



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ESTUDIO GEOFÍSICO DE RESISTIVIDAD PARA DEFINIR LAS
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL SUBSUELO QUE SIRVAN DE APOYO
A LA IDENTIFICACIÓN DE CAPAS CON POSIBILIDADES DE CONTENER
AGUA EN LA ZONA ORIENTAL DEL MUNICIPIO DE HIDALGO DE PARRAL,
ESTADO DE CHIHUAHUA”**

INFORME ESCRITO PARA TITULACIÓN POR OPCIÓN DE TRABAJO
PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO GEÓLOGO

P R E S E N T A:
JOSÉ RAFAEL REYES SERRANO

TUTOR:
ING. ALBERTO ARIAS PAZ

Ciudad Universitaria, enero de 2013



Índice

Resumen

Capítulo 1. Generalidades

- 1.1 Introducción
- 1.2. Objetivo
- 1.3. Marco geográfico de referencia
 - 1.3.1. Localización
 - 1.3.2. Vías de comunicación
 - 1.3.3. Hidrografía
 - 1.3.4. Clima

Capítulo 2. Metodología

- 2.1. Actividades de campo
 - 2.1.1. Exploración geofísica
 - Técnica del sondeo transitorio electromagnético
 - Modelo suavizado
 - Modelo unidimensional
 - 2.1.2. Método de trabajo en campo
 - 2.1.3. Características del equipo de medición *Sirotem*
- 2.2. Actividades de gabinete

Capítulo 3. Marco geológico e hidrogeológico de referencia

- 3.1. Fisiografía
- 3.2. Geología
- 3.3- Hidrogeología

Capítulo 4. Exploración geofísica

- 4.1. Generalidades
- 4.2. Interpretación
 - 4.2.1. Perfiles de resistividad
 - Perfil de resistividad 1
 - Perfil de resistividad 2
 - 4.2.2. Secciones geoelectricas
 - Sección geoelectrica 1
 - Sección geoelectrica 2
- 4.3. Correlación geológica - geofísica

Capítulo 5. Conclusiones

Capítulo 6. Referencias

Software

Anexos

- Anexo 1 Perfiles de resistividad
- Anexo 2 Secciones geoelectricas y correlación geológica
- Anexo 3 Resultados de procesamiento de los TEMs
- Anexo 4 Memoria fotográfica

Resumen

Se realizó un estudio geofísico aplicando la técnica del sondeo electromagnético en el dominio del tiempo (TEM) en la parte oriental del municipio de Hidalgo de Parral, estado de Chihuahua.

El objetivo del estudio es conocer las propiedades eléctricas y asociarlas a las unidades litológicas del subsuelo e identificar la unidad litológica o estratigráfica con posibilidades de contener agua.

Se realizaron nueve sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo (TEM), con bobina de 300 x 300 m para conocer las propiedades eléctricas del subsuelo hasta una profundidad de 800 m.

La interpretación de los TEMs identificó cuatro unidades geoeléctricas, hallándose que la unidad C, asociada a rocas sedimentarias de tipo lutita-caliza, representa el basamento hidráulico de la zona.

Las unidades geoeléctricas que por su valor de resistividad y espesor presentan condiciones para contener agua son la A y B, asociadas a tobas riolíticas, conglomerado polimíctico y aluvión con espesores que miden entre los 100 y 400 m.

Los sondeos, que por sus características pueden considerarse atractivos para realizar perforaciones exploratorias son en orden de importancia el VG-04, VG-08 y VG-09 a una profundidad de 250 a 300 m.

En caso de tomar la decisión de realizar perforaciones exploratorias, deberá llevarse una supervisión estricta de la perforación con recuperación de muestras a cada 2 m y al término efectuar un registro geofísico de pozo de nueve curvas (normal corta, normal larga, lateral, resistencia, potencial natural, rayos gamma naturales, temperatura, gradiente de temperatura y resistividad de fluido) con la finalidad de conocer las características físicas en el interior del pozo como: permeabilidad, definición y espesor de unidades litológicas, arcillosidad y presencia de agua. Así como para hacer el diseño constructivo del pozo.

Antes de realizar cualquier actividad relacionada con la perforación será necesario contar con los permisos correspondientes y con la autorización del volumen de extracción y los derechos de explotación autorizados que otorga la Comisión Nacional del Agua. Asimismo, se deberá considerar el costo de la instalación la línea de corriente eléctrica y de conducción del agua.

Capítulo 1. Generalidades

1.1. Introducción

Se hicieron estudios geológico-geofísicos para conocer las propiedades eléctricas del subsuelo al oriente del municipio de Hidalgo de Parral, Chih., con el fin correlacionarlas con las unidades litológicas y determinar el espesor de la unidad geológica que tenga la capacidad de almacenar agua y definir si tienen potencial hídrico para su extracción.

Por lo anterior, se propuso realizar una exploración geoelectrica aplicando el método de sondeo electromagnético en el dominio del tiempo (TEM), con bobina de 300 x 300 m para investigar a una profundidad del orden de los 800 m.

1.2. Objetivo

Identificar la unidad geológica capaz de almacenar agua para su extracción por medio de la interpretación del contraste de resistividades de los datos tomados en campo con la técnica del Transitorio Electromagnético (TEM), así mismo, determinar el basamento lutita-caliza.

1.3. Marco geográfico de referencia

1.3.1. Localización

El Municipio de Hidalgo de Parral, Chih., está situado geográficamente al sur del estado de Chihuahua, limitado con los municipios de Allende, Matamoros, Valle de Zaragoza, San Francisco del Oro y Santa Bárbara, con una extensión territorial de 1.751 km². La zona de estudio se localiza al oriente de la ciudad de Hidalgo de Parral, Chih. Dentro de los límites del acuífero denominado Parral-Valle del Verano. **Figura 1.1.**

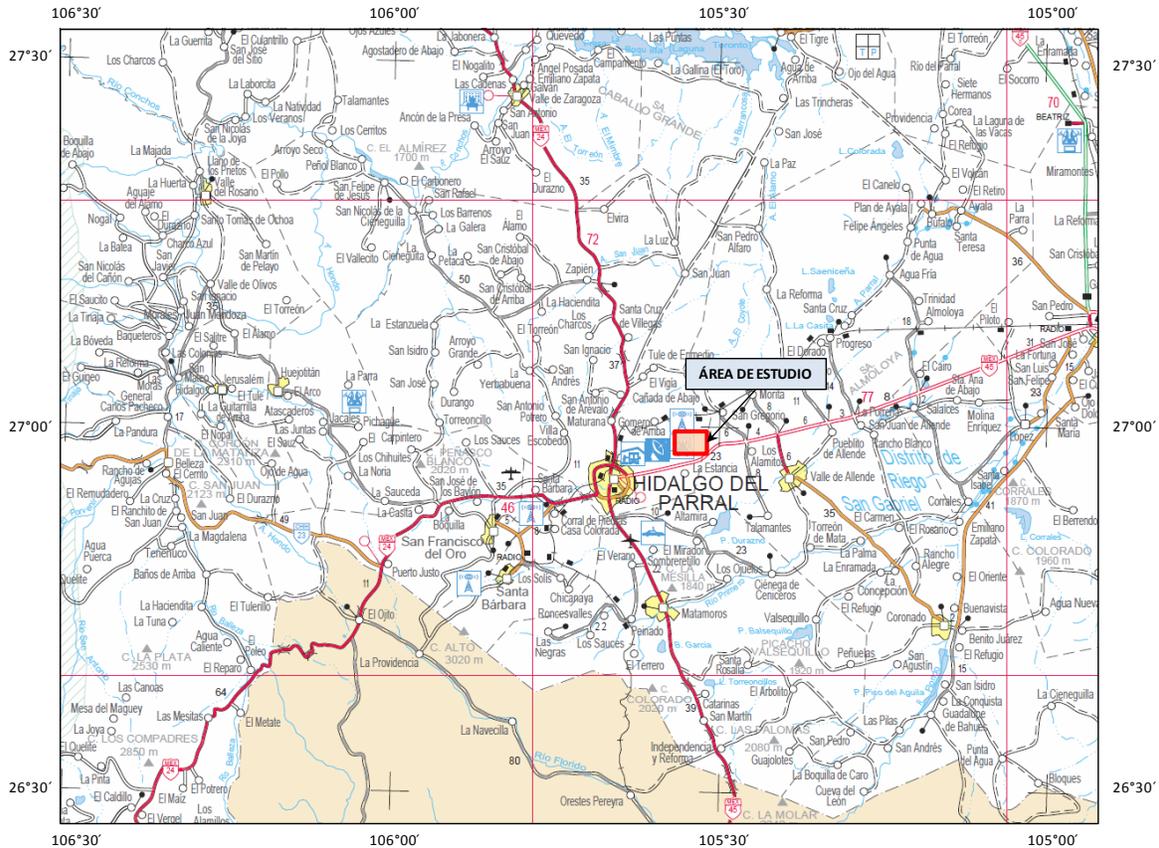


Figura 1.1. Localización de la zona de estudio (Tomado de SCT 2002)

1.3.2. Vías de comunicación

La zona cuenta con carreteras federales pavimentadas la 23, 24, 45 y 73 que comunican con las principales ciudades: Chihuahua, Delicias, Ciudad Camargo y Ciudad Jiménez, también cuentan con servicios de líneas de energía eléctrica, teléfono e internet. **Figura 1.1.**

1.3.3. Hidrografía

La zona de estudio se ubica en la Región Hidrológica No. 24, zona Alta de la Cuenca del Río Bravo, Cuenca del Río Conchos, en los límites de las subcuencas del Río Florido y Río Conchos Presa de la Colina. **Figura 1.2.**

La principal corriente de agua superficial es el Río Parral, la cual es captada por la presa Parral con una capacidad de 10.2 Mm³/año, dicha presa se localiza, aproximadamente a 14 km al sur de la zona de estudio.



Figura 1.2. Regiones Hidrológicas (tomado de INEGI, 2010)

1.3.4. Clima

De acuerdo con la clasificación de *Köppen* (modificada por Enriqueta García para las condiciones de la República Mexicana) en el área de estudio predomina el clima semiseco templado, **Figura 1.3**, con un rango de precipitación media anual de 400 a 500 mm, **Figura 1.4**, y una temperatura media anual con valores entre los 16 y 18 °C, **Figura 1.5**.



Figura 1.3. Clima (tomado de INEGI 2010)



Figura 1.4. Precipitación (tomado de INEGI 2010)



Figura 1.5. Temperatura media anual (tomado de INEGI 2010)

Capítulo 2. Metodología

La metodología empleada en el presente estudio se enfocó en la exploración geofísica y recopilación geológica del área de estudio, en la **Tabla 2.1** se muestra la metodología que se aplica para la localización de fuentes de abastecimiento de agua subterránea. Para este estudio sólo se realizaron las actividades marcadas en negrita y subrayadas.

Tabla 2.1. Metodología empleada para la localización de fuentes de abastecimiento de agua potable

Proceso	Recopilar Información	Verificar Geología	Geofísica Medir propiedades de las rocas	Evaluar Hidrogeología	Dictaminar
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Obtener información sobre geología, geofísica, hidrogeología de la zona de estudio</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobar la columna geológica y estructuras de la zona, definir las unidades de roca susceptibles de contener agua 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Realizar exploración geofísica</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer las condiciones y características hidráulicas de la zona de estudio 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Analizar, integrar y definir si el área presenta condiciones favorables para extraer agua</u>
Actividades	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Buscar información en diversas instancias de gobierno, organismos operadores y universidades</u> • <u>Adquirir planos topográficos base en escala 1:50,000</u> • Análisis de estaciones climatológicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Hacer reconocimiento geológico para verificar la columna estratigráfica, contactos litológicos, estructuras geológicas y ambientes de depósito • <u>Proponer el método geofísico</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Ejecutar 9 sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo</u> • <u>Obtener unidades geoelectricas</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar pozos y uso • Medir en pozos -Nivel estático y/o dinámico -Gasto • Realizar prueba de bombeo (si hay permiso de los dueños de los pozos) • Nivelación topográfica de brocales de pozos 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Correlacionar la información geológica, hidrogeológica y geofísica</u> • <u>Estimar tipo de materiales a perforar</u> • <u>Proponer diseño constructivo del pozo</u> • <u>Definir actividades y obras complementarias</u>
Productos	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Contexto geográfico, geológico e hidrogeológico de la zona de estudio</u> • Plano topográfico de referencia • Mapa de isoyetas • Volumen de agua superficial que transita en la zona 	<ul style="list-style-type: none"> • Contexto geológico de la zona de estudio 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Resistividades y espesores</u> • <u>Corte geoelectrico</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad de pozos por área • Gradiente hidráulico • Uso de los pozos • Estimación de volumen de extracción de agua • Definición del medio hidrogeológico • Tipo de acuífero • <u>Disponibilidad de agua subterránea</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Documento en el que se define si el área estudiada es factible para la perforación de un pozo para abastecimiento de agua potable</u>

2.1. Actividades de campo

2.1.1. Exploración geofísica

Para conocer las características del subsuelo a una profundidad del orden de los 800 m se propuso la ejecución de nueve TEMs con bobina coincidente de 300 X 300 m.

- **Técnica del sondeo transitorio electromagnético**

En la década de los años ochentas inició el desarrollo de este método, el cual se basa en los fenómenos de relajación o transición que se desarrollan en el terreno, cuando se elimina o anula un campo eléctrico artificialmente inducido, **Figura 2.1**.

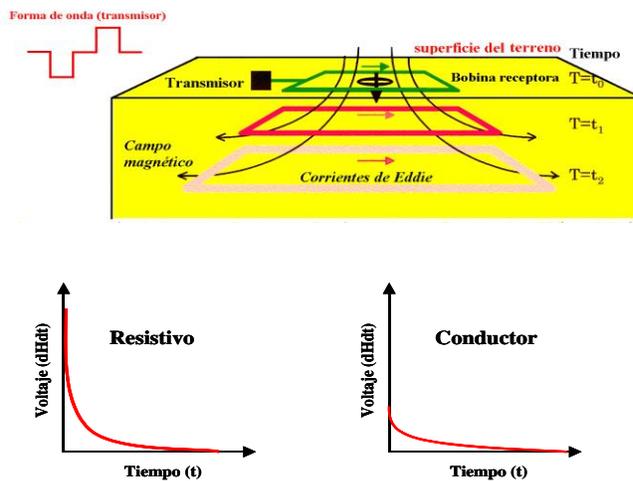


Figura 2.1 Principios del sondeo electromagnético TEM

La señal que normalmente se induce es de tipo escalón **Figura 2.2**, a través de un emisor o generador del campo electromagnético, consistente de un circuito en forma de cuadrado, por el que se hace pasar la señal. Al interrumpir la corriente se origina un campo magnético, que se amortigua y desaparece rápidamente. El receptor (bobina) está formado por el mismo circuito primario que origina el campo.

La rápida variación del campo magnético creado al interrumpir el paso de la corriente, origina voltajes variables con el tiempo en el circuito o bobina del receptor. El proceso se repite varias veces, almacenando las medidas con un procedimiento acumulativo, que destaca los voltajes creados y tiende a anular el ruido de fondo de la zona. Terminado el proceso, el equipo facilita las mediciones de los potenciales medidos, así como el registro de la curva del potencial, ambos en función del tiempo.

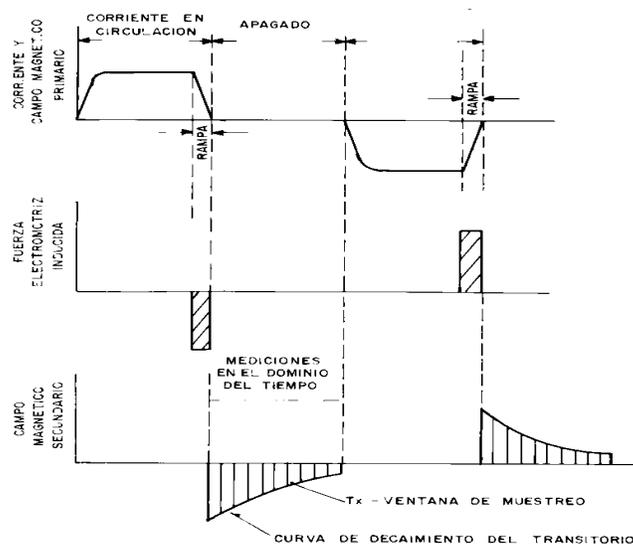


Figura 2.2. Tipo de señales para el transitorio electromagnético en el dominio del tiempo

Debido a la gran resolución vertical que se tiene con esta técnica, es posible obtener una imagen lo más real posible de las condiciones del subsuelo. En las secciones electrostratigráficas, es posible observar las heterogeneidades (zonas anómalas) debidas a estructuras geológicas, cambios de facies y fracturamiento de la roca, donde además, la presencia del agua influye en el valor medido, provocando cambios importantes en la resistividad, que para el caso de este estudio, es el parámetro experimental de campo que se mide.

En el proceso de los datos para la información electromagnética, se siguieron los estándares internacionales que se aplican para este fin, utilizando *software* y equipos con patente, como:

- Equipo *Sirotem MK3* con número de serie 3259.
- Programa *Temixs* para el proceso primario de los datos.
- Programa *Winglink* para utilizarlo como base de datos y formar secciones y mapas de resistividad.

El análisis de la información consiste en obtener para cada sitio un modelo unidimensional. Para ello, se parte de la curva de resistividad aparente, la cual se procesa en una primera etapa mediante el modelado por capas planas, siguiendo el método clásico de prueba y error, en el que se propone un cierto número de capas que dependen de las inflexiones de las curvas y los tiempos en los que ocurren las inflexiones. Una segunda etapa en el proceso de la curva de resistividad aparente es aplicar una regresión tipo *Occam* con lo cual se logra obtener un modelo multicapas (19 capas), para integrar secciones y simular un comportamiento bidimensional de la sección. En la **Figura 2.3** se describe el proceso de la adquisición y procesamiento de la información y en la **Figura 2.4** se presenta la forma en que se obtiene la información procesada.

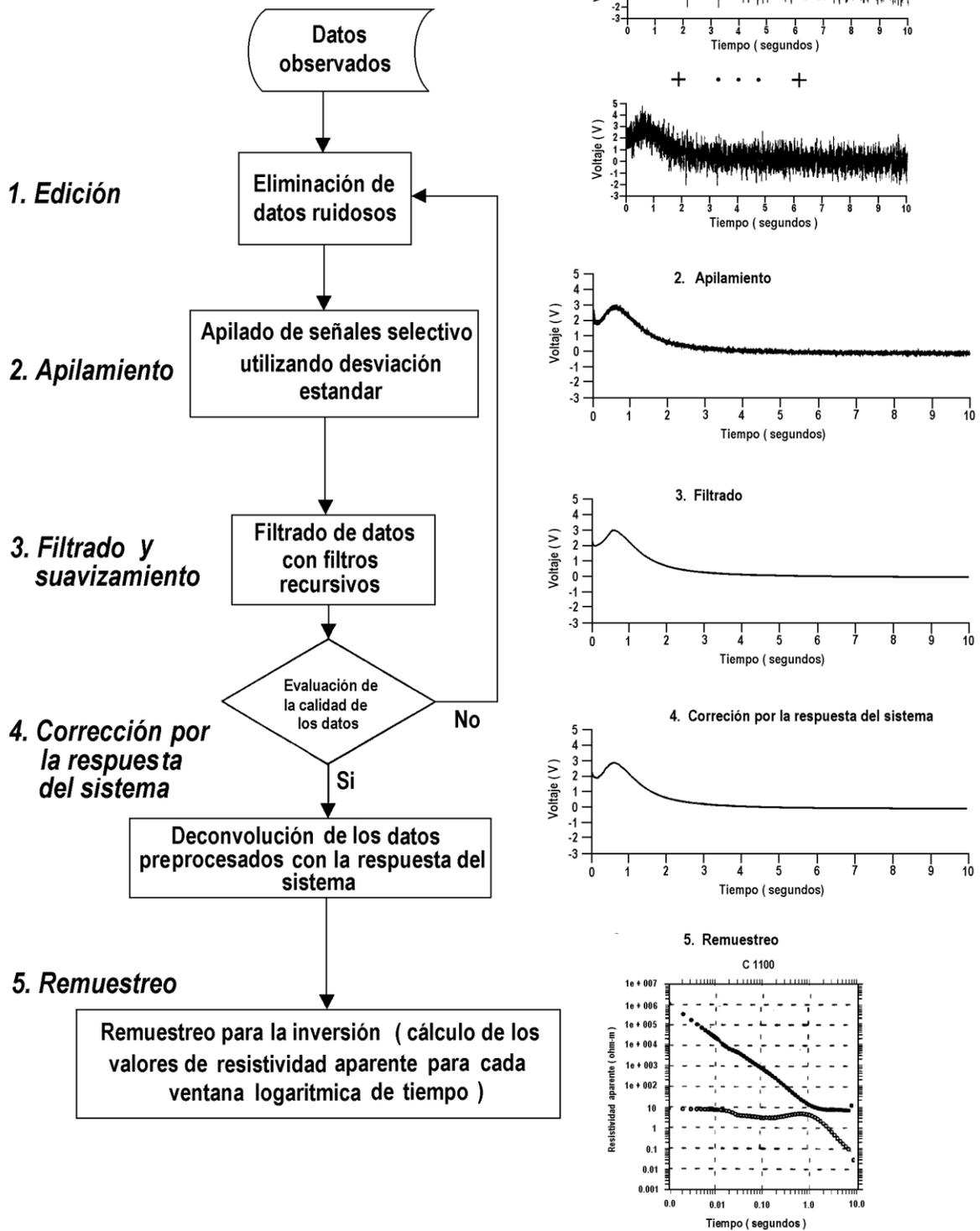


Figura 2.3. Diagrama de flujo del procesamiento de datos TEM

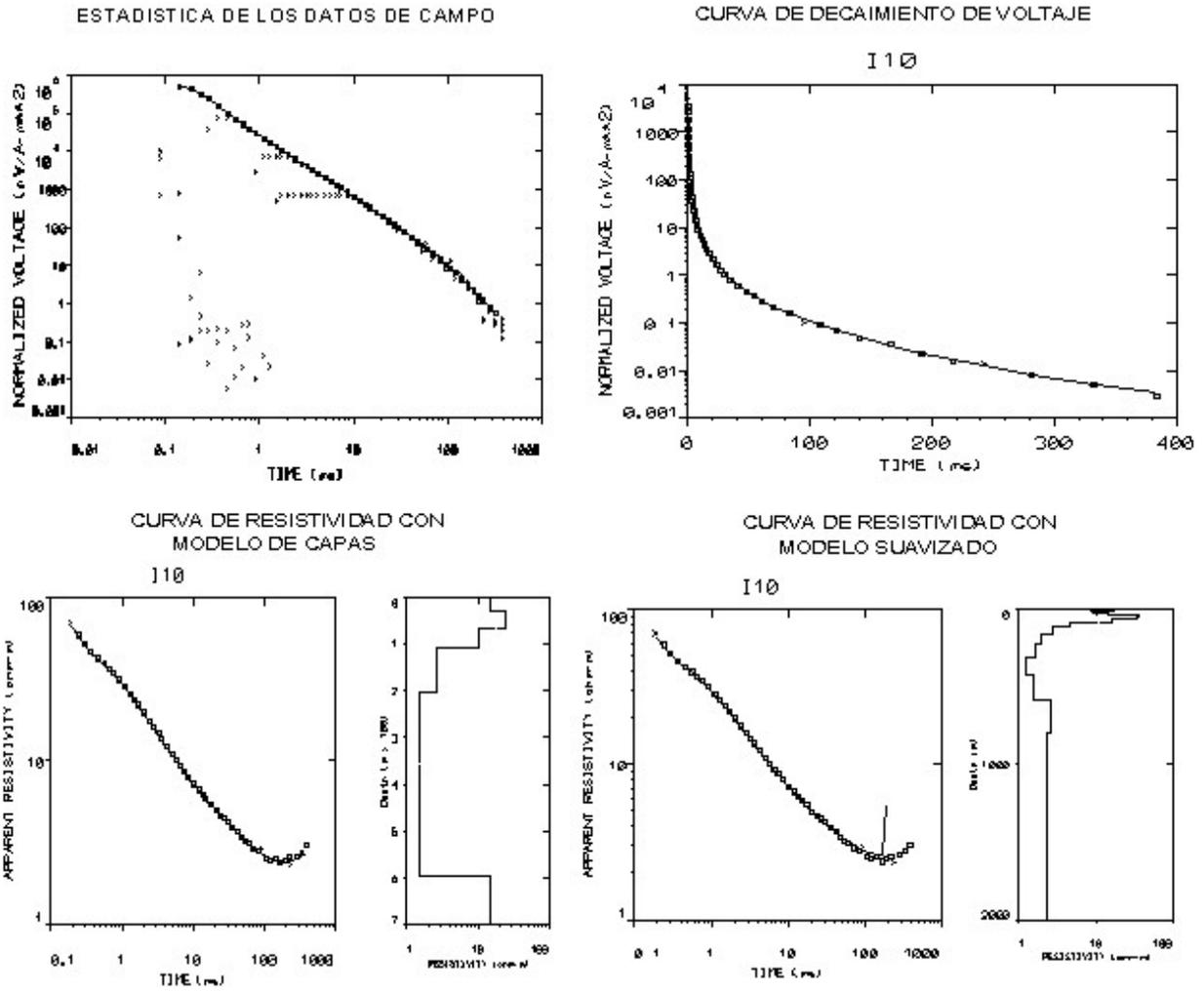


Figura 2.4. Presentación de resultados

- **Modelo suavizado**

El procesado de los datos electromagnéticos consistió en obtener los modelos suavizados mediante una regresión tipo *Occam*, en la que se proponen dos resistividades: inicial y final, basadas en los datos de campo.

El algoritmo requiere de un número de capas inicial, un valor de ajuste al que se quiere llegar y un número máximo de iteraciones, estos tres últimos parámetros no intervienen en la obtención del modelo suavizado, por lo que éste sólo depende de los valores de resistividad de campo.

- **Modelo unidimensional**

Los datos también fueron procesados por el modelado por capas o unidimensional, éste se hizo siguiendo el método clásico de prueba y error, en el que se propuso un cierto número de capas, dependiendo de las inflexiones de la curva de campo, las pendientes de la curva y los tiempos a los que ocurren las inflexiones.

Este proceso posibilita al intérprete a modificar los parámetros del modelo y presenta el cálculo de las curvas teóricas de las modificaciones realizadas, esta característica hace que el ajuste del modelo sea rápido.

Una vez que se ha obtenido un ajuste aceptable, el modelo generado se somete a una regresión automática con las técnicas de *Ridge* y de *Marquardt* con algoritmos de aproximación de tipo *Anderson* para obtener, por inversión, el mejor ajuste bajo el criterio del error cuadrático medio mínimo.

Los modelos obtenidos, fueron sometidos a un nuevo proceso para obtener una serie de modelos equivalentes que cumplieran con el mismo error de ajuste. Estos modelos equivalentes posibilitan establecer el intervalo de variación de los espesores y resistividades en cada capa del modelo original con fines de correlación electroestratigráfica.

2.1.2. Método de trabajo en campo

En el período de pruebas de campo se cumplió con:

- Pruebas del funcionamiento del equipo.
- Pruebas de la resistividad del circuito de transmisión y recepción.
- Análisis de la intensidad de corriente circulante de emisión.
- Análisis del ruido y respuesta del equipo con diferentes ganancias.
- Análisis de la penetración de la señal en el subsuelo (profundidad de investigación).
- Análisis de la repetitividad de la respuesta medida por el equipo.
- Determinación de los parámetros de registro a utilizar.

Las pruebas y análisis anteriores se hicieron en sitios diferentes repartidas en el área de estudio, de tal manera que fueran representativas de las condiciones generales esperadas. Estas pruebas dieron como resultado que el arreglo denominado "Loop coincidente" cumpliera con las especificaciones establecidas en el contrato, usando tendidos de 300 x 300 m, para garantizar una resistencia de 2.6 ohms en todo el tendido y una intensidad de corriente que varió entre 7 y 7.5 amperes.

El tiempo de medición se fijó entre 47 y 49 ventanas, con la serie de tiempo denominada *Early Time* del equipo *Sirotem*. Las mediciones se realizaron con ganancias de 0.1, 1, 10 y 100 y se efectuaron por lo menos, dos lecturas para cada ganancia, si las condiciones del sitio lo permitían para incrementar la calidad de la estadística.

El cable utilizado en la construcción de los *Loops* (cuadros o espiras) es de fabricación canadiense de calibre 10 y cuenta con 100 hilos, se preparó para su transporte en cuatro carretes de 300 m cada uno, de esta forma se facilitó el tendido de cable en el terreno para formar los *Loops* propuestos.

Se utilizó un geoposicionador tipo GPS de mano marca *Garmin modelo map60csx* de 12 canales con un error de ± 5 m. El área de estudio está comprendida geográficamente en la zona UTM 13. El Datum utilizado es el WGS84 que corresponde directamente con el sistema ITRF92 utilizado por INEGI.

2.1.3. Características del equipo de medición *Sirotem*

- Equipo transmisor/receptor: *Sirotem MK3*. **Figura 2. 5**
- Sistema de registro: 400 registros por minuto.
- Número de ventanas de medición: 53 en tres series de tiempo con inicio y final seleccionables.
- Rango de medición: 53 en tres series de tiempo.
- Señal promediada: 1-9999 escalones (seleccionables).
- Retardo inicial: 0 – 9999 microsegundos (seleccionables).
- Filtros: 50/60 Hz y 4 polos pasivos antialias.
- Pantallas en campo: valores normalizados en ventana y resistividad aparente en formato de texto o gráfico.
- Peso: 7Kg.



Figura 2.5. Equipo *Sirotem* utilizado para el trabajo

2.2. Actividades de gabinete

Esta actividad consistió en integrar, procesar, analizar e interpretar toda la información que se generó en campo y gabinete, e integrar un documento con las conclusiones y recomendaciones obtenidas.

Capítulo 3. Marco geológico e hidrogeológico de referencia

Con el propósito de identificar las condiciones geológicas que permitieran identificar las rocas o materiales que se pueden encontrar en el subsuelo, se recurrió a la descripción geológica de las Hojas Estación Dorado G13-A48 y Valle de Allende G13-A58 escala 1:50,000 del Servicio Geológico Mexicano.

3.1. Fisiografía

La zona de estudio se encuentra en los límites de las provincias fisiográficas Sierra Madre Occidental, subprovincia Sierras y Llanuras de Durango, y Sierras y Llanuras del Norte, subprovincia Bolsón de Mapimí se caracteriza por tener una superficie desértica en la que emergen una serie de bloques montañosos aislados, separados por bolsones con poca pendiente. **Figura 3.1.**



Figura 3.1. Fisiografía (tomado de INEGI 2010)

3.2. Geología

Las rocas ígneas y sedimentarias forman sierras y mesetas de la región y están representadas por rocas del Cretácico constituidas por lutita-caliza, volcánicas del Terciario (Paleógeno-Neógeno) de tipo andesita, toba andesítica, riolita, toba riolítica y rocas ígneas intrusivas de tipo pórfido andesítico. En general las rocas ígneas y sedimentarias (lutita-caliza) presentan baja permeabilidad por lo que no son importantes desde el punto de vista geohidrológico. **Figura 3.2.**

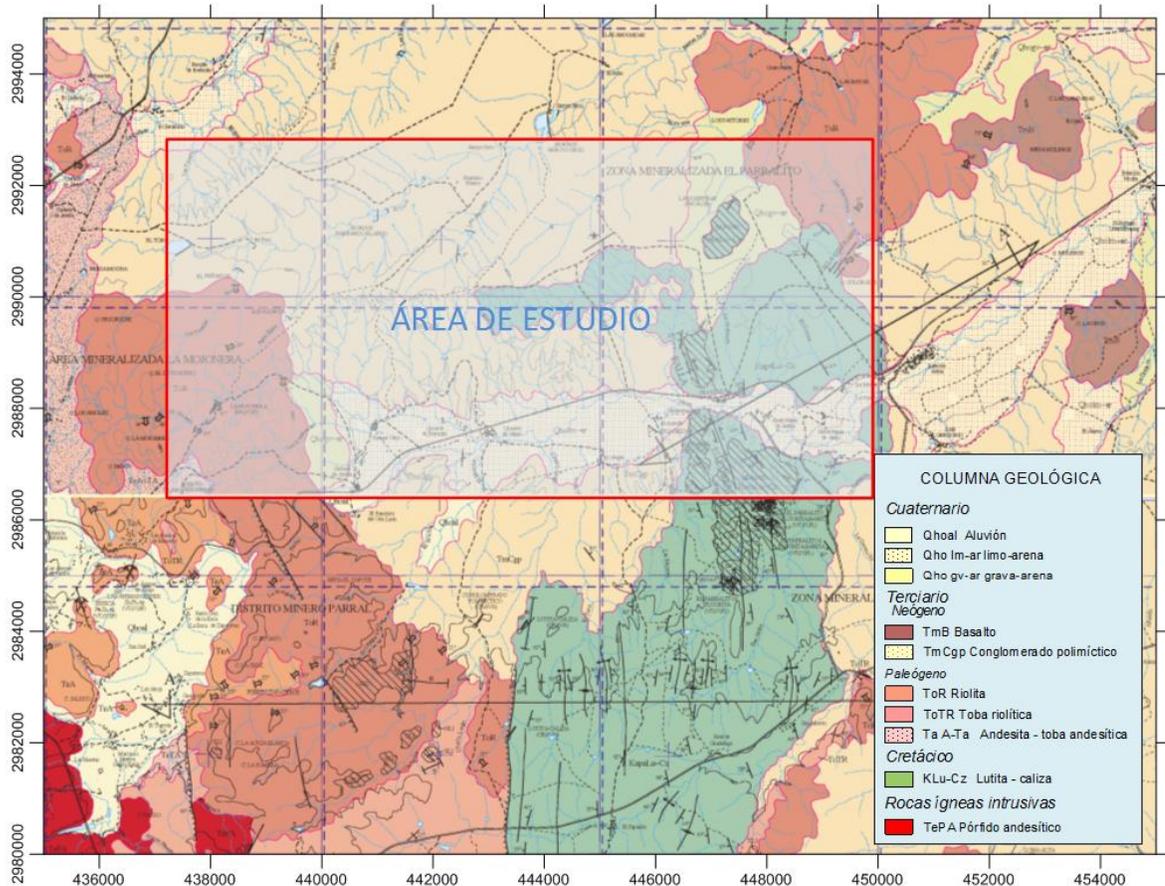


Figura 3.2 Geología regional de la zona

(Tomado de las Hojas Estación Dorado G13-A48 y Valle de Allende G13-A58, Servicio Geológico Mexicano)

Con base en la interpretación geológica se define que en el área de estudio las rocas que pueden observarse en superficie y detectarse el subsuelo son: lutita-caliza, toba riolítica, conglomerado y aluvión.

La geología del subsuelo de la zona (sección A-A' con 6 km de longitud) se interpreta con base en los resultados de los sondeos geofísicos, correlacionados con la observación geológica superficial e información de la carta geológica Estación Dorado G13-A48 del Servicio Geológico Mexicano. **Figuras 3.3 y 3.4.**

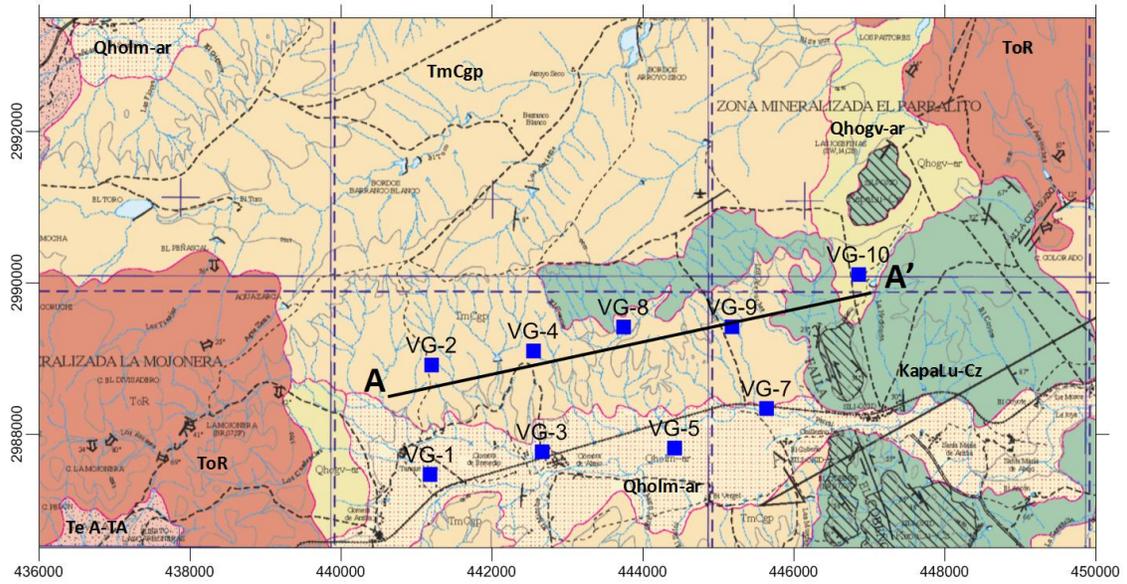


Figura 3.3 Geología local de la zona (tomado de la Hoja Estación Dorado G13-A48, Servicio Geológico Mexicano)

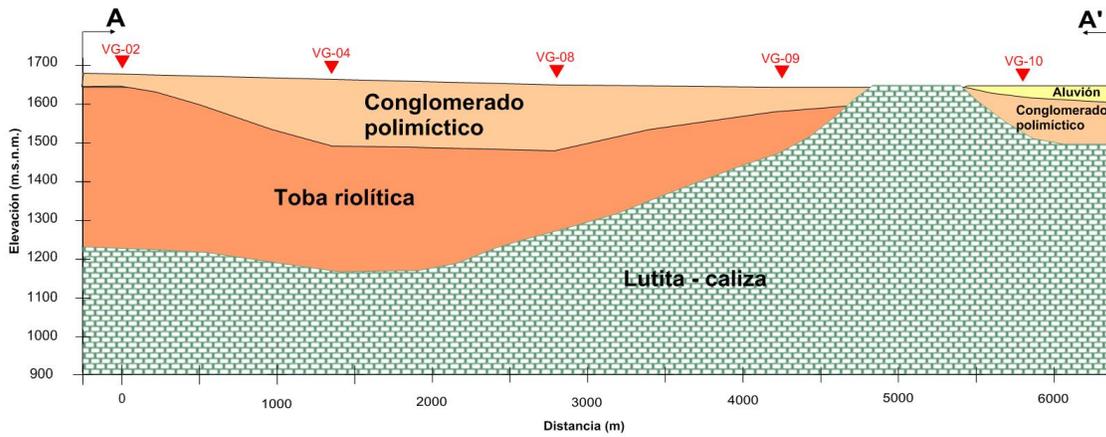


Figura 3.4. Geología del subsuelo. Sección interpretada de la Hoja Estación Dorado G13-A48, Servicio Geológico Mexicano)

3.3. Hidrogeología

La zona de estudio se localiza en la Región Hidrológico-Administrativa VI “Río Bravo”, en el acuífero 0834 “Parral – Valle de Verano” (**figura 3.5**), con base en el estudio de disponibilidad del acuífero realizado por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), en el año 2002, su disponibilidad era de 3.767 millones de metros cúbicos al año ($Mm^3/año$). La actualización de la información del acuífero realizada en el año 2009 y publicada en el Diario Oficial de la Federación indica que ésta es de 3.165 $Mm^3/año$, lo que significa una reducción de 0.602 $Mm^3/año$. En la **Tabla 3.1** se observan los datos mencionados.



Figura 3.5. Límites del acuífero Parral-Valle del Verano. (Límite de acuífero tomado de mapa de CONAGUA 2002 y mapa satelital tomado de Google Earth 2012)

Tabla 3.1. Disponibilidad de agua subterránea en el acuífero Parral-Valle del Verano (tomado de CONAGUA 2009)

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DEFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE CHIHUAHUA							
0834	PARRAL-VALLE DE VARANO	26.7	0.0	23.534660	19.8	3.165340	0.000000

R: Recarga total anual

DNCOM: Descarga natural comprometida

VCAS: Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPD.

VEXTET: Volumen de extracción de agua consignado en estudios técnicos

DAS: Disponibilidad media anual de agua subterránea.

De acuerdo a información recabada en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) y a las condiciones hidrológicas de la zona, indica que existen norias que aportan agua principalmente para uso agrícola, las profundidades totales varían entre 4 y 14 m y los caudales entre 6 y 20 lps., no se tienen datos de nivel estático.

En la **figura 3.5** se observa la ubicación de las norias en la zona de estudio y en la **tabla 3.2** los datos obtenidos del REPDa.

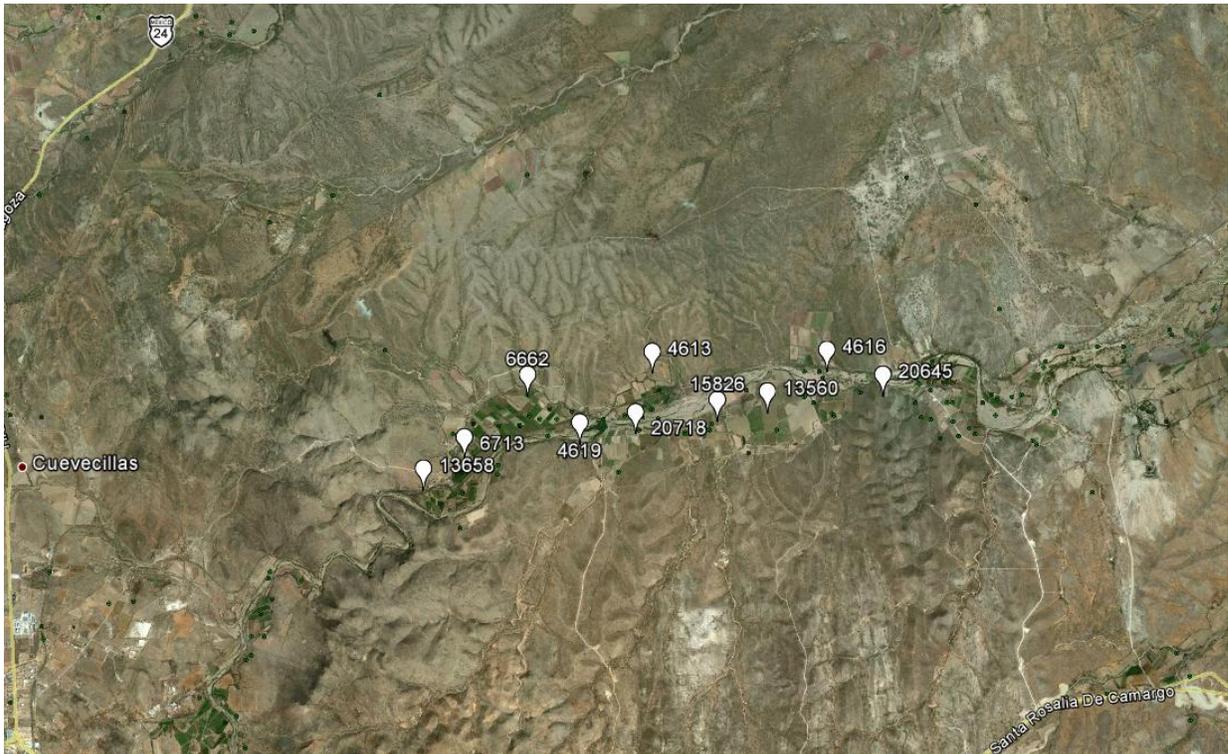


Figura 3.5. Ubicación de las norias en el área de estudio. (Tomado de Google Earth 2012)

Tabla 3.2. Coordenadas geográficas y UTM de las norias en el área de estudio (Tomado de REPDA 2009)

ID NORIA	LONG W	LAT N	X	Y	Z (msnm)	PT (m)	Q (lps)
6713	-105.596667	27.005000	440803.556	2987129.000	1642	7	15
6662	-105.587222	27.013333	441744.928	2988047.590	1641	5	4.3
4619	-105.579444	27.006972	442513.320	2987339.460	1634	5	3
20718	-105.571111	27.008333	443340.737	2987486.438	1630	4	8
15826	-105.558889	27.010000	444554.108	2987665.649	1626	8	4
13568	-105.602778	27.000833	440195.055	2986670.332	1648	7	10
20645	-105.534167	27.013333	447008.318	2988024.194	1640	8	5
4616	-105.542500	27.016667	446183.222	2988397.004	1616	6	16
13560	-105.551389	27.011111	445298.715	2987785.432	1621	14	20
4613	-105.568611	27.016389	443592.786	2988377.622	1638	8	6

Capítulo 4. Exploración geofísica

4.1. Generalidades

Con base en un levantamiento de nueve sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo, **Figura 4.1**, se definió la geometría del subsuelo, identificando el espesor del material susceptible de contener agua y el contacto con la lutita-caliza.

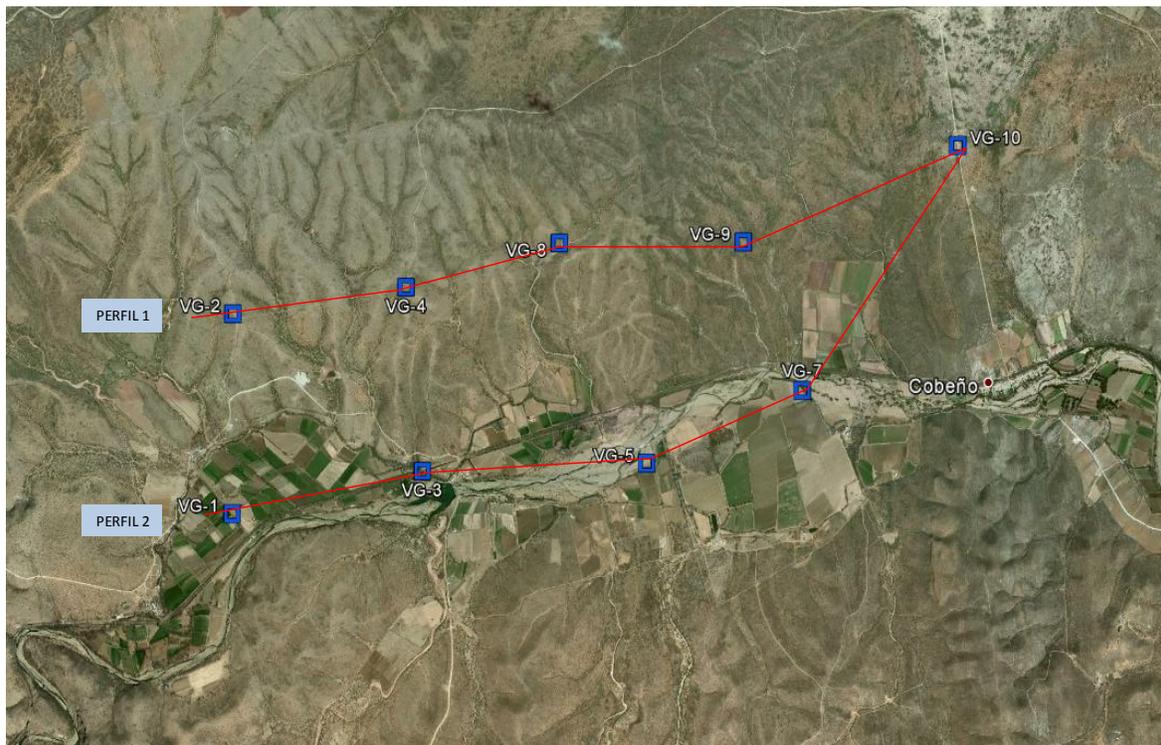


Figura 4.1 Localización de los TEM (Tomado de Google Earth, 2012).

Tabla 4.1. Coordenadas geográficas y UTM de los sondeos realizados en este estudio (Datum WGS84)

Sondeo	Longitud W	Latitud N	X	Y	Elevación (msnm)
VG-1	27°00'29.12"	-105°35'34.44"	441178.722	2987469.44	1643.992
VG-2	27°01'16.15"	-105°35'33.92"	441199.908	2988916.40	1678.599
VG-3	27°00'39.11"	-105°34'40.57"	442664.697	2987769.97	1637.743
VG-4	27°01'22.39"	-105°34'40.57"	442549.521	2989102.23	1666.102
VG-5	27°00'40.95"	-105°33'36.94"	444418.502	2987818.76	1626.688
VG-7	27°00'58.12"	-105°32'52.81"	445636.949	2988341.75	1619.959
VG-8	27°01'32.82"	-105°34'01.71"	443743.057	2989417.72	1650.240
VG-9	27°01'33.08"	-105°33'09.62"	445178.592	2989419.34	1644.953
VG-10	27°01'55.81"	-105°32'08.79"	446857.712	2990111.11	1645.915

4.2. Interpretación

La metodología para la interpretación de los TEMs –descrita en el Capítulo 2- involucró la generación dos perfiles de resistividad, **anexo 1** y dos secciones con corte geoelectrico aplicando el modelo unidimensional **anexo 2**.

El procesamiento de la información se realizó con los *softwares Temix, Winglink y Surfer 8*, los resultados del procesamiento se presentan en el **anexo3** y en el **anexo 4** la memoria fotográfica.

Para el modelo unidimensional y el modelo de capas se interpretaron cuatro unidades geoelectricas que por los valores de resistividad y su posición las caracterizan. En la **tabla 4.2** se describe su comportamiento y asociación con la geología del subsuelo.

Tabla 4.2. Corte geoelectrico

Unidad geoelectrica	Resistividad (Ohm-m)	Espesor (m)	Características	Asociación geológica
A	6-73	150-450	Unidad geoelectrica con resistividades bajas a medias, con espesor variable, el mayor se localiza hacia la porción poniente de la zona de estudio	Toba riolítica (ToTR) Conglomerado polimíctico (Tm Cgp) Aluvión
B	96-102	50-100	Unidad geoelectrica con resistividades medias a altas, se presenta sólo en la sección intercalada en la unidad A, no es continua	Conglomerado polimíctico (Tm Cgp)
C	>92	Última capa con espesor estimado mayor de los 1,000 m	Unidad geoelectrica con resistividad alta a muy alta, se presenta en todos los perfiles a diferentes profundidades, aflora hacia la porción oriente de la zona de estudio	Lutita-caliza (Klu-Cz)

4.2.1. Perfiles de resistividad

Se integraron dos perfiles de resistividad con una profundidad de investigación del orden de los 800 m.

Perfil de resistividad 1

Integrado por cinco TEMs con una longitud de 6.0 km, con dirección preferencial NE y una profundidad de investigación de hasta 800 m. **Figura 4.2.**

Se identifican valores de resistividad de 6 a más de 300 ohm-m. Los valores entre 5 y 50 ohm-m se localizan en la parte superficial hasta una profundidad variable de 150 a 600 m, la profundidad más grande se identifica en la parte izquierda del perfil. Los valores de 50 a 150 ohm-m se localizan a profundidad, debajo de los 600 m. Se localiza un cuerpo de resistividad superior a los 200 ohm-m entre los sondeos VG-09 y VG-10 a una profundidad de 200 m debajo del TEM VG-10.

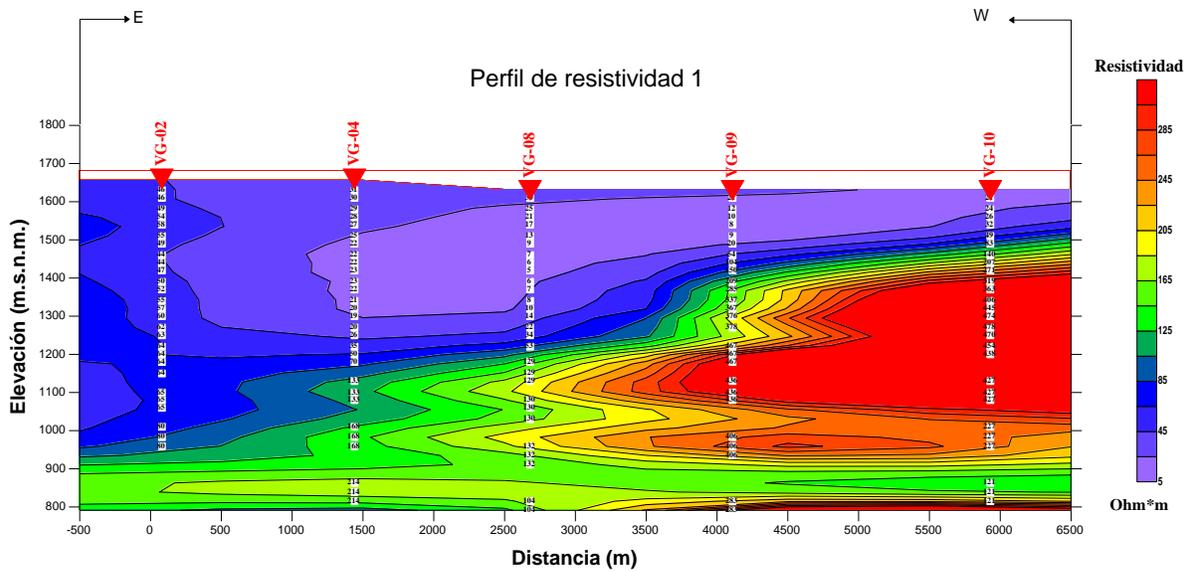


Figura 4.2. Perfil de resistividad 1

Perfil de resistividad 2

Integrado por cinco TEMs con una longitud de 6.7 km, una dirección preferencial W-E y una profundidad de investigación de los 800 m. **Figura 4.3.**

Se identifican valores de resistividad de 5 a más de 300 ohm-m. Los valores entre 5 y 50 ohm-m se localizan en la parte superficial con una profundidad de 100 a 150 m en todo el perfil. Entre los 150 y 800 m de profundidad los valores de resistividad varían entre los 50 y 300 ohm-m.

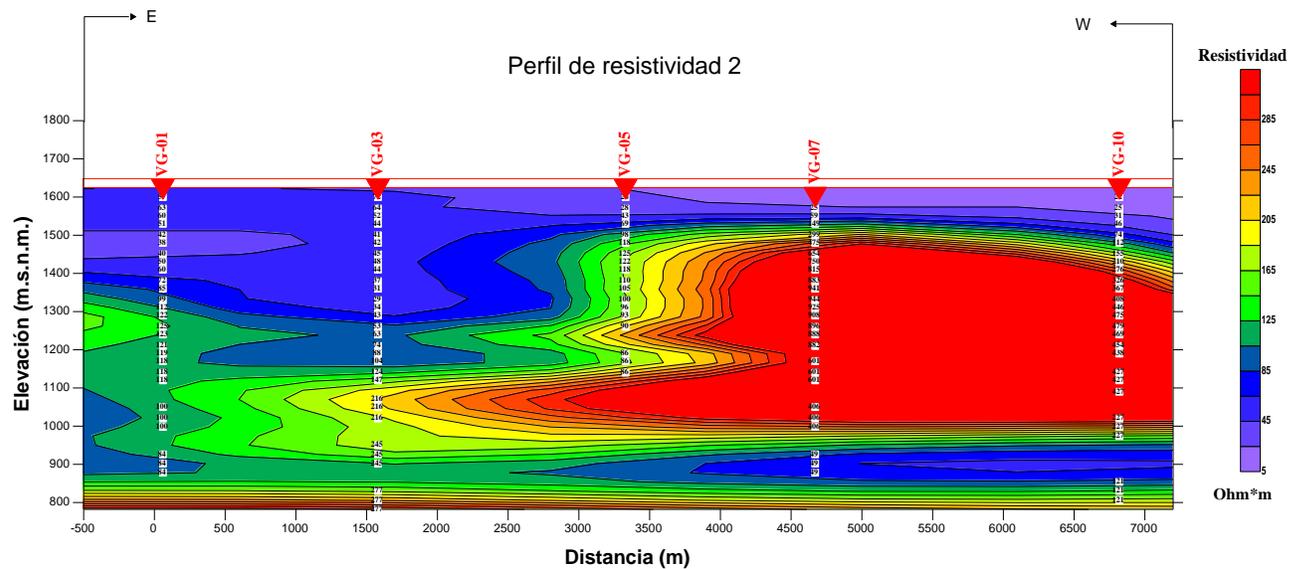


Figura 4.3. Perfil de resistividad 2

4.2.2. Secciones geoelectricas

Con el objeto de identificar las unidades geoelectricas presentes en el subsuelo y correlacionarlas con las unidades geológicas, se elaboraron dos secciones geoelectricas, tomando como base los perfiles de resistividad y los resultados de los modelos unidimensionales de cada TEM.

La sección geoelectrica 1. **Figura 4.4**, identificó el último contacto a una profundidad de 180 m. Tiene una dirección preferente al NE y está integrada por cinco TEMs VG-02, VG-04, VG-08, VG-09 y VG-10, con una longitud total de 6.0 km aproximadamente. El análisis indica la presencia de dos unidades geoelectricas con espesores variables.

Los valores de resistividad que se presentan en esta sección van de los 6 a los 459 ohm-m. La unidad **A** tiene valores de resistividad de los 6 a los 73 ohm-m con espesores de 150 a 500 m. La unidad **C** con valores de resistividad mayores de 92 ohm-m se presenta como última capa. Las características de cada unidad geoelectrica se describen en la **tabla 4.2**.

Sección geoelectrica 1

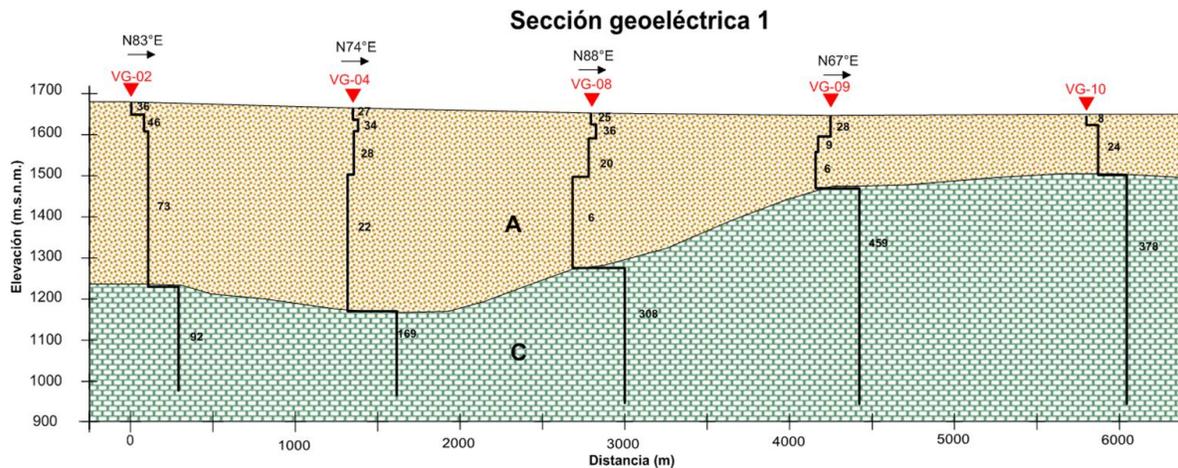


Figura 4.4 Corte geoelectrico de isorresistividades verdaderas 1

La sección geoelectrica 2. **Figura 4.5**, identificó el último contacto a una profundidad entre los 50 y 380 m, dependiendo de la ubicación de los sondeos, la profundidad más grande se localiza en la parte izquierda del perfil. Tiene una dirección preferente al SW y está integrada por cinco sondeos, VG-01, VG-03, VG-05, VG-07 Y VG-10, con una longitud total de 7.2 Km aproximadamente. El análisis identifica tres unidades geoelectricas con espesores variables y para algunas de ellas se identifican discontinuidades tales como la **B** que se identifica sólo en los TEMs VG-01 y VG-03.

Los valores de resistividad que se presentan en esta sección varían de los 8 a los 1,000 ohm-m. La unidad **A** tiene valores de resistividad de los 8 a los 77 ohm-m con espesor de 60 a 350 m. La unidad **B** se presenta en forma discontinua, con valores de resistividad de 96 a 102 ohm-m con espesor de 20 a 80 m. La unidad **C** con valores de resistividad mayores de 109 ohm-m se presenta como última capa con espesor superior a los 600 m.

Las características de cada unidad geoelectrica se describen en la **tabla 4.2**.

Sección geoelectrica 2

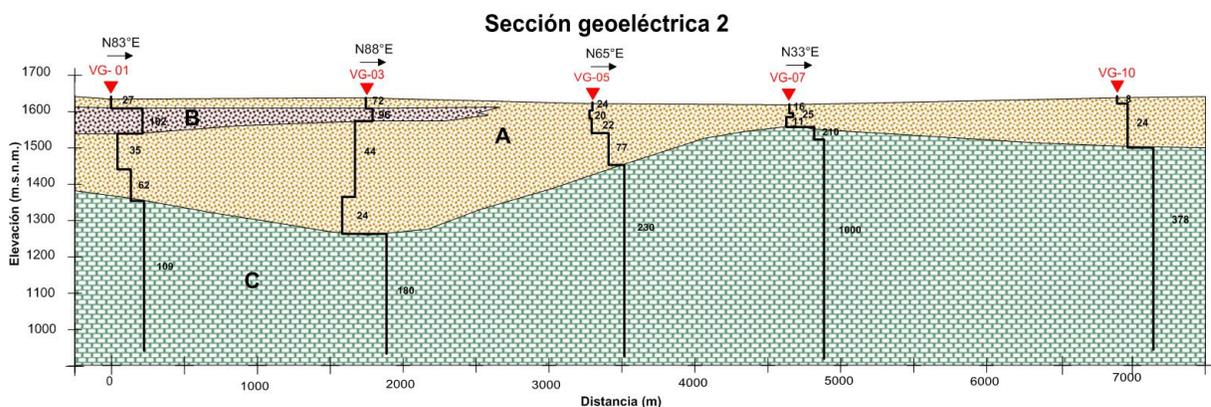


Figura 4.5 Corte geoelectrico de isoresistividades verdaderas 2

4.3. Correlación geológica – geofísica

Con base en la descripción litológica de la zona y los resultados de la exploración geofísica, se asociaron las unidades geoelectricas a las unidades geológicas, **Tabla 4.3**, y se proponen las secciones **geológicas esquemáticas** de cada sección geoelectrica. **Figuras 4.6 y 4.7**.

De acuerdo a las secciones geológico-esquemáticas construidas con base en los resultados de los sondeos geofísicos y la información geológica superficial de la zona de estudio, el acuífero se emplaza en la unidad que corresponde al conglomerado polimíctico que en la sección geológica-esquemática 1 (A-A') presenta un espesor de variable de 40 m a 150 m. Subyace al conglomerado polimíctico la toba riolítica que presenta un espesor de 100 m a 400 m, es posible que esta contenga agua si se encuentra fracturada bajo los sondeos VG-4, VG-8 y VG-9. Finalmente bajo la toba riolítica se localiza la lutita-caliza que se considera impermeable.

Tabla 4.3. Correlación geológica - geofísica

Unidad geoelectrica	Geología asociada
A	Aluvión, conglomerado polimíctico, toba riolítica
B	conglomerado polimíctico
C	Lutita - caliza

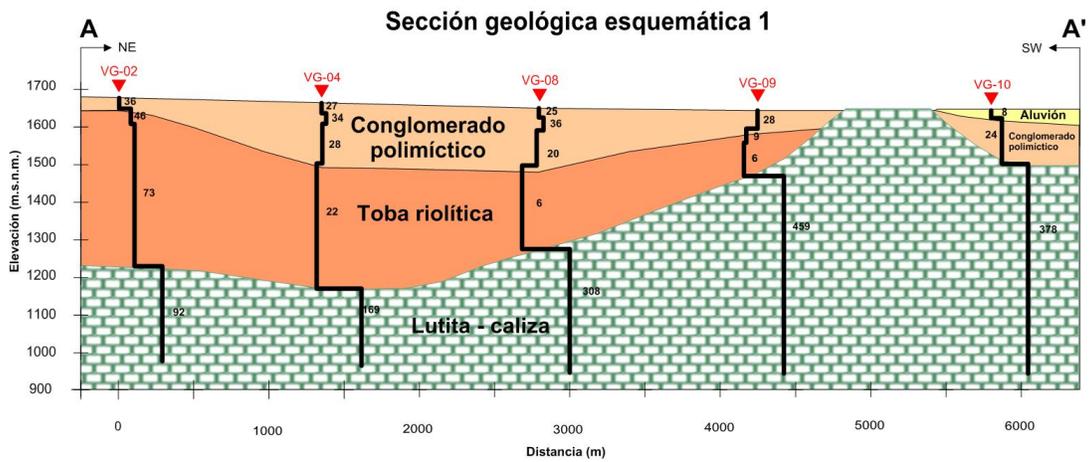


Figura 4.6 Sección geológico esquemática 1

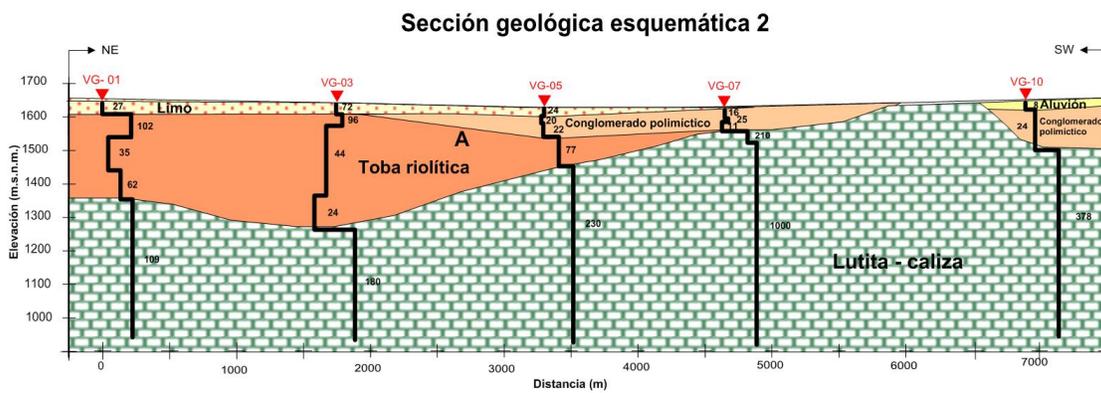


Figura 4.7 Sección geológico esquemática 2

Capítulo 5. Conclusiones

1. La zona de estudio presenta unidades geoelectricas con valores atractivos que pudieran contener agua.

Las unidades geoelectricas con posibilidad hidrogeológica son la A y B, asociadas a aluvión, conglomerado polimictico y tobas riolíticas (si se encuentran fracturadas). El conglomerado polimictico puede presentar buena permeabilidad y la toba riolítica puede presentar permeabilidad secundaria si se encuentra fracturada. Por su posición geográfica dentro de la cuenca, son rocas que favorecen la infiltración, siempre y cuando presenten fracturamiento. Al no existir pozos profundos en la zona de estudio, se desconoce el nivel del agua subterráneo, el cual debe encontrarse por debajo del nivel de evapotranspiración.

La unidad geoelectrica **C** se asocia a la unidad lutita-caliza, que se considera como basamento hidrogeológico, con permeabilidad de muy baja a nula.

2. Los sondeos, que por sus características pueden considerarse atractivos para realizar perforaciones exploratorias son el VG-04, VG-08 y VG-09 a una profundidad de 250 a 300 m. Lo anterior se sustenta por los valores de resistividad que presentan los sondeos, específicamente los ubicados en la sección geológico-esquemática 1.
3. En caso de tomar la decisión de realizar perforaciones exploratorias, deberá llevarse una supervisión estricta de la perforación y al término correr un registro geofísico de pozo de nueve curvas (normal corta, normal larga, lateral, resistencia, potencial natural, rayos gamma naturales, temperatura, gradiente de temperatura y resistividad de fluido). Con la finalidad de conocer las características físicas en el interior del pozo como: permeabilidad, definición y de unidades litológicas, arcillosidad y presencia de agua. Así como para hacer el diseño constructivo del pozo.
4. Antes de realizar cualquier actividad relacionada con la perforación será necesario contar con los permisos correspondientes y con la autorización del volumen de extracción y los derechos de explotación autorizados que otorga la Comisión Nacional del Agua.
5. Asimismo, se deberá considerar el costo de la instalación la línea de corriente eléctrica y de conducción del agua.

Referencias

Servicio Geológico Mexicano, Hojas Estación Dorado G13-A48 y Valle de Allende G13-A58, escala 1:50,000

INEGI, información geográfica del estado de Chihuahua.

Diario Oficial de la Federación, Acuerdo por el que se da a conocer la ubicación geográfica de 371 acuíferos del territorio nacional, se actualice la disponibilidad media anual de agua subterránea de 282 acuíferos, y se modifica, para su mejor precisión, la descripción geográfica de 202 acuíferos. 29 de agosto de 2009, segunda sección.

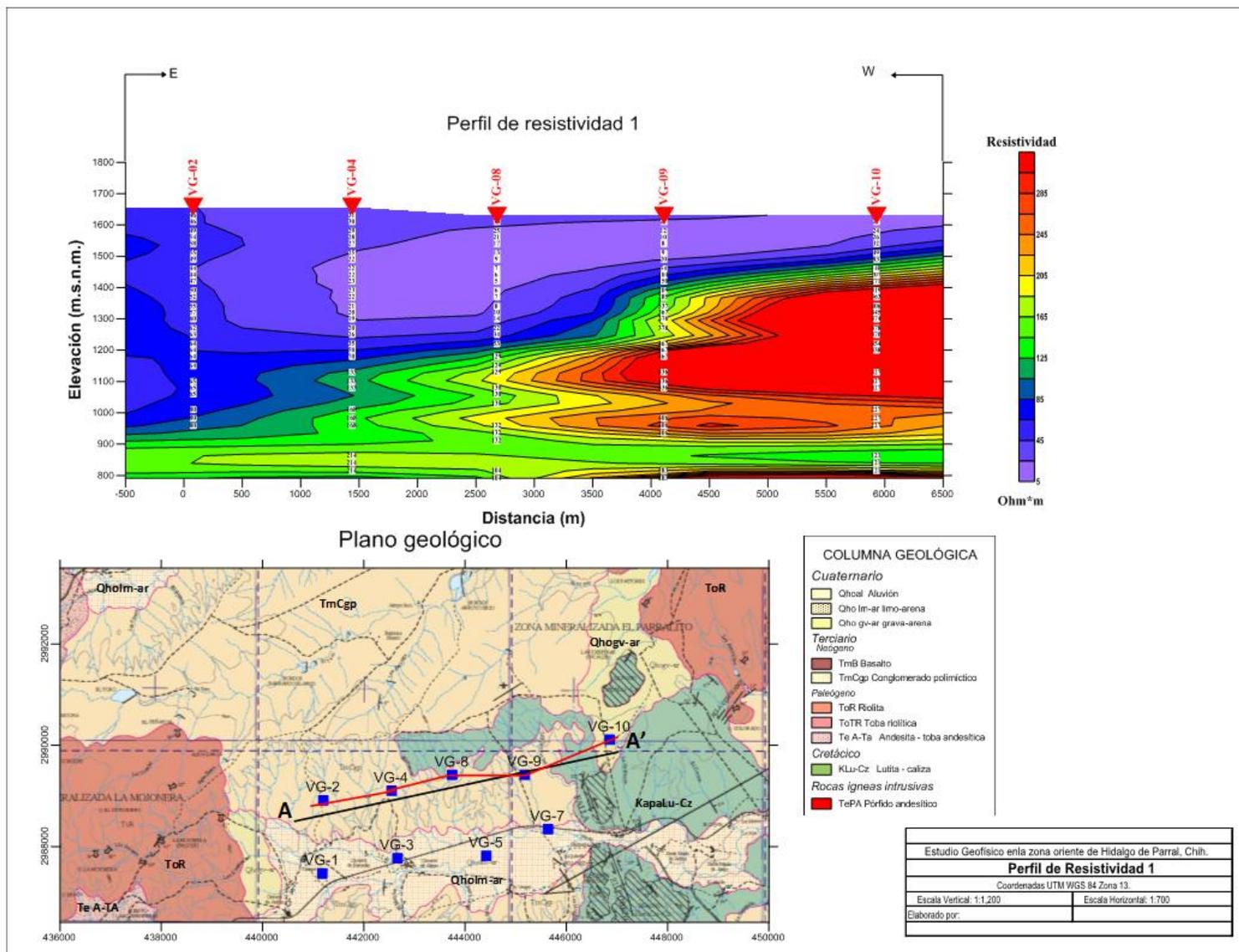
Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas, Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Parral-Valle del Verano, estado de Chihuahua, 2002.

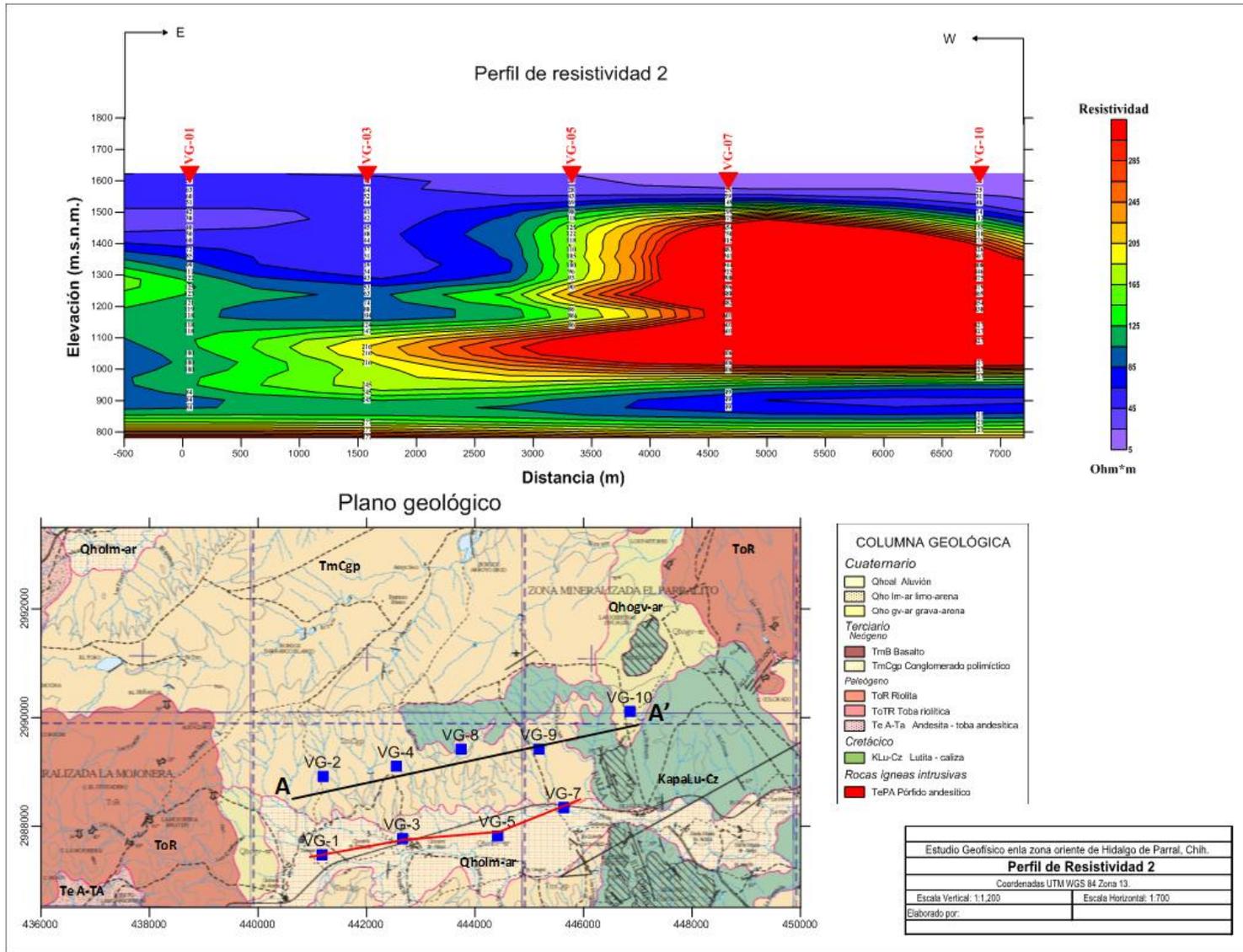
Software

- Office 2007
- Temix
- Winglink
- Surfer v 8.0

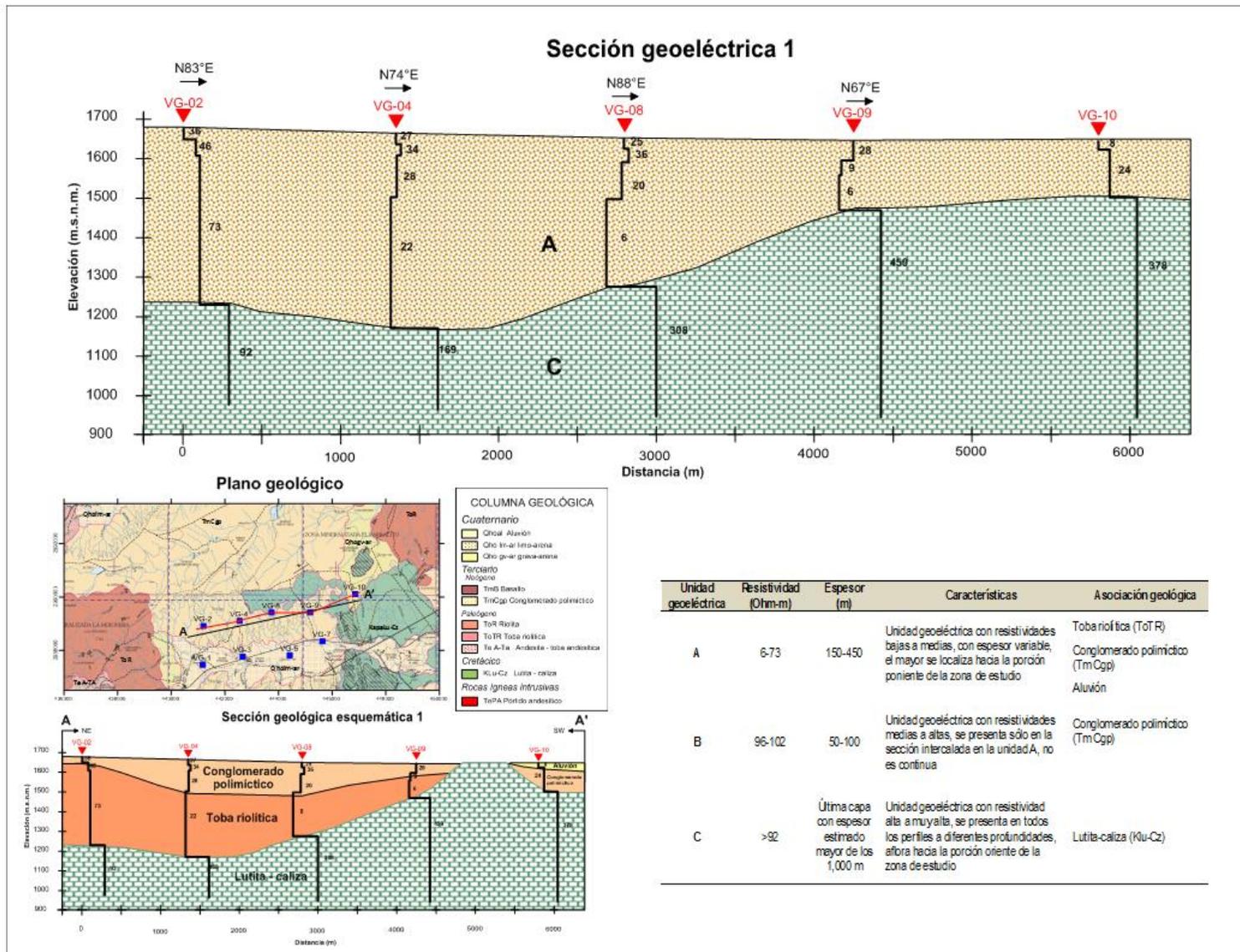
Anexos

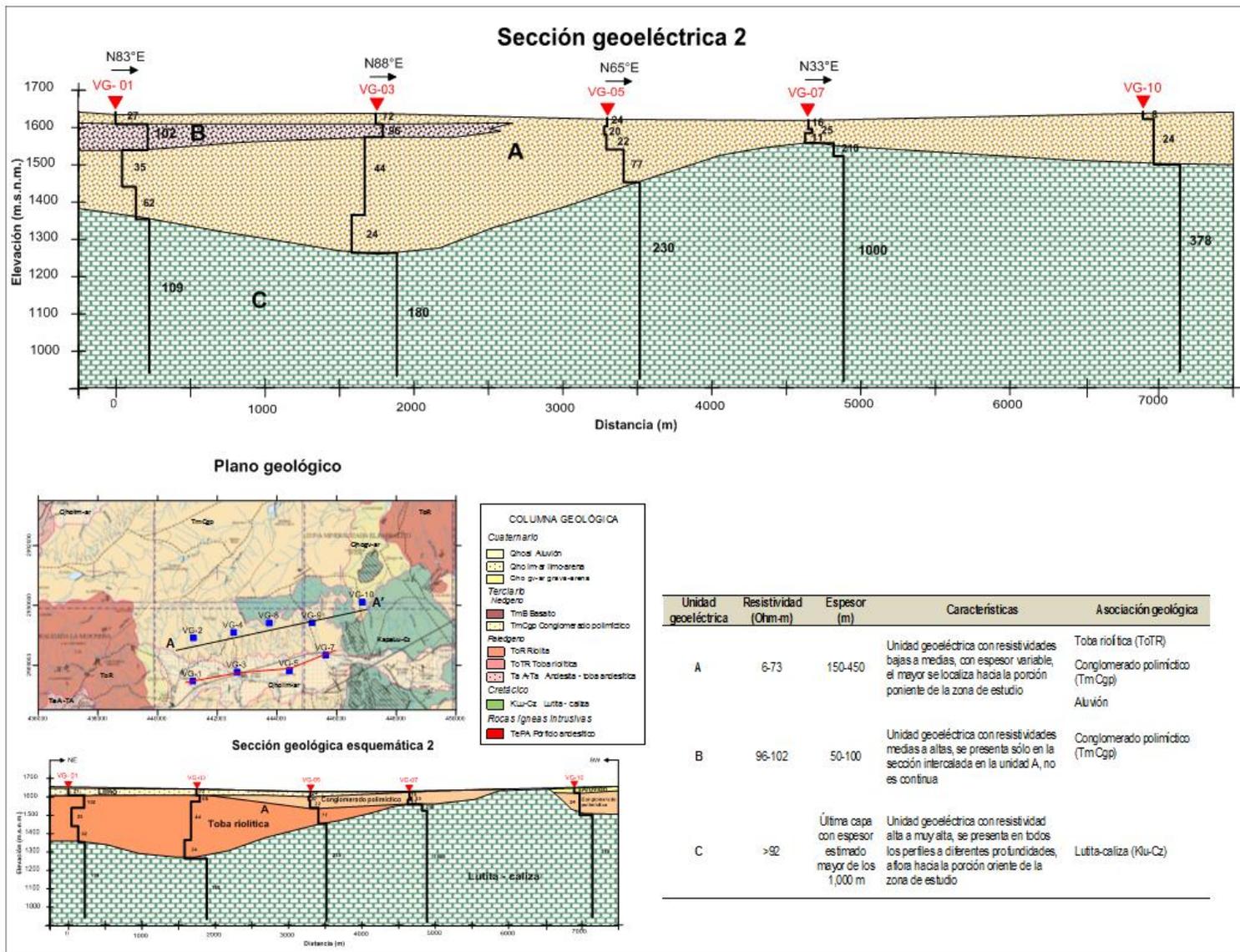
Anexo 1. Perfiles de resistividad





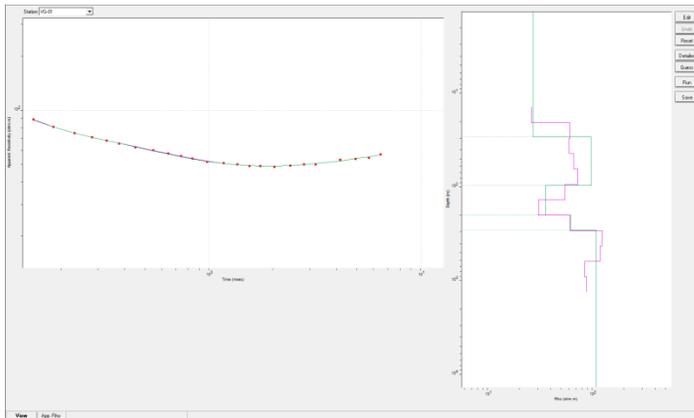
Anexo 2. Secciones geoelectricas y correlación geológica



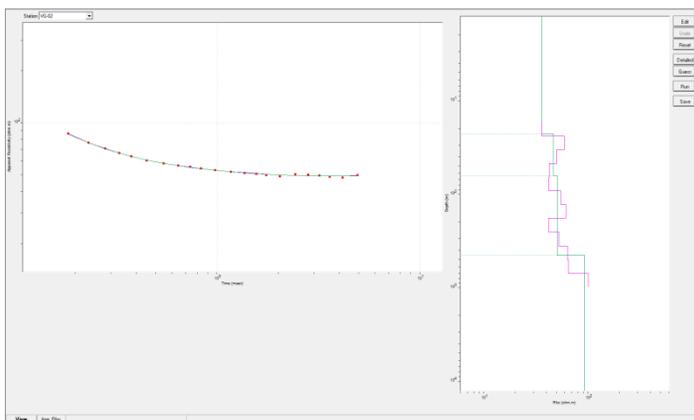


Anexo 3 Resultados del procesamiento de los TEMs

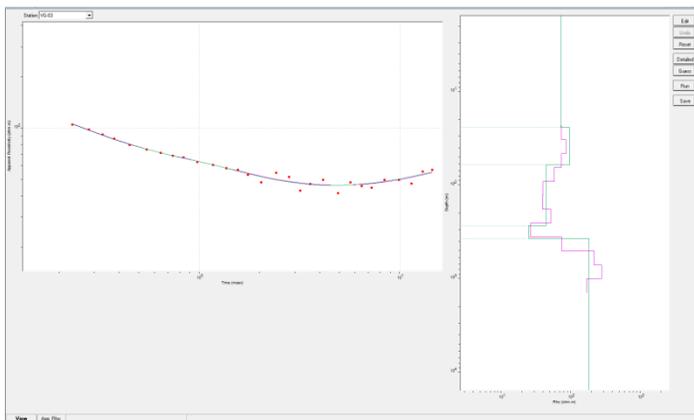
Anexo 3 Resultados del procesamiento de los TEMs



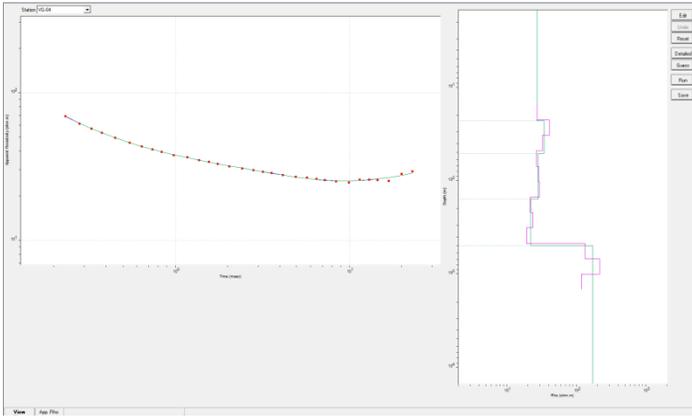
TEM VG-01



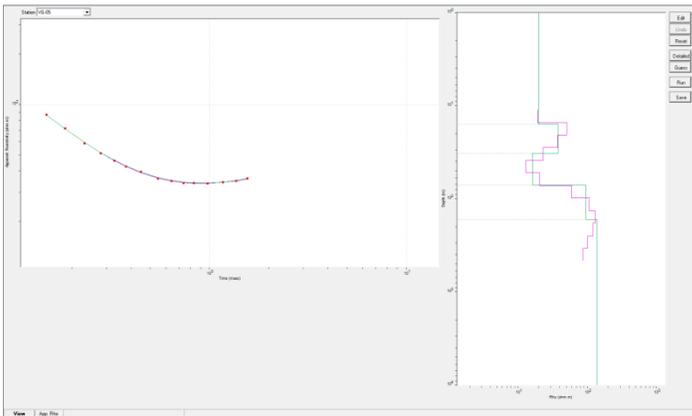
TEM VG-02



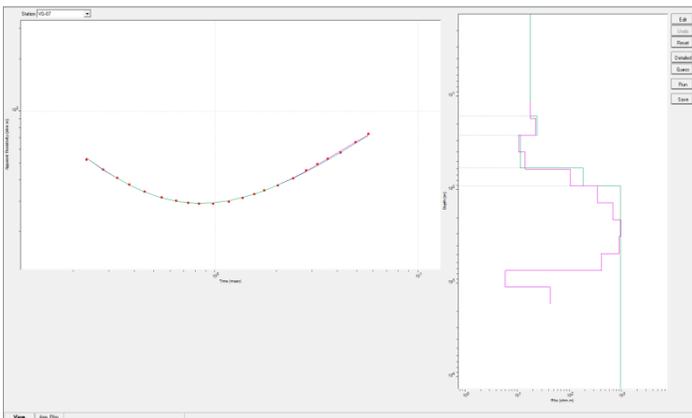
TEM VG-03



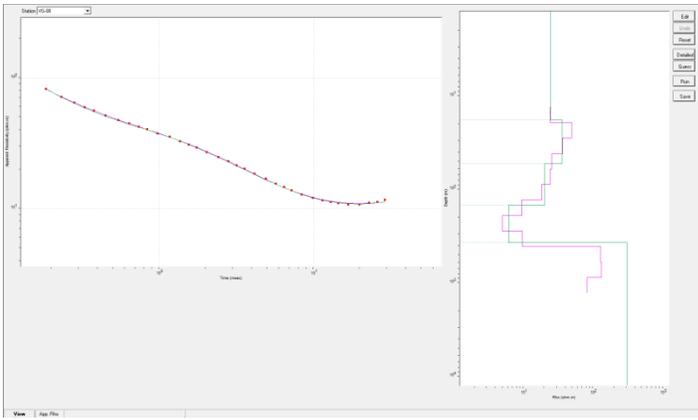
TEM VG-04



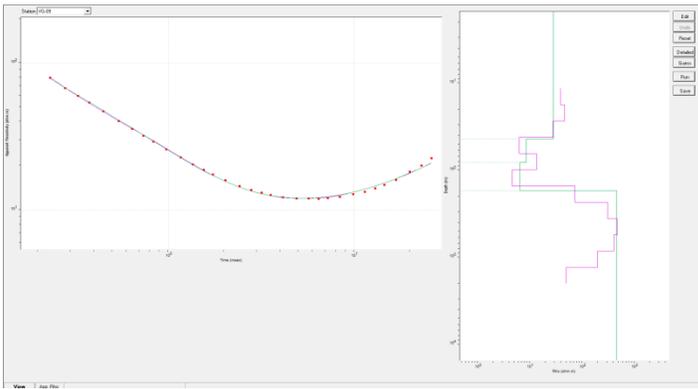
TEM VG-05



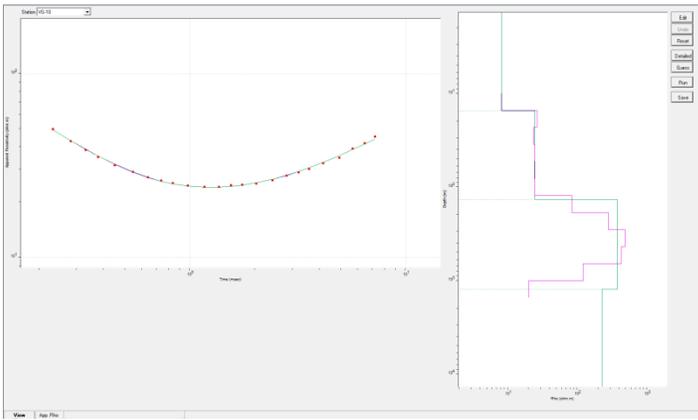
TEM VG-07



TEM VG-08



TEM VG-09



TEM VG-10

Anexo 4 Memoria fotográfica

A continuación se muestran las fotografías de los sitios de medición tomados en campo.



Sondeo VG-01



Sondeo VG-02



Sondeo VG-03



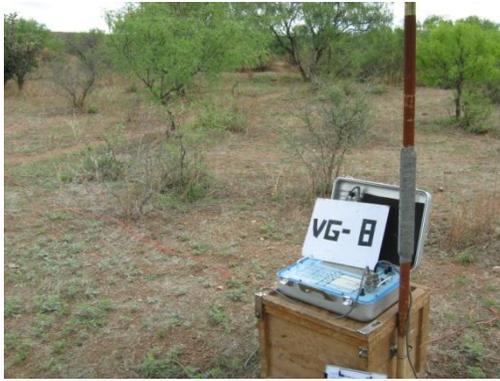
Sondeo VG-04



Sondeo VG-05



Sondeo VG-07



Sondeo VG-08



Sondeo VG-09



Sondeo VG-10