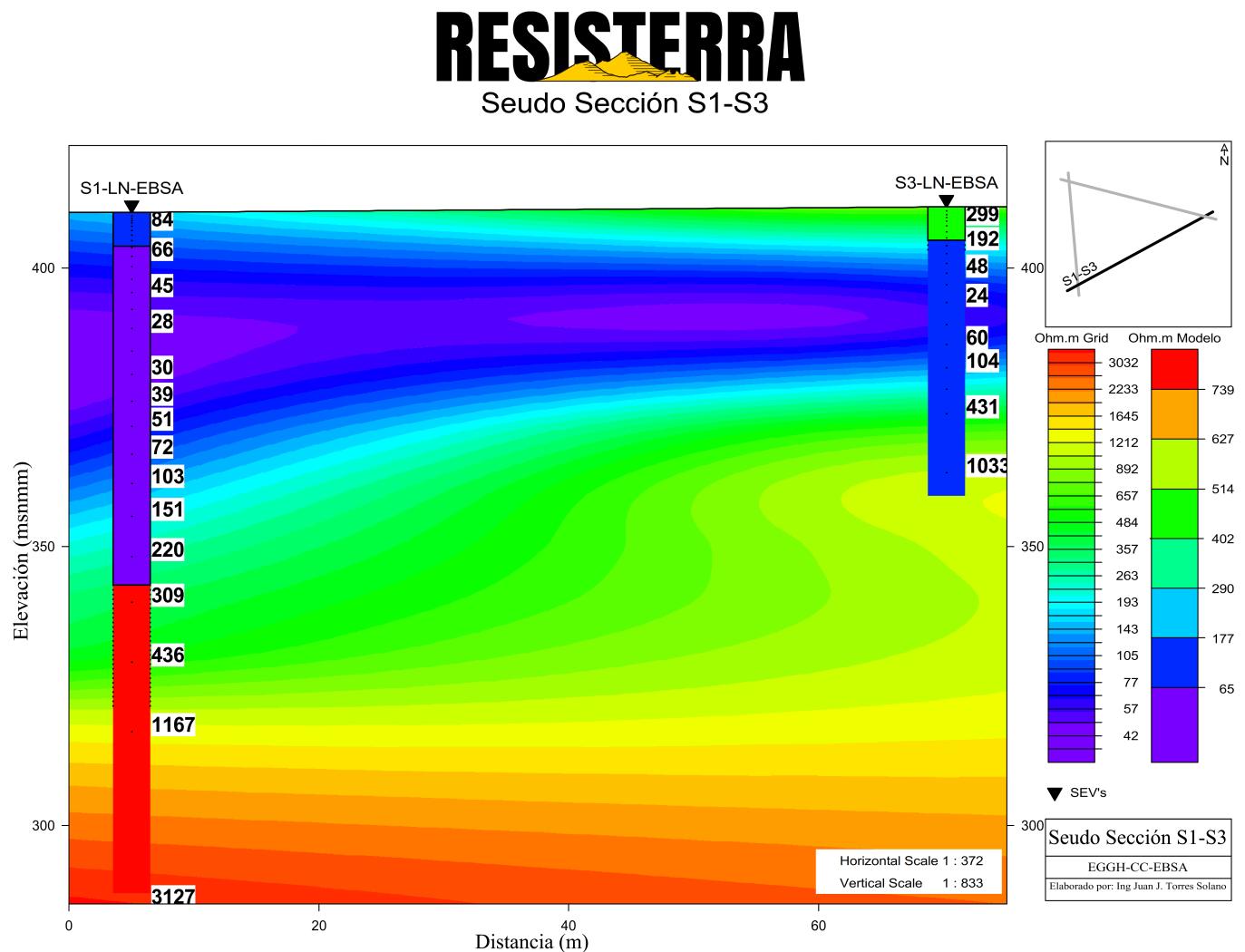


Figura 11: Perfil de la seudo sección entre el sondeo S1-LN-EBSA y S3-LN-EBSA, se observa sobrepuerto el modelo de capas de inversión 1D de cada sondeo, con respecto a la seudo sección de resistividad aparente.

### 6.2.2. Seudo sección S2-S1-LN-EBSA

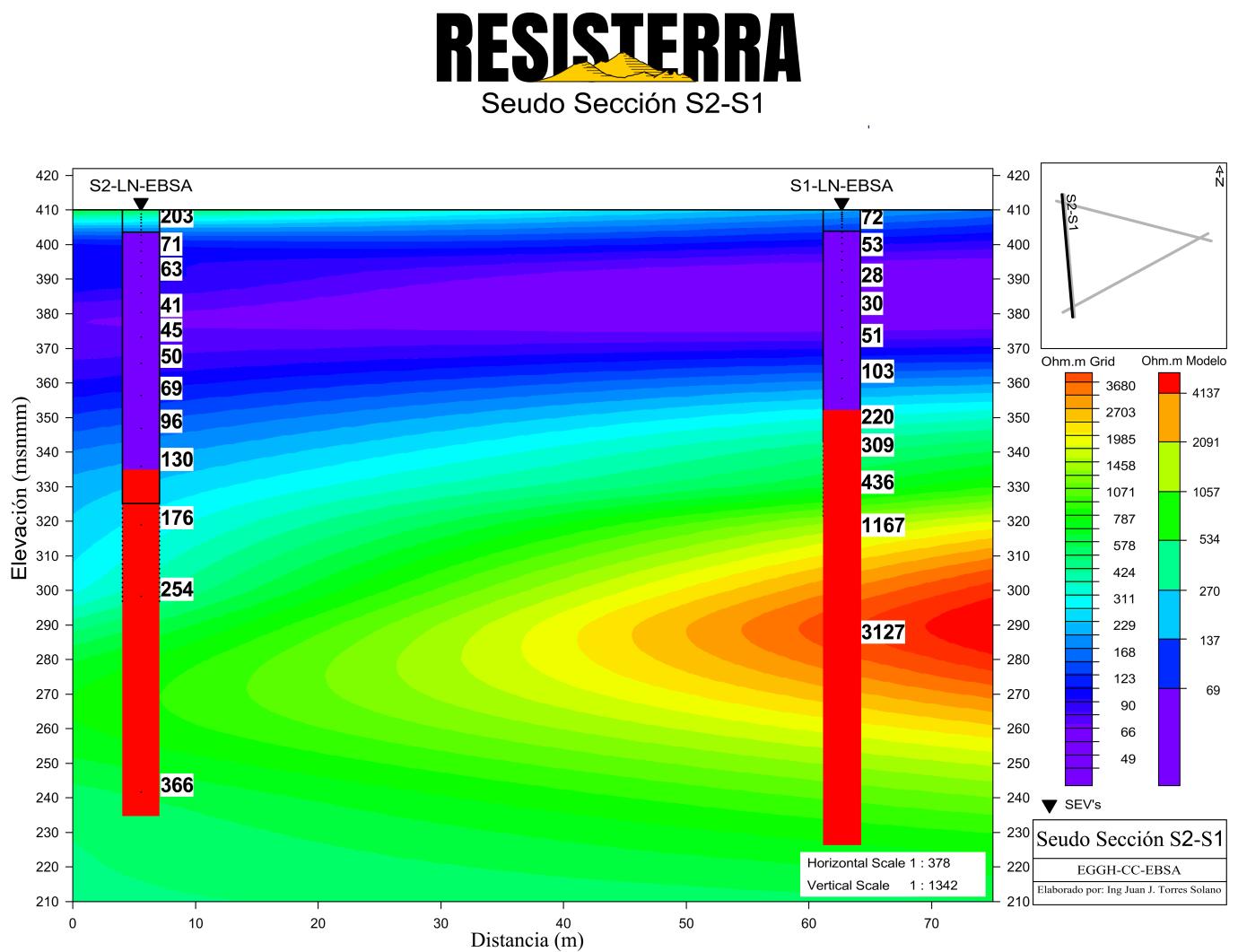


Figura 12: Perfil de la seudo sección entre el sondeo S2-LN-EBSA y S1-LN-EBSA, se observa sobrepuerto el modelo de capas de inversión 1D de cada sondeo, con respecto a la seudo sección de resistividad aparente.

### 6.2.3. Seudo sección S2-S3-LN-EBSA

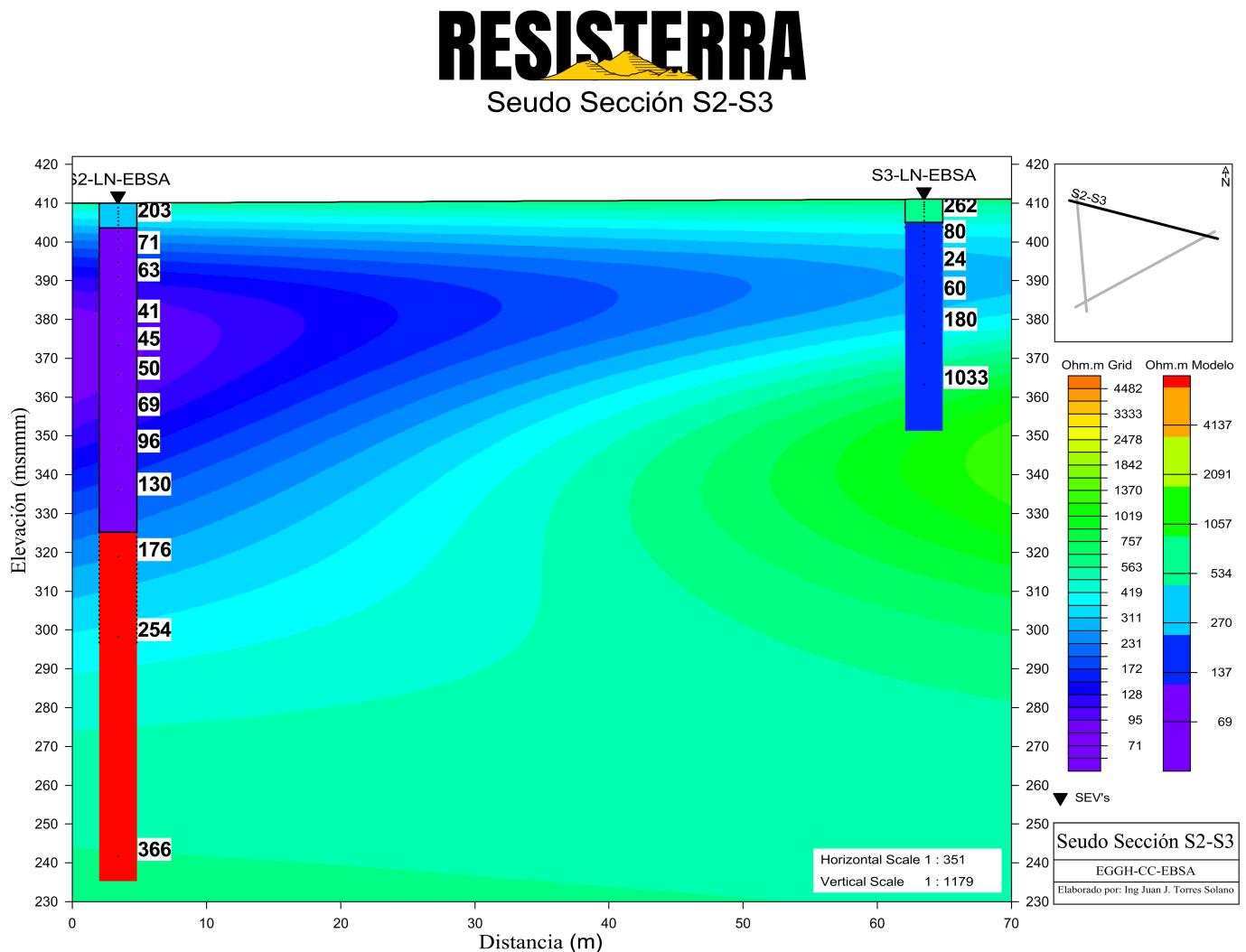


Figura 13: Perfil de la seudo sección entre el sondeo S2-LN-EBSA y S3-LN-EBSA, se observa sobrepuerto el modelo de capas de inversión 1D de cada sondeo, con respecto a la seudo sección de resistividad aparente.

## 7. Conclusión

De acuerdo a los resultados antes mostrados, con base en los objetivo del presente trabajo, se concluye y se alcanzan los objetivos planteados para el presente estudio, detallando lo siguiente:

- Apartide del modelo de inversión 1D y los resultados de las seudo secciones entre los sondeos eléctrico verticales, es posible inferir como profundidad saturación para el sitio S1-LN-EBSA a partir del metro 6.1, continuando por 60.7 metros, presentando una saturación diferencial, es decir variable con respecto a la posición, se identifica la parte central de esta unidad iso resistiva como muy favorable entre una profundidad de 15 a 50 m, en los sondeos S2-LN-EBSA y S3-LN-EBSA, pese a incluir un rango menos profundo de exploración, se observa la misma tendencia y comportamiento relacionado a valores de resistividad de un medio saturado, propio de las unidades geológicas identificadas en la zona de estudio.
- Localmente existen condiciones favorables para la captación hídrica, y es evidente que existen las condiciones favorables para el almacenamiento del recurso en el subsuelo, sobretodo en las zonas de contacto geológico, zonas que ampliamente distribuida debido al intrusivo volcánico cerro colorado, el cual aproxima en su límites los contactos de las capas receptivas e incrementando la permeabilidad secundaria por fracturas y fallas locales producto del mismo proceso, favoreciendo la captación en el proceso de escurrimiento.
- Finalmente se identifican los espesores de la zona iso resistiva clasificada como saturada, teniendo un espesor que va de los 60.7 m a 78.4 m de espesor, descrita en el apartado Resultados de seudo secciones", se identificada como unidad no diferenciada de Aluvial (Qhoal) y Conglomerado Oligomítico (QhoCgo), con valores de resistividad calculada que va de 60 a 90 ohm\*m para los tres sondeos, por tanto se puede asumir que persiste una secuencia en las unidades geohidrológica en el sitio de estudio.

## Referencias

- [1] Chen, J., Beraun, J., and Jih, C. (1999). Completeness of corrective smoothed particle method for linear elastodynamics. *Computational mechanics*, 24(4):273–285.
- [2] Delgado, C. C. (2007). *Geografía de Nuevo León*. Fondo Editorial de NL.
- [3] Dentith, M. and Mudge, S. T. (2014). *Geophysics for the mineral exploration geoscientist*. Cambridge University Press.
- [4] Garcia, I. A. A. R. (2011). Atlas de riesgo natural del municipio de lampoazos de naranjo.
- [5] INEGI (2023a). Datos y metadatos.
- [6] INEGI (2023b). Metadatos de el sistema de informaciÓn geogrÁfica de acuíferos y cuencas.
- [7] Loke, M. H. (1999). Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. *A practical guide to*, 2:70.
- [8] Loke, M. H. (2004). Tutorial: 2-d and 3-d electrical imaging surveys.
- [9] Mexicano, S. G. (1999). Carta geolÓgica minera valladares g14-a55.
- [10] RODRÍGUEZ, I. L. M., HUERTA, I. A. M., GARRIDO, I. E. S., and VARGAS, P. M. A. P. Informe final de la cartografía geológico minera escala 1: 250 000, carta nueva rosita clave g14-1, estados de coahuila y nuevo leÓn.

## Anexo A. Sondeos Eléctricos Verticales

### A.1. Sondeo S1-LN-EBSA

Tabla A.1: Coordenadas del punto de atribución S1-LN-EBSA.

SEV	Datum	Coordenada E	Coordenada N	Altitud
S1-LN-EBSA	UTM Zona 14N	351187 mE	2960040 mN	410 msnmm

<sup>a</sup> Punto de atribución del reglo geeléctrico del sitio 1, dirección de apertura hacia el NNW (ver Figura 2).

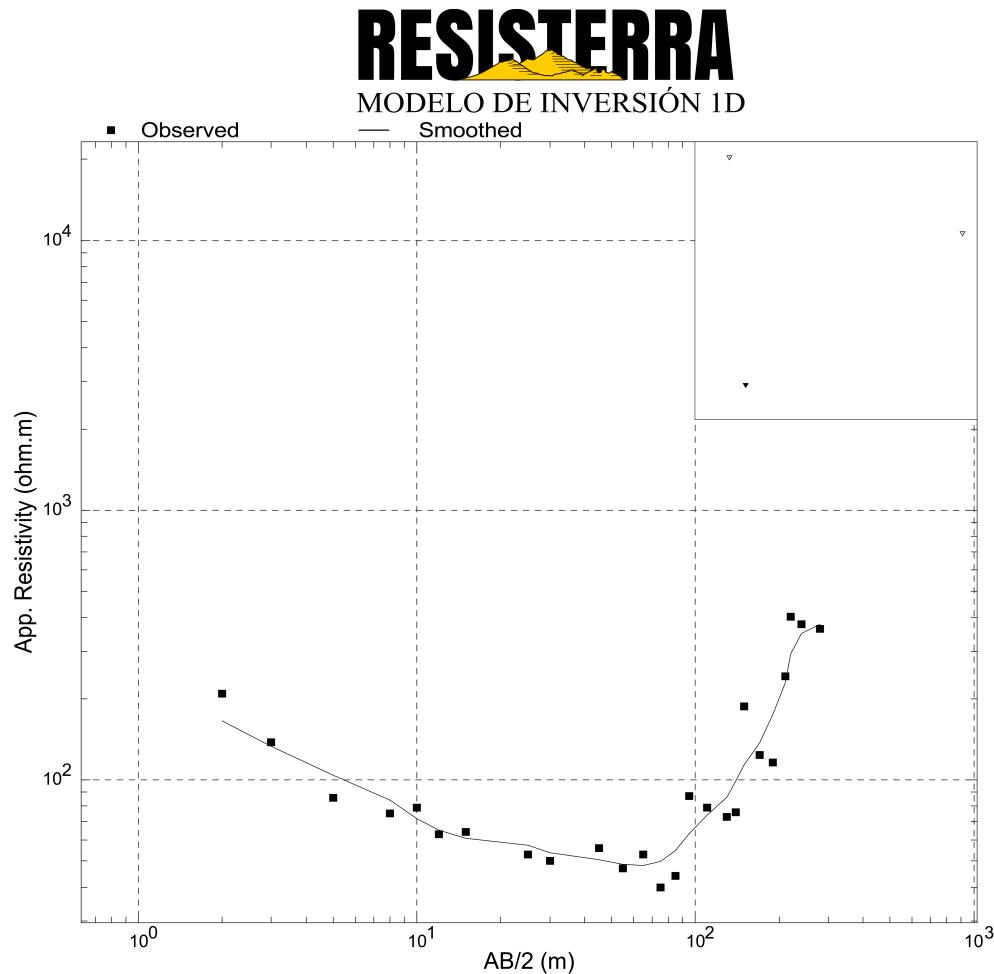


Figura A.1: resultados de resistividad Aparente contra apertura de corriente.

Tabla A.2: Sondeo 1, datos de adquisición en campo.

<b>AB/2</b>	<b>MN</b>	<b><math>\Delta V</math></b>	<b><math>I</math></b>	<b><math>Rha(\rho a)</math></b>
2	0.5	8.3	1.0	209.44
3	0.5	7.3	3.0	138.23
5	0.5	8.0	14.7	85.57
5	1	14.3	24.7	44.38
8	1	12.0	32.0	75.48
10	1	1.7	6.7	79.79
10	2.5	4.3	7.0	77.79
12	2.5	7.7	22.0	63.47
15	2.5	19.3	86.0	63.56
25	2.5	5.7	83.3	53.01
25	15	43.0	105.3	53.4
30	15	12.0	45.0	50.28
45	15	3.0	23.0	55.54
55	15	6.0	80.7	47.15
65	15	1.0	16.7	53.40
75	15	3.0	87.3	40.48
85	15	1.0	34.3	44.13
95	15	1.7	36.0	86.93
110	15	1.3	42.7	78.62
130	15	2.0	97.7	72.56
140	15	2.0	107.7	76.29
150	15	1.0	22.0	215.13
150	30	1.7	24.3	162.54
170	30	2.3	56.7	124.33
190	30	5.0	162.7	116.13
210	30	1.3	25.3	241.76
220	30	1.7	21.0	402.26
240	30	1.0	16.0	376.99
260	30	3.0	173.3	122.61
280	30	1.0	22.7	363.33
300	30	1.7	106.7	147.65
300	50	2.0	109.3	103.69
320	50	27	1.0	17157.28

\* Se obtuvieron 33 muestras del sondeo S1-LN-EBSA, con una apertura máxima en AB de 640 m.

## A.2. Sondeo S2-LN-EBSA

Tabla A.3: Coordenadas del punto de atribución S2-LN-EBSA.

SEV	Datum	Coordenada E	Coordenada N	Altitud
S2-LN-EBSA	UTM Zona 14N	351183 mE	2960097 mN	409 msnmm

<sup>a</sup> Punto de atribución del reglo geoeléctrico del sitio 2, dirección de apertura hacia el NNW (ver Figura 2).

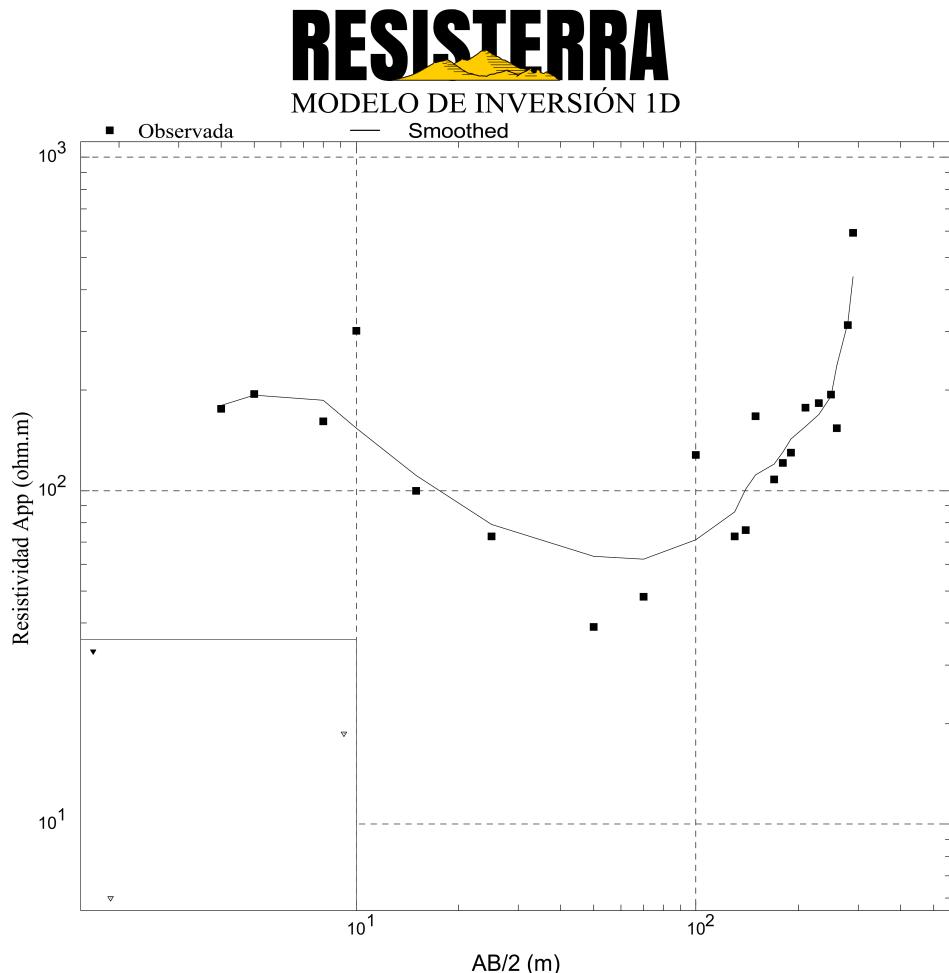


Figura A.2: resultados de resistividad Aparente contra apertura de corriente..

Tabla A.4: Sondeo 2, datos de adquisición en campo.

<b>AB/2</b>	<b>MN</b>	<b><math>\Delta V</math></b>	<b><math>I</math></b>	<b><math>Rha(\rho a)</math></b>
3	0.5	5.3	15.0	20.11
4	0.5	17.0	11.0	176.45
5	0.5	40.7	80.3	80.28
5	2.5	535.3	45.0	476.64
8	2.5	11.3	5.7	160.85
10	2.5	8.0	4.0	301.59
15	2.5	21.3	61.7	100.04
25	2.5	5.0	58.7	67.04
25	15	121.7	26.7	630.45
30	15	4.0	82.7	9.17
40	15	1.0	51.3	6.54
50	15	5.7	74.7	39.46
70	15	1.3	51.0	48.14
80	15	2.0	167.0	16.05
100	15	1.0	16.3	128.33
120	15	2.0	7.0	837.66
130	15	2.0	97.7	72.56
140	15	2.0	107.7	76.29
150	15	1.0	22.0	215.13
150	30	1.3	20.0	159.71
170	30	1.0	29.0	108.10
180	30	1.0	28.3	121.31
190	30	3.0	87.7	130.22
210	30	2.0	52.3	177.49
230	30	1.0	30.3	183.46
250	30	1.0	34.0	194.49
260	30	1.0	46.0	153.89
280	30	1.0	26.3	313.65
290	30	1.0	15.0	592.77

\* Se obtuvieron 29 muestras del sondeo S2-LN-EBSA, con una apertura máxima en AB de 580 m.

### A.3. Sondeo S3-LN-EBSA

Tabla A.5: Coordenadas del punto de atribución S3-LN-EBSA.

<b>SEV</b>	<b>Datum</b>	<b>Coordinada E</b>	<b>Coordinada N</b>	<b>Altitud</b>
S3-LN-EBSA	UTM Zona 14N	351240 mE	2960078 mN	410 msnmm

<sup>a</sup> Punto de atribución del reglo geoeléctrico del sitio 3, dirección de apertura hacia el W-E (ver Figura 2)

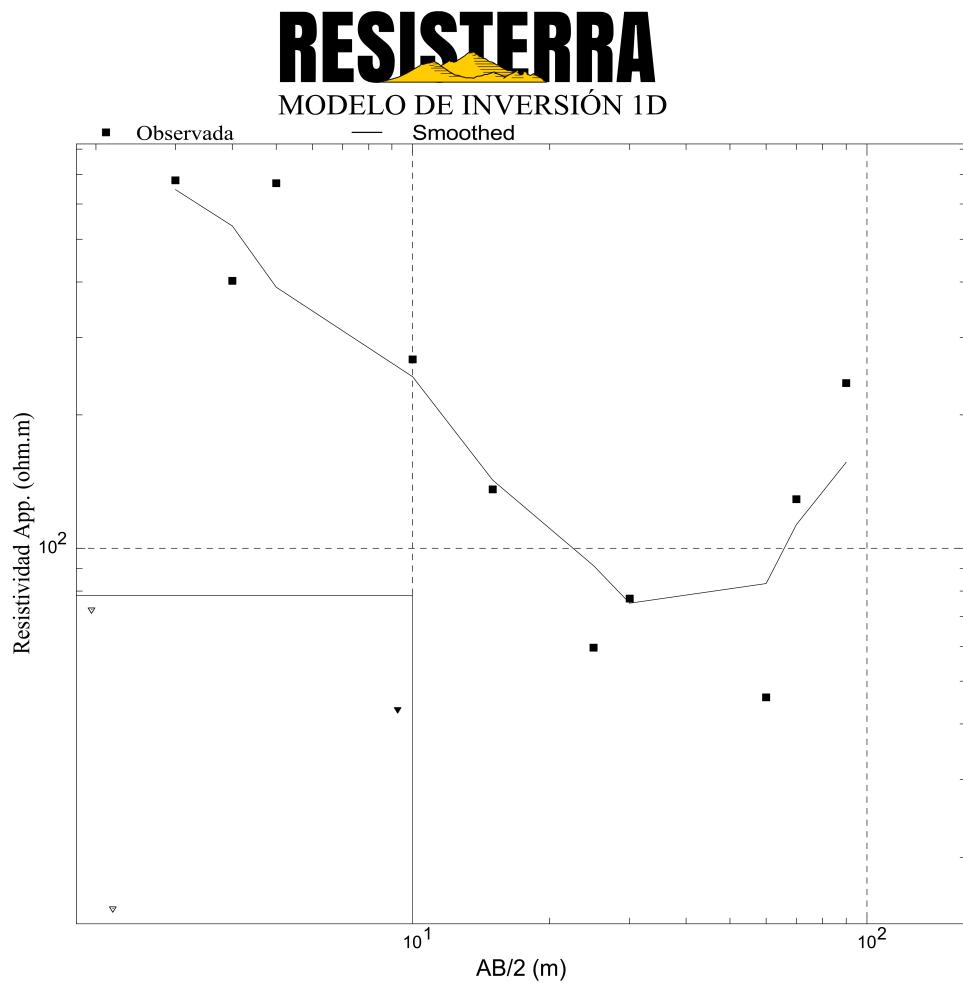


Figura A.3: resultados de resistividad Aparente contra apertura de corriente..

Tabla A.6: Sondeo 3, datos de adquisición en campo.

<b>AB/2</b>	<b>MN</b>	<b><math>\Delta V</math></b>	<b><math>I</math></b>	<b><math>Rha(\rho a)</math></b>
3	0.5	18.0	1.7	678.58
4	0.5	29.3	7.3	402.72
5	0.5	15.7	3.7	638.30
5	2.5	104.3	5.0	655.55
10	2.5	34.0	16.0	276.04
15	2.5	45.7	94.7	136.39
25	2.5	5.0	58.7	67.04
25	15	121.7	26.7	53.44
30	15	4.0	82.7	76.95
40	15	8.8	173.0	17.11
60	15	10.9	180.3	45.72
70	15	6.0	49.0	128.69
90	15	1.7	12.0	235.62
100	15	3.1	92.3	68.25

\* Se obtuvieron 14 muestras del sondeo S3-LN-EBSA, con una apertura máxima en AB de 200 m.

## Anexo B. Evidencia fotográfica



Figura B.1: S1-LN-EBSA, sitio de estudio preparación de adquisición geofísica.



Figura B.2: S1-LN-EBSA, vista de dirección de tendido.



Figura B.3: S1-LN-EBSA, Punto de atribución del sondeo.



Figura B.4: S2-LNEBSA, disposición del arreglo y vista lateral del segundo sondeo.



Figura B.5: S2-LN-EBSA, punto de atribución del sondeo.



Figura B.6: S3-LN-EBSA, preparación del sitio tres para adquisición geofísica.



Figura B.7: S3-LN-EBSA, punto de atribución del sitio de estudio .