

Universidad Nacional Autónoma de México



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

Tesis

**Prospección Hidrogeológica y factibilidad de extracción
de agua subterránea en el poblado de Xoxocotla,
Municipio de Puente de Ixtla, Morelos, México.**

**Que para obtener el grado de
Ingeniero Geólogo**

P R E S E N T A

Rebeca Magaly Espinosa Cortés

Director:

José Antonio Hernández Espriu

México, D.F. Agosto 2010

A decorative graphic at the bottom of the page consists of overlapping, semi-transparent geometric shapes in shades of blue and grey, creating a modern, architectural look. The year '2010' is printed in a large, black, serif font on the right side of this graphic.

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Prospección Hidrogeológica y factibilidad de extracción de
agua en el poblado de Xoxocotla, Municipio de Puente de Ixtla,
Morelos.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERA GEÓLOGA

P R E S E N T A

REBECA MAGALY ESPINOSA CORTÉS

Director:
Ing. José Antonio Hernández Espriu

MÉXICO, D.F.

JUNIO, 2010

Agradecimientos

A Dios

A mis Padres y hermanos

A Pau, Dana, Tania y a todos mis amigo(a)s involucrado(a)s en este proceso.

A las dependencias de Gobierno Correspondientes (UNAM, CONAGUA, SEMARNAT,
INEGI)

A los señores:

Ing. José Antonio Hernández Espriu
Ing. Anselmo Ordaz Ayala
Ing. Pedro Rafael Soto Navarro
Ing. Alfonso Reyes Pimentel
Ing. Andrés Vázquez Zúñiga
Geog. Alejandro Díaz Ayala
Ing. Roberto Espriu Zen
Ing. Carlos Ortíz García
Ing. Josué Hernández Macías
Ing. Héctor Luis Macías González
Ing. Alejandro Cortés Cortés
Ing. Bernardo Martell Andrade
Ing. Claudia Mendoza Rosales

RESUMEN

Siendo el agua un detonador estratégico para el progreso de los poblados es imposible hablar del desarrollo sustentable sin este recurso y para hablar del agua es necesario considerar su origen subterráneo, de ahí que sea imprescindible el estudio hidrogeológico para conocer el origen y las características del agua que consumimos.

Actualmente el 5% de la población de Xoxocotla no tiene agua, de acuerdo con cifras del Sistema de Agua Potable A. C. de agosto 2009, sin embargo, los cálculos elaborados por el autor de la presente tesis se refieren a que el 22 % de la población carece de agua.

El objetivo principal de este trabajo es establecer la factibilidad de extracción de agua subterránea mediante un pozo de explotación en el poblado de Xoxocotla, Morelos, por medio de la investigación de las características geológicas del subsuelo y la elaboración de un modelo conceptual geológico e hidrogeológico del área de estudio.

Para este estudio se recopiló información geológica e hidrológica existente. Posteriormente, se elaboró un mapa fotogeológico escala 1:50 000 y se presentó un mapa geológico conceptual, que se comparó con el anteriormente publicado por INEGI en la carta 1:50 000 y con el elaborado por la Empresa Geoproyectos S. A. de C. V. (1986). Se definieron principalmente las formaciones, Xochicalco, Morelos, Cuautla, Balsas, Cuernavaca, Chichinautzin, y las fallas que relacionan las litologías.

Se llevó a cabo una reinterpretación de estudios geofísicos eléctricos mediante el uso de software (RESIXP y WINGLINK) e interpretación manual y con una mayor integración de datos geológicos, se elaboraron secciones donde se completó la información de campo y se reportaron 3 unidades geofísicas (UG1, Ug2, Ug2a).

Se definieron 5 unidades hidrogeológicas con los datos de pozos existentes y niveles piezométricos. El acuífero principal es el miembro conglomerado calcáreo de la Formación Balsas (Eoceno tardío-Oligoceno medio).

Mediante Sistemas de Información Geográfica se integró la información topográfica de la zona, datos geológicos, inventario de puntos de agua, datos de pozos, calidad de agua y estadísticos, donde se describe de manera general la región

Todo ello para establecer el modelo conceptual y proponer la ubicación de perforaciones de pozo exploratorias y sus características que pudieran servir de abasto a la población.

ABSTRACT

Water is a strategic detonator for the progress of the population so it is impossible to speak of sustainable development without this resource and to talk about water is necessary considering his underground origin so it is where the hydrogeological study is essential to know the origin and characteristics of the water we consume.

Nowadays 5 % of the population of Xoxocotla does not have water, in agreement with numbers of the System of Drinkable Water A.C. of august, 2009, nevertheless the calculations elaborated by the author of this thesis refer that 22 % of the population lacks water.

Therefore, the principal aim of this thesis is to establish the feasibility of extraction of groundwater through a well operating in the town of Xoxocotla, Morelos, by assessing the subsurface geology and the development of a geological and hydrogeological conceptual model the study area.

For this study there was compiled geological and hydrological existing information. Subsequently a photogeological map was elaborated, and presented a geological conceptual map, which one was compared with previously published by INEGI in the scale 1:50 000 and with the map elaborated by the Company Geoproyectos S. A. de C. V. (1986). The formations defined were: Xochicalco, Morelos, Cuautla, Cuernavaca, Chichinautzin, and the faults that the litologies relate.

There was carried out a reinterpretation of geophysical electrical studies, by means of the use of software (RESIXP and WINGLINK), and greater integration of geological data were developed full sections where field data and reported three geophysical units (UG1, Ug2, Ug2a) Five hydrogeological units were defined with data from existing wells and piezometric levels. The limestone conglomerate member of the training Balsas is the main aquifer in the study area.

Using Geographic Information Systems was integrated: topographic data, geological data, inventory of water points, well data, water quality and statistical in the area, which describes the region in general.

All this to establish the conceptual model and to propose the location of exploratory well drilling and his characteristics that could serve the public supply.

Estudio geohidrológico para establecer la factibilidad de extracción de agua subterránea en el poblado de Xoxocotla, municipio de Puente de Ixtla, Morelos, México

I. INTRODUCCIÓN.....	7
<i>I.1 GENERALIDADES.....</i>	<i>7</i>
<i>I. 2 JUSTIFICACIÓN</i>	<i>7</i>
<i>I.3 OBJETIVO GENERAL</i>	<i>9</i>
<i>I.4 ZONA DE ESTUDIO</i>	<i>10</i>
<i>I.5 ESTUDIOS PREVIOS.....</i>	<i>12</i>
<i>I.6 METODOLOGÍA.....</i>	<i>13</i>
II HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA.....	17
<i>II.1 HIDROLOGÍA.....</i>	<i>17</i>
<i>II.2 CLIMA</i>	<i>19</i>
III. GEOLOGÍA	21
<i>III.1 GEOMORFOLOGÍA.....</i>	<i>21</i>
<i>III.2 GEOLOGÍA REGIONAL.....</i>	<i>21</i>
<i>III.3 GEOLOGÍA LOCAL.....</i>	<i>24</i>
<i>FORMACIÓN XOCHICALCO.....</i>	<i>24</i>
<i>FORMACIÓN MORELOS</i>	<i>25</i>
<i>FORMACIÓN CUAUTLA</i>	<i>27</i>
<i>FORMACIÓN MEXCALA</i>	<i>29</i>
<i>GRUPO BALSAS.....</i>	<i>32</i>
<i>ROCAS VOLCÁNICAS.....</i>	<i>35</i>
<i>FORMACIÓN CUERNAVACA</i>	<i>37</i>
<i>GRUPO CHICHINAUTZIN</i>	<i>39</i>
<i>ALUVIÓN.....</i>	<i>41</i>
<i>III.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</i>	<i>43</i>
<i>III.5 MAPA GEOLÓGICO Y SECCIONES GEOLÓGICAS.....</i>	<i>43</i>
IV. HIDROGEOLOGÍA	49
<i>IV.1 TIPO DE ACUÍFERO.....</i>	<i>49</i>

IV.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	49
IV.3 PARÁMETROS HIDRÁULICOS.....	55
IV.4 USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA	59
V. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA	62
V.1 SECCIONES.....	63
V.2 DESCRIPCIÓN DE UNIDADES GEOFÍSICAS	66
VI. DISCUSIÓN Y PROPUESTA DE SITIOS DE PERFORACIÓN.....	69
VI.1 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS.....	69
VI.2 UBICACIÓN DE PERFORACIONES EXPLORATORIAS.....	70
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
VII.1 CONCLUSIONES.....	75
VII.2 RECOMENDACIONES	75
VIII. REFERENCIAS CITADAS	81
ANEXOS	
ANEXO 1 GEOFÍSICA.....	84
ANEXO 2 MEMORIA FOTOGRÁFICA DE POZOS Y MANANTIALES CENSADOS	115
ANEXO 3 CORTES LITOLÓGICOS	120
ANEXO 4 TABLAS DE PRUEBAS DE BOMBEO	121
ANEXO 5 COTIZACIÓN DEL POZO A 250 M.....	124
PLANOS	
PLANO 1 MAPA GEOLÓGICO.....	128
PLANO 2 APROVECHAMIENTOS EXISTENTES.....	129
PLANO 3 POZOS PROPUESTOS.....	130

Índice de figuras

FIGURA. 1.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	11
FIGURA. 1.2 DIAGRAMA DE FLUJO “METODOLOGÍA”	13
FIGURA 2. 1. CUENCAS DE LA REGIÓN BALSAS. (CONAGUA, 2010)	17
FIGURA. 2.2. GRÁFICA DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL 2000-2005. (CONAGUA, 2009)	19
FIGURA. 2.3. GRÁFICA DE EVAPORACIÓN POTENCIAL 2003-2005. (CONAGUA, 2009)	20
FIGURA. 3.1. TERRENOS TECTONOESTRATIGRÁFICOS. SMOC	22
FIGURA 3.2. TERRENOS TECTONOESTRATIGRÁFICOS (AGUILERA-FRANCO, 2004).....	23
FIGURA 3.3. FORMACIÓN CUAUTLA..	28
FIGURA 3.4. FORMACIÓN CUAUTLA. PARTE SUR DEL CERRO LA TORTUGA, ENFRENTA DEL CRUCERO. SE OBSERVA EL PLEGAMIENTO.....	29
FIGURA 3.5 FORMACIÓN MEXCALA: ESTRATOS DE LUTITAS CALCÁREAS, PLAGADAS Y FRACTURADAS.	31
FIGURA 3.6 FORMACIÓN MEXCALA	31
FIGURA 3.7 FORMACIÓN BALSAS, AFLORAMIENTO EN LA CARRETERA FEDERAL PUENTE DE IXTLA- XOXOCOTLA.....	34
FIGURA 3.8 FORMACIÓN BALSAS, SE OBSERVAN EL TAMAÑO DE LOS SEDIMENTOS DE HASTA 20CM.	34
FIGURA 3.9 ROCAS VOLCÁNICAS CONSOLIDADAS EN EL LADO PONIENTE DEL ARROYO COLOTEPEC	36
FIGURA 3.10. CONGLOMERADO DE ORIGEN ÍGNEO DE LA FORMACIÓN CUERNAVACA, EN EL BORDE DEL LAGO DE TEQUESQUITENGO.	38
FIGURA 3.11 CONGLOMERADO DE ORIGEN ÍGNEO DE LA FORMACIÓN CUERNAVACA, SE OBSERVA MUY INTEMPERISADO.	39
FIGURA 3.12 BASALTOS DE LA FORMACIÓN CHICHINAUTZIN, FRENTE AL BALNEARIO APOTLA.	40
FIGURA 3.13 BASALTOS DE LA FORMACIÓN CHICHINAUTZIN CAMINO AL MANANTIAL CHIHUAHUITA	41
FIGURA 3.14. SEDIMENTOS DEL CERRO LA TORTUGA	42
FIGURA 3.15. MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO	44
FIGURA 3.16 SECCIÓN A- A.....	45
FIGURA 3.17. SECCIÓN B-B	46
FIGURA 3.18. SECCIÓN C-C.....	47
FIGURA 3.19 COLUMNA CRONOESTRATIGRÁFICA.....	48
FIGURA 4.1 SECCIÓN A-A’ CON LA INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA INTEGRADA.....	53
FIGURA 4.2 SECCIÓN B- B’ CON LA INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA INTEGRADA	53
FIGURA 4.3. SECCIÓN C-C’ CON LA INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA INTEGRADA	54
FIGURA 4.4. CONFIGURACIÓN PIEZOMÉTRICA.....	54
FIGURA 4.5. POZO SAN JOSÉ VISTA HERMOSA, EL CÍRCULO ROJO SEÑALA LA LOCALIZACIÓN DEL POZO	54
FIGURA 4.6. GRÁFICA DE PRUEBA DE BOMBEO EN EXCEL EN EL POZO SAN JOSÉ VISTA HERMOSA	57
FIGURA 4.7. GRÁFICA DE PRUEBA DE RECUPERACIÓN EN EXCEL EN EL POZO SAN JOSÉ VISTA HERMOSA	57
FIGURA 4.8. GRÁFICA DE PRUEBA DE BOMBEO EN EL POZO SAN JOSÉ VISTA HERMOSA, INTERPRETADA POR THIES	58
FIGURA 4.9 GRÁFICA DE USO DE AGUA.....	60
FIGURA 4.10. MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE POZOS.....	61
FIGURA 5.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.....	62
FIGURA 5.2 MODELO SUAVIZADO DE CAPAS, SEV 1	63
FIGURA 5.3 SECCIÓN A-A’ SECCIÓN DE ISORESISTIVIDADES GENERADA POR EL SOFTWARE WINGLINK.	64
FIGURA 5.4 SECCIÓN C-C’ ELABORADA POR EL SOFTWARE WINGLINK.....	64
FIGURA 5.5 SECCIÓN A-A’ MODELO INTERPRETADO DE CAPAS.	65
FIGURA 5.6. COLUMNA GEOFÍSICA DE RESISTIVIDADES (DERECHA).	65
FIGURA 5.7. SECCIÓN C-C’	66

FIGURA 5.8. MAPAS DE ISORESISTIVIDAD A DIFERENTES PROFUNDIDADES, 1) A 20M, 2) A 50M, 3) A 100M, 4) A 150M.....	68
FIGURA 6.1 DISEÑO DEL POZO PROPUESTA 1	74
FIGURA 6.2 DISEÑO DEL POZO PROPUESTA 2	74
FIGURA 7.1 UBICACIÓN DE LOS POZOS EXPLORATORIOS PROPUESTOS	76
FIGURA 7.2 UBICACIÓN DE LOS POZOS EXPLORATORIOS PROPUESTOS EN LA SECCIÓN HIDROGEOLOGICA A-A'	77
FIGURA 7.3 UBICACIÓN DE LOS POZOS EXPLORATORIOS PROPUESTOS EN LA SECCIÓN GEOFÍSICA A-A'	78

Índice de Tablas

TABLA 1.1 FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL POBLADO DE XOXOCOTLA, FUENTE: SISTEMA DE AGUA POTABLE DE XOXOCOTLA A. C., 2009	8
TABLA 4.1 TRANSMISIVIDADES COMPARADAS DEL POZO SAN JOSÉ VISTA HERMOSA	59
TABLA 4.2 USOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA DE ESTUDIO	60
TABLA 5.1 RESUMEN DE UNIDADES GEOFÍSICAS	67
TABLA 6.1 UNIDADES HIDROGEOLOGICAS	70
TABLA 7.1 UBICACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA PERFORACIÓN EXPLORATORIA.....	76
TABLA 7.2 MATERIALES A PERFORAR	79

Estudio geohidrológico para establecer la factibilidad de extracción de agua subterránea en el poblado de Xoxocotla, municipio de Puente de Ixtla, Morelos, México

I. Introducción

I.1 Generalidades

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2010) reporta que México anualmente recibe aproximadamente 1.51 billones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, el 72.5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera; el 25.6% escurre por los ríos o arroyos y el 1.9% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos, de tal forma que los acuíferos del país reciben 78.5 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable y se les extraen por medio de pozos, norias, galerías filtrantes y manantiales alrededor de 27.5 mil millones de metros cúbicos. La importancia del agua subterránea queda manifiesta al considerar que ésta se utiliza en un 70% del volumen que se suministra a la población, 33% del que se destina a la agricultura y 62% del que se utiliza en la industria. El estudio hidrogeológico sirve para conocer el origen, las características del agua que consumimos y establecer nuevas fuentes de abastecimiento.

Dentro de un estudio hidrogeológico se lleva a cabo un trabajo de campo que consiste en la verificación geológica en donde se detallan las características de las rocas que podrían almacenar agua. Además se realizan estudios geofísicos y pruebas hidráulicas que detallan las propiedades físicas de las unidades de roca en una región.

I. 2 Justificación

México sufre un problema de concentración-dispersión, tiene grandes urbes con numerosos poblados poco o escasamente desarrollados, por lo tanto, para que un proyecto de urbanización sea sustentable primero es necesario satisfacer las necesidades básicas de la comunidad y de las industrias, como es el caso del abasto de agua. Las carencias en los servicios públicos básicos en el país son una realidad, como en Xoxocotla, Morelos, donde los habitantes reciben agua una vez por semana (Sistema de Agua Potable A. C. de Xoxocotla, 2009); a continuación se plantea brevemente el problema de la comunidad de Xoxocotla, Puente de Ixtla, Morelos.

Según cifras de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para el año 2008, en el estado de Morelos el caudal promedio por habitante fue de 427 L/d, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda tan sólo 80L/d; con esta cifra y la anterior se hizo un promedio para obtener un caudal de 253.5L/d por habitante del estado de Morelos, que con las medidas de ahorro pertinentes para ello se consumirá en un escenario factible.

El conteo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) del año 2005 señala que el número de habitantes del poblado de Xoxocotla son 19,644. De acuerdo con la cifra anterior, el consumo del poblado en materia de agua subterránea es de 4,980 m³/día, que equivale a un consumo de 34,858 m³ /semana.

Actualmente el 5% de la población de Xoxocotla no tiene agua, de acuerdo con cifras del Sistema de Agua Potable A. C. de agosto 2009. En este registro también se tienen los datos de pozos y manantiales que abastecen el poblado de Xoxocotla, los cuales se describen a continuación en la siguiente tabla (Tabla 1.1):

<i>Pozo</i>	<i>Caudal Extraído [L/s]</i>	<i>Tiempo de extracción.</i>	<i>Número de días en operación, durante la semana</i>	<i>Caudal Extraído [m³/semana]</i>
Pozo Pueblo Viejo	7	5 horas	4	504
Pozo La Joya	22	24 horas	7	13,306
Manantial Chihuahuita	22	24 horas	7	13,305
			TOTAL	27 115

Tabla 1.1 Fuentes de Abastecimiento de agua potable en el poblado de Xoxocotla, Fuente: Sistema de Agua Potable de Xoxocotla A. C., 2009

En la tabla anterior se observa que el total de agua recibida en el poblado es de 27,115 m³/semana. Si se resta el caudal obtenido (27,115 m³) menos el consumo mínimo de la población (34,858 m³), tenemos un déficit de 7,743 m³/semana (22% del total que se requiere) que equivale a 13 L/s.

El problema del abasto del agua en el poblado de Xoxocotla parece complicarse debido al reclamo de la concesión del Manantial Chihuahuita por la comunidad de Santa Rosa (Colín P., 2009), lo que reduciría el caudal del Chihuahuita a 2 L/s (siendo el caudal total semanal obtenido de 15,019.2m³). Entonces el déficit aumentaría a 19,839 m³/semana, equivalente a 33L/s.

Aunado a todo lo anterior, la extracción de agua de los pozos en la zona de recarga disminuirá paulatinamente el caudal de los manantiales, además de que al crecer la población crecerá su necesidad de agua. Además de la situación anterior, se realizó un cálculo estadístico del crecimiento de la población, para obtener la necesidad de agua en un tiempo de 10 años, a partir del último censo 2005.

Para obtener el número de habitantes que requerirán agua en 10 años se calcula el índice intrínseco de crecimiento natural (r) (Henry, J. Glynn, Heinke, Gary W., 1999) de la siguiente manera:

$$r = (\ln N_t - \ln N_0) / t \dots\dots\dots(1)$$

Siendo :

N_t = Población en un tiempo t

N_0 = Población inicial

T = Tiempo

De acuerdo con las estadísticas del INEGI en el Censo de Población y Vivienda del año 2000 se tiene una población de 18,318 y en el Conteo del año 2005 aumentó a 19,644 habitantes. Con las cifras anteriores se obtiene el índice intrínseco de crecimiento de la población para un periodo de cinco años, que resulta en 1.35 % anual.

Con lo anterior se calcula entonces la población en 10 años mediante la siguiente fórmula:

$$N_t = N_0 e^{rt} \dots\dots\dots(2)$$

Utilizando como población inicial 19,644 habitantes, resulta para el 2015 una población de 22,484 habitantes, cuyo consumo semanal sería de 39,898 m³, que de mantenerse el caudal obtenido (27,115 m³) resultará un déficit de 12,783 m³/semana (21 L/s).

Por todo lo anterior, se ve la necesidad urgente de buscar nuevas fuentes de abastecimiento como un pozo para uso público urbano exclusivo con calidad de agua aceptable que satisfaga las necesidades básicas de la población. La presente tesis analizará este caso.

1.3 Objetivo General

Establecer la factibilidad de extracción de agua subterránea mediante un pozo de explotación en el poblado de Xoxocotla, Morelos.

1.3.1 Objetivos Particulares

Establecer el modelo geológico – hidrogeológico conceptual del área de estudio.

Investigar las características de la geología del subsuelo de la zona de estudio.

1.4 Zona de Estudio

La región de estudio del presente trabajo está situada en la parte sur-central de México, limitada por las coordenadas geográficas de 99° 21'14'', 99° 10'59'' O y 18° 36'36'', 18° 46'25'' N abarcando un área de 325km² aproximadamente.

Se encuentra en la subprovincia de Cuenca del Balsas-Mexcala de la provincia fisiográfica llamada Sierra Madre del Sur; políticamente abarca el norte del municipio de Puente de Ixtla, el municipio de Zacatepec, el sur de Miaatlán y Xochitepec, y una pequeña parte de Jojutla, Tlaltizapán y Mazatepec.

Limitada fisiográficamente al noroeste por la laguna El rodeo y al sur del Cerro Colotepec. Al este en los límites oriente del cerro Jumiltepec y el poblado de Santa Rosa Treinta. Al sur termina justo en los límites del poblado de San Gabriel y a la mitad del Lago de Tequesquitengo. Al oeste limita con el cerro Los coyotes y, justo donde empieza el poblado del Jojutla, Morelos (Figura 1.1).

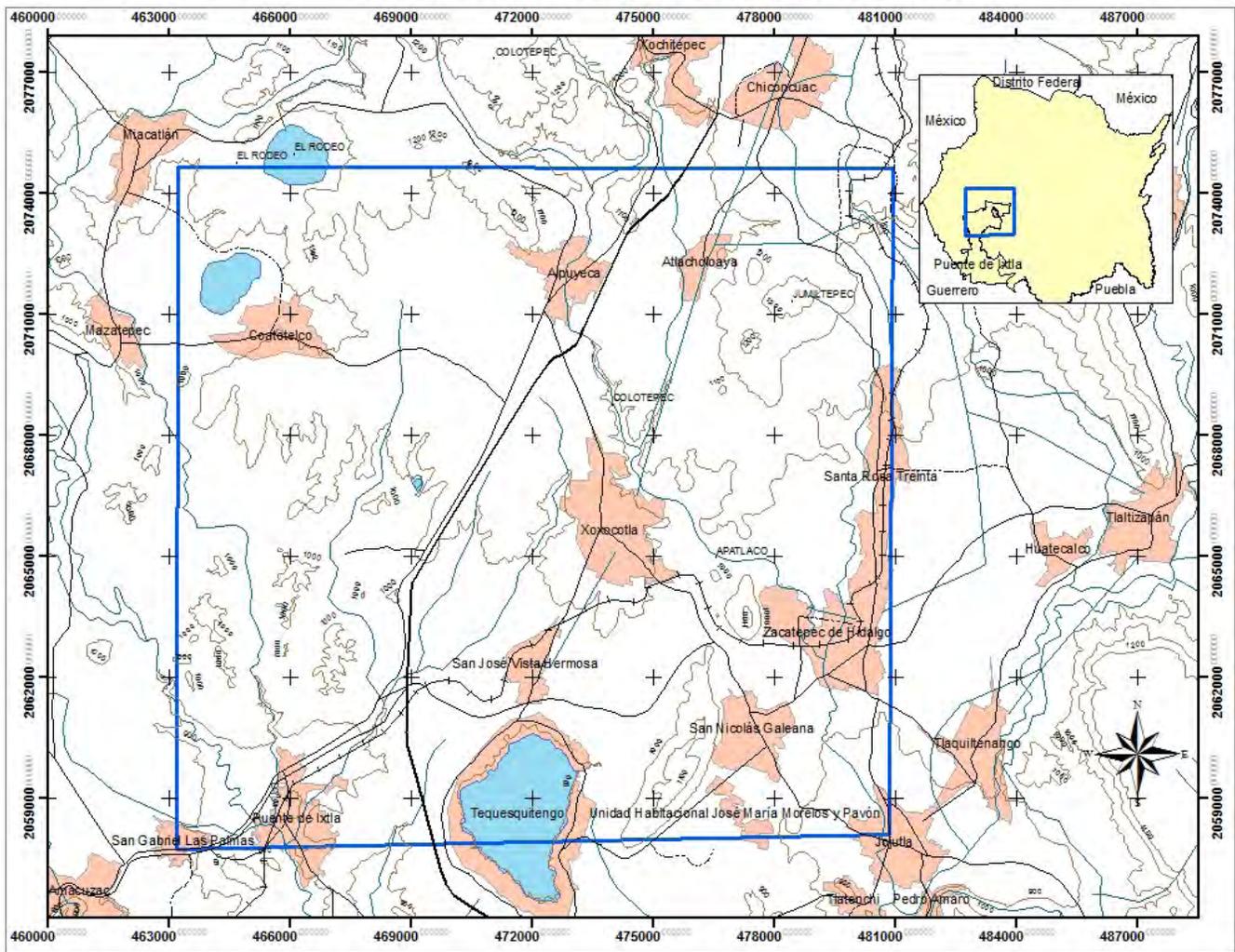


Figura.1.1 Localización del área de estudio. Mapa elaborado con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2009

1.5 Estudios Previos

El área de Estudio carece de información geológica a detalle. Sin embargo se recopilaron los siguientes trabajos y se describe la información obtenida.

- a) *Fries “Geología del Estado de Morelos”, 1960.* Define detalladamente todas las Formaciones del estado de Morelos, así como su evolución tectónica.
- b) *Ordaz A., Estudio geológico e hidrogeológico del estado de Morelos, Tesis profesional, I.P.N. México, 1977.* Señala las características hidrogeológicas de las rocas en las diferentes zonas del estado de Morelos, así como un breve estudio hidrogeoquímico en los pozos del estado.
- c) *Campa-Uranga Ma. F., “La Evolución Tectónica de Tierra Caliente, Guerrero”, 1978.* Define la geología regional y a detalle de Tierra Caliente, Guerrero. Debido a la cercanía con el área de estudio se utilizó la información del artículo para elaborar una correlación de la geología.
- d) *Técnicos, Asesores y Constructores, S. A., Estudio geohidrológico preliminar del valle de Zacatepec, en el Edo. Morelos, 1981.* Realiza una recopilación de información geológica, además de actividades de campo que consistieron en verificaciones geológicas, censo de pozos, muestreo de agua subterránea y la elaboración de un análisis de la información para determinar la disponibilidad de agua en el acuífero de Zacatepec.
- e) *Geoproyectos S. A. de C. V., Estudio Geofísico en Xoxocotla, Edo. Morelos, 1986.* Elabora un estudio de exploración geofísica mediante la ejecución de 30 sondeos eléctricos verticales (SEV) en la zona de Xoxocotla, Morelos, y realiza una interpretación de la información obtenida en los SEV, utilizando software.
- f) *Ultra Ingenieros S. A de C. V., Estudio Hidráulico de las lagunas de Coatetelco, Tequesquitengo y el Rodeo, Mor, México, 1990.* Elabora una recopilación de información geológica, además de elaborar censo de pozos y pruebas de bombeo cerca de las lagunas de Coatetelco, Tequesquitengo y el Rodeo, Morelos.
- g) *Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Red de Monitoreo Piezométrico, 2000.* Grupo Lesser propone pozos de monitoreo para definir una red de flujo y presenta las elevaciones del nivel estático para el año 2000.
- h) *Ortiz, Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente (CEAMA), Cortes litológicos.* Cortes litológicos de pozos perforados en diferentes años, ubicados en los municipios de Zacatepec, Puente de Ixtla y Xochitepec; que abarcan el área de estudio. Estos cortes se integraron a las secciones elaboradas en el presente trabajo.

1.6 Metodología

La metodología aplicada para la elaboración de la tesis se ejemplifica en el siguiente diagrama de flujo (Figura 1.2).

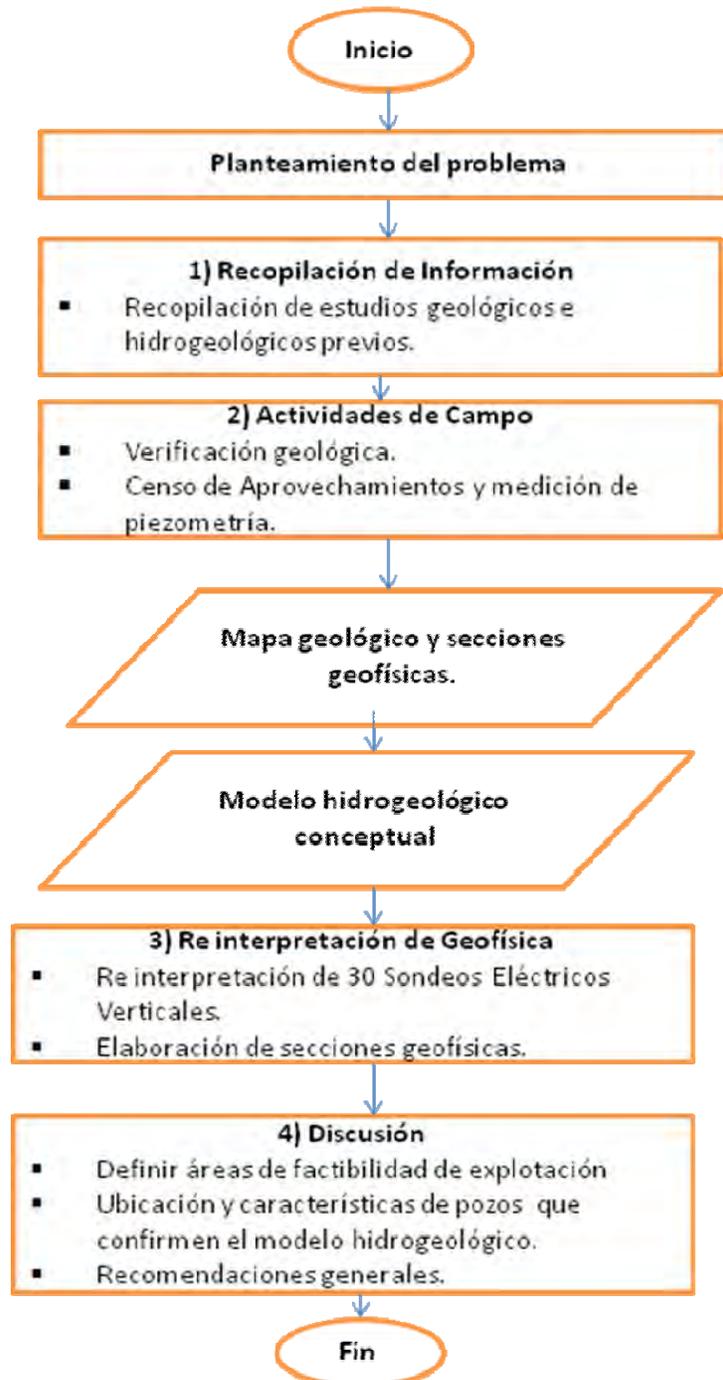


Figura. 1.2 Diagrama de Flujo “Metodología”

A continuación se presenta la descripción del proceso:

- Recopilación de información.

Durante la primera etapa de la elaboración de la tesis se recopilaron los trabajos anteriormente mencionados, se acudió a diversas dependencias de gobierno, tales como CONAGUA, INEGI, CEAMA y el Sistema de Agua Potable de Xoxocotla, A. C.; también se visitaron las principales bibliotecas de la UNAM.

- Actividades de Campo

Antes de las visitas a campo se elaboró un mapa fotogeológico 1: 50,000 mediante el uso de estereoscopios, en dicho mapa se identificaron los cuerpos de roca y la geomorfología, además de integrar la información de INEGI y los estudios anteriormente mencionados. Posteriormente se realizaron tres visitas a campo en las fechas 7-9 de septiembre de 2009, 11-13 de enero de 2010 y 13-14 de febrero 2010, en las cuales se llevaron a cabo 9 puntos de verificación geológica (descripción de afloramientos, contactos, medición de rumbos y echados), con un equipo GPS Garmin eTrex H, brújula Burton y pica.

Se realizó un inventario de puntos de agua con sus características y niveles piezométricos en las fechas antes mencionadas para elaborar una configuración piezométrica, obtener la dirección de flujo y correlacionar las características geológicas con los niveles del agua.

- Reinterpretación geofísica

Se llevó a cabo una reinterpretación de los estudios geofísicos eléctricos (Geoproyectos, 1986), mediante el uso de software (RESIXP y WINGLINK), durante los meses de enero y febrero de 2010, con el fin de definir unidades con características geoelectricas que correspondan a unidades almacenadoras de agua.

Se utilizó el software RESIXP para introducir las resistividades aparentes y las AB/2 de cada Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) obtenidas por la empresa Geoproyectos (1986) para elaborar un modelo de la curva de resistividad de cada uno.

Debido a que los SEV no contaban con coordenadas ni alturas se digitalizó el mapa de distribución de SEV (Geoproyectos, 1986) en el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcMap v. 9.3 y se obtuvieron coordenadas específicas de cada SEV. Mediante el software GlobalMapper 8 y los Modelos Digitales de elevación del INEGI (2010) se definieron las alturas.

Después se importaron los modelos de las curvas del RESIXP al software WINGLINK para que generara un modelo suavizado de capas de las curvas de resistividad (Figura 5.2) de cada uno de

los SEVs, así como su ubicación en un sistema de coordenadas UTM, para crear secciones en 2D, con el modelo suavizado. Cabe destacar que el programa genera perfiles automáticos dependiendo de la profundidad estudiada; para fines del estudio el autor creyó pertinente limitar estas profundidades en función de la profundidad del pozo a diseñar, la cual no rebasa los 300m.

Mediante el software AUTOCAD se elaboraron 2 secciones geofísicas donde se diferenciaron tres unidades geofísicas.

Además se generaron mediante el software Winglink mapas de isoresistividad a profundidades fijas, representando la zona no saturada, el nivel estático, la zona saturada y la capa impermeable (20m, 50m, 100m y 150m).

- Mapa geológico y secciones geológicas.

Se realizaron secciones digitales con una mayor integración de datos mediante el software AUTOCAD, posteriores al análisis de toda la información. En las secciones se integró: la información de campo, las unidades geológicas, cortes litológicos, los datos de pozos existentes y niveles piezométricos históricos, para obtener un modelo conceptual preliminar.

- Modelo conceptual Hidrogeológico

Comparando las secciones geológicas y geofísicas, fue definido el acuífero en estudio.

Para elaborar un modelo de flujo se utilizaron 14 pozos que se tomaron de la red de monitoreo de la CONAGUA para el año 2000 y se extrapolaron en el SIG Arc Map v. 9. El nivel estático de los pozos utilizados corresponde al estudiado.

Se reinterpretaron pruebas de bombeo manualmente y con el software Aquifer Test v. 3.5 mediante el método de Jacob (1946,1950), para comparar los resultados de los estudios anteriores y determinar las características hidrogeológicas del subsuelo.

- Discusión

Para una mejor comprensión del comportamiento hidrogeológico de las rocas en el área de estudio se elaboraron mapas mediante el Sistema de Información Geográfica ArcMap v. 9., integrando información topográfica de la zona: geología, inventario de puntos de agua, datos de pozos, calidad de agua y estadísticos.

Con la información integrada, el modelo geológico, hidrogeológico y las unidades geofísicas, se determinan áreas potenciales para extracción de agua y se proponen las ubicaciones de perforaciones que confirmen los datos obtenidos.

Se recomiendan posteriores estudios hidrogeoquímicos en ésta y otras áreas cercanas para una mejor comprensión y verificación de la calidad de agua.

Los ríos principales en el área de estudio y sus alrededores son: El Aplataco que corre al Noreste del poblado de Xoxocotla y el Río Amacuzac que se encuentra al Sur, fuera del área de estudio (Figura 1.1).

El Río Aplataco que en su parte baja es llamado Río Jojutla, se forma en la unión de los ríos Cuajomulco y San Antón que confluyen de la población de Temixco en el Estado de Morelos, formando una sola corriente; después de 45km aproximadamente llega al Río Amacuzac por la margen izquierda de éste a siete kilómetros al Sur-Oeste de Jojutla Morelos, que a lo largo de su trayectoria, recibe aportaciones por ambas márgenes, entre las que destacan las Barrancas del Túnel y la del Río Tetlama por la margen derecha. Éste río es importante debido a su perenne escurrimiento (Técnicos, Asesores y Constructores, S. A., 1981).

La trayectoria que sigue el río Aplataco en el área de estudio es de Norte a Sur. Recibe el afluente Colotepec al Norte del poblado de Xoxocotla, en esta parte corre al Sureste para pasar del lado poniente al poblado de Zacatepec. En el recorrido en campo se observó contaminación con bolsas de basura, la población comenta que hay descargas residuales al río, las cuales no se observaron.

El río Amacuzac corre de Oeste a Sureste al Sur del área de estudio, específicamente al Sur del poblado de Tehuixtla y del lago de Tequesquitengo. En tiempos pleistocénicos, este río parece haber tenido un curso situado algo más al norte del actual y sus aguas corrían en la superficie (Fries, 1960).

Los arroyos que se encuentran en la zona se ubican de la siguiente manera: al Norte el arroyo Cocolotepec; al Noreste los arroyos la Lagunilla y el Corralillo; al Este Agua Salada, Las Hebillas, El Amate Caído, La Guamuchilera y Cacahuananche; al poniente se encuentran los arroyos Ahuehuetzingo y Tembembe. Éstos últimos tienen diversos afluentes debido a la erosión de la Formación Balsas en esta zona. El principal usuario de las aguas del río Tembembe en el estado de Morelos, es el Distrito de Riego 016 "Morelos".

Al Noreste de la zona se encuentran tres manantiales: El Zapote, El Salto y El Chihuahuita. Éste último se encuentra cercado para evitar contaminación. Ordaz (1977) señala que el manantial Chihuahuita se origina debido al contacto entre la Formación Chichinautzin (donde aflora el manantial) y la Formación Mexcala, encontrada un poco más al Sur y Oeste del mismo.

Al Sur del área de estudio se encuentra el lago de Tequesquitengo, con un volumen de 120 millones m³, y al noreste se encuentran las lagunas: Coatetelco y el Rodeo originadas a partir de la karstificación de las calizas en estas áreas (Fries, 1960).

II.2 Clima

El municipio de Puente de Ixtla tiene un clima semiseco y cálido con invierno poco definido, con mayor sequía a finales de otoño, invierno y principios de primavera; registra una temperatura media anual de 20.4 °C – 27.8 °C (CONAGUA, 2009).

La estación climatológica “Xoxocotla” se encuentra en el área de estudio y registra una precipitación pluvial anual que varía entre 663 mm a 855 mm. La temporada de lluvias, como se observa en la gráfica siguiente (Figura 2.2), abarca los meses de mayo a octubre.

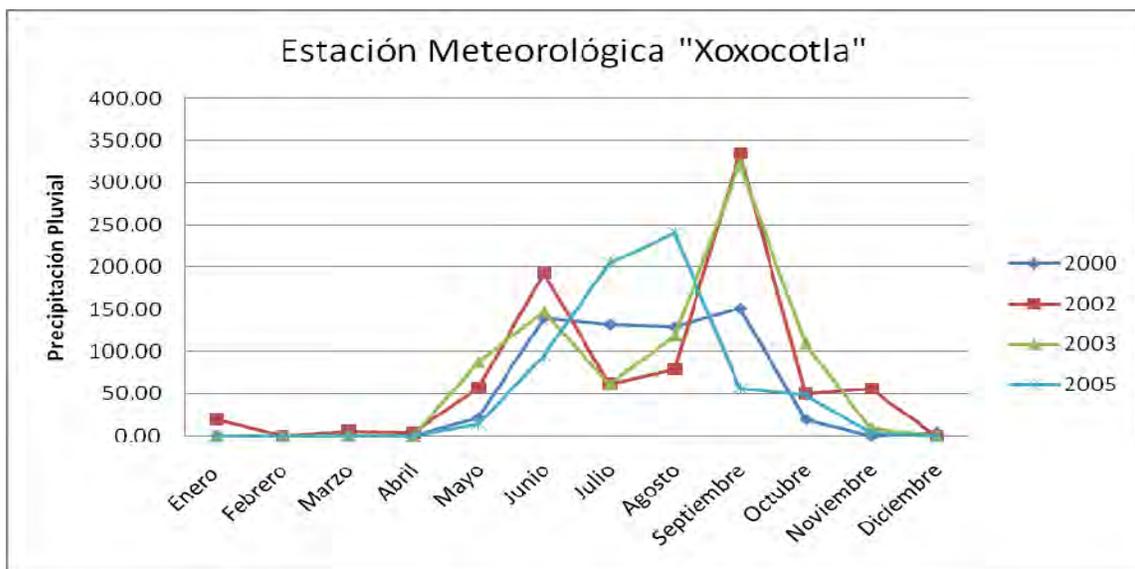


Figura. 2.2. Gráfica de precipitación pluvial 2000-2005. (CONAGUA, 2009)

En el período 2003-2005 se reporta también que la evaporación potencial promedio anual acumulada es de 2, 172 mm (Figura 2.3).

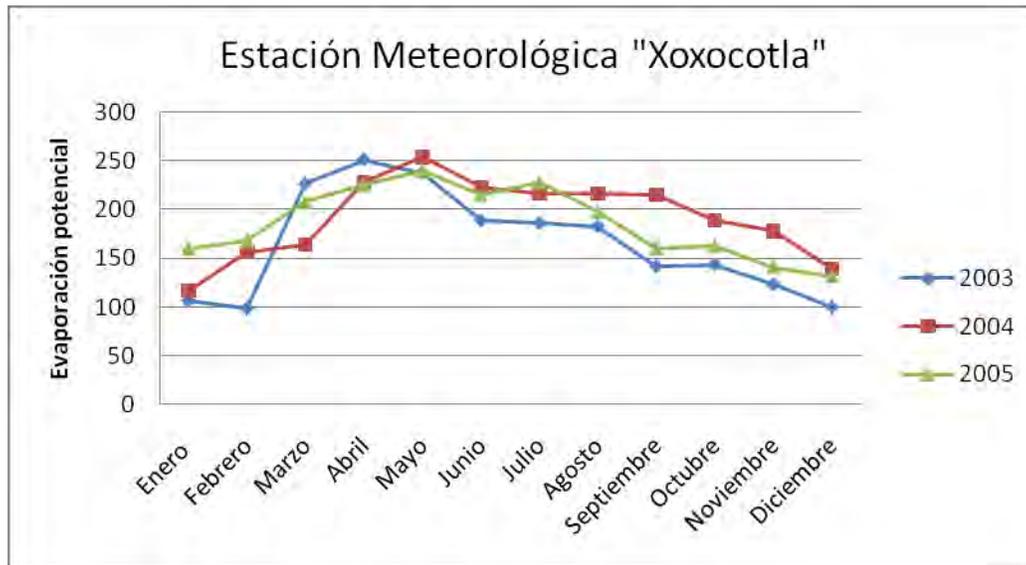


Figura. 2.3. Gráfica de evaporación potencial 2003-2005. (CONAGUA, 2009)

III. Geología

III.1 Geomorfología

El área de estudio presenta en general un relieve joven, un valle con erosión fluvial.

Raiz (1964) define la zona regional como la subprovincia denominada Cuenca del Balsas-Mexcala de la provincia fisiográfica llamada Sierra Madre del Sur.

El área de estudio se encuentra en una zona de cuencas. Se presentan elevaciones de 900m en las partes más bajas del valle y hasta 1350m (cerro Jumiltepec) al Norte del área.

Los principales cerros en la zona son el Metzonzin, Jumiltepec y Nananche localizados al Noroeste del área sobre los basaltos de la Formación Chichinautzin; al Norte, el cerro La Corona; al Noreste, el cerro La Tortuga formado por las calizas de la Formación Cuautla; y el San Martín de Porres, al suroeste.

Al poniente la Formación Balsas presenta un drenaje detrítico debido probablemente a su irregular composición.

Se observa karstificación al Noroeste, Sur y Sureste en la zona en forma de poljes y dolinas. Los lagos como el de Tequesquitengo, al Sur, las lagunas Coatetelco y el Rodeo son muestra clara de este fenómeno

La vegetación se define como selva baja caducifolia debido a la cantidad de especies arbóreas menores de 2m que únicamente reciben lluvias en verano.

III.2 Geología Regional

Dentro de los terrenos tectonoestratigráficos que limitan al área de estudio se encuentran: El Complejo Metamórfico Tierra Caliente, La Plataforma Guerrero- Morelos y la Faja Volcánica Transmexicana, en las Figura 3.1 y Figura 3.2 se observa la distribución espacial de estos terrenos. Se presenta a continuación una breve síntesis de los terrenos tectonoestratigráficos.

Complejo Metamórfico Tierra Caliente

El Complejo Metamórfico Tierra Caliente está ubicado al poniente de la Plataforma Guerrero-Morelos, entre Arcelia y la cabalgadura de Teloloapan. Se caracteriza por una secuencia vulcanosedimentaria cretácica marina metamorfizada en bajo grado (Ortega-Gutiérrez, 1981); esta

secuencia contiene andesitas, lavas almohadilladas, ignimbritas, tobas, areniscas y calizas que forman parte de las unidades Roca Verde Taxco Viejo (Alaniz-Álvarez et al., 2005). Este complejo se define como el basamento de la Plataforma Guerrero Morelos.



Figura. 3.1. Terrenos tectonoestratigráficos. SMOc: Provincia volcánica Sierra Madre Occidental, SMO: Sierra Madre Oriental, FVTM: Faja Volcánica Transmexicana, MC: Mesa Central, PG-M: Plataforma Guerrero-Morelos, TC: Complejo Metamórfico Tierra Caliente, TG: arcos volcánicos mesozoicos del terreno Guerrero, A-Ox: lo que contiene los basamentos de los complejos Acatlán y Oaxaqueño, PV-SLP:Plataforma Valles-San Luis Potosí, líneas diagonales: Sierra Madre del Sur, trama punteada: terreno Guerrero.(Alaniz-Álvarez S. A. et al., 2005).

Plataforma Guerrero - Morelos

La Plataforma Guerrero – Morelos (Fries, 1960) se ubica en la parte central de la Sierra Madre del Sur. En ella aflora una secuencia sedimentaria marina somera que abarca la Anhidrita Huitzucó, Formación Morelos y la Formación Cuautla. Éstas presentan estructuras de deformación contráctil con vergencia hacia el poniente en las inmediaciones de las cabalgaduras Teloloapan y Papaluta. Es uno de los rasgos geológicos del Cretácico más distintivos del Sur de México, ocupando gran parte de los estados de Puebla, Morelos y Guerrero. Al Norte es cubierta por los depósitos del Cinturón Volcánico Transmexicano; al Este limita con el Complejo Acatlán y su cobertura sedimentaria; al Sur limita con el Terreno Xolapa; y al Oeste con el Terreno Guerrero. Otro modelo de Aguilera-Franco y Allison Peter, señala al Oeste el Complejo Tierra Caliente (Figura 3.2). García - Díaz (2008) afirma que los contactos con los terrenos Guerrero, Xolapa y con el

Complejo Acatlán son rasgos tectónicos mayores cuya cinemática es actualmente motivo de debate.



Figura 3.2. Terrenos tectonoestratigráficos (Aguilera-Franco, 2004).

Faja Volcánica Transmexicana

Se acostumbra definir a la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) como un arco magmático continental, constituido por cerca de 8 000 estructuras volcánicas y algunos cuerpos intrusivos, que se extiende desde las costas del Pacífico, en San Blás, Nayarit y Bahía de Banderas, Jalisco, hasta las costas del Golfo de México en Palma Sola y Veracruz (Demant, 1978). La provincia tiene aproximadamente 1000 km de longitud y una amplitud irregular entre los 80 y 230 km. Se distribuye con una dirección preferencial E-W en su parte central y oriental, WNW-ESE en su parte occidental, formando un ángulo cercano a los 16° con respecto a la Trinchera Mesoamericana (Figura 3.1). Esta característica ha dado lugar a que la provincia reciba su nombre; claramente se muestra una distribución transversal con respecto a las grandes provincias geológicas mexicanas que corren con una orientación preferencial NNW-SSE (Ortega-Gutiérrez et al., 1992).

Se ha vuelto costumbre dividir a la FVTM en tres sectores o porciones con base en su geología y tectónica (Demant, 1978; Pasquaré et al., 1988) : una porción occidental entre la costa del Golfo de California y la junta triple de los rifts de Zacoalco, Chapala y Colima (Allan, 1986); una porción central comprendida entre dicha estructura y el sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende (Alaniz-Álvarez et al., 2002a), que es la representativa en el área de estudio y una porción oriental entre este sistema y la costa del Golfo de México.

Gómez-Tuena y Ferrari (2005) dividen la gran variedad composicional de las rocas volcánicas en cuatro grandes grupos: rocas alcalino-sódicas, rocas alcalino-potásicas, rocas calcialcalinas y vulcanismo riolítico.

La Faja Volcánica Transmexicana es el resultado de uno de los sistemas tectónicos convergentes más complejos del planeta, el objeto de más de un siglo de investigaciones científicas, y también el centro de las controversias más notables sobre la geología mexicana, principalmente debido a su petrografía y su perpendicularidad a la costa.

III.3 Geología Local

En el área de estudio afloran rocas más jóvenes que la Formación Xochicalco del Aptiano (Fries, 1960), sin embargo, Fries (1960) afirma que a 2.5 km del noreste de Acuitlapan en el estado de Guerrero la Formación Xochicalco cubre a la Formación Acuitlapan, definida como capas arcillosas y limosas con interestratos calcáreos, todo ello recristalizado en gran parte a filita pizarrosa (Fries, 1960). La Formación Acuitlapan se considera entonces como la base de la secuencia.

A continuación se presenta una breve descripción de las unidades que afloran en el área de estudio.

Formación Xochicalco

Litología y Edad

El nombre de Formación Xochicalco es determinado por Fries (1960) en una localidad arqueológica situada en el cerro del mismo nombre, que se extiende hasta el cerro Colotepec donde está intrusionada por un tronco granítico. Esta formación es descrita como una sucesión de capas calizas arcillosas densas y margas de espesor variable de muy delgado a mediano, con superficies de estratificación planas. Las capas delgadas se caracterizan por laminación fina, variando de grano desde calcilita a calcarenita. El color varía desde gris oscuro a negro, según el contenido carbonoso; en la parte superior de la formación abundan las hojas de pedernal intercaladas de 1 a 15mm. Los movimientos tectónicos produjeron fracturas que posteriormente fueron rellenadas por calcita blanca (Fries, 1960).

En cuanto a la edad de la formación, Bonet define a la Colomiella mexicana que se encuentra en la formación como de edad Aptiana (Fries, 1960).

Espesor y Relaciones estratigráficas

La Formación Xochicalco presenta un plegamiento mucho mayor que la Formación Morelos suprayacente debido al carácter arcilloso, carbonoso y la estratificación delgada de la caliza Xochicalco.

Campa Uranga (1978) señala que esta formación presenta pliegues en chevrón en el camino Ixcateopan-San Miguel, Tierra Caliente. Y un espesor medido de 400-100m (Campa-Uranga, 1978).

Distribución

En el área de estudio la Formación Xochicalco aflora en el límite al Norte, en el cerro Colotepec, subyaciendo a las Formaciones Morelos y Balsas, que se encuentran al sureste de ésta. Se diferencia en imágenes aéreas y satelitales por contar con una mayor erosión. Se encuentra en esta zona debido al plegamiento y fallas inversas probablemente cubiertas por los depósitos aluviales y sedimentarios de la Formación Cuernavaca. Tiene un espesor al Norte aproximado de 800m. Por las características de esta formación, el plegamiento y fracturamiento que presenta, se puede definir como una roca almacenadora de agua, sin embargo, puede comportarse como la base impermeable en algunas áreas donde se encuentren las fracturas rellenas. En el siguiente capítulo se definirá a detalle esta condición.

Formación Morelos (Albiano- Cenomaniano)

Litología y Edad

Fries (1960) propone el nombre de Formación Morelos para una potente sucesión de caliza y dolomita estratificadas, con cantidades variables de pedernal en forma de lentes, granos, nódulos, fragmentos de fósiles silicificados y donde algunas capas contienen materia bituminosa que aflora en Morelos y los estados contiguos de México y Guerrero.

Entre las estructuras más comunes que se presentan son bioturbación, laminación planar, estructuras fenestrales y grietas de desecación. Petrográficamente la Formación Morelos consiste en calizas packstone y wackstone de bioclastos, pellets e intraclastos con abundantes microfósiles que son representativos de ambiente de plataforma (miliolidos, ostrácodos y otros foraminíferos bentónicos) (Aguilera- Franco, 2004).

Fries (1960) argumenta que la Formación Morelos es depositada sobre grandes bancos aislados en zonas costeras de agua somera. También cree que la dolomitización ocurrió en el fondo del mar antes y durante la diagénesis de las arenas y lodos calcáreos.

La parte más antigua de la formación está constituida por un miembro de anhidrita en la parte oriental de la región, desde el lago de Tequesquitengo hacia Iguala, al sureste de Tilzapotla y al sur de Huitzucó, Mc Allister y Hernández Ortiz (1945) atribuyeron la anhidrita y dolomita al reemplazo hidrotermal de la caliza. En algunas partes el agua subterránea hidrata la anhidrita y resulta el yeso.

Esta formación presenta pliegues orientados al Norte y las rocas fueron fracturadas en grado variable. La dolomita fue intensamente fracturada y estas fracturas fueron reselladas por la precipitación de calcita blanca.

Basados en estudios paleontológicos la edad de la Formación Morelos se asigna para el periodo Albiano- Cenomaniano (Fries, 1960).

Espesor y Relaciones estratigráficas

Campa (1978) tiene un espesor medido de 1000m promedio, mientras Fries (1960) señala que en la parte central del estado el espesor es mayor a 900m y al sur disminuye, esto debido a la erosión antes del depósito de la Formación Cuautla suprayacente, aunque en ciertas localidades fue cubierta por la Formación Mexcala. Otros autores señalan que el contenido fósil encontrado en el área de La Calera, al sur del área de estudio, datan del Cenomaniano Tardío lo que indica que la erosión señalada por Fries (1960) debe estar limitada a una zona más pequeña, no obstante, deben hacerse más estudios al respecto (Aguilera Franco et.al, 1998). La Formación Morelos descansa discordantemente al Este sobre las rocas pre-cretácicas del complejo Acatlán (de Cerna et al., 1981).

Distribución

La Formación Morelos aflora en el área de estudio principalmente en la parte norte del poblado de Xoxocotla, bordeando al poniente al poblado de Atlacholoaya. También aparece en una menor área debajo estratigráficamente de la Formación Cuautla al suroeste de la zona de estudio. Se calculó un espesor máximo de 500m aproximadamente. En el área norte al igual que la Formación Xochicalco se encuentra plegada y fallada.

La Formación Morelos presenta un intenso fracturamiento y plegamiento que ocasiona una permeabilidad secundaria por ello se considera como un acuífero de bajo potencial.

Formación Cuautla (Cenomaniano Tardío -Turoniano)

Litología y Edad

La Formación Cuautla es dividida por Fries (1960) en tres facies principales en sentido lateral: la primera es una sucesión gruesa de capas calizas de estratificación mediana a gruesa, del tipo banco calcáreo; la segunda más delgada, presenta capas calizas laminadas de estratificación delgada a mediana; y la tercera, se define como una sucesión muy delgada de capas de caliza clástica de estratificación delgada a mediana.

La facie predominante de la Formación Cuautla en el estado de Morelos es la caliza densa en capas gruesas o masivas, pero al oriente de Tlaquiltenango se expone una facies diferente, con capas de 5-20cm de espesor; el pedernal se presenta en forma de hojas, láminas intercaladas o en forma de nódulos (Fries, 1960).

Al Sur del área de estudio, Hernández- Romano (1999) define dos tipos de facies: el miembro Huitziltepec y el miembro Zotoltilán. El miembro Huitziltepec se define como calizas packstone-wackstone de bioclastos, con intercalaciones de rudistas. Este miembro se puede relacionar con la facie tres de Fries (1960). El miembro Zotoltilán está compuesto por margas y calizas arcillosas.

Fries (1960) comenta que ciertos radiolarios (radiolites müllerriedi) señalan una edad Turoniana, 93ma. Se encuentra también el equinoide Tetragramma del Cenomaniano, por lo tanto, se define que las capas basales de la Formación Cuautla (miembro Huitziltepec) son de edad turoniana temprana, pero la calcarenita basal infrayacente puede tener edad algo mayor, Cenomaniano tardío. Aguilera-Franco (2000) confirma que la edad para el miembro Huitziltepec es Cenomaniano Tardío.

Espesor y Relaciones estratigráficas

Estando el espesor en función de una línea de paleocosta, la facie banco calcáreo tiene un espesor aproximado de 750m, disminuyendo en Santa María hasta 500m. Al sur de Taxco sólo tiene 15m de espesor (Fries, 1960). La unidad suprayacente es la Formación Mexcala.

Distribución

Aflora al Este y Sureste del área de estudio, formando los cerros de la Tortuga y San Martín de Porres, sobreyaciendo a la Formación Morelos. Presenta un espesor aproximado de 400m.

Frente al cruce de la carretera que va a Zacatepec, sobre las vías del tren, se encuentran claros afloramientos de plegamientos en la Formación Cuautla (Figura 3.4); el punto preciso se encuentra

en las coordenadas N 18° 40'09.8'', W 99° 13'06.3'' a una altura aproximada de 1003m, donde se observaron los estratos de caliza plegada con los siguientes rumbos y echados:

- N 39° W; 6°
- N 40° W; 5°
- N 39° W; 10°
- N 22° E; 29°
- N 42° E; 33°
- N 60° W; 35°
- N 65° W; 20°

Los estratos tienen un espesor que va de los 7cm a los 30cm. El color al intemperismo es castaño claro. En el afloramiento se observan las rocas muy fracturadas. La muestra de mano presenta un color, al fresco, gris castañoso. Se observa masiva, con textura: mudstone, plegada y con vetillas rellenas de carbonato de calcio. A simple vista se observan algunos fósiles suspendidos.



Figura 3.3. Formación Cuautla. Lado poniente del cerro La Tortuga. Se observa fracturamiento y fracturas rellenas de calcita.



Figura 3.4. Formación Cuautla. Parte Sur del Cerro la Tortuga, enfrente del cruce. Se observa el plegamiento.

Debido a la sucesión gruesa de capas de espesor variable y su textura, se determina para este afloramiento que la facie observada es del tipo banco calcáreo, Facie 1 de Fries.

Esta formación presenta al igual que las anteriores una permeabilidad secundaria, que el autor define como un buen acuífero.

Formación Mexcala (Turoniano – Campaniano)

Litología y Edad

Campa (1978) define a la formación Mexcala como un depósito flysch, una alternancia rítmica de lutita y arenisca con algunas capas de calcarenita con líticos de plataforma, conteniendo *Numoloculina heimi* en matriz de micrita (mudstone) con fauna de cuenca con *Calcisphaerula innominata*.

Fries (1960) define los afloramientos de la formación Mexcala en fajas sinclinales, con colores variables, lateral y verticalmente, predominando los tintes oscuros con intemperismo laterítico. Es muy variable en su litología, en la parte basal está compuesta por capas de calizas arcillosas o limonita calcárea de hasta 30m de espesor; encima, calcarenitas laminadas de 10-20cm de espesor;

hacia arriba, capas interestratificadas de lutita y limonita calcárea, arenisca o subgrauvaca y capas de conglomerado fino. En lámina delgada la arenisca muestra un predominio de granos clásticos detríticos de caliza y dolomita, con cuarzo ocupando el segundo lugar, y con feldespatos y escasos minerales máficos completamente alterados, en cementante calcáreo. Las capas inferiores contienen cantidades considerables de materia carbonosa en forma de tallos leñosos en las capas arenosas y limosas.

La localidad tipo fue escogida a lo largo del río Balsas o Mexcala, al oriente del puente de la carretera, debido a que en esta parte las rocas aparecen menos plegadas. Middleton describe tres tipos de areniscas dentro de la Formación Mexcala: cuarcita ($Al_2O_3 < 5\%$), arcosa y grauavaca (Fries, 1960).

Después del depósito de la Formación Mexcala ocurrió un período de deformación fuerte con orientación Norte. Su relativa incompetencia originó pliegues tipo chevrón, abundantes fallas inversas de poco desplazamiento y fuerte cizallamiento. Los estratos de grano más grueso fueron fracturados y posteriormente soldados por calcita blanca secundaria. La microfauna quedó parcial o completamente destruida. También se encuentran *Peroniceras* dentro de 10m en el contacto entre la formación Mexcala y la Formación Cuautla a 1,000m. al oriente-nororiente de Tlaquiltenango. Aguilera –Franco (1995) señala que la edad de la Formación Mexcala varía de Cenomaniano Tardío hasta el Maastrichtiano (Aguilera- Franco, 1995).

Espesor y Relaciones estratigráficas

Tiene relaciones transgresivas con todas las formaciones cretácicas más antiguas. Tiene un espesor aproximado de 1, 220m a una distancia de 3km al oriente del puente de la carretera México-Acapulco. Es complicado medir el espesor de esta unidad debido a su fácil erosión. Fries (1960) observa una discordancia con las rocas suprayacentes de Grupo Balsas.

Distribución

El único afloramiento cartografiado de la Formación Mexcala se ubica al Este de la zona de estudio sobre la carretera aproximadamente a 500m al Norte del poblado de Santa Rosa Treinta. En esta zona las rocas se encuentran muy plegadas y fracturadas, se observaron intercalaciones de lutitas y calizas arcillosas, las calizas se encuentran en potentes estratos de hasta 60 cm de espesor. Ambas con un grado de intemperismo medio (Figuras 3.5 y 3.6).

La muestra de mano se definió como lutitas con alto contenido de carbonatos debido a la gran efervescencia que presentaron al ácido; de color castaño amarillento, la caliza se describe como grainstone con fósiles suspendidos, de color gris castaño.



Figura 3.5 Formación Mexcala: Estratos de lutitas calcáreas, plagadas y fracturadas.



Figura 3.6 Formación Mexcala, en la foto se observa los estratos de lutitas calcáreas subyaciendo (2) a las calizas arcillosas (1)

La Formación Mexcala por su carácter arcilloso se comporta como un acuitardo, es decir, almacena el agua pero no la cede fácilmente; se puede inferir además que la unidad confina inferiormente al acuífero de la Formación Cuautla y superiormente al acuífero de la Formación Balsas y/o Cuernavaca (Ordaz, 1977). Aunque presenta fracturamiento, las fracturas se encuentran rellenas de calcita, lo que dificulta el flujo del agua.

Grupo Balsas

Litología y Edad

El grupo Balsas fue originalmente descrito por Fries (1960) como una sucesión de depósitos terrígenos, variedad litológica local con espesores variables, que se presentan en la cuenca hidrológica del Río Mexcala- Balsas en el centro austral y suroeste de México. El grupo incluye rocas diversas como yeso, caliza lacustre, conglomerado calizo, conglomerado volcánico, arenisca tobácea, limonita tobácea y arcillita, brecha, toba volcánica y corrientes lávicas interstratificadas; definido por tres rasgos característicos: la superposición con las rocas cretácicas, su antigüedad respecto a las rocas volcánicas suprayacentes, y su moderado grado de deformación que contrasta con las unidades del Neógeno y Cuaternario (Fries, 1960). No obstante estudios recientes revelan que las capas basales del Grupo se encuentran intercaladas con rocas volcánicas del Paleógeno (Morán-Zenteno et al., 2007).

Presenta buzamientos menores a 10° y algunos mayores 70°, sin embargo, los buzamientos promedian los 20° y 30°. Las texturas no han sido afectadas por cizallamiento o metamorfismo, no obstante, al noreste y al suroeste de Amacuzac existen pequeños troncos y diques que han ocasionado la marmorización y la silicatización de los constituyentes calizos de las capas conglomeráticas (Fries, 1960).

Su edad se estima por la Riolita Tilzapotla suprayacente que se define como del final del Oligoceno (26m.a.) por lo que la edad del Grupo Balsas varía entre el Eoceno tardío (33m.a.) al Oligoceno medio (Fries, 1960).

Debido a la gran diversidad de depósitos agrupados en este Grupo, Morán-Zenteno (2007) define la estratigrafía para el área de Amacuzac- Zacapalco, que al ser próxima al área de estudio se describe brevemente a continuación.

El Grupo Balsas en el área Amacuzac- Zacapalco se divide en dos unidades sedimentarias (Formación Tepetlapa y F. Huajintlán) y dos unidades piroclásticas (Toba Teacalco y Toba

Piedras Altas) (Morán- Zenteno et al., 2007). Debido a que no se observan las unidades piroclásticas, sólo se definen las unidades sedimentarias.

Formación Tepetlapa

Litología y Edad

Morán- Zenteno (2007) define a la Formación Tepetlapa como una sucesión de limolitas intercaladas con areniscas y conglomerados matriz soportados. Como sugieren las pruebas K- Ar se le asigna una edad del Eoceno.

Espesor y Relaciones estratigráficas

El espesor aproximado es de 2000m e infrayace a la Toba Teacalco, al Norte de Zacapalco, y a la Formación Huajintlán al Sureste (Morán- Zenteno et al., 2007).

Distribución

En el área de estudio la Formación Teacalco aflora en las colinas bajas al norte de Puente de Ixtla. Exposiciones aisladas se encuentran en el suroeste de Tlaquilténango, noroeste de Alpuyeca, al poniente de Tehuixtla, en Emiliano Zapata, al sureste de Tetecaliya, al norte de Oacalco, y en las colinas bajas al Norte de Puente de Ixtla y al Oriente de Xoxocotla, siendo erosionada por los arroyos Ahuehuetzingo y Tembembe.

A lo largo de la carretera a Puente de Ixtla se observan afloramientos como el que se presenta a continuación.



Figura 3.7 Formación Balsas, afloramiento en la carretera federal Puente de Ixtla- Xoxocotla.

En este afloramiento la roca presenta un color castaño rojizo, con alto grado de intemperismo. En muestra de mano el tamaño de los clastos varía de gravas finas a guijarros (0.5cm - 20cm). Subredondeados a subangulosos. Algunos clastos son calcáreos (Figura 3.8). Se definió como un conglomerado con matriz de arena fina con limos mal clasificado.



Figura3.8 Formación Balsas, se observan el tamaño de los sedimentos de hasta 20cm.

Por sus características litológicas, esta unidad se puede definir como el acuífero del área de estudio, además se puede caracterizar a detalle a partir de los cortes geológicos que señalan en la base un conglomerado calcáreo, a partir de los 235m (Apéndice III).

Formación Huajintlán

Litología y Edad

Es definida como una sucesión de conglomerado pobremente seleccionado, con fragmentos calcáreos; tiene una edad de 33m.a. obtenida a partir de la Riolita Tilzapotla suprayacente.

Espesor y Relaciones estratigráficas

El espesor aproximado es de 2000m y sobreyace a la Formación Teacalco y a la Toba Piedras Altas. La unidad que sobreyace a esta Formación es la Riolita Tilzapotla que aflora al sur del área de estudio.

Esta unidad, de observarse en otros afloramientos, se puede definir como un acuífero.

Rocas Volcánicas

Sobre el Grupo Balsas descansan unidades compuestas por rocas volcánicas y por depósitos clásticos interestratificados (Fries, 1960). Las unidades volcánicas de finales del Paleógeno y Neógeno son: Riolita Tilzapotla, Formación Tepoztlán, Andesita Zempoala, Grupo Buenavista y un grupo no-diferenciado. Según Fries (1960), la mayor parte del material volcánico consta de andesitas de diferentes colores, texturas y componentes minerales; pero se presenta algo de material riolítico, tanto cerca de la base, como cerca de la cima de la sucesión, y aun existen localmente rocas basálticas.

Estas unidades no se observan en los cortes litológicos de los pozos y en el área de estudio sólo aflora el Grupo no-diferenciado en un pequeño afloramiento no cartografiable en el arroyo Colotepec, por ello, sólo se describe de manera breve éste último (Figura 3.9).

Litología y Edad

Fries (1960) nombra como un Grupo no-diferenciado a las rocas volcánicas de principios del Neógeno, que no son de composición riolítica y quedan al Norte del río Amacuzac y al Sur de Cuernavaca. Las zonas de afloramiento, primera y segunda, están compuestas por corrientes lávicas andesíticas y estratos volcánicos clásticos, interestratificados. Se hallan pequeños afloramientos de rocas volcánicas andesíticas en el flanco noroccidental del polje de

Tequesquitengo, donde sobresalen de la Formación Cuernavaca. Pequeños afloramientos similares sobresalen de la Formación Cuernavaca 2km al Norte de Xoxocotla. Se considera de igual manera del Oligoceno tardío al Mioceno (Fries, 1960).

Distribución

Fries (1960) hace la observación de unos pequeños afloramientos al norte de Xoxocotla, a una distancia aproximada de 2km. El autor encontró estos afloramientos en el arroyo Colotepec del lado poniente, que probablemente pertenecen al Grupo no-diferenciado pero no son cartografiables.

Se definió como conglomerado de rocas ígneas extrusivas de color marrón, variando también a azul en algunas partes altas; bien consolidado y compactado, regularmente clasificado. Los clastos que lo conforman presentan una textura porfídica; entre los minerales observables se identificaron plagioclasas de tamaño <1mm y vidrio en la muestra de mano, así como también se observaron los clastos subredondeados a redondeados, cuyo tamaño varía entre 1cm -15cm; se definió como un conglomerado inmaduro, que ocurrió en un ambiente de alta energía.



Figura 3.9 Rocas Volcánicas consolidadas en el lado poniente del arroyo Colotepec

Debido a la gran compactación que se observó en el afloramiento de esta unidad, el Grupo no-diferenciado se define como un acuitardo.

Formación Cuernavaca

Litología y Edad

La Formación Cuernavaca está compuesta por depósitos clásticos transportados por agua, sobre los que yace la ciudad de Cuernavaca. Fries (1960) señala que la unidad aflora principalmente en la cuenca del río Amacuzac y de sus afluentes. La unidad forma llanuras ligeramente inclinadas de superficie construccional.

La constitución litológica de la Formación Cuernavaca es variada en extremo. La parte septentrional y topográficamente más alta de la unidad está formada predominantemente por conglomerado en abanico de grano medianamente grueso, cuyos constituyentes son casi exclusivamente de rocas volcánicas andesíticas erosionadas de las series volcánicas terciarias descritas anteriormente, compuestas por material inequigranular desde anguloso a poco redondeado y en tamaño de grano desde limo fino a bloques de 1m de diámetro. Existe material tobáceo en algunas capas. En las zonas más apartadas de los altos topográficos son más numerosas las capas de conglomerado de grano fino, arena y limo.

En varios lugares se encuentran depósitos de travertino, los más notables se hallan en la orilla septentrional de Tlaltizapán (Fries, 1960).

Fries (1960) comenta que la Formación Cuernavaca se pudo haber depositado principalmente en forma de abanicos aluviales coalescentes por medio de aguas corrientes originadas en terrenos elevados. Se determina que la Formación es del Plioceno (Fries, 1960).

Espesor y Relaciones estratigráficas

El espesor de la Formación Cuernavaca tiene límites muy amplios en los diversos lugares donde se halla. En las cercanías de Cuernavaca hay afloramientos cuando menos de 100m de espesor, éste en su totalidad puede alcanzar 200-250m. La Formación Cuernavaca sobreyace al Grupo Balsas mencionado antes, específicamente a la Formación Tepetlapa.

Distribución

La Formación Cuernavaca ocupa la mayor parte del área dentro de la zona de estudio, en todo el valle, principalmente en las zonas bajas, probablemente debido a la erosión de ésta en las zonas altas y al fallamiento.

Las rocas de la Formación Cuernavaca se observaron al norte del poblado de Xoxocotla, a lo largo del lado oriente del arroyo Colotepec y en los bordes del Lago de Tequesquitengo, en la entrada

que corresponde a la comunidad de Xoxocotla se observa con alto grado de intemperismo y color amarillento.

Se define como conglomerado de rocas ígneas extrusivas en matriz arcillo-limosa, mal clasificado, variando el tamaño de grava medias hasta guijarros, subangulosos, de textura porfídica con plagioclasas y vidrio (Figura 3.10 y 3.11).



Figura 3.10. Conglomerado de origen ígneo de la Formación Cuernavaca, en el borde del Lago de Tequesquitengo.



Figura 3.11 Conglomerado de origen ígneo de la Formación Cuernavaca, se observa muy intemperizado.

También se observan clastos de esta Formación al Noroeste del poblado de San José Vista Hermosa, donde se encuentran los pozos de “La Joya” y “Pueblo Nuevo”, teniendo un espesor de 100m en el área.

Durante el recorrido, descendiendo topográficamente para llegar al afloramiento de las rocas volcánicas, se observaron calizas que se definieron como grainstone, con un color pardo al intemperismo; en la parte superior del afloramiento antes mencionado, las calizas se encuentran muy karstificadas y erosionadas, con un alto grado de intemperismo.

En el Norte del área de estudio la Formación Cuernavaca es el acuífero en explotación, sin embargo, en la zona de estudio se caracteriza por ser un acuífero pobre, dando caudales menores a 10 L/s como se podrá observar a detalle en el siguiente capítulo.

Grupo Chichinautzin

Litología y Edad

El cerro Chichinautzin se origina a causa de las fallas laterales profundas de la corteza que definen la Zona Neovolcánica al final del Plioceno y durante el Pleistoceno. Éste es un volcán basáltico situado en el límite del Estado de Morelos y el Distrito Federal. Fries (1960) propone a este Grupo

para definir a todas las corrientes lávicas, estratos de toba, brecha y materiales clásticos interestratificados depositados por agua, de composición andesítica y basáltica. Se extienden corrientes lávicas en lengüetas irregulares hacia el sur, hacia la confluencia de los ríos Amacuzac y Chinameca. El grupo Chichinautzin consiste en basalto olivínico porfídico con microlitos de labradorita y abundantes granos de augita en una matriz casi holocristalina (Fries, 1960).

Espesor y Relaciones estratigráficas

El espesor del Grupo es variable en distintos lugares, la larga lengüeta que escurrió aguas abajo del río Amacuzac desde su confluencia con el Río Yautepec tiene unos 30 o 40m de espesor y se adelgaza gradualmente (Fries, 1960).

Distribución

En las fotos aéreas se observan claramente capas de derrames de la Formación Chichinautzin al Norte y Noreste de la zona de estudio. A lo largo del arroyo Colotepec, aflorando del lado oriente, frente al Balneario de Apotla, se ven los basaltos de esta Formación. Éstos son basaltos de textura afanítica, la muestra de mano presenta un color al fresco negro azulado, con vacuolas; contiene también vetillas de olivino y minerales máficos menores a 1mm; las coordenadas precisas del afloramiento son N 18°40'32.5'', W 99°13'10.4'' a una altura aproximada de 931m (Figura 3.12).



Figura 3.12 Basaltos de la Formación Chichinautzin, frente al Balneario Apotla.

El área de este afloramiento es de 40ha y parte desde el Sur del poblado de Alpuyeca hasta 500m al norte del poblado de Xoxocotla, con una anchura aproximada de 250m.

También se observaron derrames basálticos, fracturados y con gran número de vacuolas, aflorando al norte del poblado de Santa Rosa, de donde aflora el manantial Chihuahuita.



Figura 3.13 Basaltos de la Formación Chichinautzin camino al Manantial Chihuahuita

La porosidad y permeabilidad de la Formación Chichinautzin sugieren que esta formación es un acuífero de buen potencial.

Aluvión

Litología y Edad

Fries (1960) describe al aluvión como un manchón grande de grava con cantos grandes, arena, limo y arcilla con ceniza volcánica y corrientes lávicas mezcladas e interestratificadas, procedentes de volcanes del Grupo Chichinautzin, incluyendo probablemente material glaciofluvial derivado del deshielo en los flancos altos del Popocatepetl. El área cubierta por la unidad anterior se extiende por la zona delimitada por Xochitlán, Anenecuilco y Yautepec, y se prolonga un poco al Suroeste pasando por el valle del río Yautepec hasta más allá de Tlaltizapán.

También hay depósitos acumulados debido a la disolución de la caliza infrayacente y al desarrollo de dolinas y poljes, seguido por el relleno (Fries, 1960). Casi todos los valles de los arroyos y ríos contienen una pequeña capa delgada de aluvión pero sólo se cartografiaron los que tuvieron espesor suficiente (3m-4m).

Distribución

El área cubierta por esta unidad se extiende al Noroeste, Sureste y Suroeste de Jojutla, consiste principalmente en arena, grava y limo, con mucha ceniza mezclada. Los depósitos acumulados debido a la disolución de la caliza infrayacente aparecen en forma de manchones de tamaños variados en las cercanías del lago de Coatetelco, cerca de Cuautlita, alrededor de Puente de Ixtla y del lago de Tequesquitengo, al poniente de Alpuyecá y al Sur de Xochitepec (Fries, 1960).

Al Sur del área de estudio, donde aflora la Formación Balsas se observa como ésta se encuentra rodeada de depósitos aluviales de los diversos arroyos que la erosionan. El espesor caracterizado fue de 10 m aproximadamente.

Existe un pequeño afloramiento de estos depósitos a la entrada del cerro la Tortuga (Figura 3.14) donde se observan cantos y gravas redondeadas, de variados tamaños de hasta 15cm de diámetro. Frente al mismo, también se encuentran sedimentos arenosos no consolidados de color amarillo a castaño amarillento.



Figura 3.14. Sedimentos del cerro la Tortuga

III.4 Geología Estructural

Los principales rasgos estructurales de la zona son pliegues en rocas cretácicas y más antiguas, en una época anterior al depósito del Grupo Balsas, así como fallas producidas después del periodo de plegamiento principal. El rasgo más importante es la profunda fractura de la corteza definida por la zona Neovolcánica (Fries, 1960).

Campa (1978) señala principalmente tres fases de deformación compresional en el área de Tierra Caliente, Guerrero, donde la primera está definida por el metamorfismo que plegó y folió la secuencia volcánico sedimentaria que se había depositado hasta el Albiano, en la zona Central, con ello, la formación de pliegues de estilos diversos; además del cambio de sedimentación marina a continental en toda el área. La segunda fase compresional ocurrió en el Paleógeno y es la responsable de los grandes pliegues anticlinales y sinclinales de la región de Huetamo. La tercera fase está caracterizada por “domos cóncavo invertido”, de edad Miocénica, que marca el final de la deformación compresional para dar lugar a la formación extensional, activa hasta nuestros días (Campa-Uranga, 1978).

III.5 Mapa geológico y secciones geológicas

El mapa geológico siguiente (Figura 3.15) muestra la distribución geográfica de las unidades, así como la ubicación de las secciones geológicas elaboradas, los puntos de verificación y los cortes litológicos obtenidos.

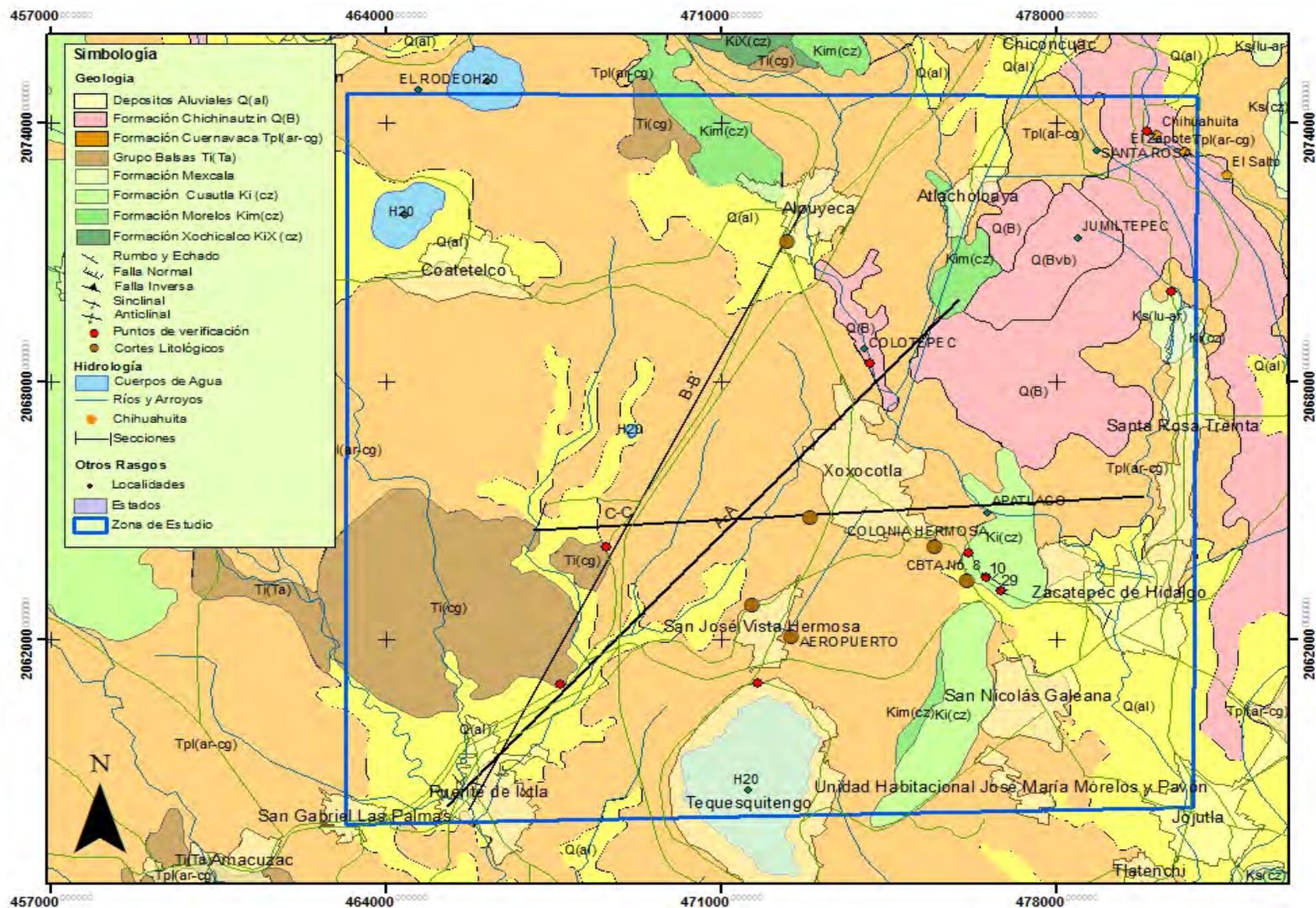


Figura 3.15. Mapa Geológico de la zona de estudio

Secciones Geológicas

Se elaboraron tres secciones principales A-A', B-B' y C-C' (Figuras 3.16, 3.17 y 3.18), con ayuda de AUTOCAD para tener la información de campo en capas y posteriormente integrar la demás información. Su ubicación se observa en el mapa geológico (Figura 3.15).

A continuación se presentan las secciones elaboradas con su respectiva simbología e interpretación.

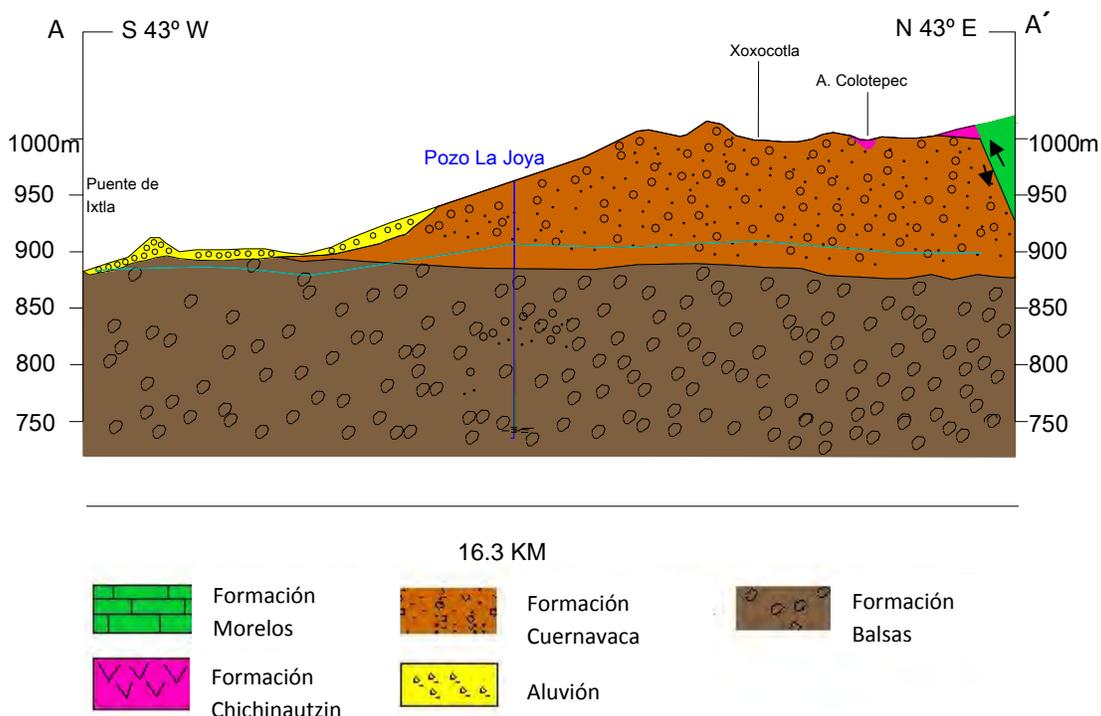


Figura 3.16 Sección A- A

En la sección A- A' se determina un espesor para la Formación Cuernavaca de 80 m. en función del corte litológico del pozo "La joya" y no se fija el límite de la Formación Balsas debido a que se reportan espesores mayores a los 600m, además de que en los cortes litológicos no se observa el límite inferior. Al Noreste se determinó una falla inversa que produce el contacto de las Formaciones Cuernavaca y Balsas con la Formación Morelos. La Formación Chichinautzin aparece con un mayor espesor aguas arriba del arroyo Colotepec.

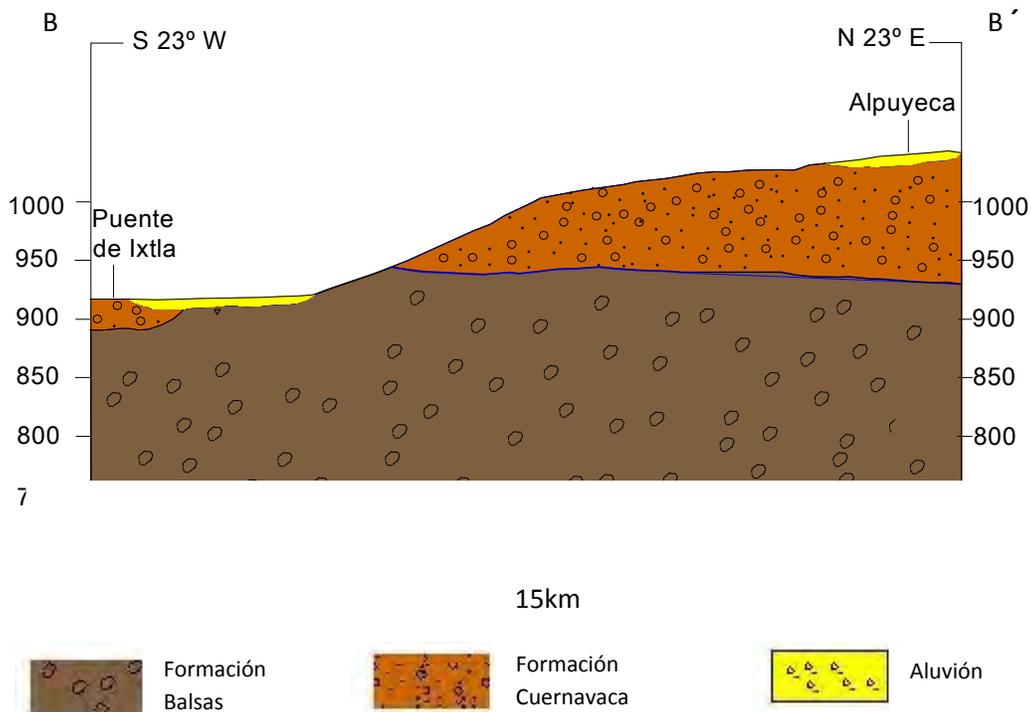


Figura 3.17. Sección B-B

En la sección anterior (Figura 3.17) la Formación Cuernavaca se caracteriza por un espesor de aproximadamente 100m, debido al poco o nulo basculamiento que presenta y a la aparición de la Formación Balsas al SW. Esto se corrobora con el corte litológico del pozo “Alpuyeca”, que se presenta en el Apéndice 1.

La sección C (Figura 3.18) es una sección W - E, donde se observa más claramente una separación de litologías, lo que indica que la parte Este tiene otro sistema hidráulico.

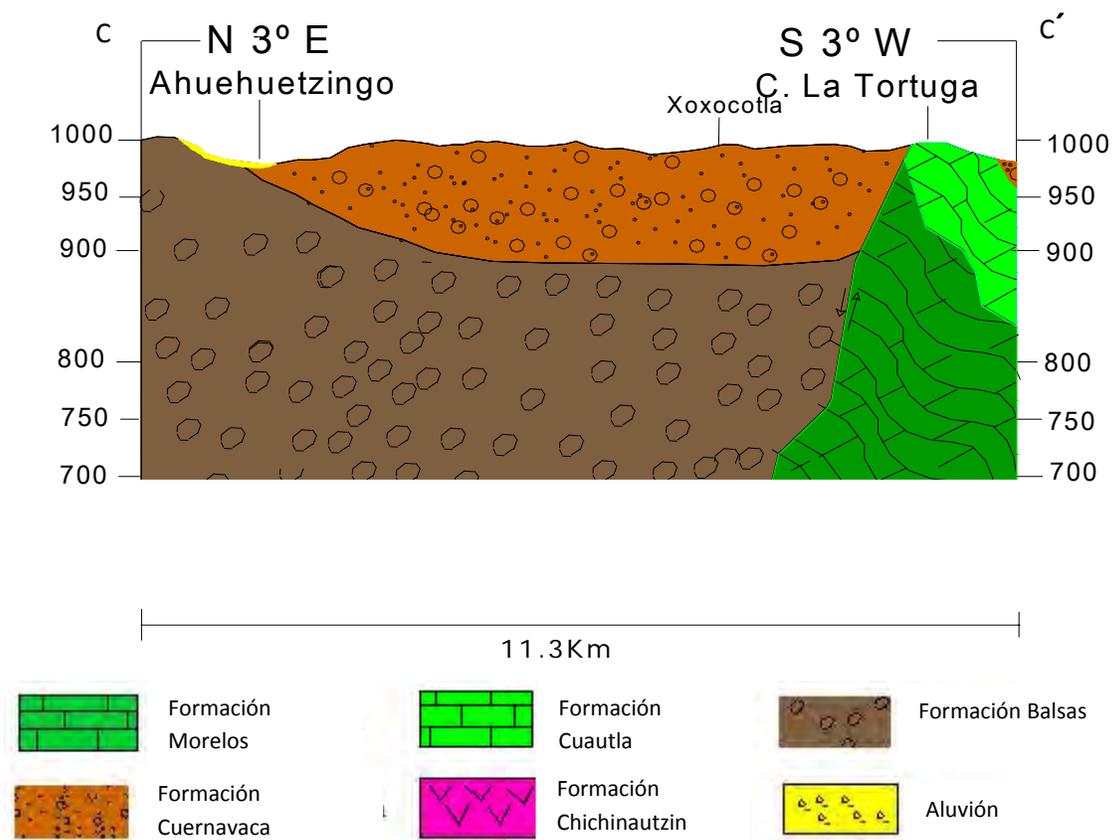


Figura 3.18. Sección C-C

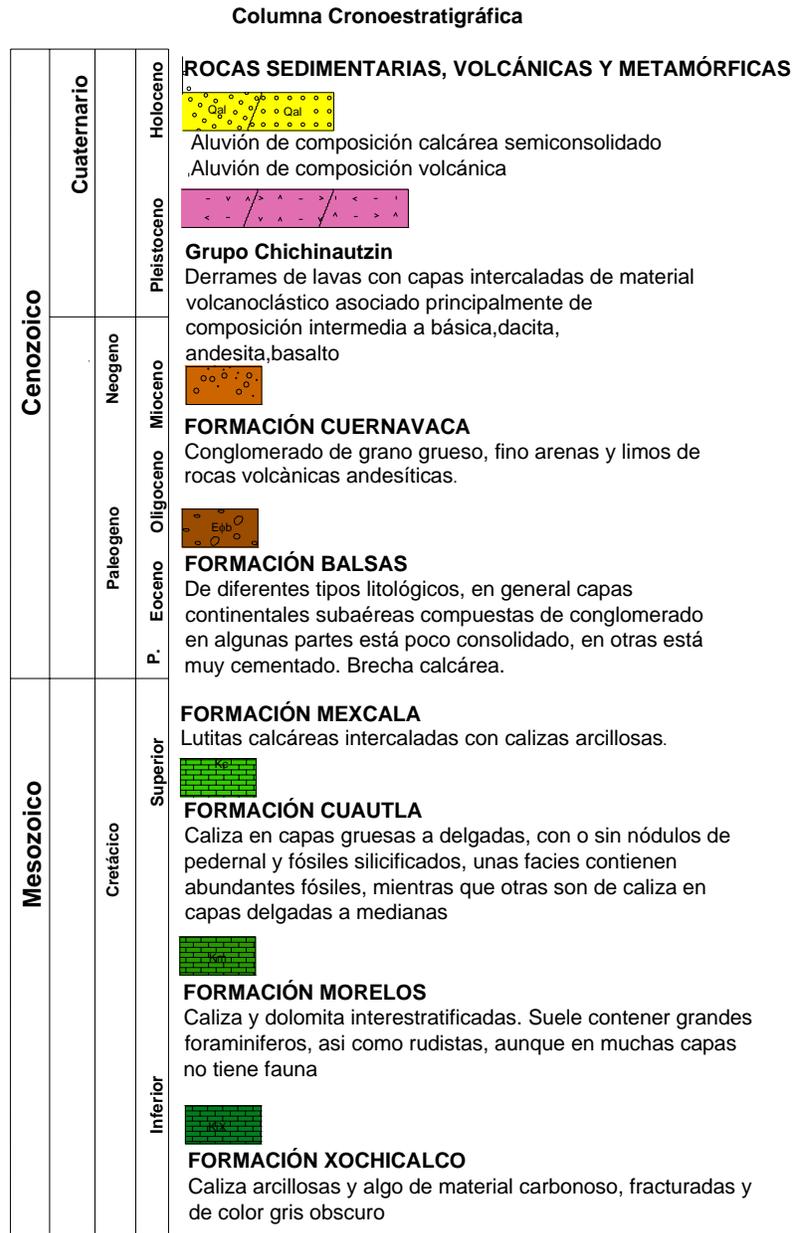


Figura 3.19 Columna Cronoestratigráfica.

IV. Hidrogeología

IV.1 Tipo de Acuífero

Dentro del área estudiada la Formación Cuernavaca y la Formación Chichinautzin son un acuífero libre, y las formaciones Balsas, Cuautla y Morelos son un acuífero semiconfinado. La Formación Balsas tiene un comportamiento interesante dada su variedad litológica, que será analizada posteriormente. En tanto que las formaciones Cuautla y Morelos son una sola unidad hidrogeológica.

IV.2 Unidades Hidrogeológicas

Formación Xochicalco

La Formación Xochicalco, junto con las unidades suprayacentes, tiene un comportamiento de acuífero gracias a su fracturamiento y plegamiento. Por su localización geográfica en la zona de estudio, su carácter no es tan relevante.

Formación Morelos y Formación Cuautla.

Acuífero

Las formaciones Morelos y Cuautla, debido a su depósito y fracturamiento, cuentan con las características suficientes para presentarse como acuífero, en este caso semiconfinado (como se mencionó anteriormente) debido al carácter arcilloso de la Formación Mexcala suprayacente. Este acuífero, de presentarse, podría estimarse a una profundidad de 300 metros.

La Formación Cuautla, al igual que la Formación subyacente, forma un acuífero semiconfinado por las unidades Mexcala y la unidad arcillosa del Grupo Balsas, la cual ocasiona la descarga del acuífero en el manantial Las Estacas, al norte de Tlaltizapan (Ordaz, 1977).

Esta unidad hidrogeológica, Formaciones Cuautla y Morelos, presenta una permeabilidad primaria (debido a sus características litológicas) y secundaria (debido a su fracturamiento y fallamiento); aunado a lo anterior, también se presenta karstificación.

El acuífero obtiene también una recarga subterránea del Grupo Chichinautzin, donde entran en contacto y da lugar al afloramiento de los manantiales San Vicente, Santo Domingo, al norte de Ticumán y del área de estudio (Ordaz, 1977).

Formación Mexcala

Acuitardo

Las características litológicas mencionadas en el capítulo anterior de la Formación Mexcala la definen como un acuitardo, el cual actúa como barrera impermeable para el acuífero libre y semiconfinado de Cuernavaca y Balsas, respectivamente. Ordaz (1977) señala que presenta características confinantes suprayacentes e infrayacentes, citando como ejemplos los manantiales El Salto y Chihuahuita, donde la Formación Mexcala se encuentra debajo del Grupo Chichinautzin, inferiéndolo de las temperaturas del agua que varían entre 15°C y 20 °C (Ordaz, 1977).

Grupo Balsas (Formación Huajintlán)

Acuífero semiconfinado

Dada su heterogeneidad, el Grupo Balsas presenta características hidrogeológicas variables. Ordaz (1977) señala que dentro de la facies conglomerática en la porción occidental del estado, el Grupo Balsas presenta características de un acuífero confinado, debido al depósito de la unidad arcillosa del mismo. Esta unidad también presenta características confinantes para las unidades suprayacentes provocando la salida de agua en los manantiales San Juan Oaxtepec, El Almeal y para las unidades infrayacentes, ocasionando la descarga al manantial Agua Hedionda (Ordaz, 1977). Esta facies se define en el presente trabajo como la Formación Huajintlán, en la cual se ubica el acuífero semiconfinado.

En las secciones realizadas al área de estudio se observa al sureste, que la mayoría de los pozos se encuentran en esta Formación, cuya profundidad de los pozos varía entre 36 m y hasta 180 m, con caudales de 20 L/s, y 30 L/s (Lesser, 2000).

Se infiere también que el pozo surgente de la comunidad de San Gabriel Las Palmas, al sur del área de estudio, se encuentra en esta formación, debido a la temperatura con la que sale el agua (27° aproximadamente) y a que esta Formación aflora un poco más al Sur.

El corte litológico del pozo La Joya (APÉNDICE III) (Ortiz, 2004), de donde se extraen 22 L/s, indica una profundidad de perforación de 250m donde la Formación Balsas se encuentra a partir de los 80m, al igual que el nivel dinámico del pozo, sin embargo, se observa arena empacada en arcilla a 160m, sobreyaciendo al conglomerado calcáreo (Formación Huajintlán) que va desde los 190m a 235m.

Las características definidas en campo determinan a la Formación Huajintlán del Grupo Balsas como acuífero semiconfinado dentro del área de estudio. En las áreas donde esta Formación entra

en contacto con las Formaciones Cuautla y Morelos, podría considerarse como una sola unidad hidrogeológica.

Rocas Volcánicas

Acuitardo.

Debido a sus pocos afloramientos y a no encontrarse en los cortes litológicos, las rocas volcánicas no presentan mayor importancia hidrogeológica en el área de estudio, sin embargo, se pueden caracterizar como un acuífudo; ello estará en función del fracturamiento que presente, no observado aún; cabe mencionar entonces que, en otras áreas donde su extensión sea mayor, su importancia crecerá paralelamente, así como también puede variar el comportamiento de las Rocas Volcánicas.

Formación Cuernavaca y Formación Tepetlapa (Formación Balsas)

Acuífero libre

Gracias al depósito aluvial de las Formaciones Balsas (Formación Tepetlapa) y Cuernavaca, la estructura es irregular; presentando clastos subangulosos de origen andesítico, los cuales definen al acuífero.

Los pozos de la zona que se encuentran en esta formación, tienen profundidades de 15 hasta 120m, con un gasto no mayor a 20 L/s. Según Ordaz (1977), al sur, la Formación Cuernavaca presenta un carácter más arcilloso.

En dos de los cortes litológicos se observa que existe arcilla a partir de los 38m y 46m atribuida al Grupo Balsas (Formación Tepetlapa), sin embargo, en los demás se observa sólo arena empacada en limo a partir de los 160m, además las profundidades del nivel estático varían entre los 5m en el pozo CBTa #8 a los 87m en la Granja de pollos de Xoxocotla (Lesser, 2000). Por lo anterior se define la existencia de acuíferos colgados en la Formación Cuernavaca.

Al norte del área de estudio, estos acuíferos colgados son libres, sin embargo, al sur, (como se mencionó anteriormente) las características litológicas determinan menor permeabilidad de esta formación.

Al Este de la zona en esta formación, el pozo 2 del poblado de Zacatepec que extrae un caudal de 50 l/s presenta una profundidad del nivel estático de 10.21m. Caudal obtenido, probablemente, gracias a que los distritos de Riego recargan el acuífero de manera constante, y al gran fracturamiento que presenta dicha zona, en las Formaciones Cuautla y Morelos.

Grupo Chichinautzin

Acuífero libre

Por su fracturamiento y contenido de piroclastos el Grupo Chichinautzin presenta una alta porosidad y alta permeabilidad primaria. Se comporta como acuífero, sin embargo, para el área de estudio se le caracteriza principalmente como zona de recarga, en ella se encuentran los manantiales más importantes del área, que abastecen de agua a las comunidades aguas abajo. Además de ser importante fuente de recarga a las rocas subyacentes.

Lesser J. (1961) calculó el coeficiente de infiltración para los basaltos del Grupo Chichinautzin y resultó ser de orden de 39%, mismo valor que atribuyó a las calizas del estado, por ello Ordaz (1977) considera a la Formación Chichinautzin, junto con las Formaciones Cuautla y Morelos, como una sola unidad geohidrológica. Para el área de estudio se le caracteriza como otra unidad hidrogeológica dada su ubicación.

Secciones hidrogeológicas.

En las siguientes secciones se ubican los pozos existentes, sus niveles estáticos del año 2000 (CONAGUA, 2000) y se determina la localización del acuífero a explotar, siendo en este caso, la Formación Balsas.

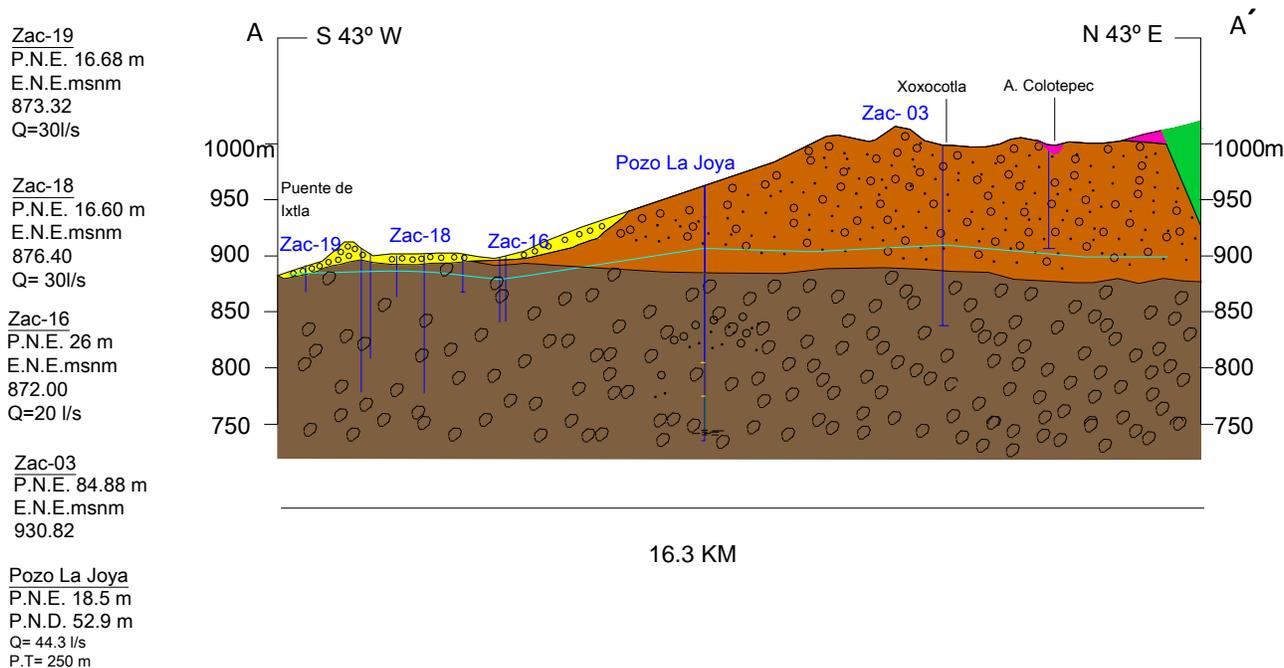




Figura 4.1 Sección A-A' con la información hidrogeológica integrada.

En esta sección (A- A', Figura 4.1) se observa claramente el nivel del agua subterránea; a pesar de que se registraron niveles a una menor profundidad y de mayor carga hidráulica, se determina que pertenecen a acuíferos colgados. Esos niveles se deben entonces a acuíferos colgados dentro de la Formación Cuernavaca.

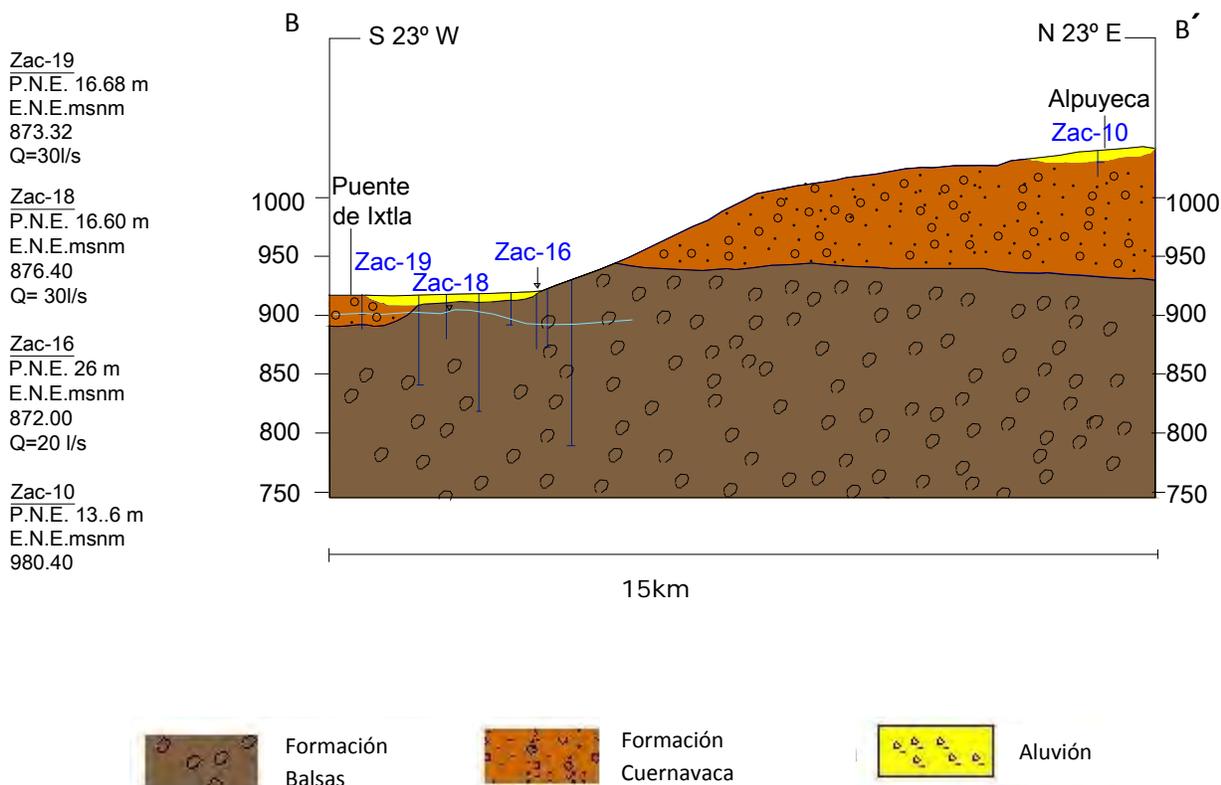


Figura 4.2 Sección B- B' con la información hidrogeológica integrada

Por los niveles someros del pozo ZAC – 10, en este punto se determina la existencia de un acuífero colgado. También se observa, al Suroeste, en la figura 4.2, un pequeño descenso en el nivel del pozo Zac-16. No se continuó con la línea de niveles debido a la carencia de información del Norte del área.

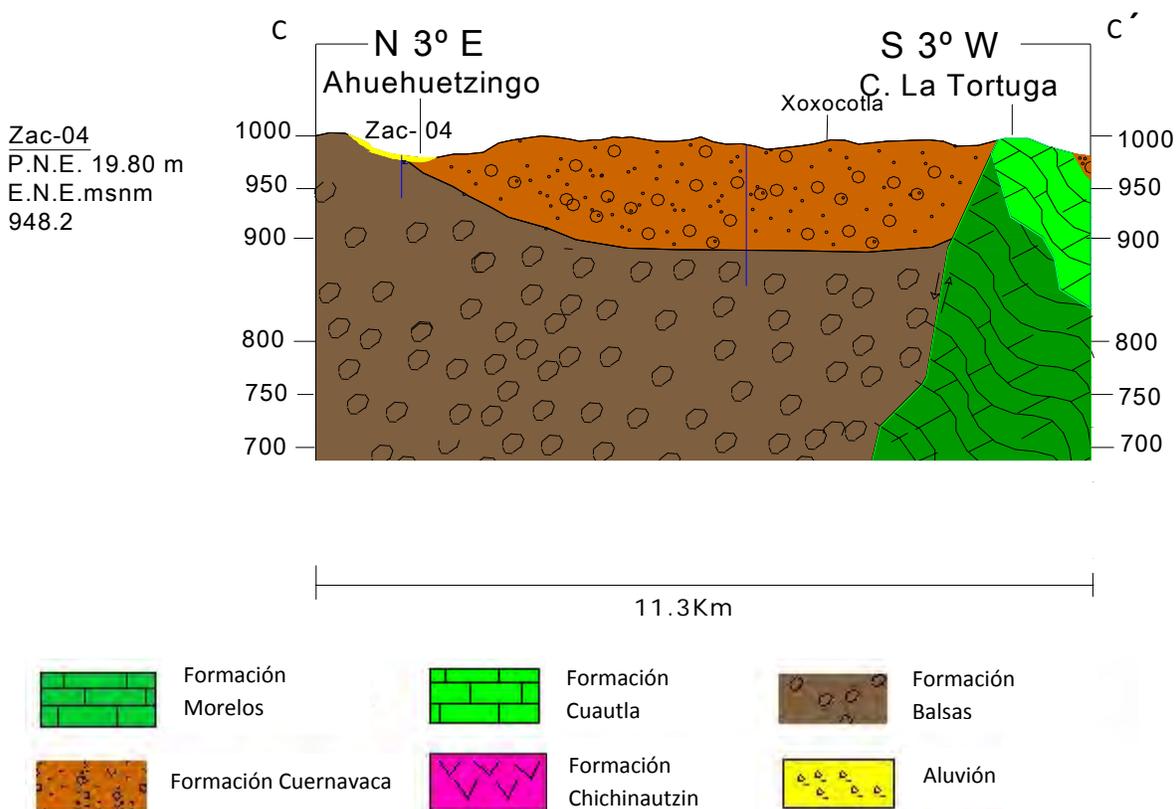


Figura 4.3. Sección C-C' con la información hidrogeológica integrada

En la sección anterior (C- C', Figura 4.3) no se observan claramente los niveles estáticos, a excepción de un solo pozo, sin embargo, se determina la diferencia de sistemas hidrogeológicos al este del cerro la Tortuga, siendo éste una barrera que separa estos sistemas (se infiere una falla por la aparición de materiales más jóvenes al oeste del cerro). Se observa también la diferencia con la sección B- B', que determina, al suroeste, una mayor disponibilidad de agua en la Formación Balsas; también, como se observa posteriormente en el mapa, se deduce que influyen al mayor número de escorrentías y aguas superficiales.

A continuación, se presenta la configuración de los niveles estáticos, elaborada a partir de los pozos registrados en la red piezométrica del año 2000 (CONAGUA, 2000), tomando en cuenta sólo los pozos cuyo nivel se encuentra en el acuífero del Grupo Balsas y Cuernavaca, depurando aquellos que pertenezcan a los acuíferos colgados.

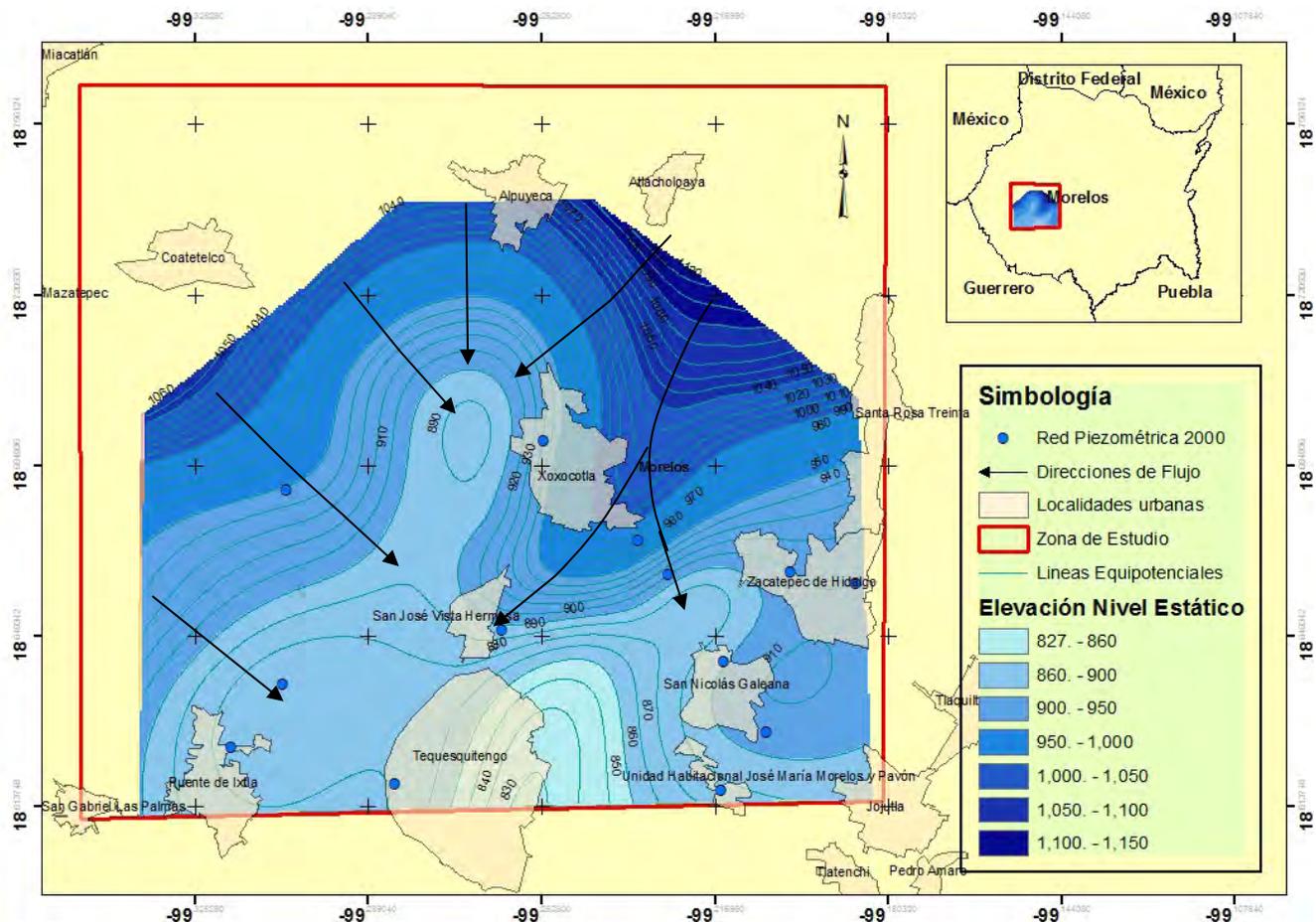


Figura 4.4. Configuración Piezométrica

En la figura 4.4 se observa, para la parte oriente, un flujo subterráneo con dirección NW- SE, y para el este, un flujo con dirección E-W.

IV.3 Parámetros Hidráulicos

Para los pozos dentro del área de estudio, Técnicos Asesores y Constructores, S. A. (TACSA, 1981) realizaron una prueba de bombeo en el pozo del Hotel “Hacienda Vista Hermosa”(ANEXO 4), misma que se elaboró en etapa de recuperación a un caudal constante de 14.3 L/s, teniendo un nivel dinámico inicial de 69.73m y alcanzando un nivel 68.32m. Interpretada por el método de Jacob, les arrojó una transmisividad de 2 240 m²/día.

Para el pozo de San José Vista Hermosa en 1990 (Figura 4.5) se elaboró una prueba de bombeo por Ultra Ingenieros en la cual se define una transmisividad de 449 m²/día (ANEXO 4).

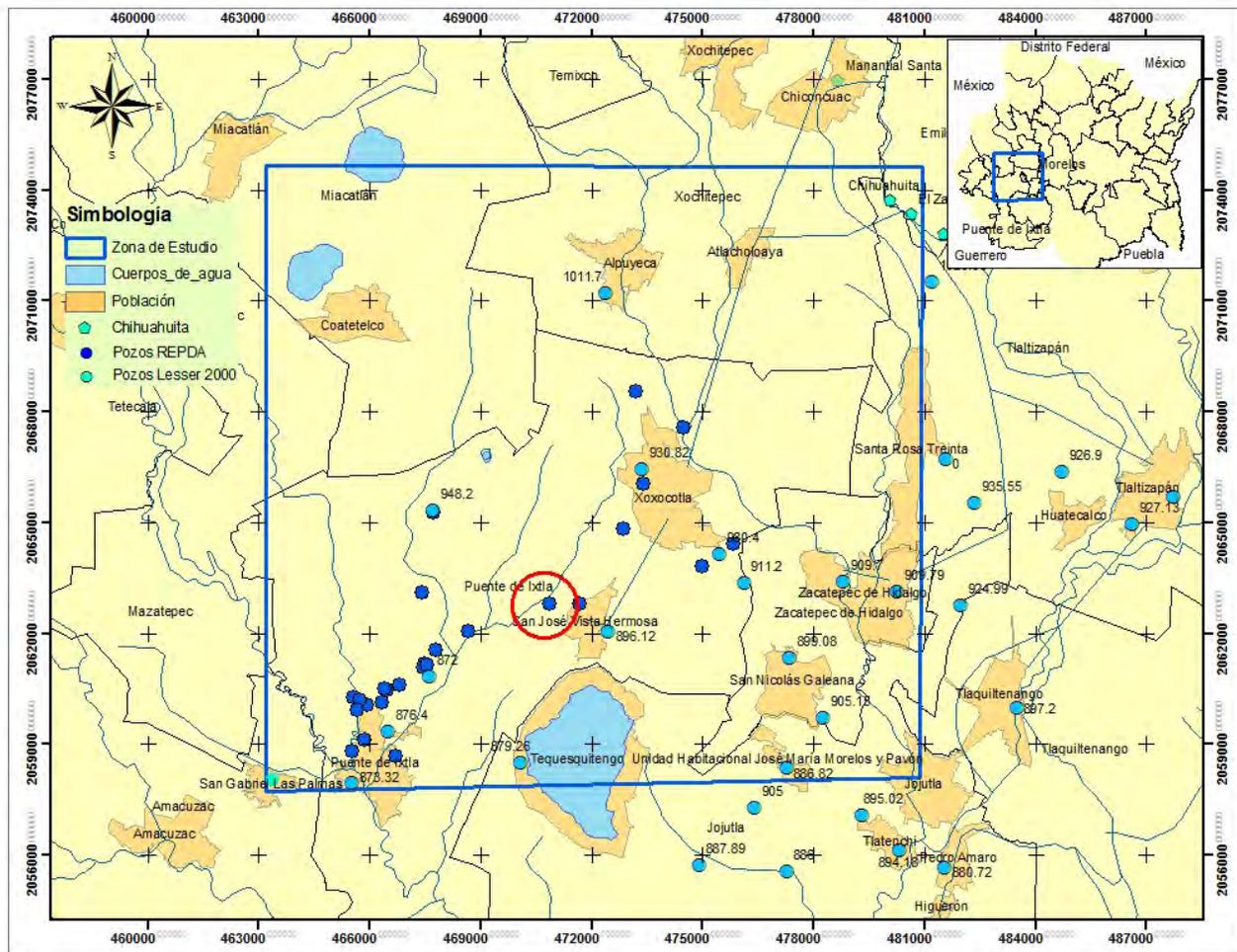


Figura 4.5. Pozo San José Vista Hermosa, el círculo rojo señala la localización del pozo.

La prueba elaborada por Ultra Ingenieros (1983) se reinterpreto de manera manual en Excel, y se obtuvieron las siguientes gráficas (Figura 4.6 y 4.7).

Prueba de bombeo Ultra Ingenieros (1990) , pozo San Jose Vista Hermosa

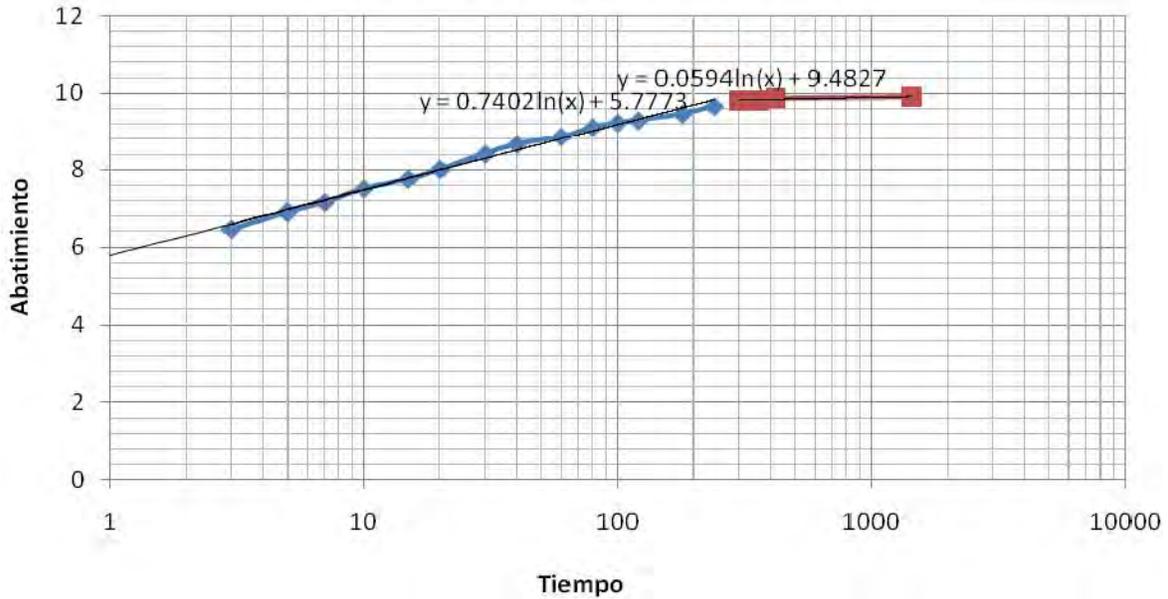


Figura 4.6. Gráfica de prueba de bombeo en Excel en el pozo San José Vista Hermosa

Prueba de Recuperación Ultra ingenieros (1990)

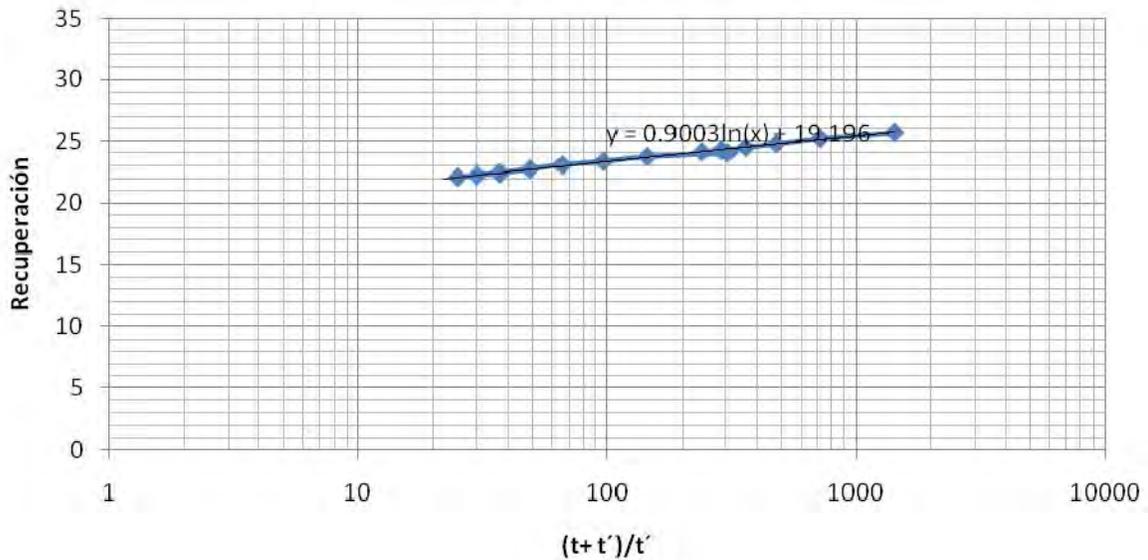


Figura 4.7. Gráfica de prueba de recuperación en Excel en el pozo San José Vista Hermosa

De la gráfica de la prueba de abatimiento (Figura 4.6) se obtienen las siguientes líneas de tendencias $y_1 = 0.0594\ln(x) + 9.4827$ y $y_2 = 0.7402\ln(x) + 5.7773$, de las cuales mediante la fórmula:

$$T = 0.183 Q / m \dots\dots\dots(3)$$

Resultarán las siguientes transmisividades $T_1 = 849 \text{ m}^2/\text{día}$ y $T_2 = 430 \text{ m}^2/\text{día}$, la primera obedece a un comportamiento de acuífero semiconfinado sin embargo se considera alta probablemente a que la prueba de bombeo no tuvo el tiempo suficiente para que su interpretación fuera más certera. La segunda transmisividad en cambio es un poco más baja de la reportada.

Para la prueba de recuperación se obtuvo la línea de tendencia $y = 0.9003\ln(x) + 19.196$ y para la obtención de la transmisividad se utilizó la fórmula

$$T = 0.183(Q/2.3 m) \dots\dots\dots(4)$$

La transmisividad resultada para esta prueba fue de $440 \text{ m}^2/\text{día}$

Posteriormente la prueba de abatimiento se introdujo al software AquiferTest ver. 3. el cual dibujó la gráfica presentada a continuación (Figura 4.8):

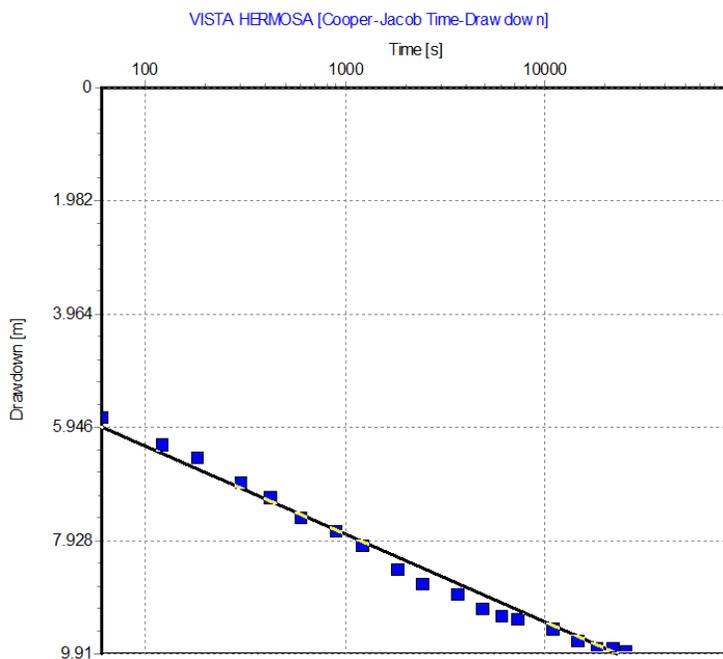


Figura 4.8. Gráfica de prueba de bombeo en el pozo San José Vista Hermosa, interpretada por Jacob.

En la siguiente tabla se muestran las transmisividades adquiridas de las gráficas anteriores y se comparan con las transmisividades de los estudios anteriores.

Tabla 4.1 *Transmisividades comparadas del pozo San José Vista Hermosa*

Abatimiento T ₁	Abatimiento T ₂	Recuperación	Jacob (AcuiferTest 2010)	Ultra Ingenieros (1990)
849 m ² /día	430 m ² /día	440 m ² /día	585 m ² /día	449 m ² /día.

En la tabla anterior se observa que en general las transmisividades obtenidas son similares a excepción de la T₁ que como se comentó anteriormente responde a la transmisividad de un acuífero semiconfinado, sin embargo, se considera que faltó tiempo en campo para la elaboración de la prueba de bombeo.

Ordaz (1977) señala que para la Formación Cuernavaca la transmisividad promedio calculada es de 220 m²/día.

La ubicación del pozo y las secciones elaboradas determinan el nivel en la Formación Balsas; gracias a lo dicho por Ordaz (1977) se concluye que las transmisividades obtenidas son de la Formación Balsas, específicamente de las Formaciones Tepetlapa y Huajintlán, sin embargo, se considerará también la parte inferior de la Formación Cuernavaca. Se requerirán de otras pruebas en un área más reducida que la estudiada para caracterizar las transmisividades de cada una de las Formaciones del Grupo Balsas con menor grado de incertidumbre.

IV.4 Usos del Agua Subterránea

En el área de estudio, los pozos existentes, se encuentran registrados dentro del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) que lleva la CONAGUA, además se recopilamos los pozos registrados por Lesser (2000), para tener un total de 38 pozos en el área, de los cuales el 34% (13) son destinados para uso Agrícola; el 39%, para uso Público Urbano; el 5%, para uso Industrial; para servicios se ocupan 4, que equivalen al 11%, y 4 pozos, para uso pecuario. La distribución de dichos pozos se encuentra en la Figura 4.9.

En seguida se presenta una tabla resumen del uso del agua subterránea en el área de estudio (Tabla 4.4) así como una gráfica correspondiente (Figura 4. 8):

Uso de Agua	Número de Pozos
SERVICIOS	4
AGRÍCOLA	13
PECUARIO	4
PÚBLICO URBANO	15
INDUSTRIAL	2
TOTAL	38

Tabla 4.2 Usos de agua subterránea en el área de estudio

Uso del Agua Subterránea

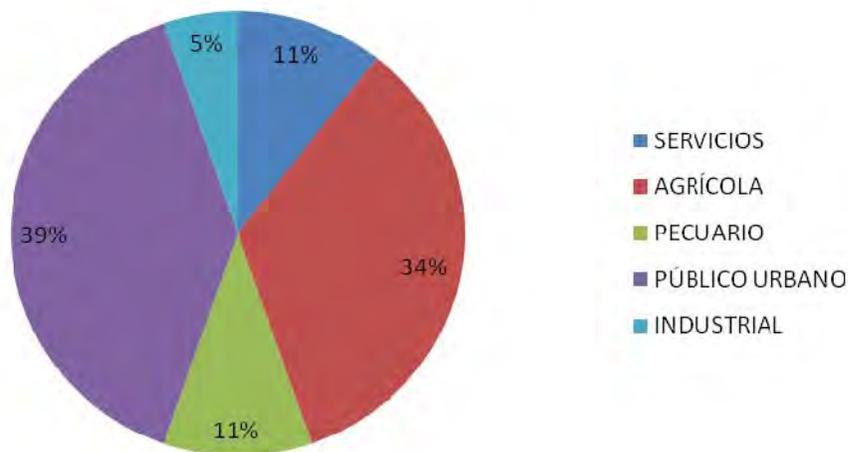


Figura 4.9 Gráfica de Uso de Agua

Según especialistas de la CONAGUA (Moreno, 2010) el uso destinado de los manantiales por ley es de 80% para uso Agrícola y 20% para uso Público Urbano, sin embargo, debido a la falta de este recurso hídrico para el último sector, la población actualmente ocupa el agua del manantial Chihuahuita en un 90% para uso Público Urbano y sólo un 10% para uso Agrícola.

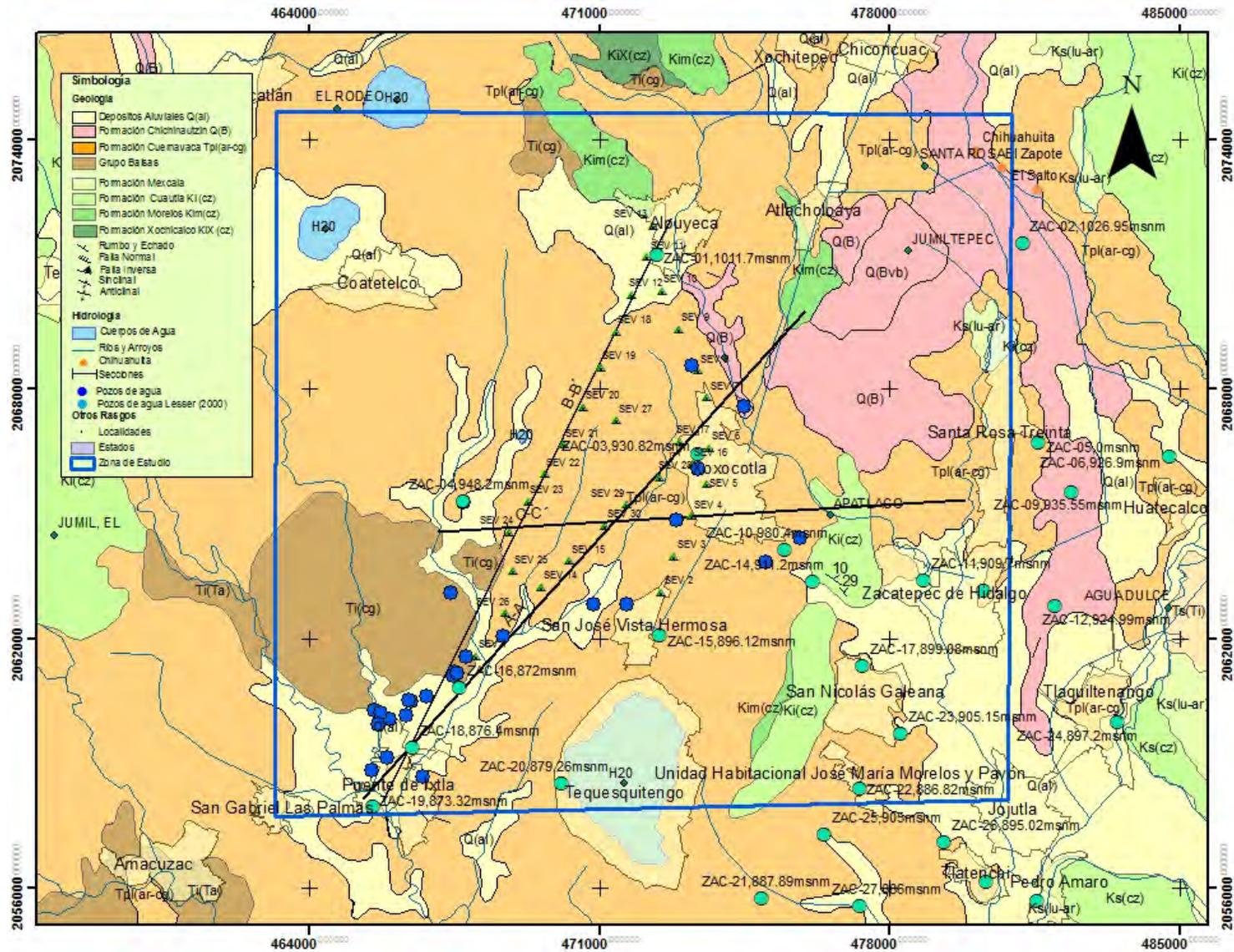


Figura 4.10. Mapa de Distribución de pozos

V. Prospección Geofísica

Utilizando el método descrito en el capítulo I, se realizó una reinterpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) elaborados por la empresa Geoproyectos S. A. de C. V. (1986) cuya distribución fue la siguiente:

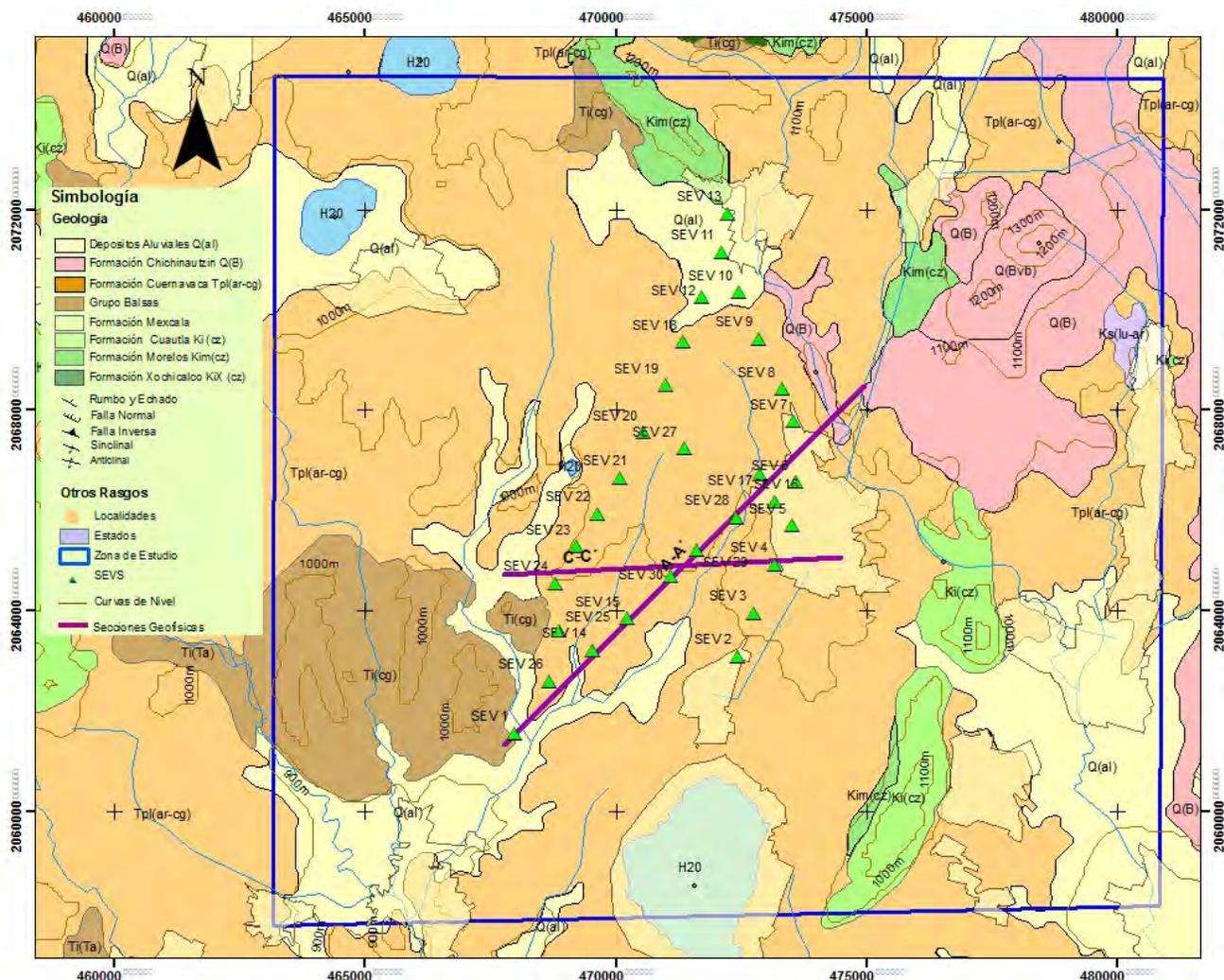


Figura 5.1. Distribución de los Sondeos Eléctricos Verticales

La serie de intervalos de separación entre el punto de atribución del sondeo y un electrodo de corriente (AB/2), empleados para obtener la información fueron de: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 130, 160, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800 y 1000 m.

Del software RESIXP se obtuvo un modelo de la curva de resistividad y para obtener un modelo suavizado y de capas se utilizó el software Winglink presentado a continuación (Figura 5.2)

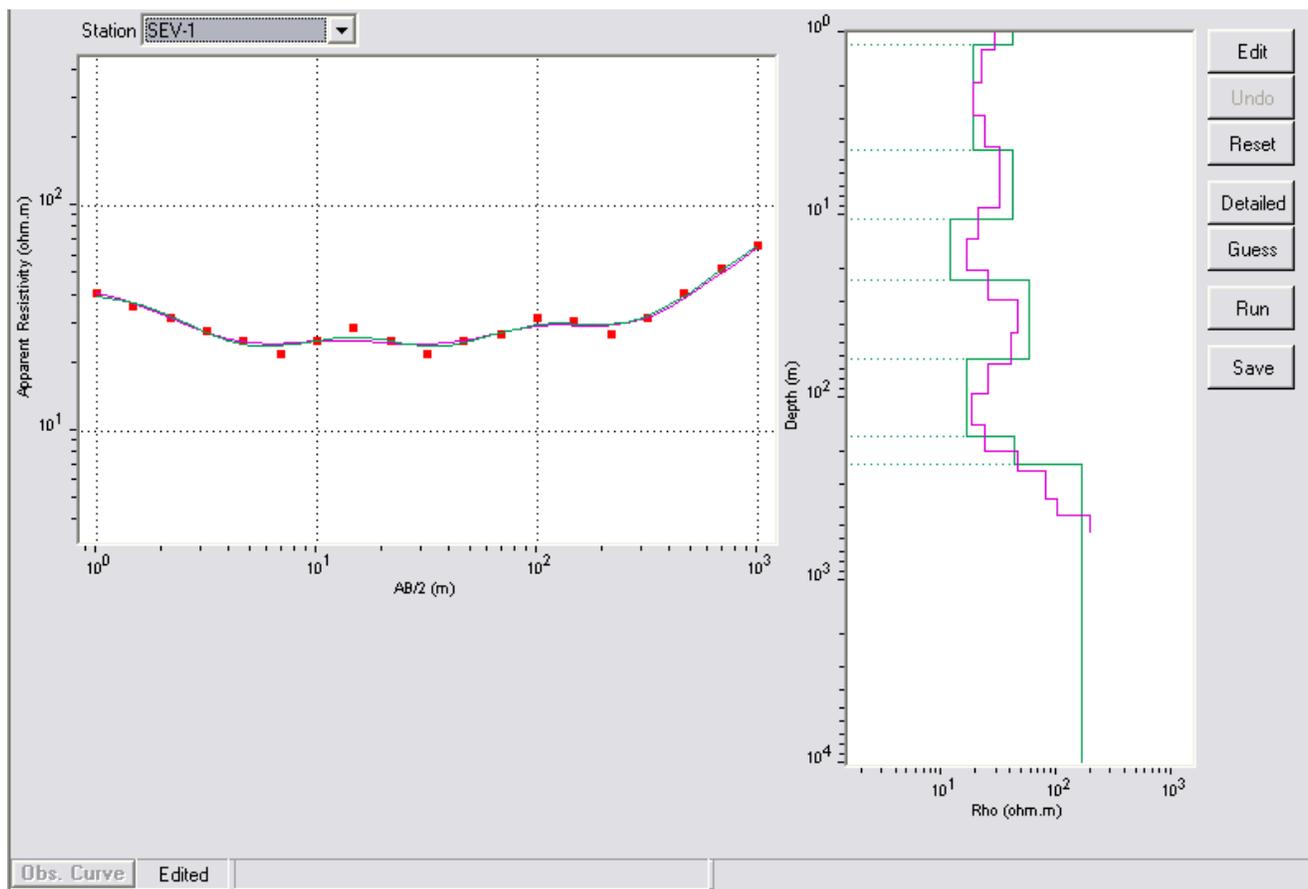


Figura 5.2 Modelo Suavizado de capas, SEV 1

En la figura anterior (Figura 5.2) se observa a la izquierda una gráfica de $AB/2$ y Resistividad aparente, ésta es la curva de resistividad generada por el Software RESIXP (línea verde), la línea rosa es el modelo suavizado. A la derecha se ve el modelo de capas generado a partir de los puntos de inflexión de la curva de la derecha, en este modelo se tiene Rho en la parte inferior y la profundidad en el parte izquierda. En la línea verde se definen ocho capas, la línea rosa es mucho más detallada y define 17 capas a las cuales les es asignado un valor que se presenta más adelante.

V.1 Secciones

Se elaboraron líneas que ubican varios SEV para generar perfiles que corresponden aproximadamente a las secciones geológicas (Figura 5.1 y 3.15).

Las siguientes secciones geofísicas son las generadas por el software Winglink, con los valores de resistividad interpolados.

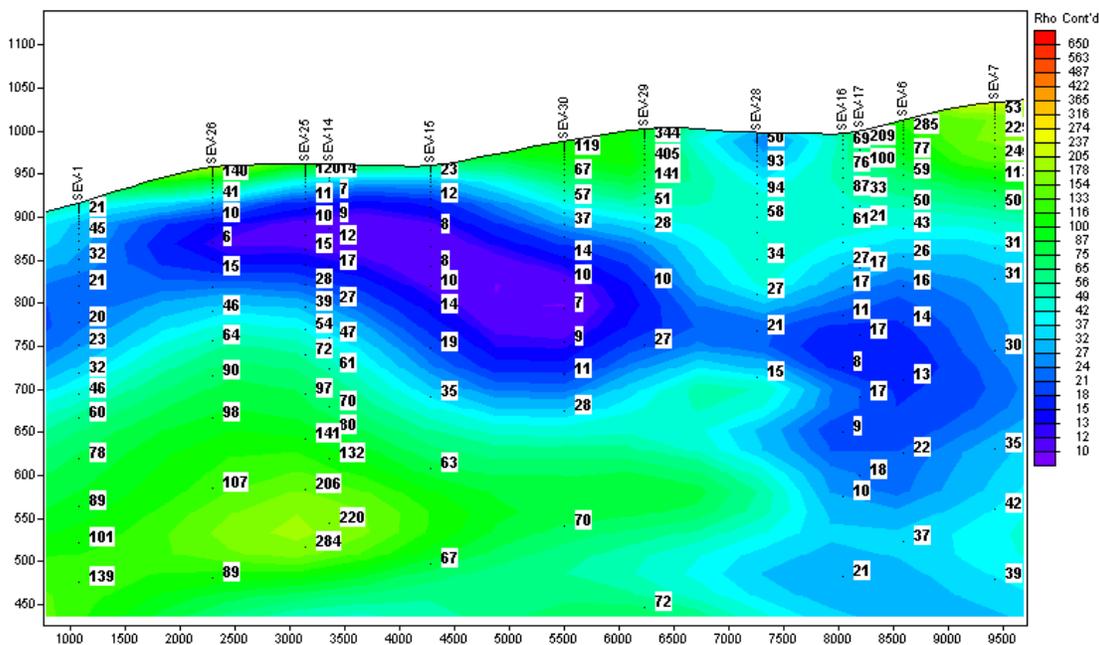


Figura 5.3 Sección A-A' sección de iso-resistividades generada por el Software Winglink.

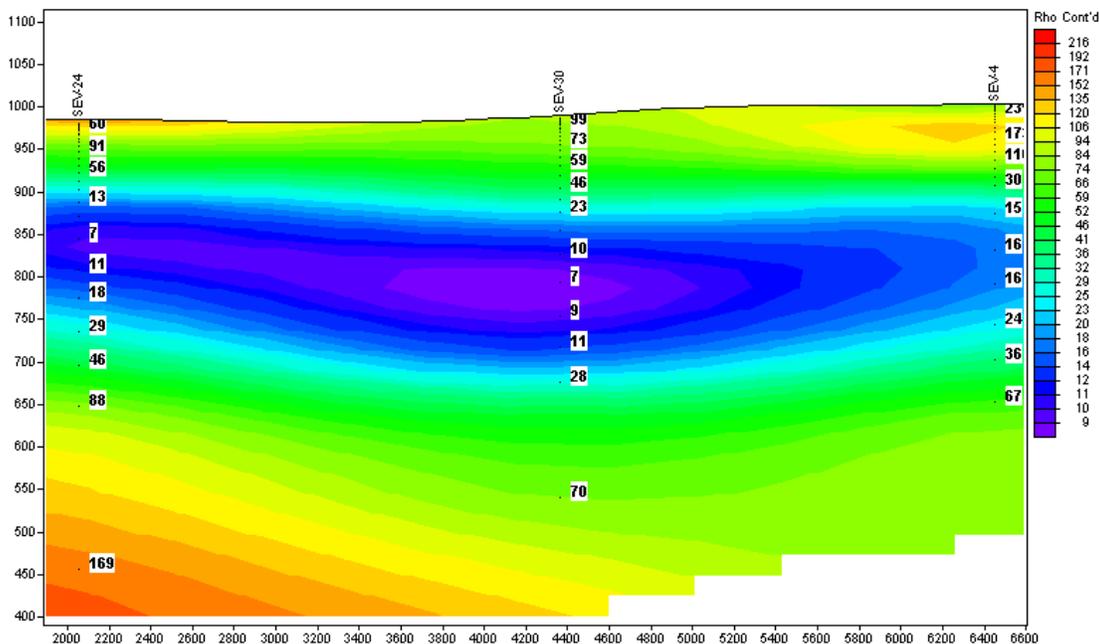


Figura 5.4 Sección C-C' elaborada por el Software Winglink.

Se interpretó esta información y se generaron secciones elaboradas en AUTOCAD donde se definen tres unidades geofísicas delimitadas en intervalos establecidos por el autor, que se presentan a continuación:

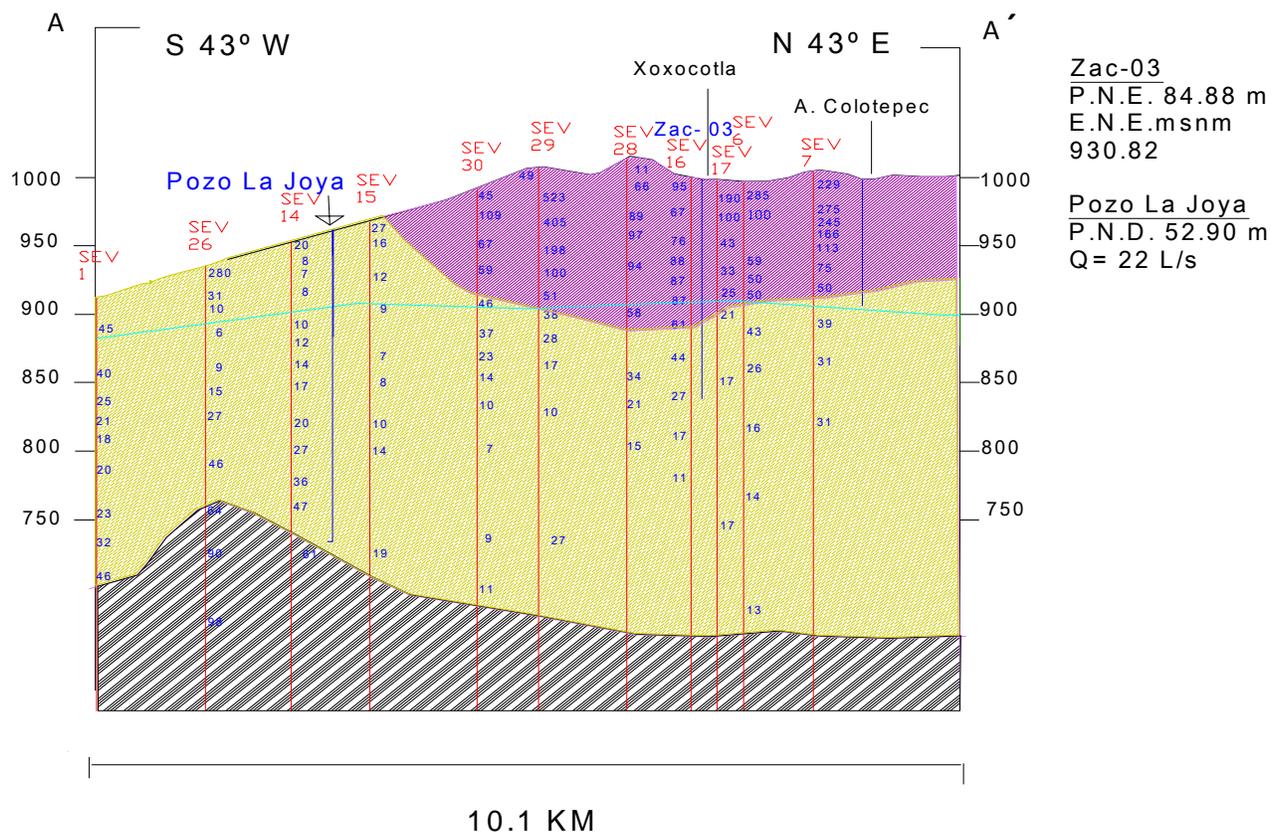


Figura 5.5 Sección A-A' modelo interpretado de capas.

En las Figuras 5.4 y 5.6 se definen tres unidades geofísicas, cuya columna se presenta en la figura 5.5, posteriormente se definirán a detalle estas unidades.

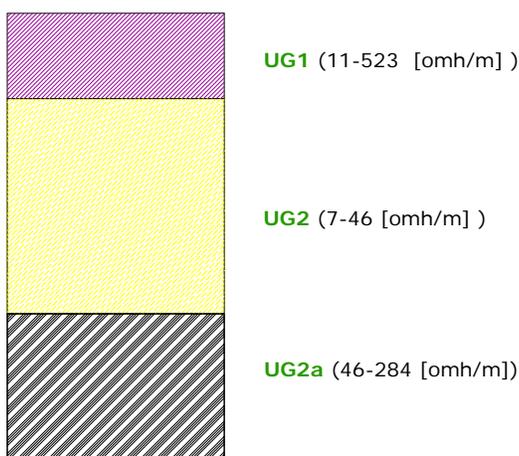


Figura 5.6. Columna Geofísica de resistividades (derecha).

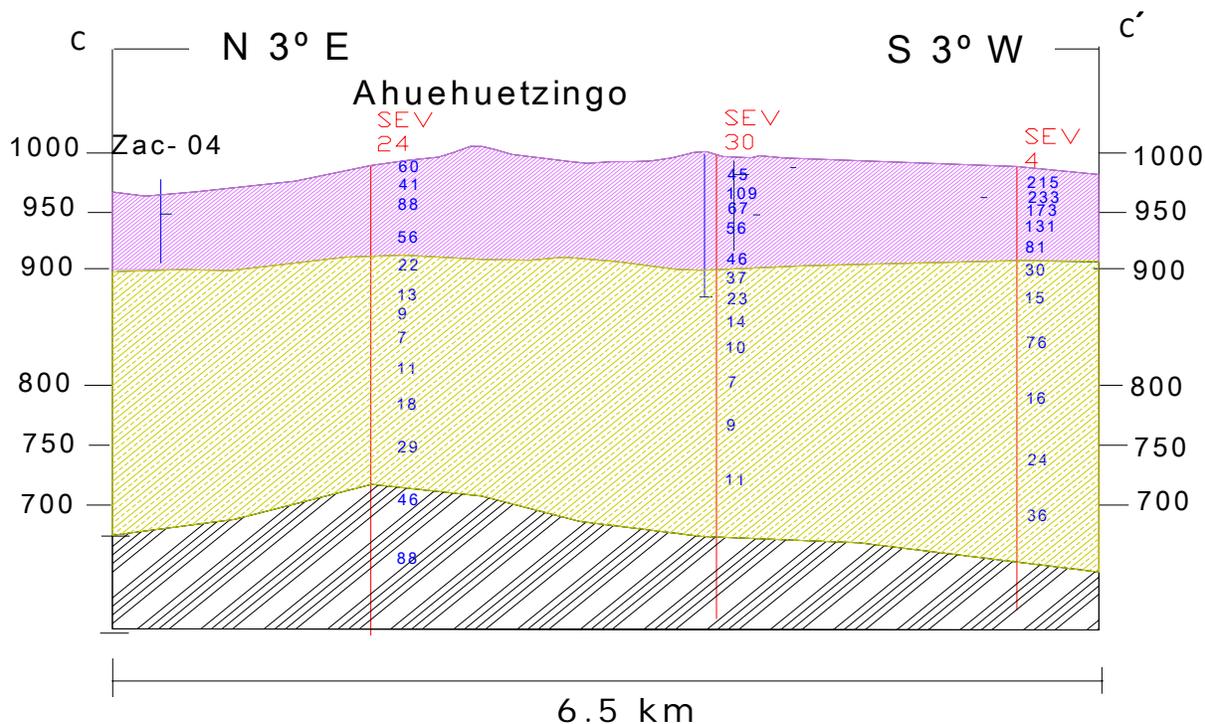


Figura 5.7. Sección C-C'.

V.2 Descripción de Unidades Geofísicas

Se diferenciaron tres unidades geofísicas principales (UG1, UG2, UG2a), las cuales varían en intervalos de resistividades de 11-523 ohm/m, de 7 a 46 y 46- 284 ohm /m respectivamente.

La unidad UG1 se observa en la cima de la columna geoelectrica, con resistividades que varían de los 11 a los 523 ohm /m, teniendo un espesor aproximado de 100m; se relaciona con las capas superficiales conglomeráticas de la Formación Cuernavaca; se define un intervalo tan grande porque las resistividades bajas incluidas se colocan en la parte superior, sin tener contacto con la unidad geofísica inferior, por ello se consideran como lentes o pequeños nódulos. También presenta resistividades altas de 300 y 400 ohm /m en las partes altas; específicamente en el SEV 29 de la sección A- A' se pueden inferir fragmentos mayor consolidados en estas pequeñas partes.

Se define como la Unidad Geofísica UG2 a la capa que integra las resistividades de 7- 46 ohm/m, que se caracteriza como la zona saturada con un comportamiento similar al anterior, es decir, también presenta resistividades bajas aisladas, que se asocian a arcillas y/o limos saturados de la Formación Balsas (Formación Tepetlapa), encontrados dispersos en la unidad, ello provocará, como anteriormente se ha mencionado, los acuíferos colgados presentes y el semiconfinamiento

del agua. Para esta unidad se define un espesor que varía de 200 a 250m que se encuentra entre las UG1 y la UG2a.

En la parte inferior se observaron resistividades mayores a 46 ohm/m y hasta 284ohm /m, quedando limitada entonces por este intervalo la unidad UG2a, que se observa en el SEV 26 de la sección A- A' (Figura 5.4) a una profundidad mínima de 200m. Esta unidad se asocia con el conglomerado mayor consolidado de la Formación Balsas, que presenta características hidrogeológicas de acuitardo.

Se presenta en seguida un cuadro resumen de las unidades geofísicas definidas.

Unidad Geofísica	Intervalo de Resistividad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico
UG1	11-523	Conglomerado Formación Cuernavaca	Acuífero drenado
UG2	7-46	Conglomerado, Grupo Balsas (F. Tepetlapa)	Acuífero
UG2A	46-284	Conglomerado más consolidado	Base impermeable

TABLA 5.1 Resumen de Unidades Geofísicas

Además, se generaron mediante el software WINGLINK, mapas de isoresistividad a profundidades fijas, representando la zona no saturada, el nivel estático, la zona saturada y la capa impermeable (2 m, 20m, 50m, y 100m) que se presentan a continuación.

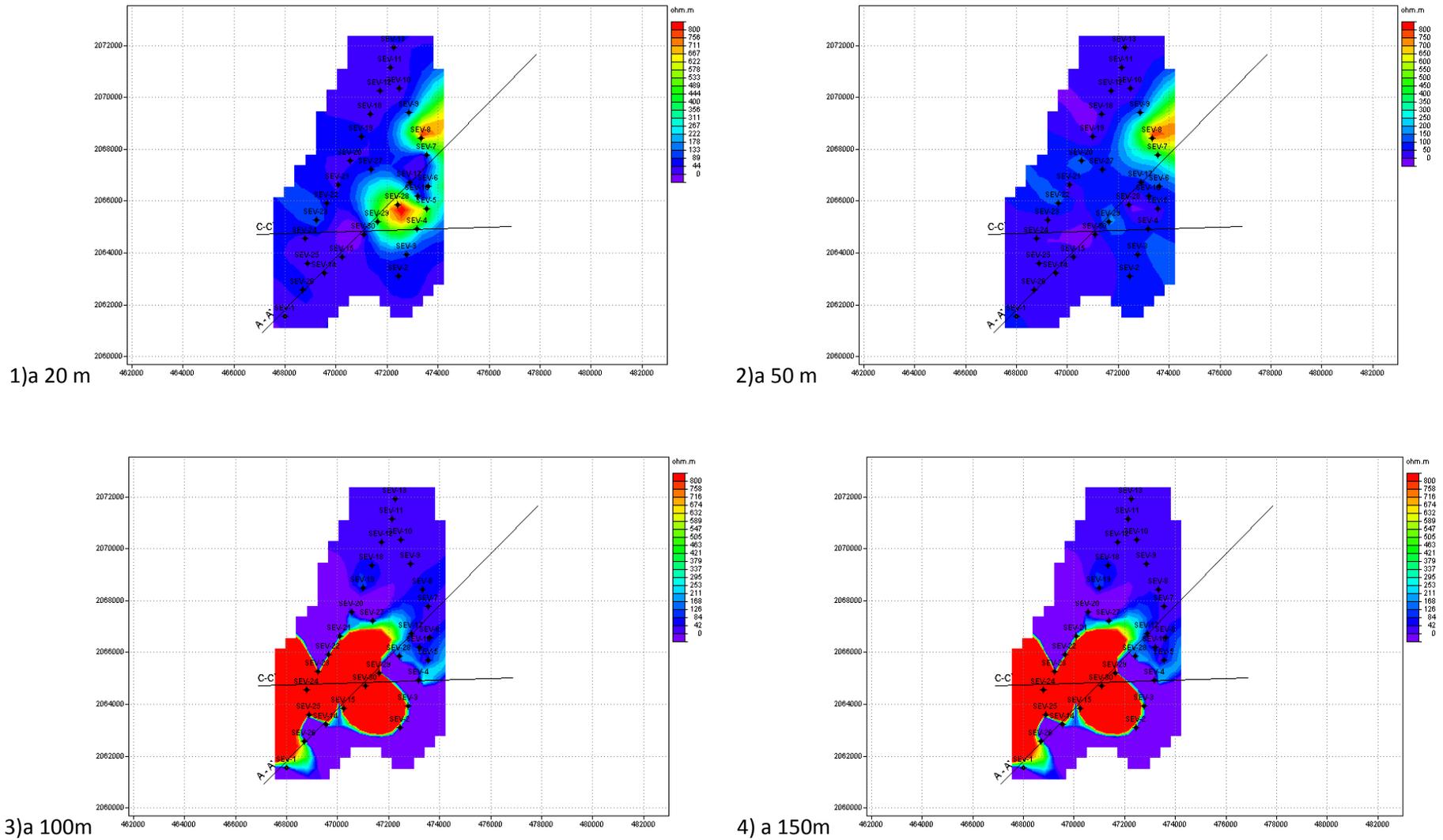


Figura 5.8. Mapas de isoresistividad a diferentes profundidades.

VI. Discusión y propuesta de sitios de Perforación

VI.1 Aspectos Hidrogeológicos

De acuerdo con la integración de los resultados de geofísica y la geología de la zona de estudio, se definieron cinco unidades hidrogeológicas.

La unidad UH1 está formada por calizas fracturadas, comprende las Formaciones Xochicalco, Morelos y Cuautla. Dicha unidad representa la zona saturada pero a profundidades mayores de 400m.

Hidrogeológicamente la unidad UH2 representa al acuitardo, compuesto de calizas arcillosas (Formación Mexcala) y depósitos lacustres, en los cortes litológicos no se observan dichas calizas, sin embargo, su profundidad se estima a 300m.

Se estima que la superficie freática de este acuífero, en la parte central del área de estudio, se localiza entre 85 – 100 m de profundidad.

La unidad UH3 se correlaciona con conglomerado calcáreo y rocas volcánicas intercaladas. De acuerdo con los valores de resistividad, esta unidad representa el acuífero de mayor potencial en el subsuelo del área y se relaciona con la Formación Huajintlán y F. Tepetlapa (Grupo Balsas), con un espesor de 170- 250 m, a una profundidad de 130 m para el SEV 28 y 80 m para el SEV 30 y con resistividades que varían de 7 a 46 ohm/m. Los caudales registrados en ésta unidad varían de 15 a 40 l/s.

La unidad hidrogeológica UH4 está conformada por material areno-limoso (Formación Cuernavaca) que caracterizamos como un acuífero pobre en el área de estudio.

Se distingue como acuífero libre y zona de recarga a la unidad Hidrogeológica UH5, compuesta por la Formación Chichinautzin y los depósitos aluviales recientes. En esta unidad se encuentran también caudales importantes y en el Norte del área de estudio aflora el manantial Chihuahuita.

La siguiente tabla presenta un resumen de las unidades Hidrogeológicas y su espesor:

Unidad Hidrogeológica	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Formación Geológica	Espesor
UH1	Calizas fracturadas	Acuífero - Permeable	Formación Cuautla y Morelos	----
UH2	Calizas Arcillosas	Acuitardo – Impermeable	Formación Mezcala	----
UH3	Conglomerado calcáreo y conglomerado volcánico	Acuífero - Permeable	Formación Huajintlán y F. Tepetlapa (Grupo Balsas)	200-300m
UH4	Conglomerado volcánico, areniscas limosas poco a muy consolidada	Acuífero drenado a Poco permeable	Formación Cuernavaca	80-100 m
UH5	Rocas volcánicas (Basaltos fracturados)	Acuífero - Permeable	Formación Chichinautzin	Aprox.20

Tabla 6.1 Unidades Hidrogeológicas

VI.2 Ubicación de perforaciones exploratorias

Una vez establecidas las principales características hidrogeológicas de la zona de estudio, es posible determinar los sitios donde se presentan las mejores condiciones para ubicar las perforaciones exploratorias.

Considerando las condiciones más desfavorables, el nivel del agua se encontrará a una profundidad de 100 m. Adicionalmente es necesario considerar una longitud de captación lo suficientemente amplia para poder maximizar el caudal de extracción, que según los resultados de geofísica, podrá ser del orden de 100 m, por lo que será recomendable considerar una perforación con una profundidad total de 250 m para el sitio 1 y de 225 m para el sitio 2.

Como se ha mencionado en este trabajo, el acuífero con mayor potencial para ser explotado, corresponde a la unidad UH3. En función de la integración de los resultados, se proponen dos (2) sitios para realizar perforaciones exploratorias. En orden de prioridad se describen a continuación:

- **Sitio 1**

El sitio que mejor cumple con las condiciones técnicas para perforar un pozo exploratorio, se localiza aproximadamente a 440 m hacia el SW de donde se realizó el SEV 28, sobre la sección A-A', en las coordenadas aproximadas X = 472,000 e Y= 2, 065,550.

En este sitio se espera encontrar el nivel estático a una profundidad entre los 100 m y 110m. El techo del acuífero (unidad UH3) que pretende explotarse, se espera perforar a una profundidad

estimada de 110 m +/- 10 m, con un espesor saturado probable en el pozo de unos 150 m aproximadamente (columna de agua que habría en el interior del pozo).

El tipo de roca y sus profundidades aproximadas a perforar, se señalan a continuación:

- De 0 m a 2 m: Suelo, depósitos aluviales (Unidad UH5).
- De 2 m a 100 m: arenas en matriz limosa y conglomerado volcánico (Unidad UH4).
- De 110 m 180 m: conglomerado volcánico en matriz arenosa (Unidad UH3, acuífero a explotar).
- De 180 a 250m: conglomerado calcáreo con intercalaciones de material arcilloso (UG3, acuífero semiconfinado a explotar).

- **Sitio 2**

El segundo sitio que se recomienda, se localiza aproximadamente a 500 m al suroeste del SEV 30, sobre la sección A-A', en las coordenadas aproximadas en X = 470,950 e Y = 2, 063,850. En la Figura 7.1 se tiene un croquis de la ubicación de los pozos.

En este sitio se espera encontrar el nivel estático a una profundidad entre los 90 m y 100 m.

El techo del acuífero (unidad UH3) que pretende explotarse, espera perforarse a una profundidad estimada de 75 m +/- 10 m, con un espesor saturado probable en el pozo de unos 150 m aproximadamente (columna de agua que habría en el interior del pozo).

El tipo de roca y las profundidades que se esperan perforar, se señalan a continuación:

- De 0 m a 2 m: Suelo, depósitos aluviales (Unidad UH5).
- De 2 m a 70 m: arenas en matriz limosa y conglomerado volcánico (Unidad UH4).
- De 70 m 150 m: conglomerado volcánico en matriz arenosa (Unidad UH3, acuífero a explotar).
- De 150 a 225m: conglomerado calcáreo con intercalaciones de material arcilloso (UG3, acuífero semiconfinado a explotar).

Con respecto a las características constructivas de los pozos exploratorios, se recomienda que la perforación exploratoria se realice en diámetro de 12" de cero a 200 m.

Posteriormente, se haga la primera ampliación a 22" o 24" hasta los primeros 15 metros para colocar el sello sanitario; consecuentemente se volverá a ampliar a 18" hasta los 200 m.

Los diámetros finales, posición de la tubería ranurada, longitud del pre-filtro de grava y el diseño final del pozo, dependerán directamente de los resultados y conclusiones derivadas de la perforación del pozo exploratorio y actividades relacionadas, tales como pruebas de aforo y

bombeo, registros eléctricos en el interior del pozo, entre otros, que se detallarán en el capítulo de recomendaciones.

En las Figuras 6.1 y 6.2 se presentan croquis de diseño preliminar de los pozos exploratorios a 250 m y 225 m de profundidad. Los caudales esperados son de por lo menos 10 L/s, lo cual es suficiente para los requerimientos del poblado.

También se anexa una cotización de la construcción de los pozos propuestos, para que las autoridades del municipio consideren los mecanismos de financiamiento pertinentes.

Para una mejor comprensión del comportamiento hidrogeológico de las rocas en el área de estudio se elaboraron mapas mediante el Sistema de Información Geográfica ArcMap v. 9., integrando información topográfica de la zona: geología, inventario de puntos de agua, datos de pozos, calidad de agua y estadísticos.

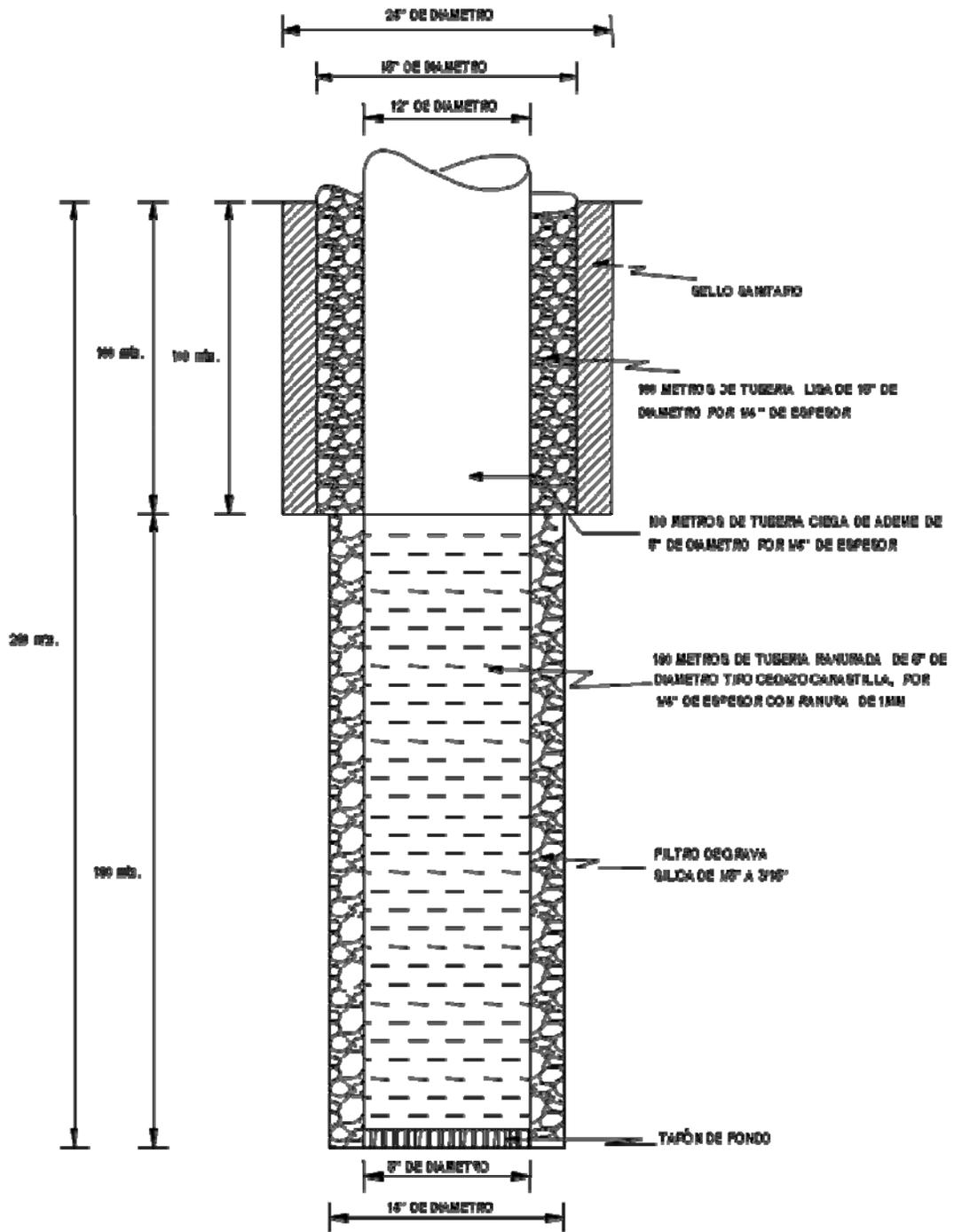


Figura 6.1 Diseño del pozo propuesta 1

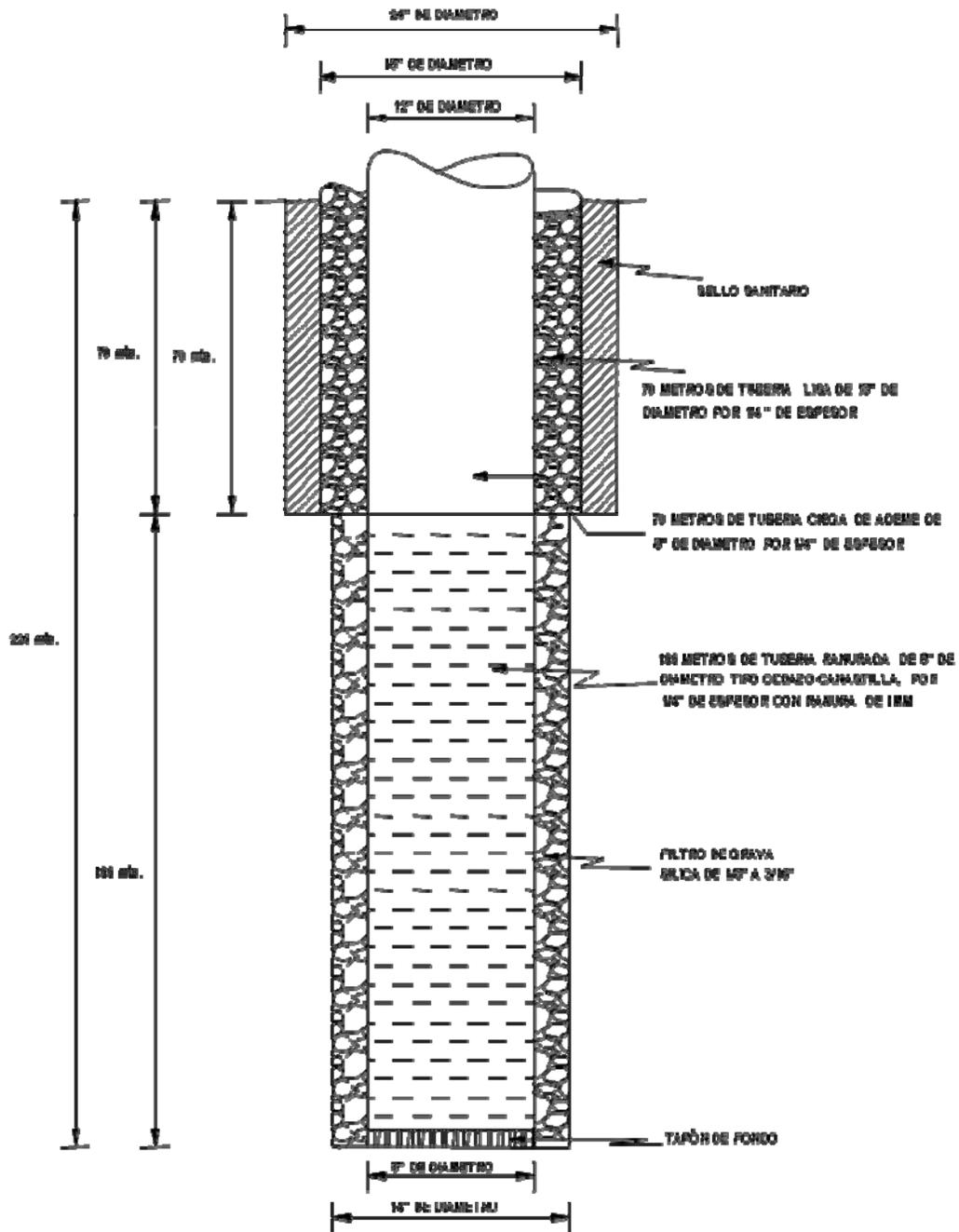


Figura 6.2 Diseño del pozo propuesta 2

VII. Conclusiones y Recomendaciones

VII.1 Conclusiones

Se establece la factibilidad de extracción de agua para las áreas señaladas en la Figura 7.1, con un nivel freático aproximado de 90m.

En los mapas de resistividad a profundidad constante (50 100, 200, 250m) se observa al Norte que a partir de los 50m y hasta los 250 m las resistividades indican la existencia de agua subterránea.

Con el análisis de la información hidrogeológica disponible, se pudo establecer que las principales unidades acuíferas de la zona, son las unidades hidrogeológicas UH3 y UH5. La unidad UH3 consiste en intercalaciones de conglomerado volcánico y arcillas que provocan el confinamiento parcial del conglomerado calcáreo, Formación Balsas, que representa la primera unidad acuífera de interés para ser explotada mediante bombeo con caudales en promedio de 15 L/s. La unidad UH5 consiste en basaltos fracturados.

Hidrogeológicamente la unidad UH5 representa un acuífero de carácter libre y granular. La unidad UH3 representa el acuífero de mayor potencial en el subsuelo, de carácter semiconfinado, caracterizado por la geofísica con intervalos de resistividades entre 7 y 46 [ohm-m] como la unidad UG2, y se correlaciona con la Formación Balsas, específicamente con la Formación Tepetlapa y Huajintlán, cuya transmisividad obtenida varió entre 430 a 849 m²/día.

Las tres unidades geofísicas principales (UG1, UG2, UG2a) varían en intervalos de resistividades de 11-523 ohm/m, de 7 a 46 y 46 - 284 ohm /m respectivamente. Como se mencionó anteriormente la Unidad geofísica UG2 es el acuífero en el área de estudio.

De los resultados obtenidos se establece la necesidad de realizar perforaciones exploratorias a 250m y 225m en los sitios que se describieron en el texto, y se resumen en el capítulo de recomendaciones.

El costo total de la perforación se estima en 973,506 (novecientos setenta y tres mil quinientos seis pesos, ANEXO 5), no obstante, éste costo puede variar dependiendo del diseño final.

VII.2 Recomendaciones

Se recomienda efectuar perforaciones exploratorias en los siguientes sitios por orden de prioridad y con las siguientes características:

Ubicación

Las alternativas para ubicar las perforaciones exploratorias se muestran en la Figura 7. 1 y en la Tabla 7.1.

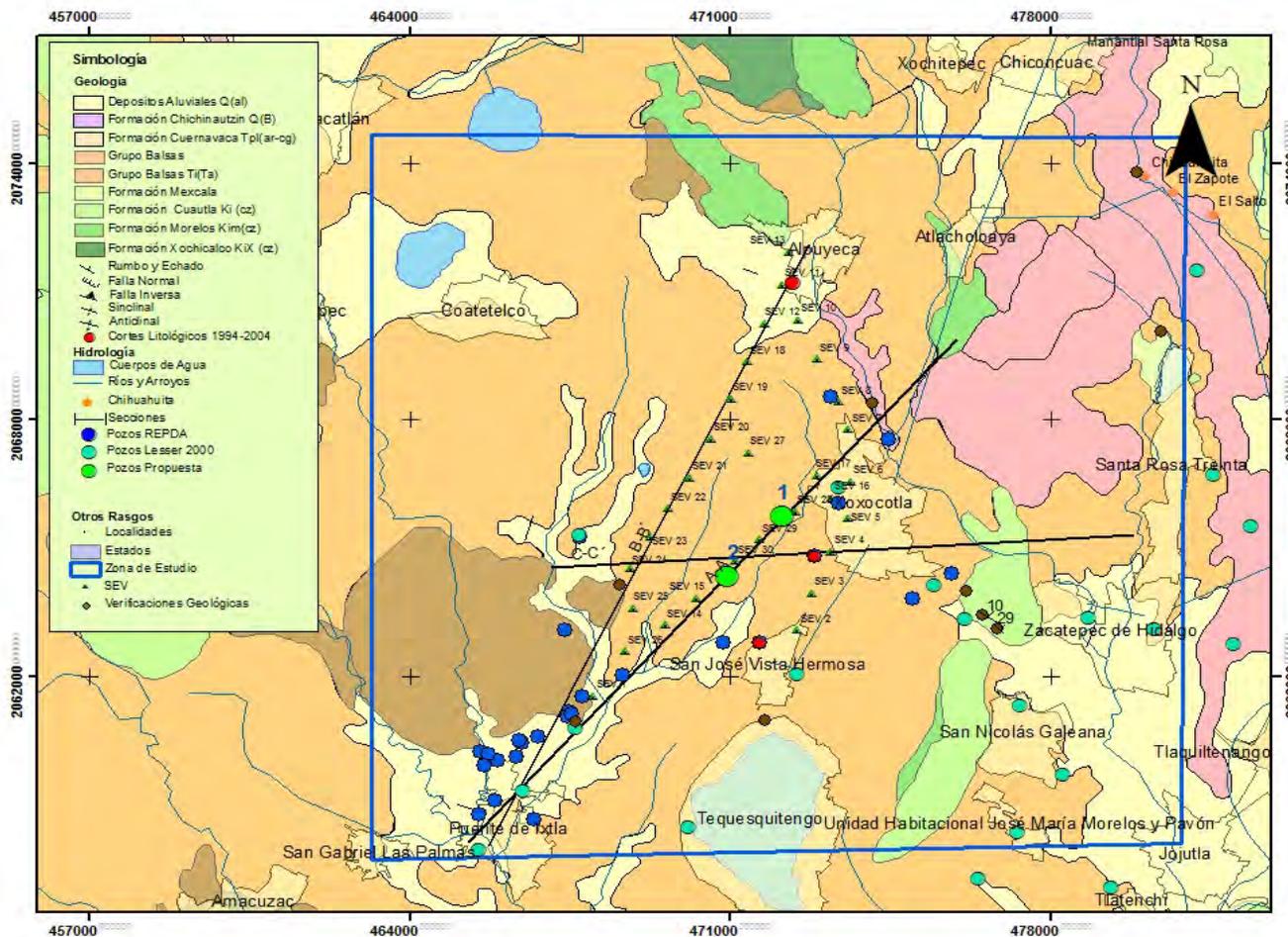


Figura 7.1 Ubicación de los pozos exploratorios propuestos

Perforaciones Exploratorias	Ubicación de Referencia	Coordenadas UTM		Profundidad de Perforación
		X	Y	
Sitio 1	SEV 28	472,000	2, 065,550	250
Sitio 2	SEV 30	470,950	2, 063,850	225

Tabla 7.1 Ubicación de alternativas para la perforación exploratoria

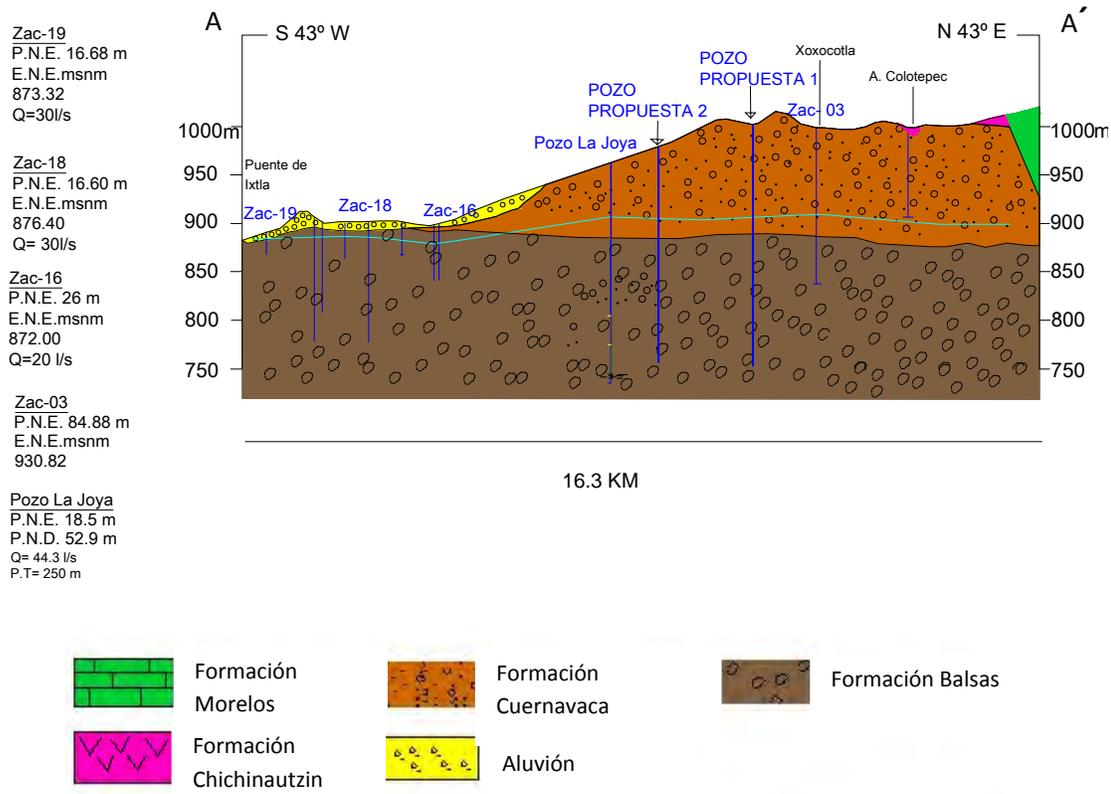


Figura 7.2 Ubicación de los pozos exploratorios propuestos en la sección hidrogeológica A-A'

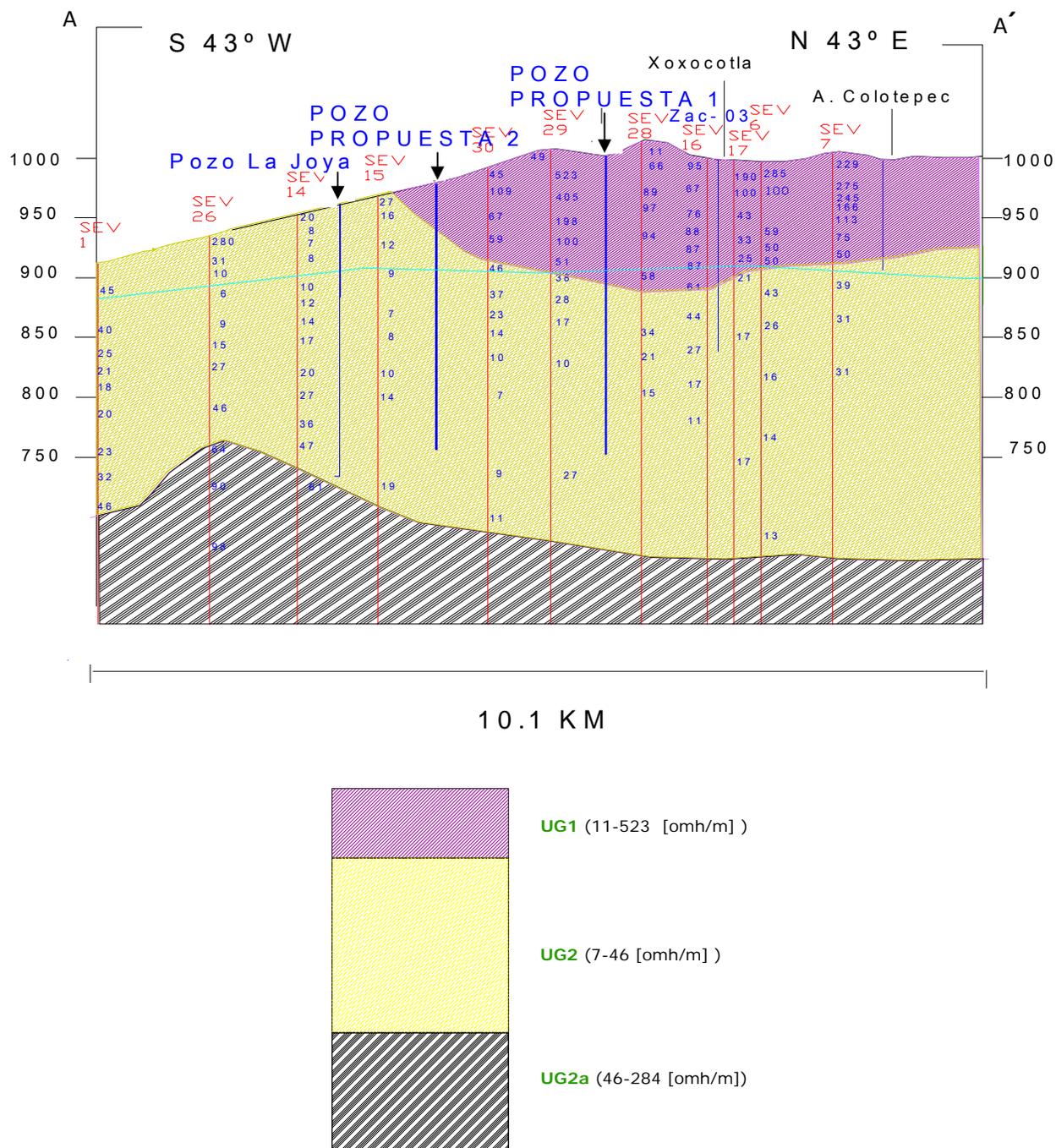


Figura 7.3 Ubicación de los pozos exploratorios propuestos en la sección geofísica A-A'

Diámetro de la perforación

Se recomienda que la perforación exploratoria se realice en diámetro de 12” de cero a 250 m (sitio 1) o 225 m (sitio 2). Posteriormente se hará la primera ampliación a 22” o 24” hasta los primeros 15 metros; se volverá a ampliar a 18” de 15 a 250 m (sitio 1) o 225 m (sitio 2).

Equipo de perforación

La perforación se deberá realizar con maquinaria y herramientas adecuadas para atravesar aproximadamente la siguiente secuencia litológica para cada uno de los sitios propuestos:

<i>Perforaciones Exploratorias</i>	<i>Profundidad de Perforación</i>	<i>Material que se espera perforar*</i>	
Sitio 1	250 m	De 0 m a 2 m:	Suelo, depósitos aluviales (Unidad UH5).
		De 2 m a 100 m:	Arenas en matriz limosa y conglomerado volcánico (Unidad UH4).
		De 100 m a 180 m:	Conglomerado volcánico en matriz arenosa (Unidad UH3, acuífero a explotar).
		De 180 a 250m:	Conglomerado calcáreo con intercalaciones de material arcilloso (UG3, acuífero semiconfinado a explotar).
Sitio 2	225m	De 0 m a 2 m:	Suelo, depósitos aluviales (Unidad UH5).
		De 2 m a 70 m:	Arenas en matriz limosa y conglomerado volcánico (Unidad UH4).
		De 70 m a 150 m:	Conglomerado volcánico en matriz arenosa (Unidad UH3, acuífero a explotar).
		De 150 a 225m:	Conglomerado calcáreo con intercalaciones de material arcilloso (UG3, acuífero semiconfinado a explotar).

*Las profundidades especificadas son estimaciones gruesas y no deben tomarse como cantidades precisas.

Tabla 7.2 Materiales a perforar.

Se recomienda utilizar equipo de perforación con la capacidad suficiente para perforar hasta 300 m, de sistema rotatorio y como mínimo tipo 2000, con todos sus aditamentos en buen estado de funcionamiento y con la herramienta necesaria para ello, como es: tubería de perforación, por lo menos 6 drill collars, barrenas con insertos de carburo de tungsteno, ampliadores en los diámetros que se soliciten y los aditamentos necesarios para cubrir con las especificaciones de diseño del pozo, viscosímetro, etc.

Es también importante señalar que se podría trabajar con pérdidas (totales o parciales) del fluido de perforación, por lo que será necesario contemplar el uso y volúmenes adecuados de lodos bentoníticos para desalojar los recortes y cuidar en lo posible la obstrucción de las fracturas.

Supervisión

Es necesario que se tenga una supervisión externa por especialistas durante todo el proceso de perforación, desde la selección del contratista adecuado; es decir, se deberá considerar su maquinaria y experiencia en las profundidades y los materiales a atravesar; asimismo, se deberá cuidar el proceso de perforación exploratoria y terminación del pozo.

Entre las actividades de supervisión durante la perforación estará llevar un control de los avances, caídos, utilización de lodos, aumentos en viscosidad, pérdidas totales o parciales, así como la elaboración del corte litológico, para poder integrar esta información con objeto de definir el diseño constructivo definitivo.

Registro eléctrico

Al término de la perforación exploratoria se deberá correr un registro eléctrico con gráfica de potencial natural y de resistividad lateral y normal, que permita definir los horizontes con mejores posibilidades acuíferas y auxiliar en el diseño definitivo del pozo.

Aforo

De ser positiva la exploración deberá contemplarse la realización de un aforo para estar en posibilidades de recomendar el equipamiento definitivo, considerando la forma de suministro que se requiera (tanque elevado, cisterna etc.).

Elaborar un muestreo y caracterización química del agua subterránea

Diseño de los pozos

Se recomienda que el diseño de los pozos de exploración a 250 m (sitio 1) o 225 m (sitio 2) se realice con base en el diseño preliminar de la Figura 6.1 y Figura 6.2

VIII. Referencias Citadas

- Aguilera-Franco N (2000) . High resolution stratigraphy and paleoecology of the Cenomanian-Turonian Succession southern Mexico: London, T. H. Huxley School of Environment Earth Sciences and Engineering Imperial College of Science Technology and Medicine, University of London, UK, PhD, Thesis (pág. 202).
- Aguilera-Franco N., et. al. (2004), “Eventos de una Sucesión del Cenomaniano-Turoniano del Sur de México”, *Journal of Iberian Geology* 31 (págs.25-50).
- Aguilera-Franco N., et. al. (1998), “Late cenomanian Fossil Asociation from Morelos-Mexico-Stratigraphic implications”, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, volumen 15, número 1 (págs. 46-56).
- Alaniz- Álvarez S. A., et. al. (2005), “El sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende y la Faja Volcánica Transmexicana, dos fronteras tectónicas del centro de México activas durante el Cenozoico”, *Boletín. Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo del Centenario Grandes Fronteras Tectónicas de México* Tomo LVII num 1 (págs. 65-82).
- Blum T. (2009), El financiero en línea, 30 noviembre 2009.
- Campa Uranga, Ma. F. (1978), “La evolución Tectónica de Tierra Caliente, Guerrero”, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* Tomo XXXIX N2 (págs 52-64).
- Colín P. (2009), fontanero Abril 2009, comunicación personal.
- CONAGUA (2000), Reactivación de redes de monitoreo, Lesser S.A. de C.V.
- CONAGUA (2008), Estadísticas del agua 2008. Región hidrológico Administrativa IV Balsas : México, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Edición 2009 (pág. 93).
- CONAGUA (2009), Actualización de la Disponibilidad media anual de agua subterránea Acuífero Zacatepec, Estado de Morelos.
- Demant A. (1978), “Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación, Universidad Nacional Autónoma De México, Instituto de Geología, Revista 2 (págs. 172-187).
- Fries (1956), Geología del Estado de Morelos.
- García Díaz, J. L. (2008), Significado tectónico de las secuencias volcánico-sedimentarias del Cretácico Inferior, que infrayacen el dominio de la Plataforma Morelos-Guerrero, Sur de México. El origen, naturaleza y evolución geológica del Terreno Guerrero: Taxco, Guerrero: Universidad Autónoma de Guerrero, Universidad Nacional Autónoma de México.

Geoproyectos S. A. de C. V. (1986), Estudio Geofísico en Xoxocotla, Edo. Morelos.

Gómez-Tuena A., et. al. (2005), “Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana”, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo del Centenario Temas Selectos de la Geología Mexicana Tomo LVII*, núm. 3 (págs. 227-283).

Henry, J. Glynn, et. al. (1999), Ingeniería Ambiental, Prentice Hall, México.

Hernández- Romano, U (1999), Facies Stratigraphy and diagenesis of the Cenomanian- Turonian of the Guerrero – Morelos platform, southern Mexico: Reading, postgraduate Research Institute for Sedimentology, University of Reading, UK, PhD Thesis, (pág. 322).

IMTA (2010), Enciclopedia del agua , México. [en línea] http://www.imta.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=176:los-manantiales-la-fuente-de-agua-mas-pura-del-planeta&catid=52:enciclopedia-del-agua&Itemid=80 [consulta: 20 Junio 2010]

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2005), Resultados preliminares de conteo de población y vivienda 2005.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2000), Censo de población y vivienda 2000.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2010), [en línea] <http://mapserver.inegi.org.mx/DescargaMDEWeb/?s=geo&c=977> [consulta: enero 2010].

Lesser, J. (1961), Determinación del coeficiente relativo de infiltración para la vertiente sur de la Sierra Chichinautzin.

Molina Padrón W. L. (2006), Comparación de los métodos 1-D y 2-D de resistividad eléctrica por medio de sondeos tipo Wenner, dipolo- dipolo y Wenner-schlumberger con la utilización de los programas DCINV, RES2DMOD Y RES2DINV, Tesis Licenciatura.

Morán Zenteno D., et. al. (2007), “Stratigraphy of the Balsas Group in the Amacuzac area, southern Mexico: relationship with Eocene volcanism and deformation of the Tilzapotla-Taxco sector”, *Revista mexicana de ciencias geológicas*, ISSN 1026-8774, Vol. 24, N°. 1 (págs. 68-80).

Ordaz A. (1977), Estudio geológico e hidrogeológico del estado de Morelos, Tesis profesional, I.P.N.: México.

Ortíz (2004) , Cortes litológicos, datos no publicados.

Sistema de Agua Potable A. C. de Xoxocotla (agosto 2009), comunicación personal.

Tarango, G. (1977), Estudio estratigráfico de la porción noroccidental de la Cuenca Morelos-Guerrero, *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros* v. 25 p. 189-234

Técnicos, Asesores y Constructores, S. A. (1981), Estudio geohidrológico preliminar del valle de Zacatepec, en el Edo. Morelos.

Ultra Ingenieros S. A de C. V. (1989), Estudio Hidráulico de las lagunas de Coatetelco, Tequesquitengo y el Rodeo, Mor, México.

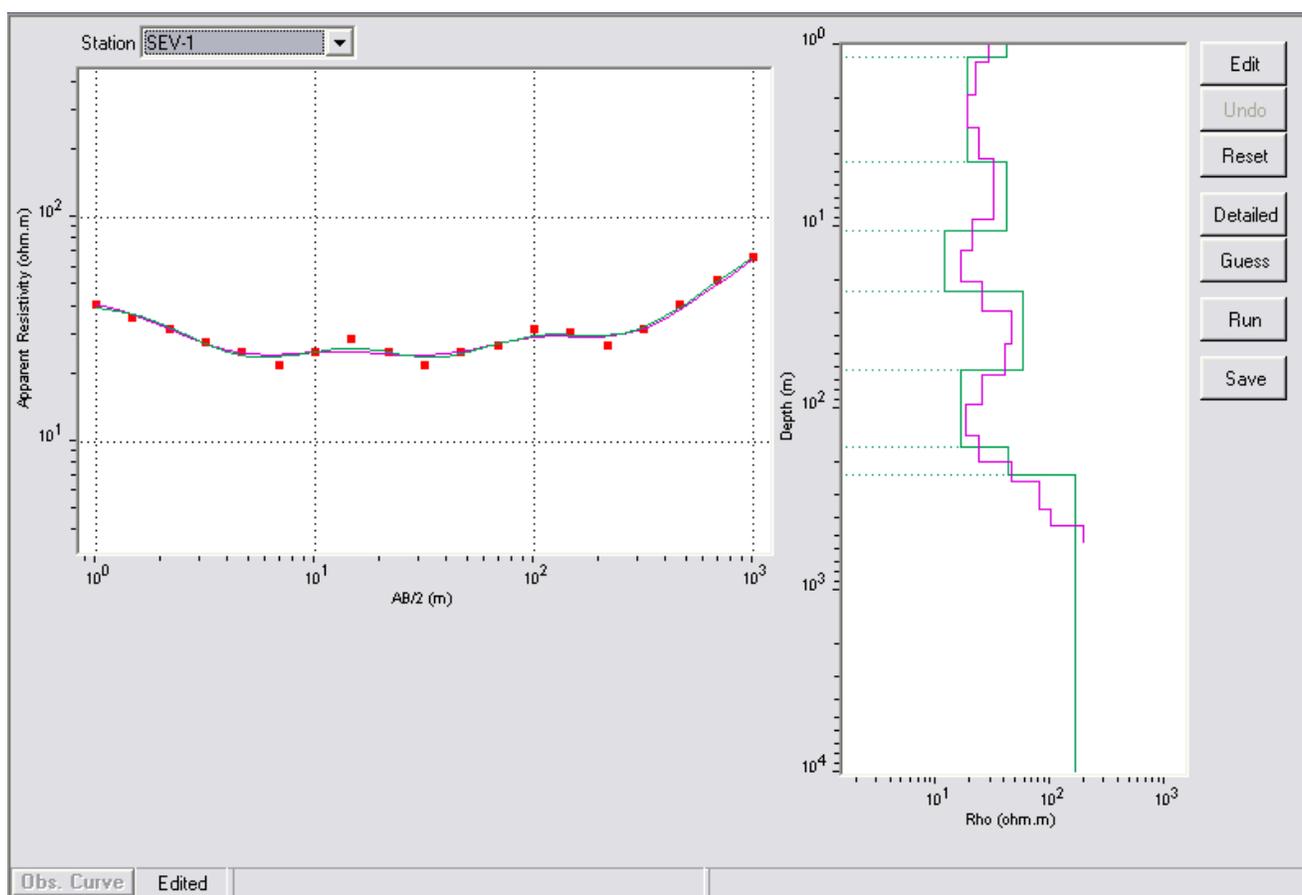
ANEXOS

ANEXO 1 GEOFÍSICA

TABLA 4 COORDENADAS DE SEVs

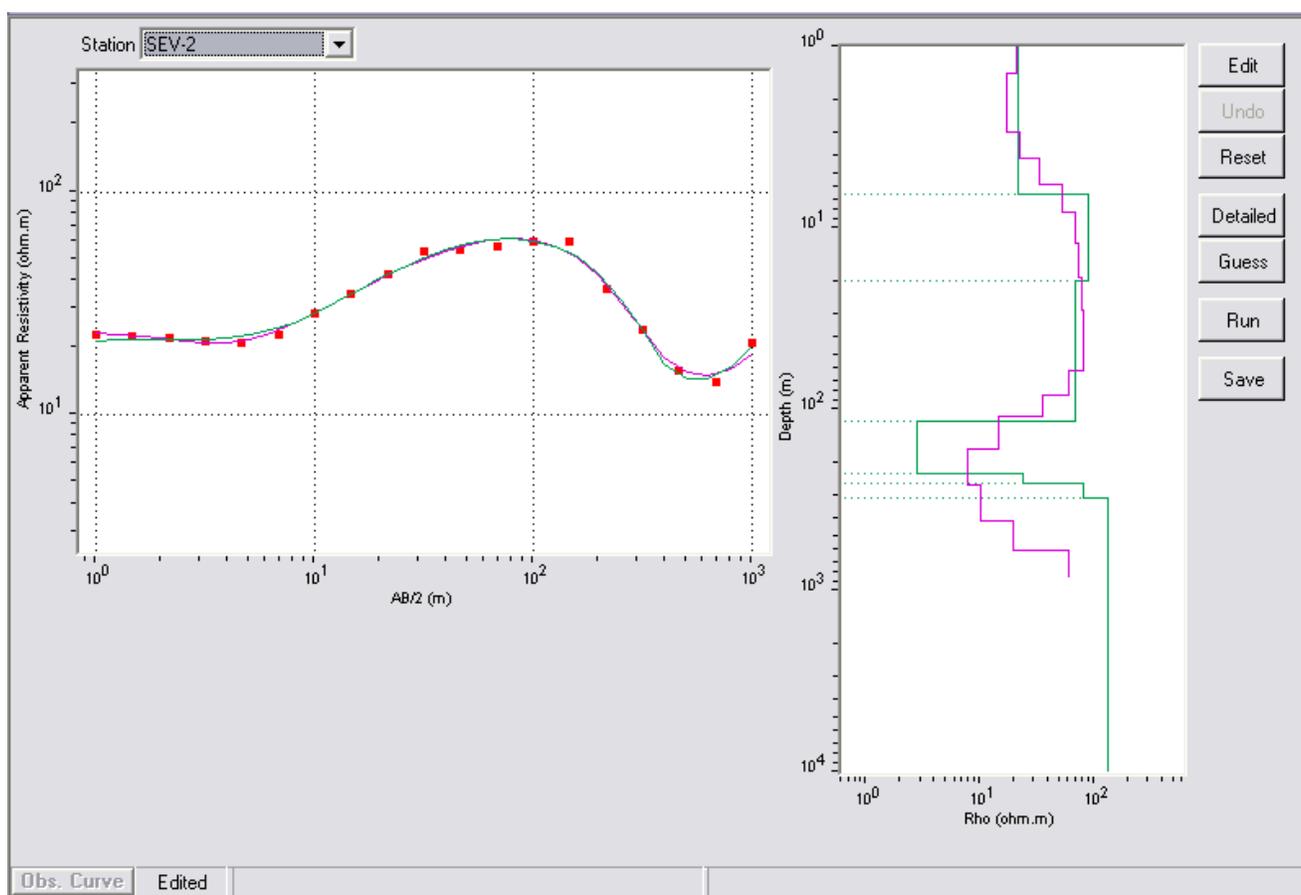
SEV	Coordenada X	Coordenada Y	Altura Z
SEV-1	467987.550	2061548.920	917,000
SEV-2	472447.390	2063089.730	983,000
SEV-3	472755.720	2063948.950	999,000
SEV-4	473174.180	2064918.660	1004,600
SEV-5	473537.570	2065700.360	1020,000
SEV-6	473603.770	2066558.830	1024,900
SEV-7	473559.600	2067781.460	1037,100
SEV-8	473328.350	2068420.170	1040,000
SEV-9	472865.840	2069422.120	1043,000
SEV-10	472469.410	2070346.540	1020,000
SEV-11	472117.020	2071161.370	1020,000
SEV-12	471731.610	2070258.020	1026,000
SEV-13	472249.170	2071921.270	1028,700
SEV-14	469551.240	2063211.450	963,300
SEV-15	470234.020	2063838.800	961,900
SEV-16	473196.200	2066184.340	1018,200
SEV-17	472887.860	2066712.530	1000,700
SEV-18	471357.380	2069366.830	1040,000
SEV-19	470993.800	2068496.650	1041,000
SEV-21	470091.180	2066644.840	1020,000
SEV-22	469631.560	2065934.160	1015,500
SEV-23	469231.890	2065270.970	1001,400
SEV-24	468791.410	2064543.690	983,300
SEV-25	468868.490	2063596.490	964,100
SEV-26	468681.290	2062583.340	960,000
SEV-27	471384.590	2067233.650	1021,900
SEV-28	472414.350	2065853.555	999,000
SEV-29	471621.490	2065204.160	1005,000
SEV-30	471092.910	2064698.240	989,200
SEV-20	470564.990	2067555.890	1033,800

SEV 1

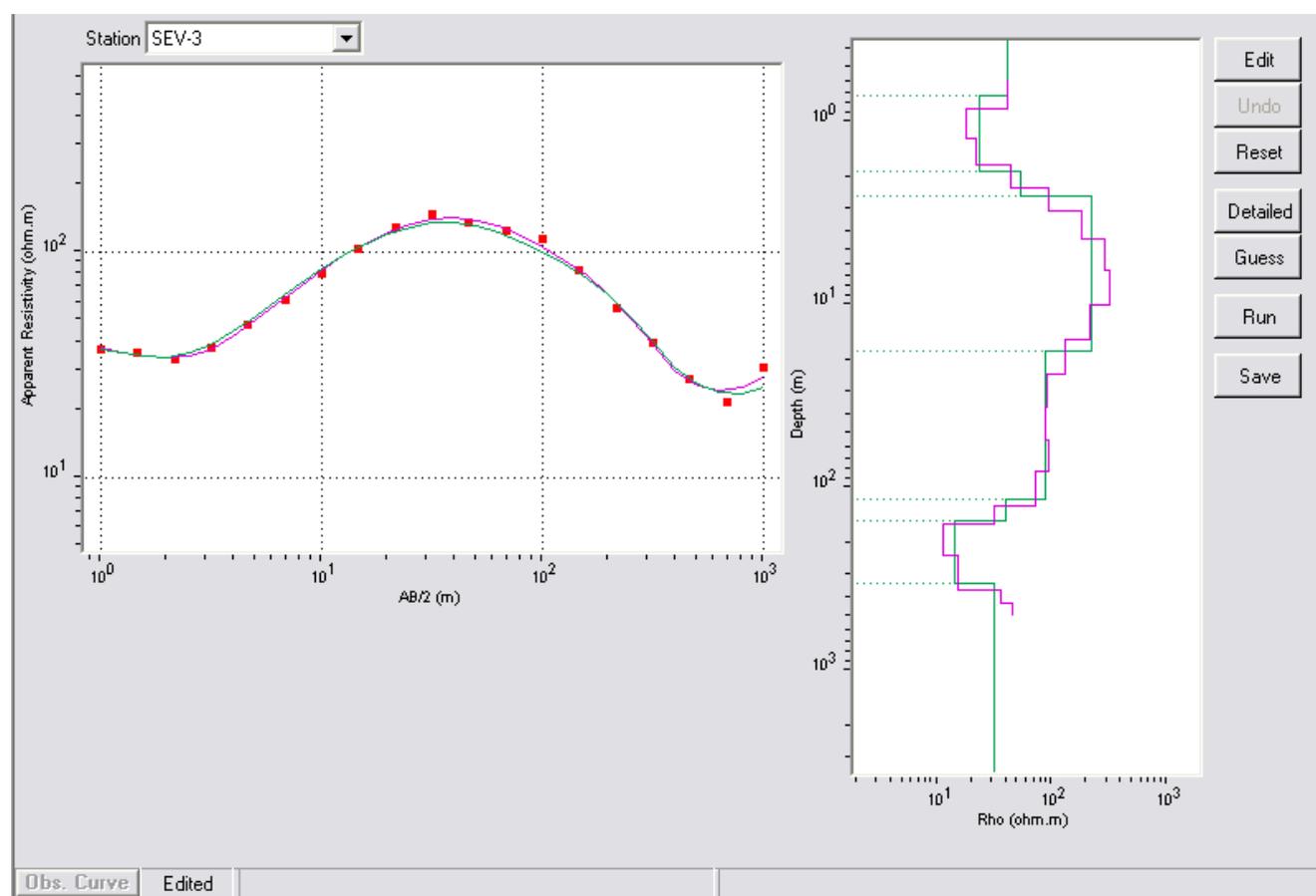


A la derecha se observa la gráfica AB/2 y Resistividad aparente, a la izquierda el modelo suavizado de capas

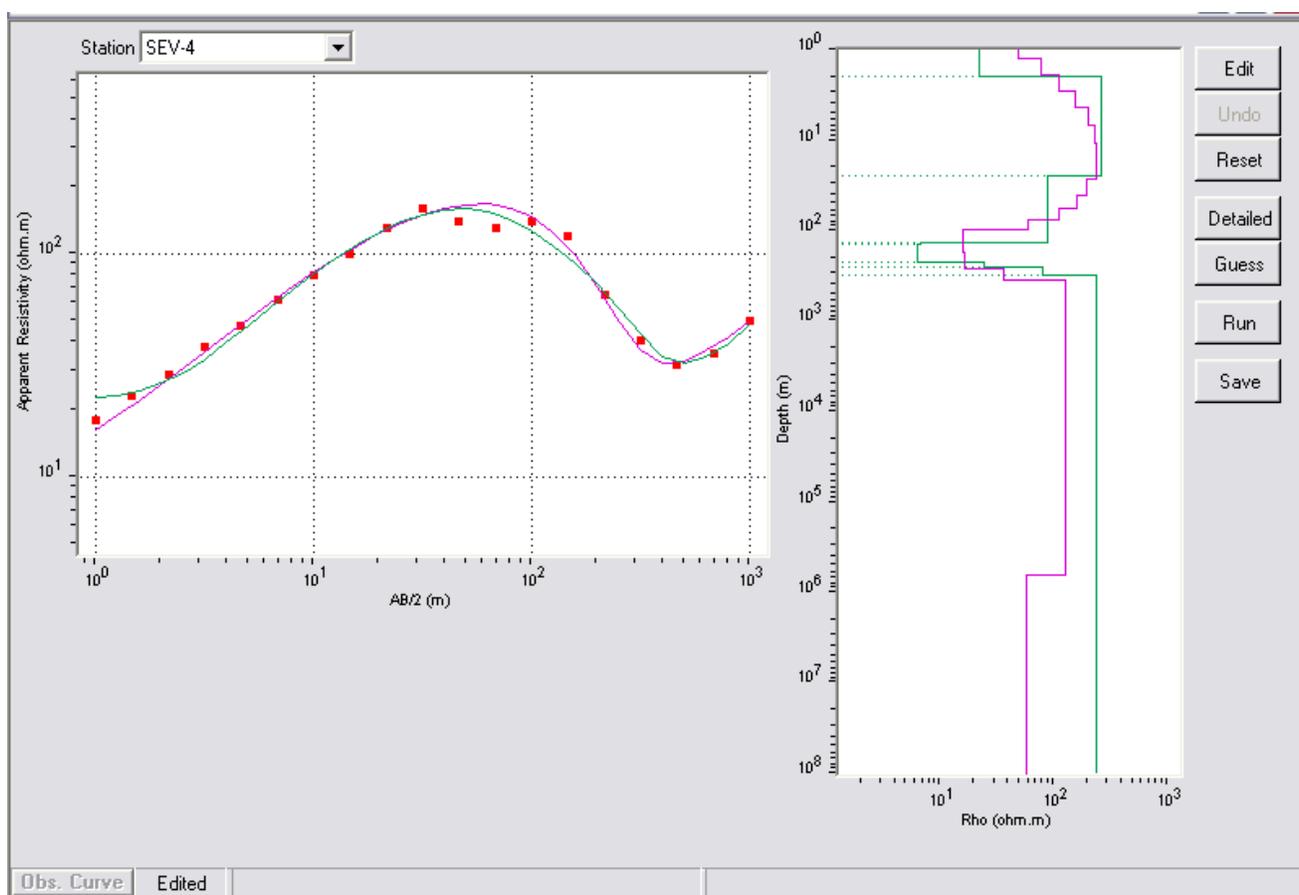
SEV 2



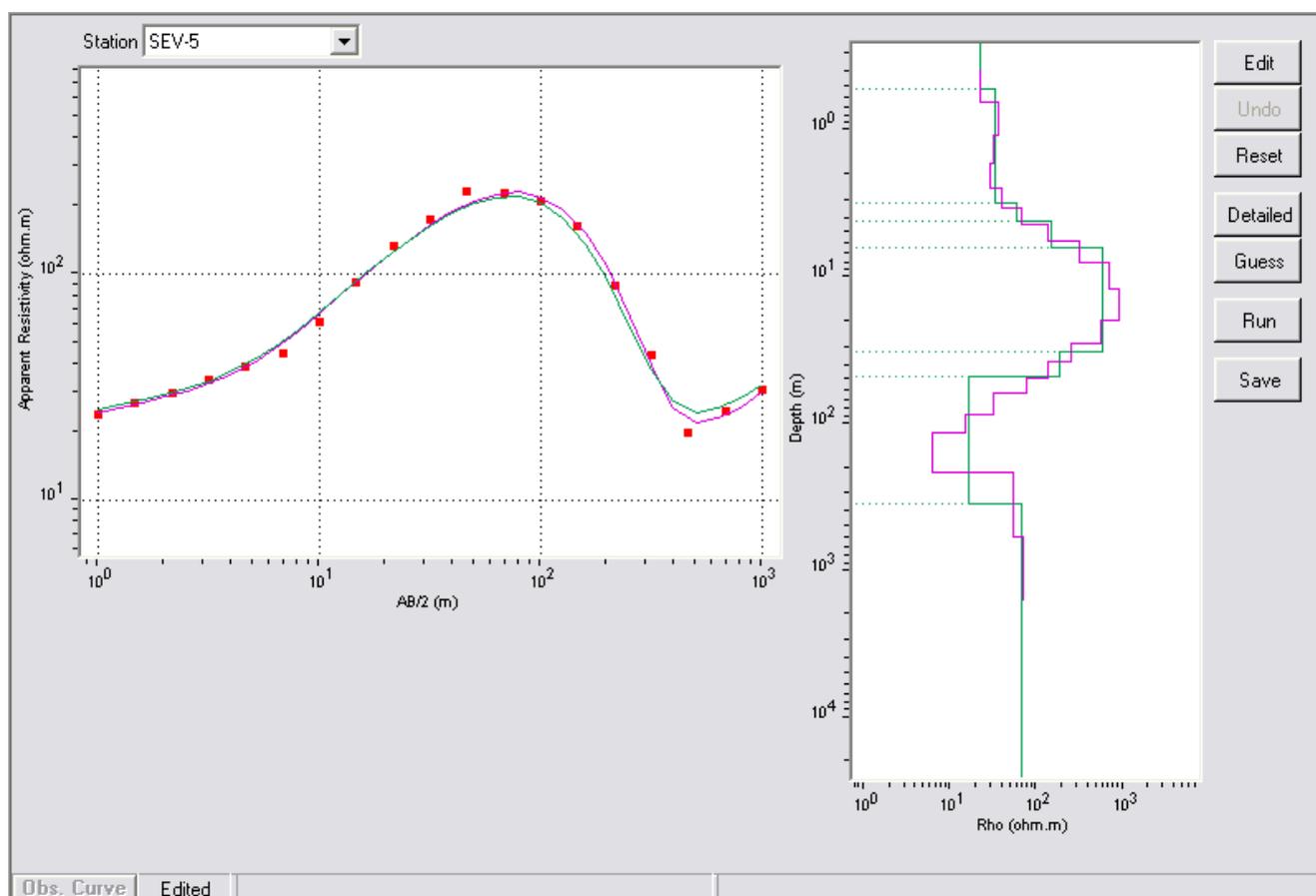
SEV 3



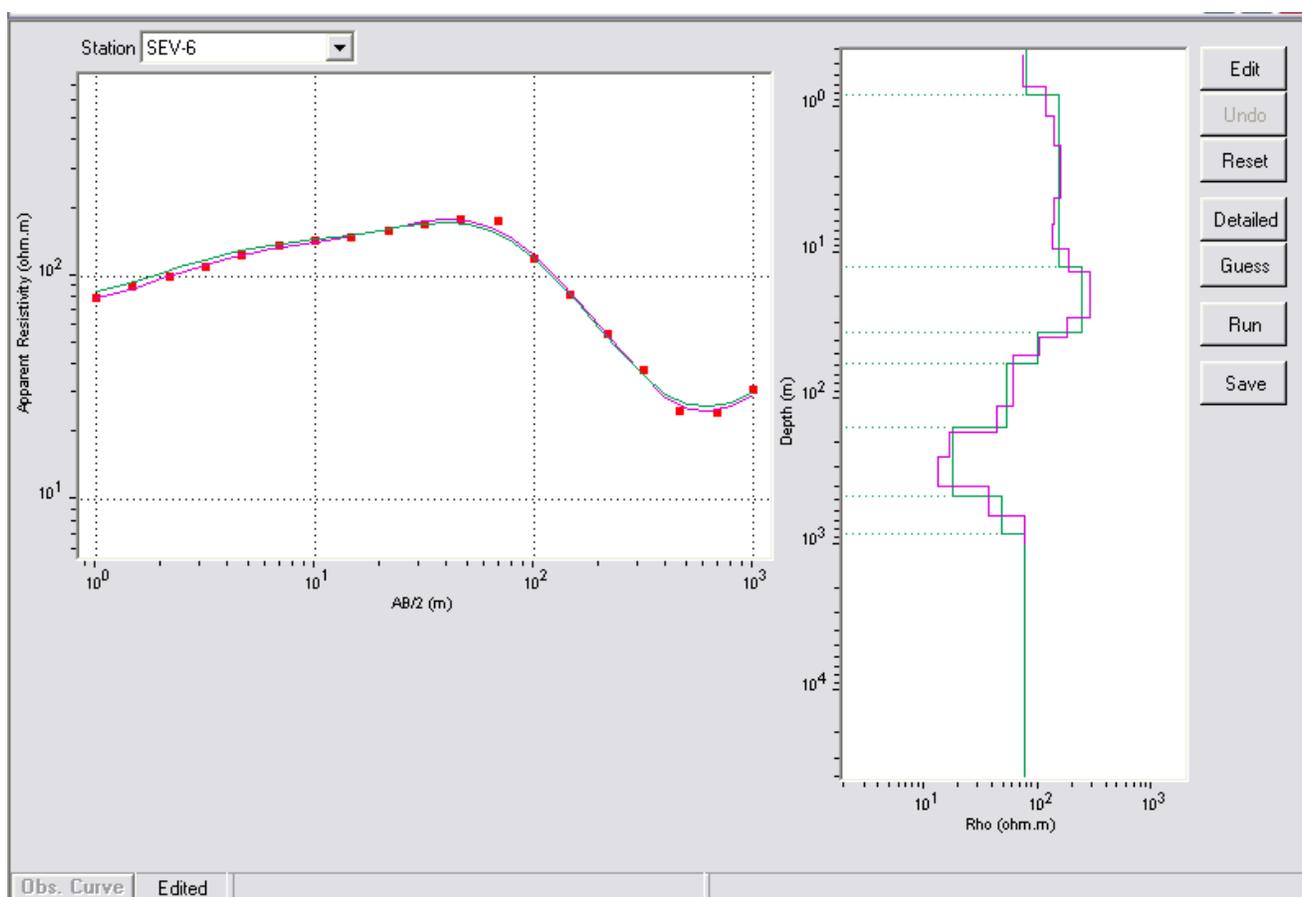
SEV 4



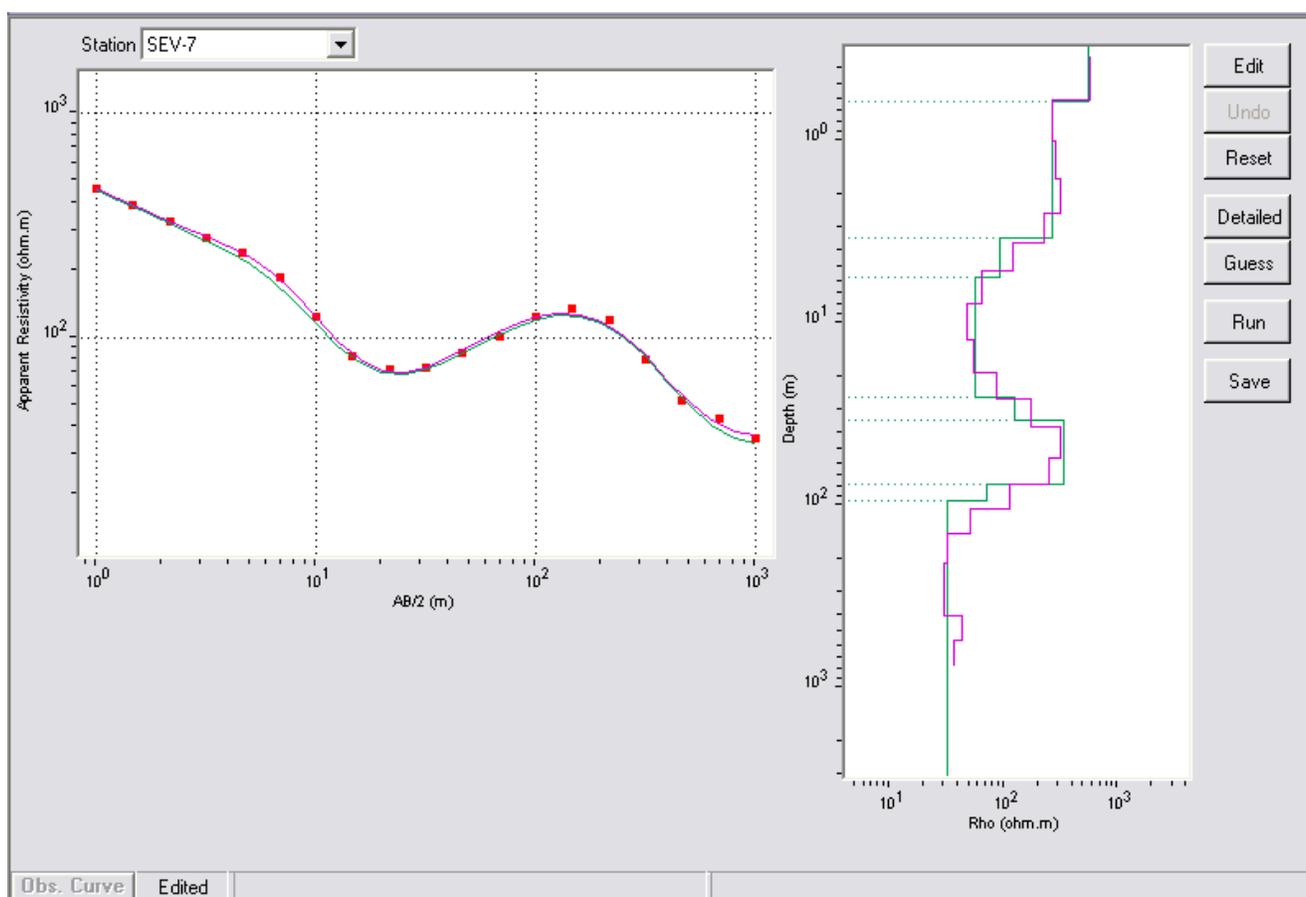
SEV 5



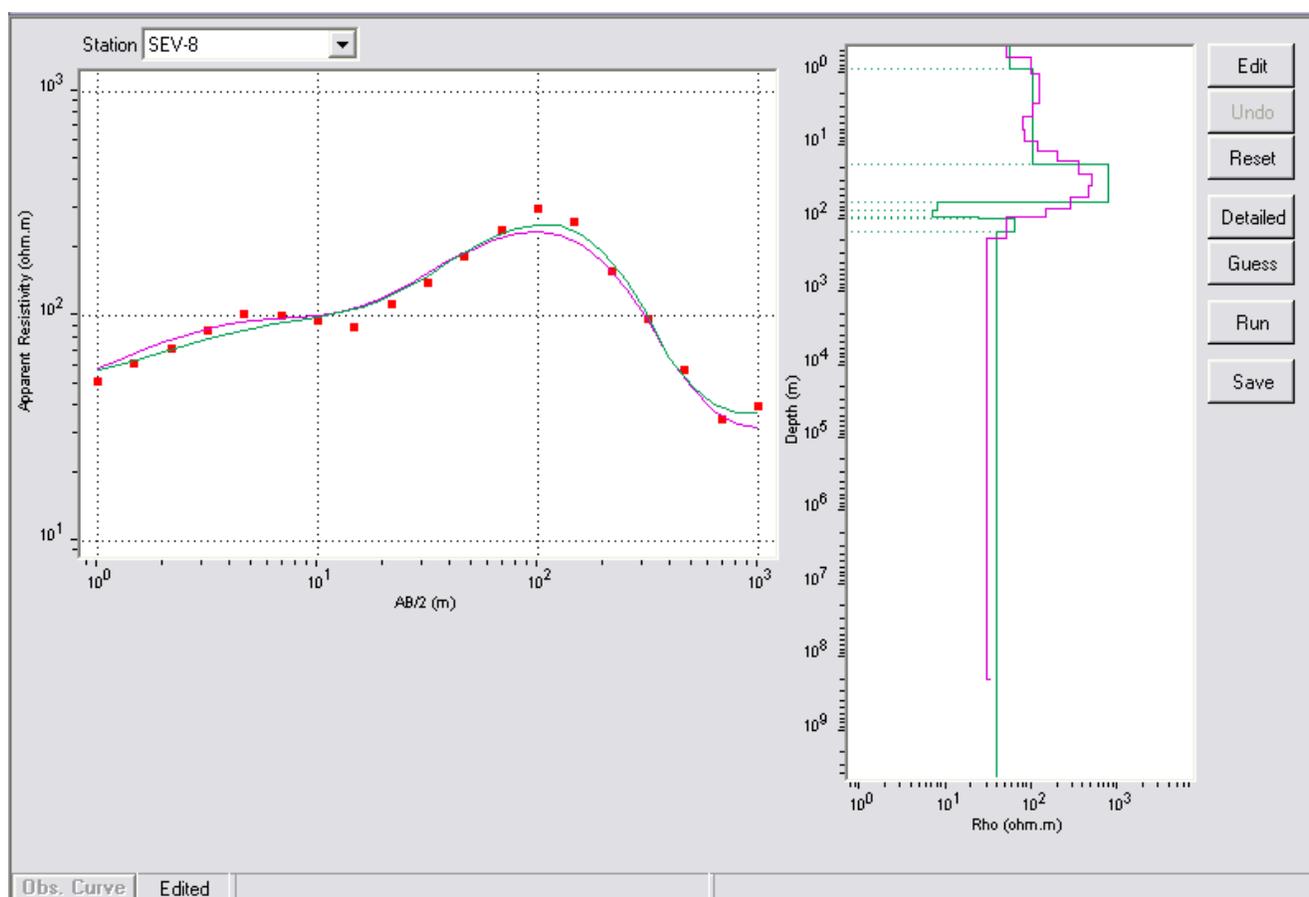
SEV 6



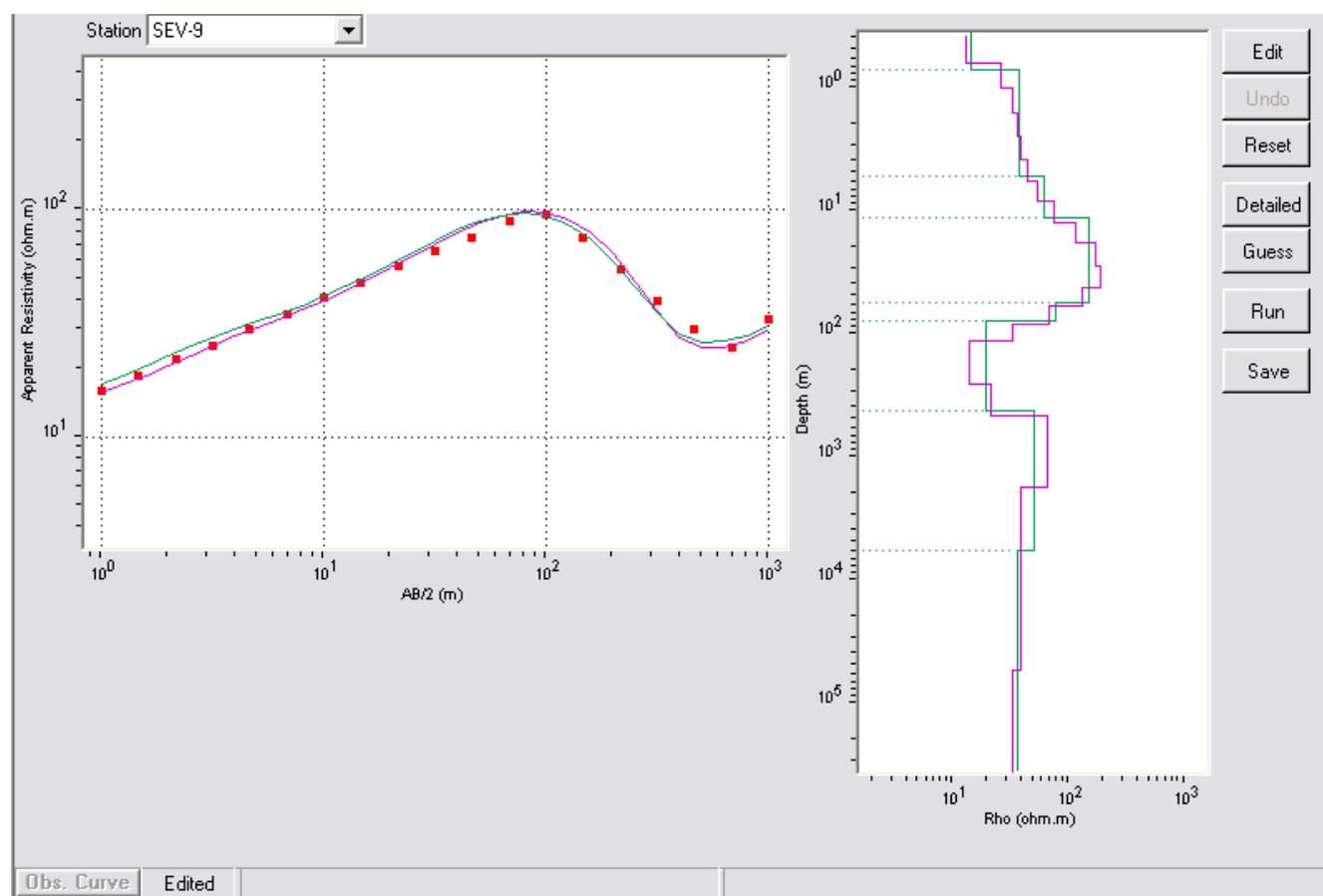
SEV 7



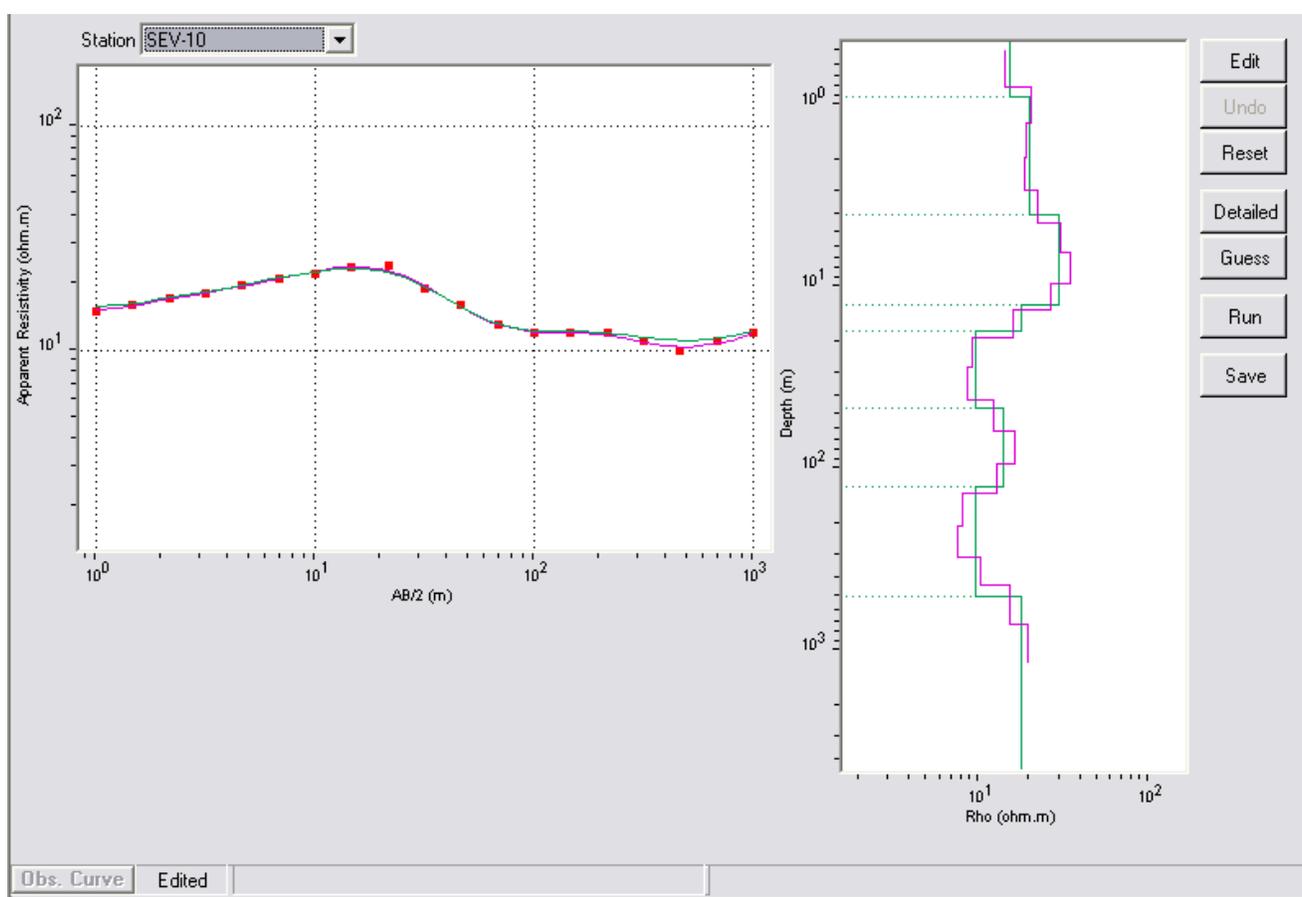
SEV 8



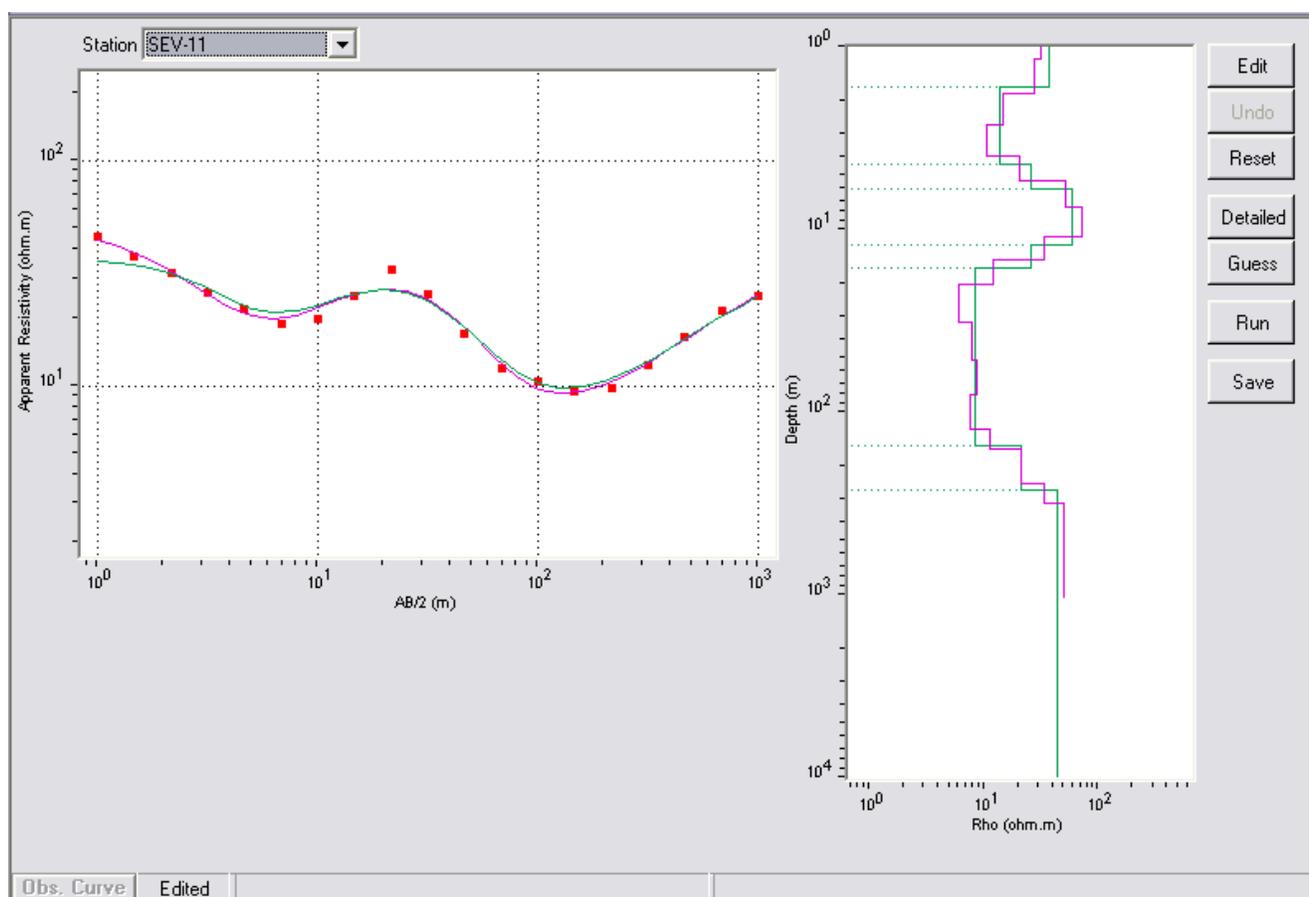
SEV 9



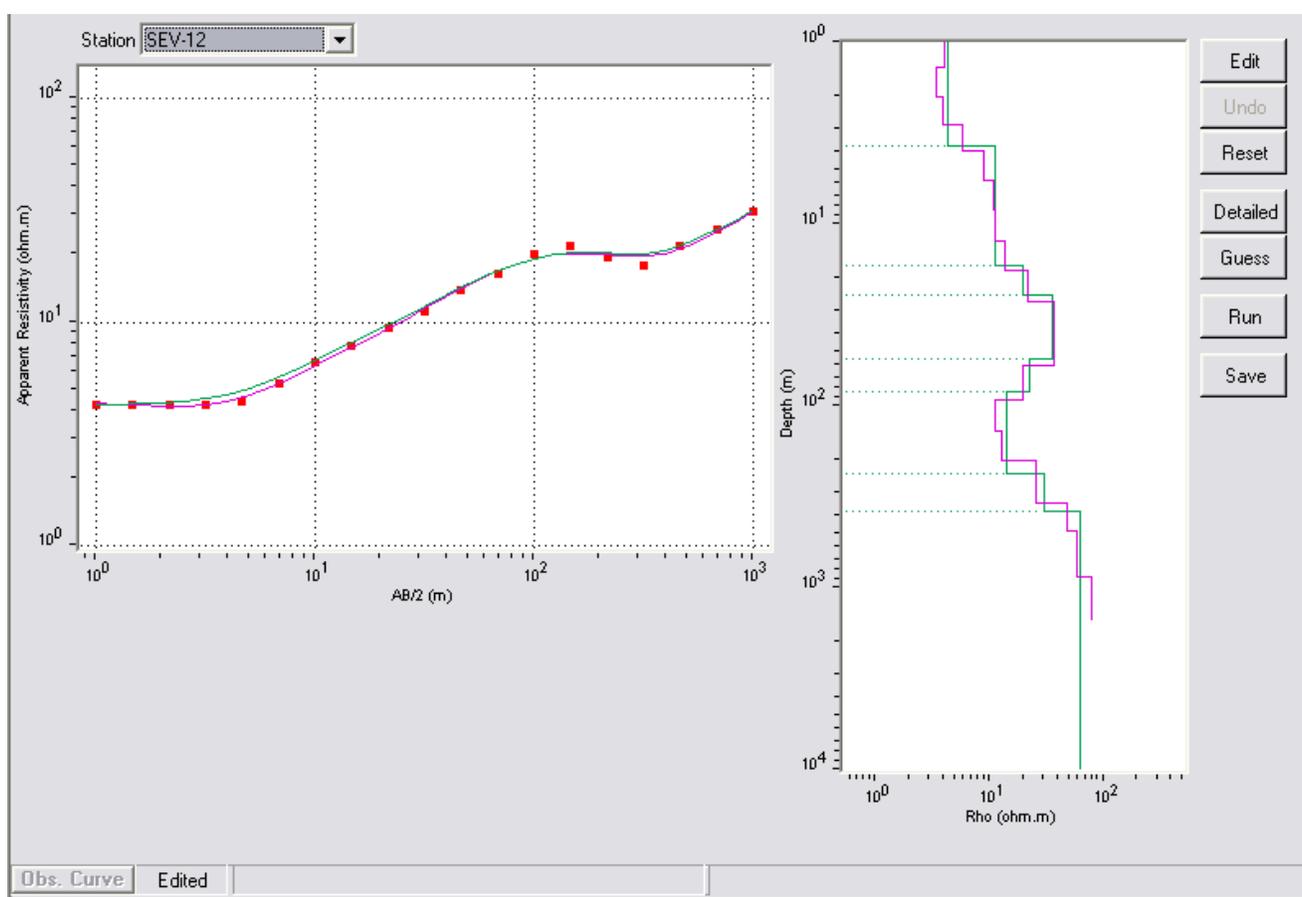
SEV 10



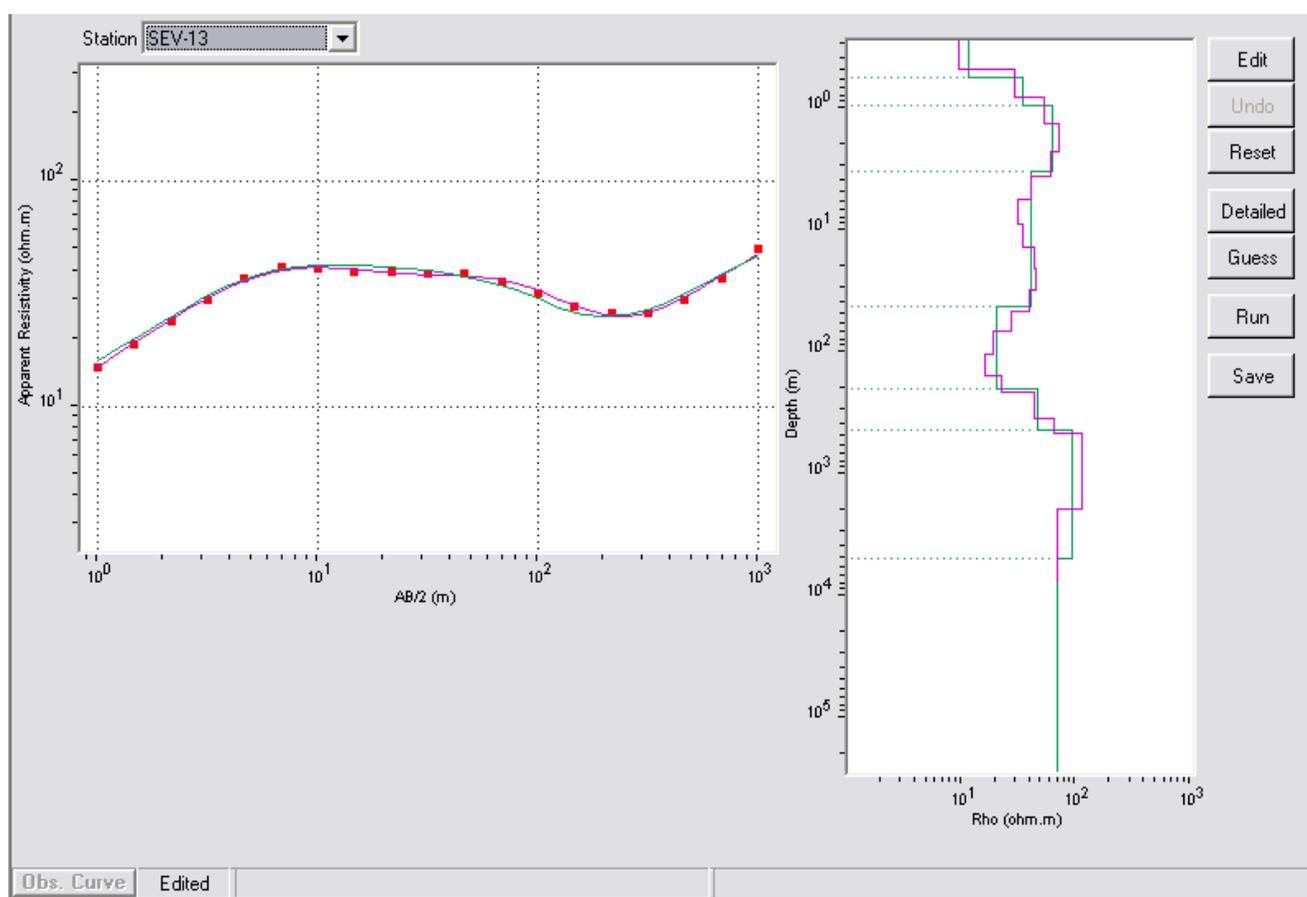
SEV 11



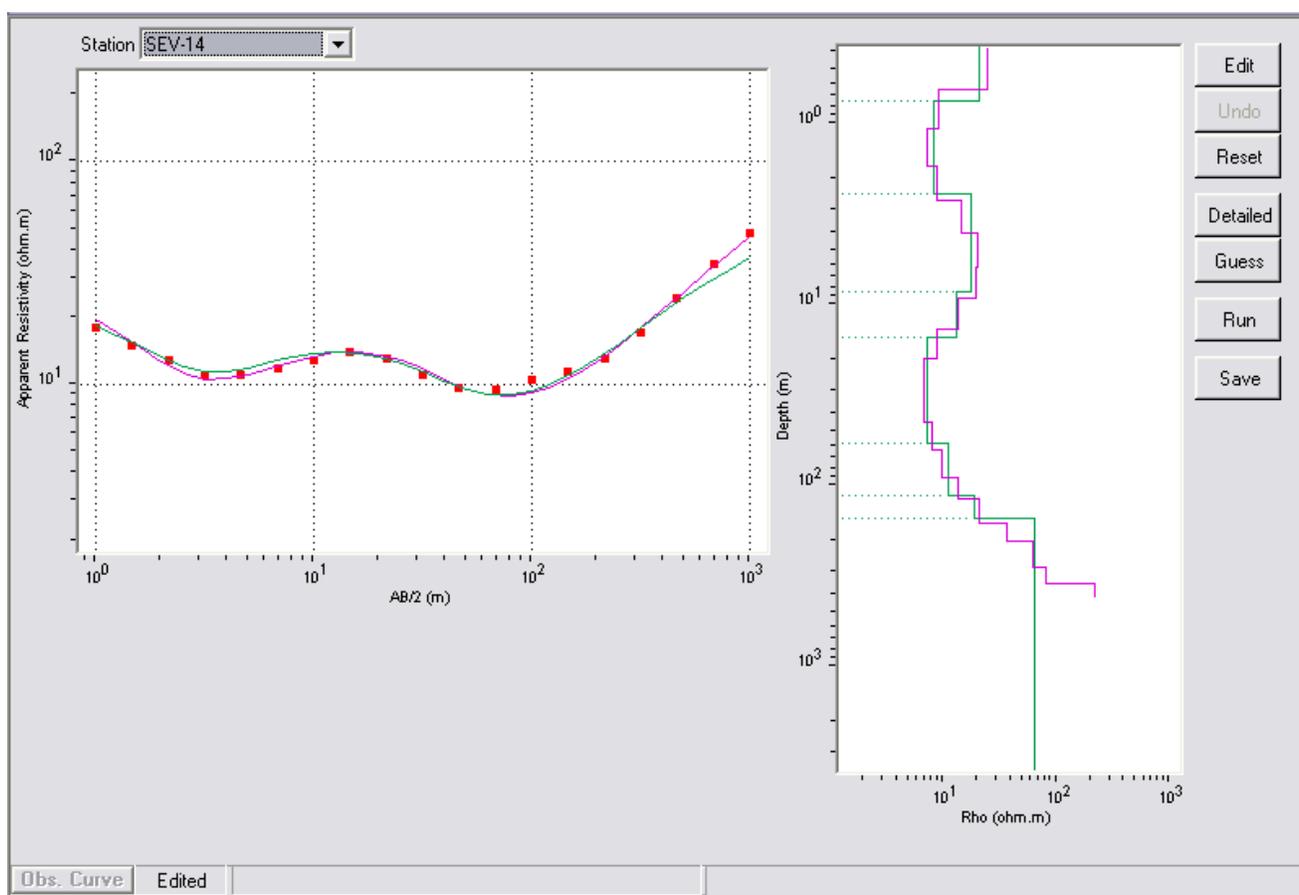
SEV 12



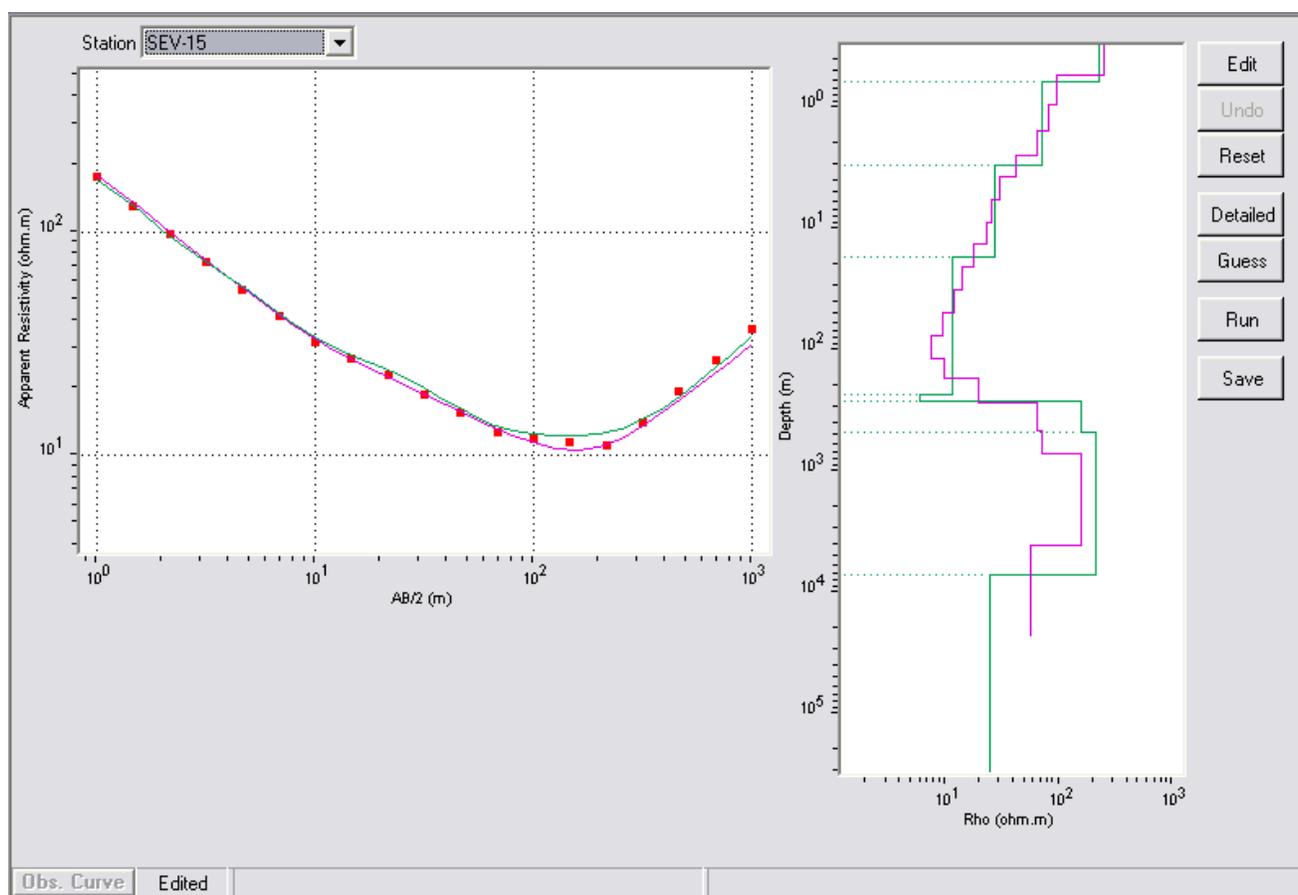
SEV 13



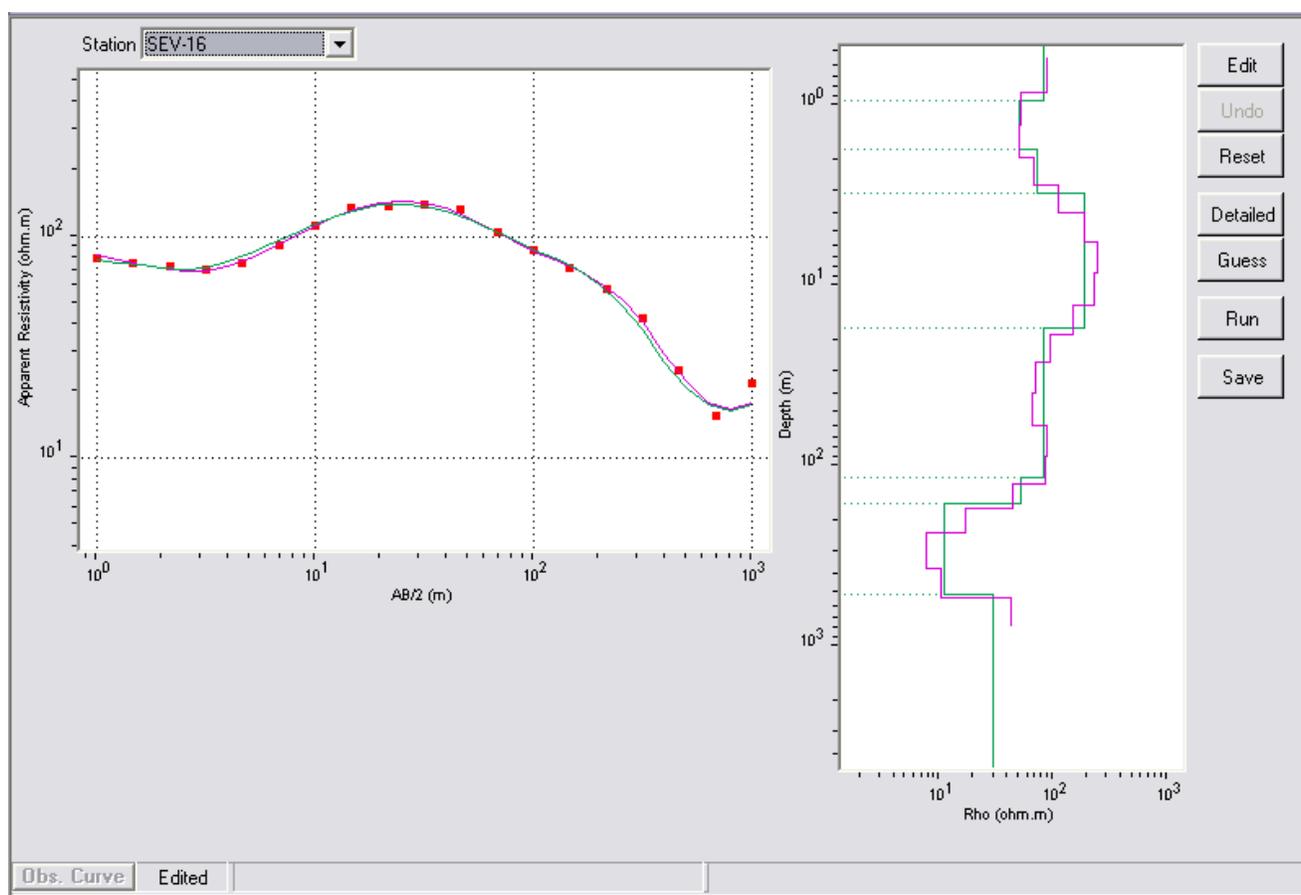
SEV 14



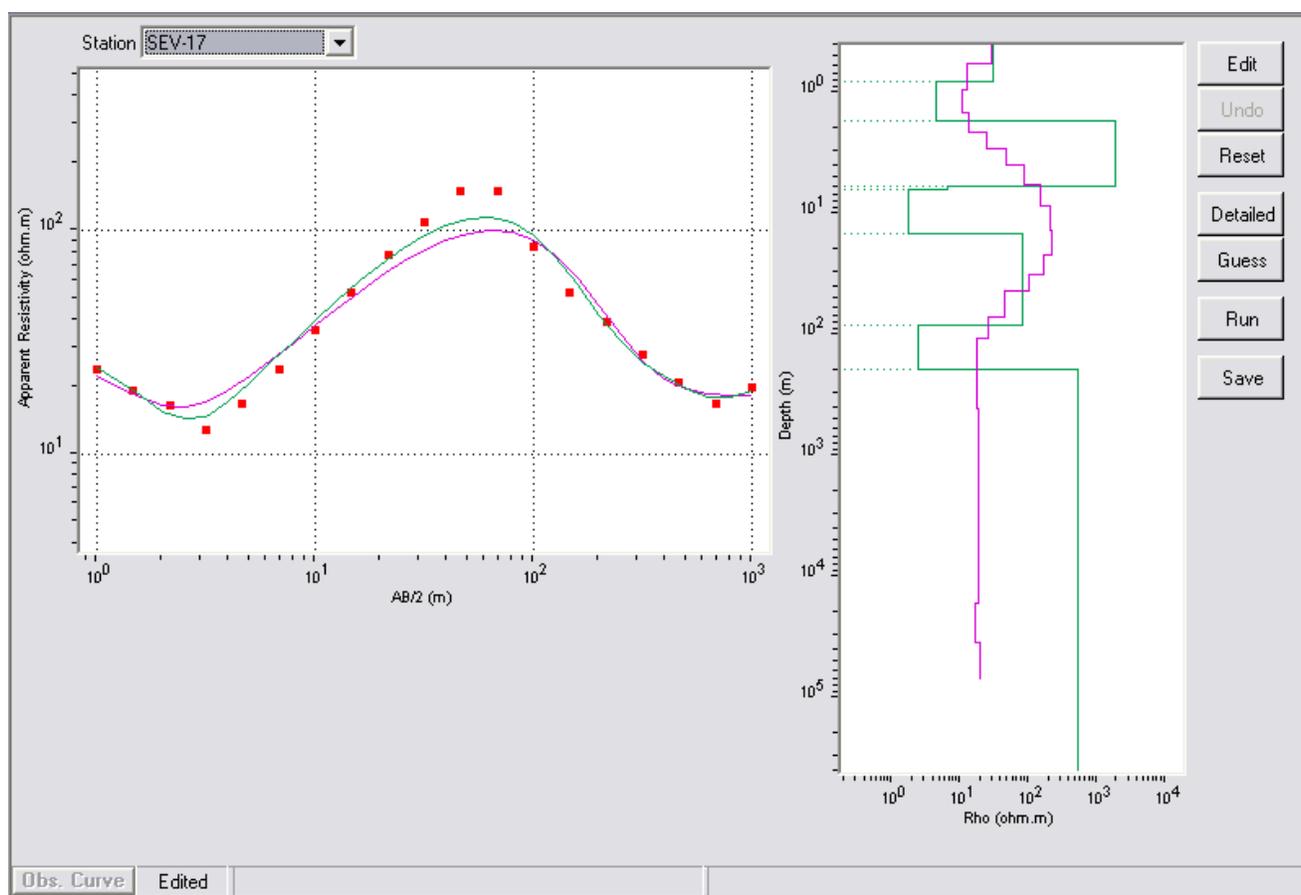
SEV 15



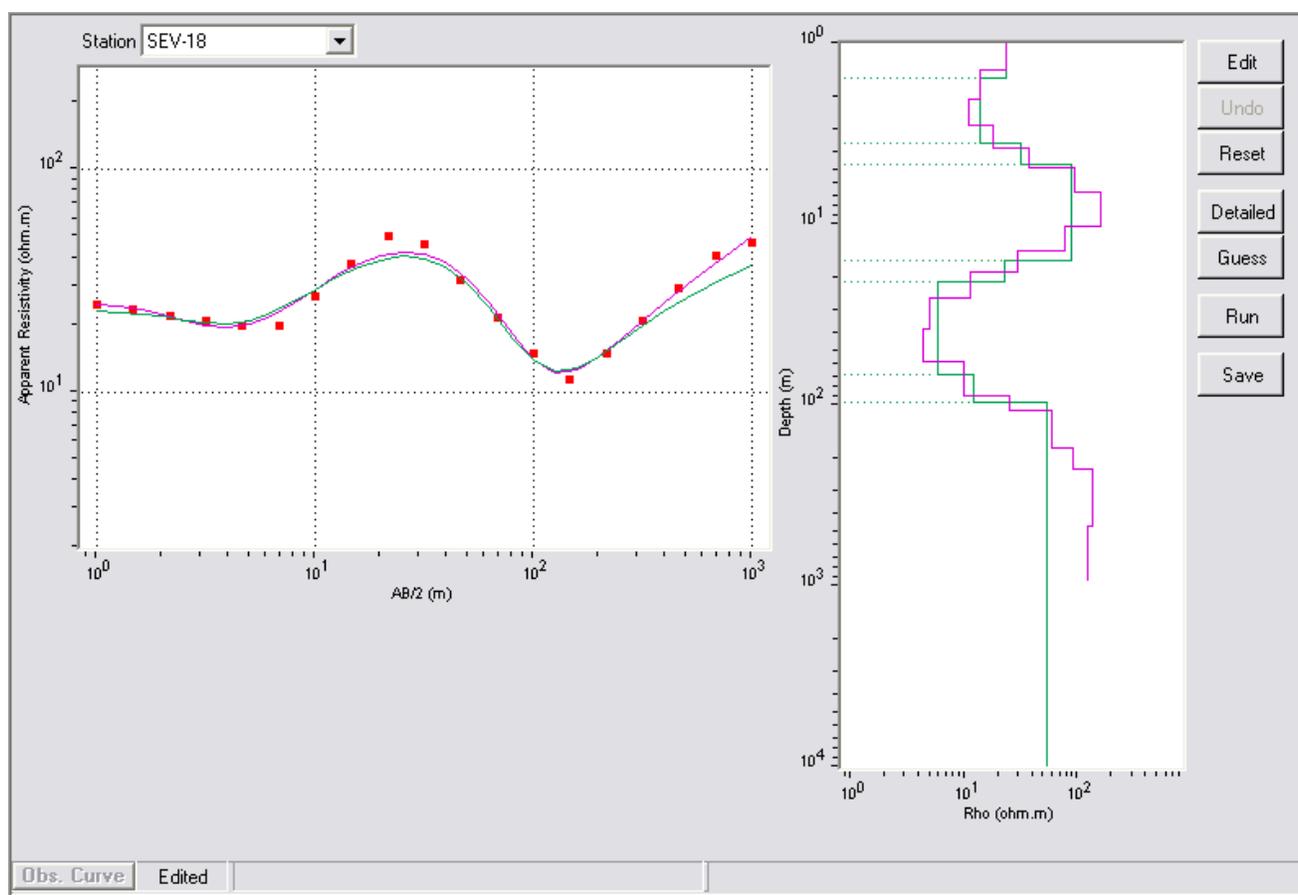
SEV 16



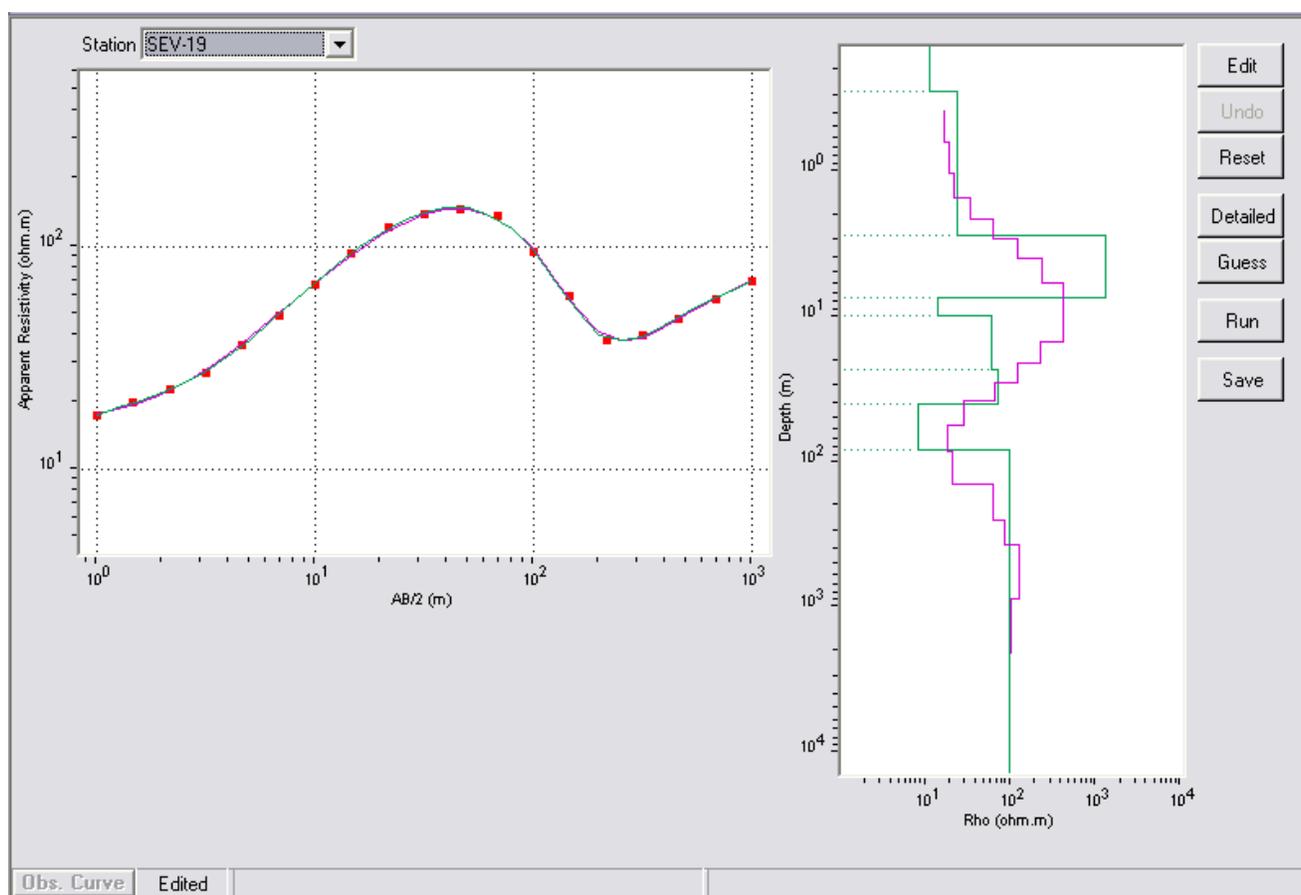
SEV 17



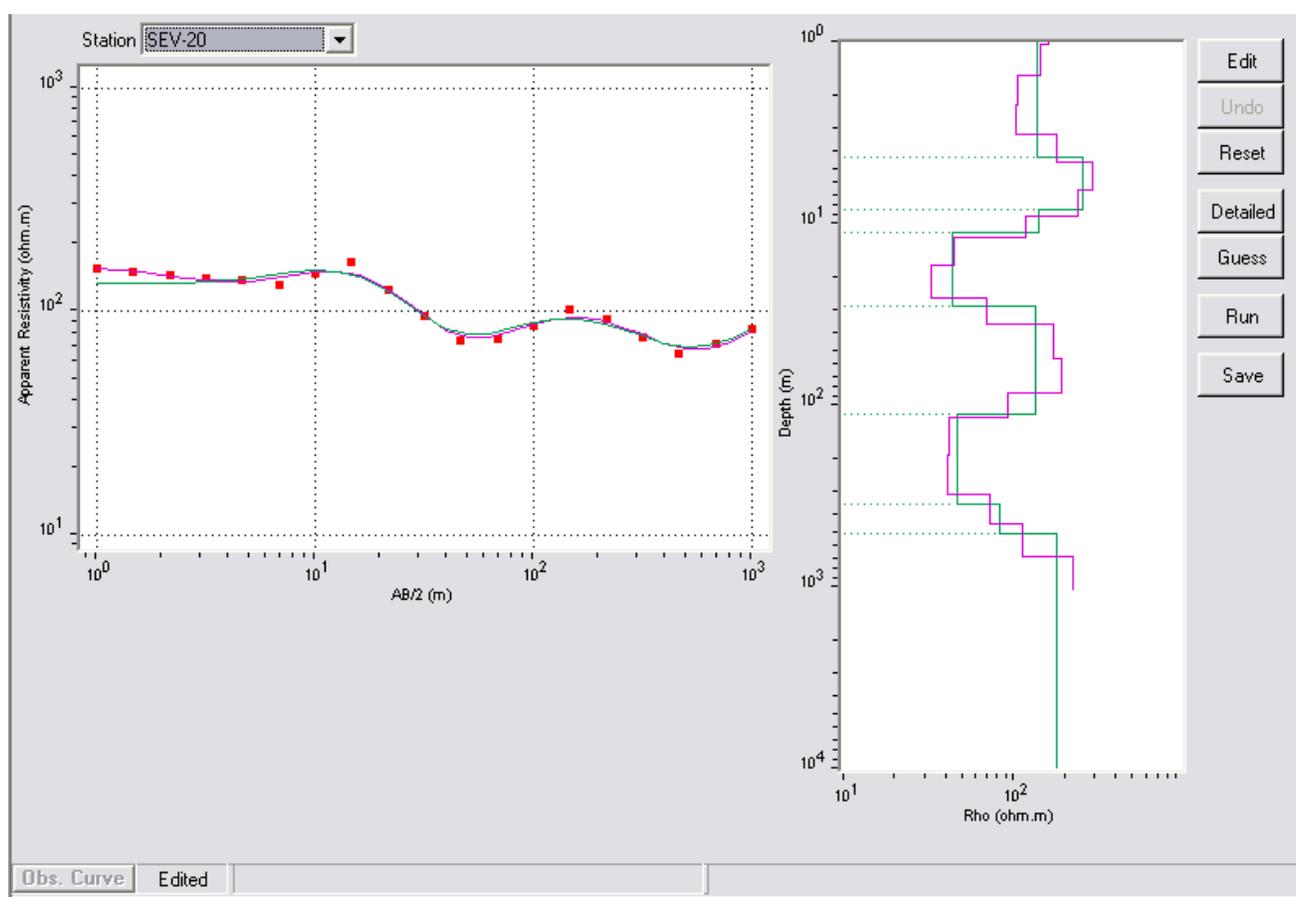
SEV 18



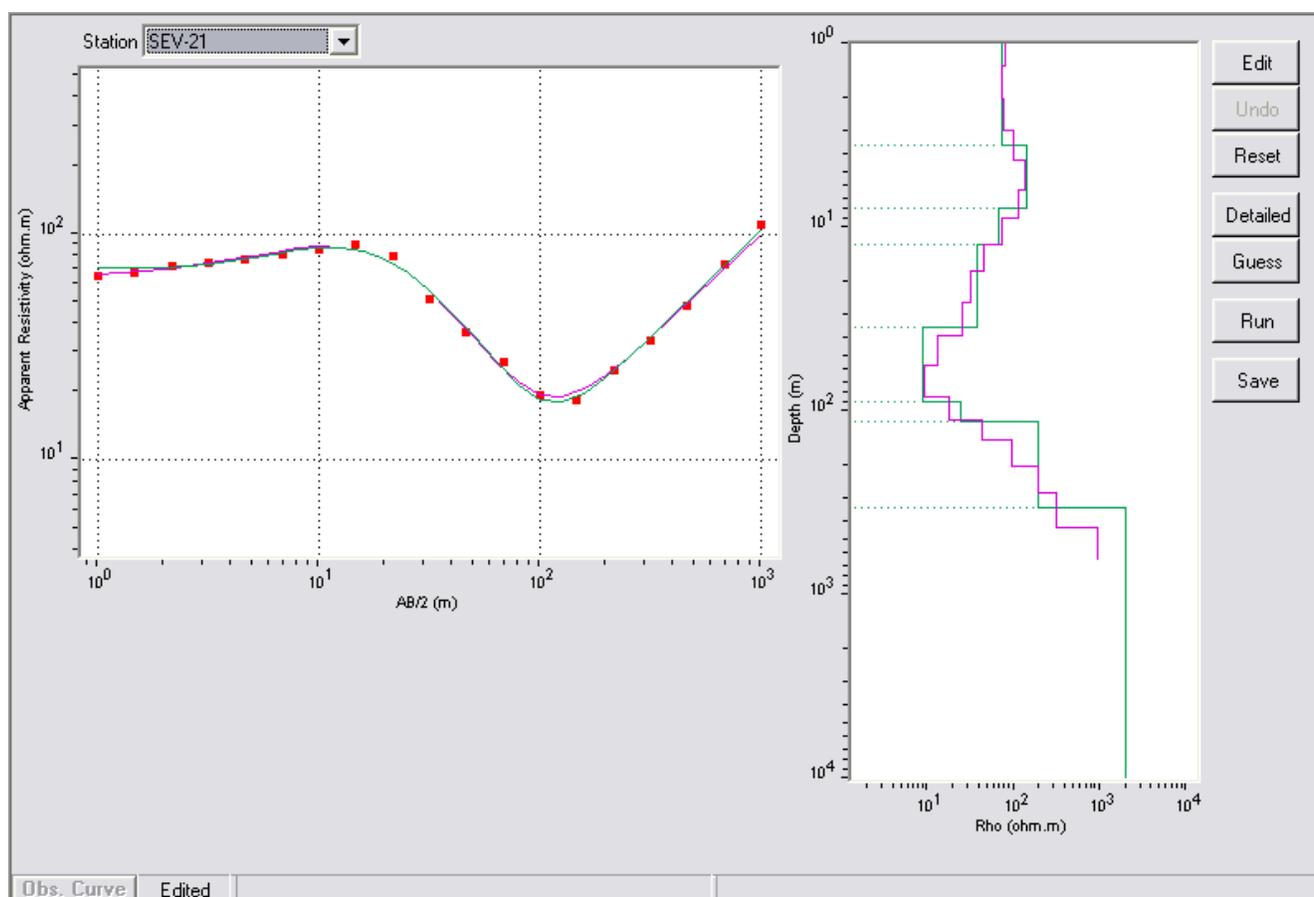
SEV 19



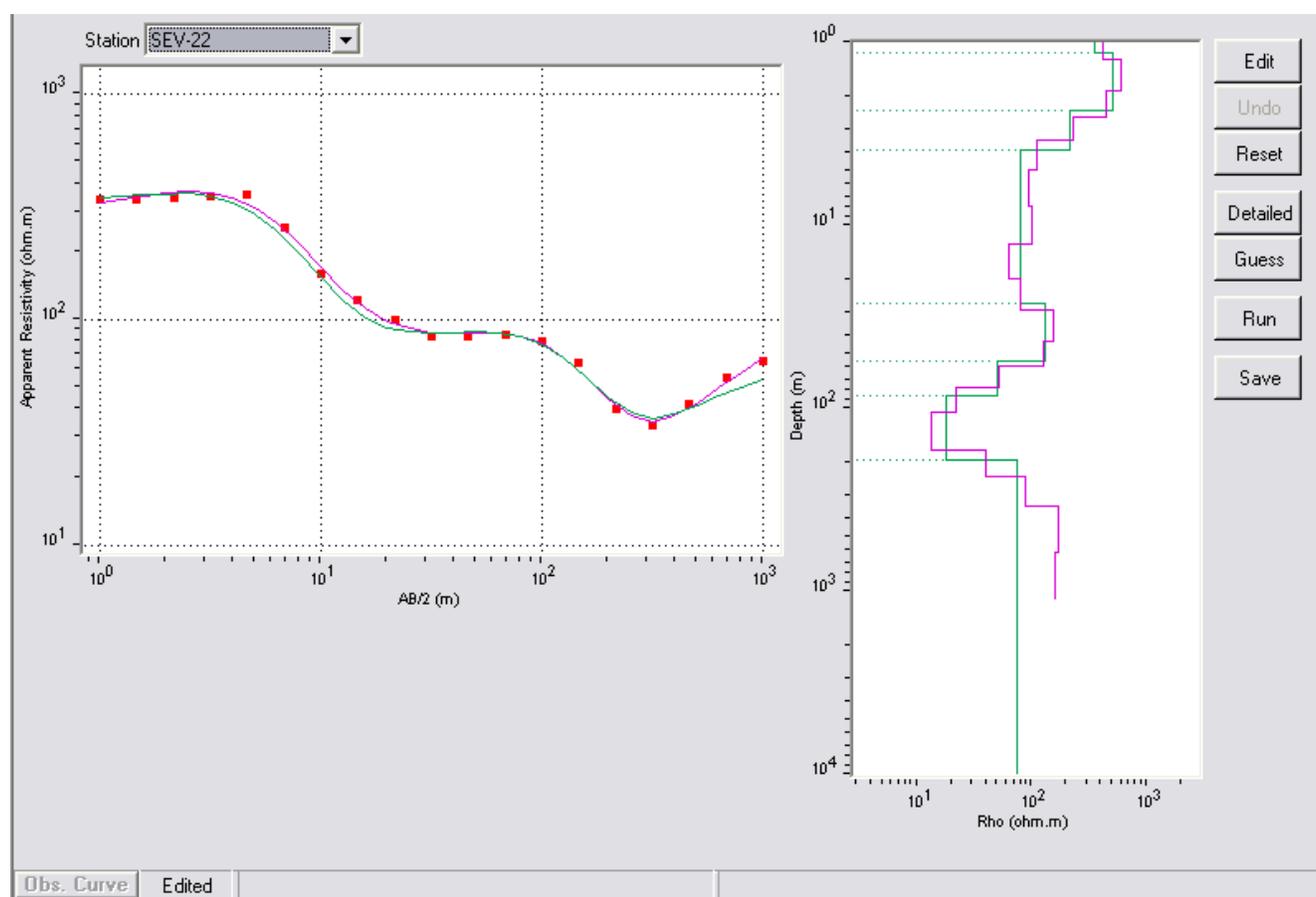
SEV20



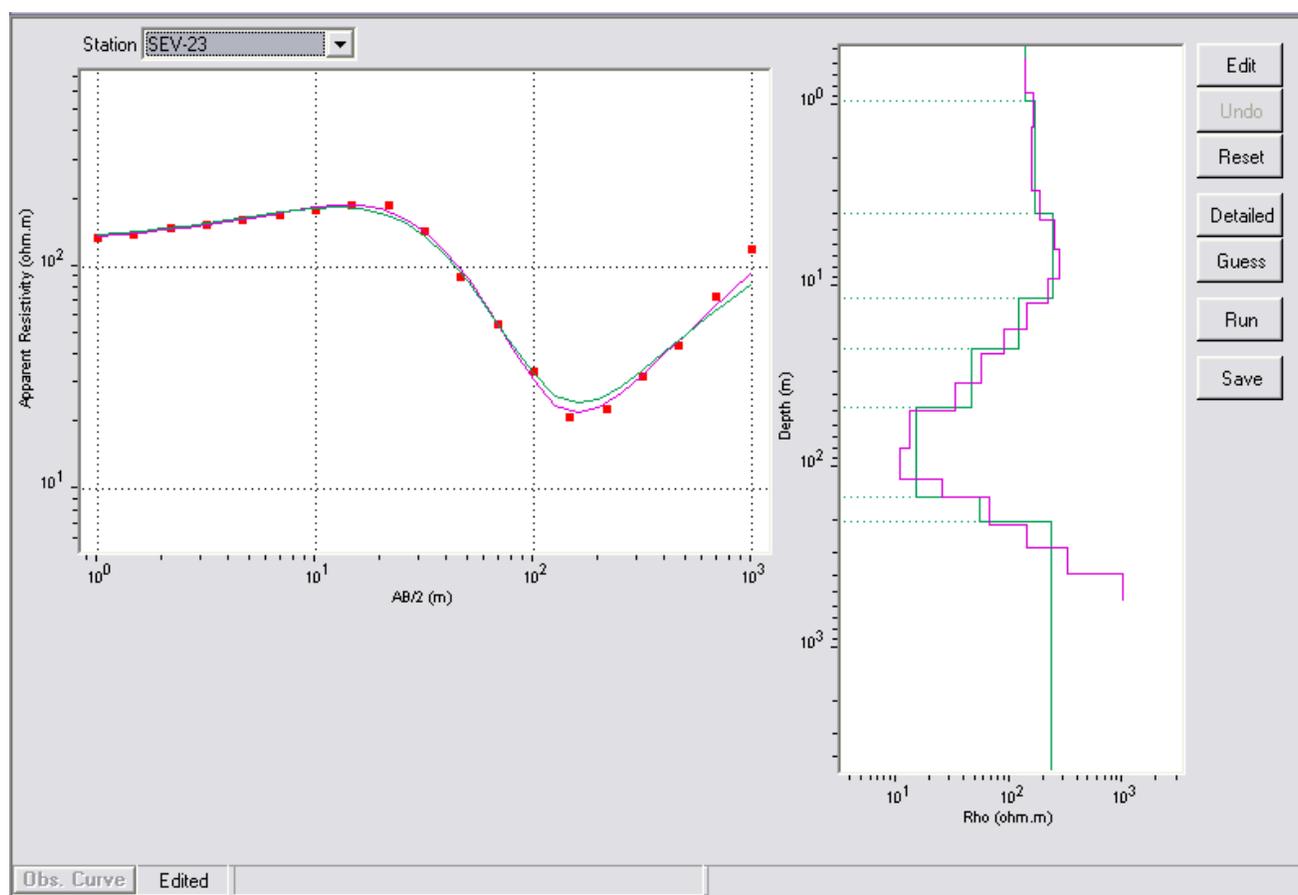
SEV 21



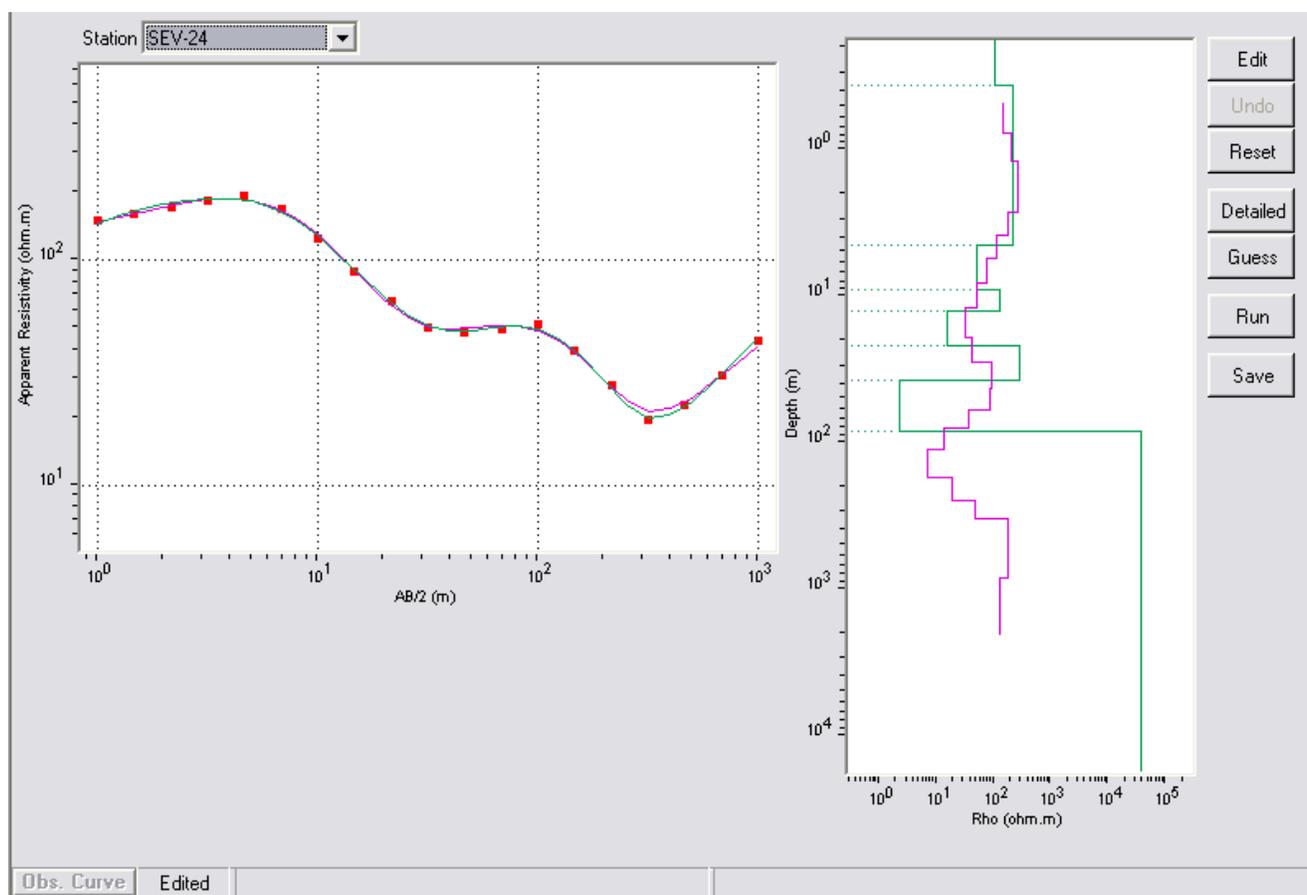
SEV 22



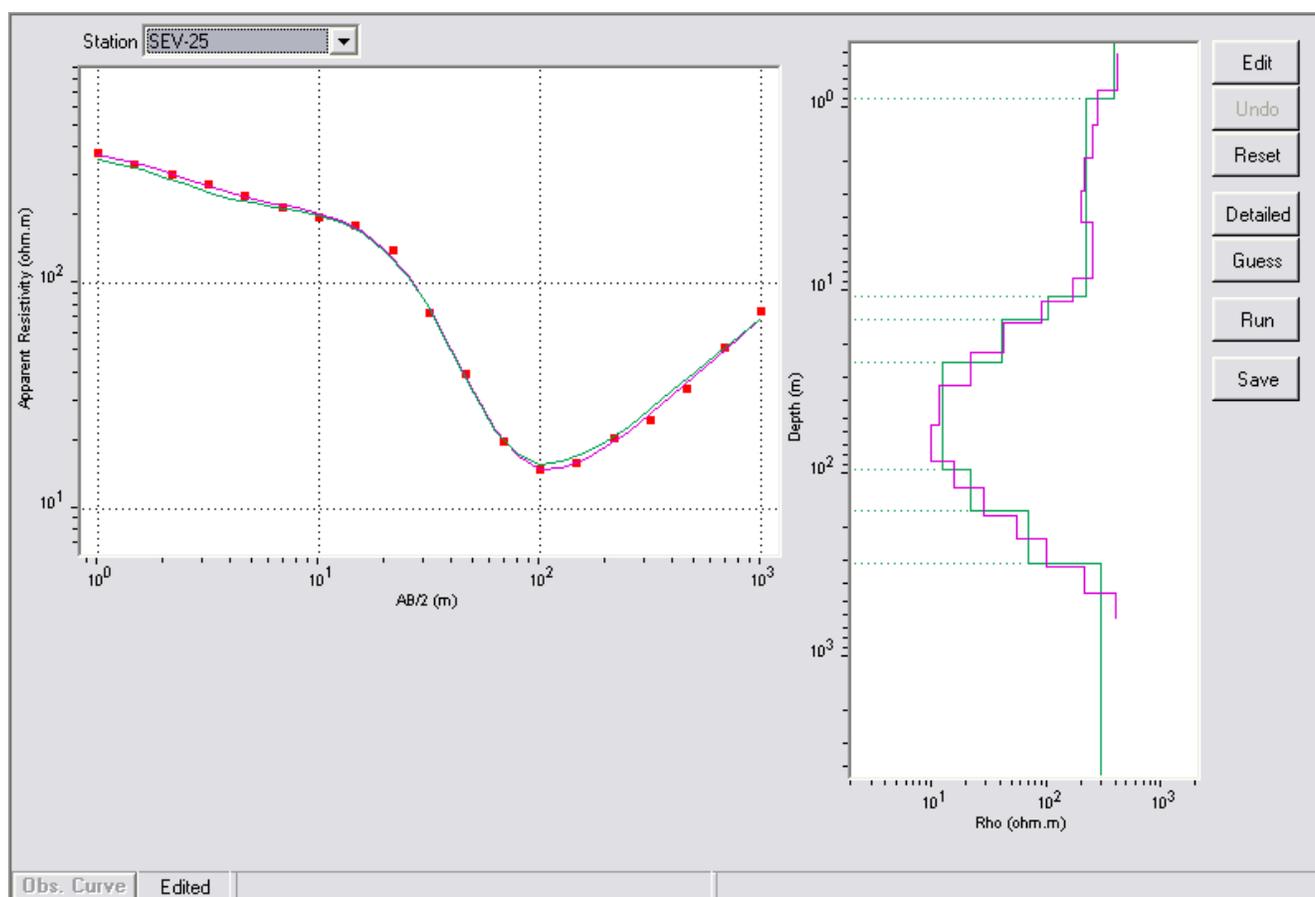
SEV 23



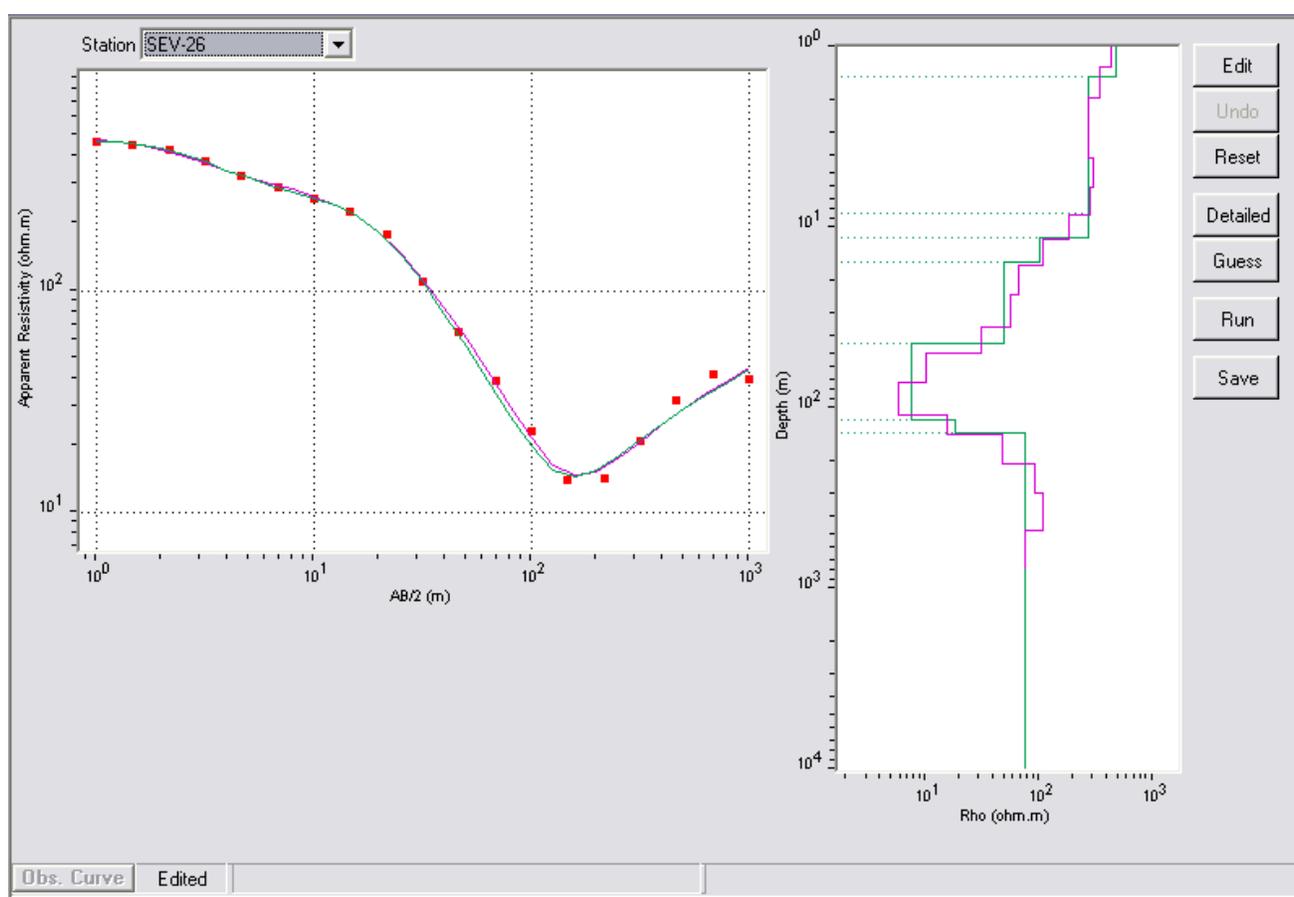
SEV 24



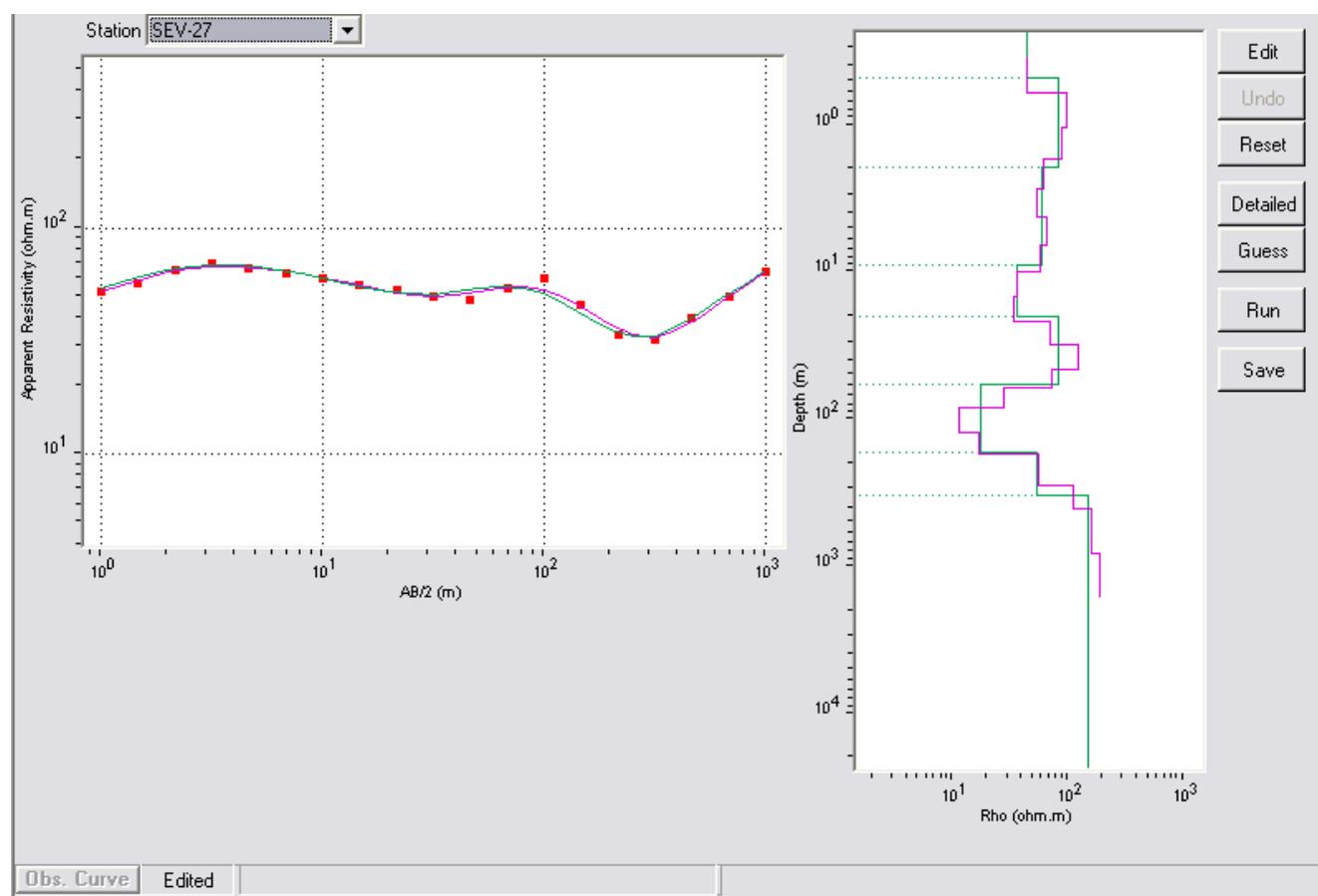
SEV 25



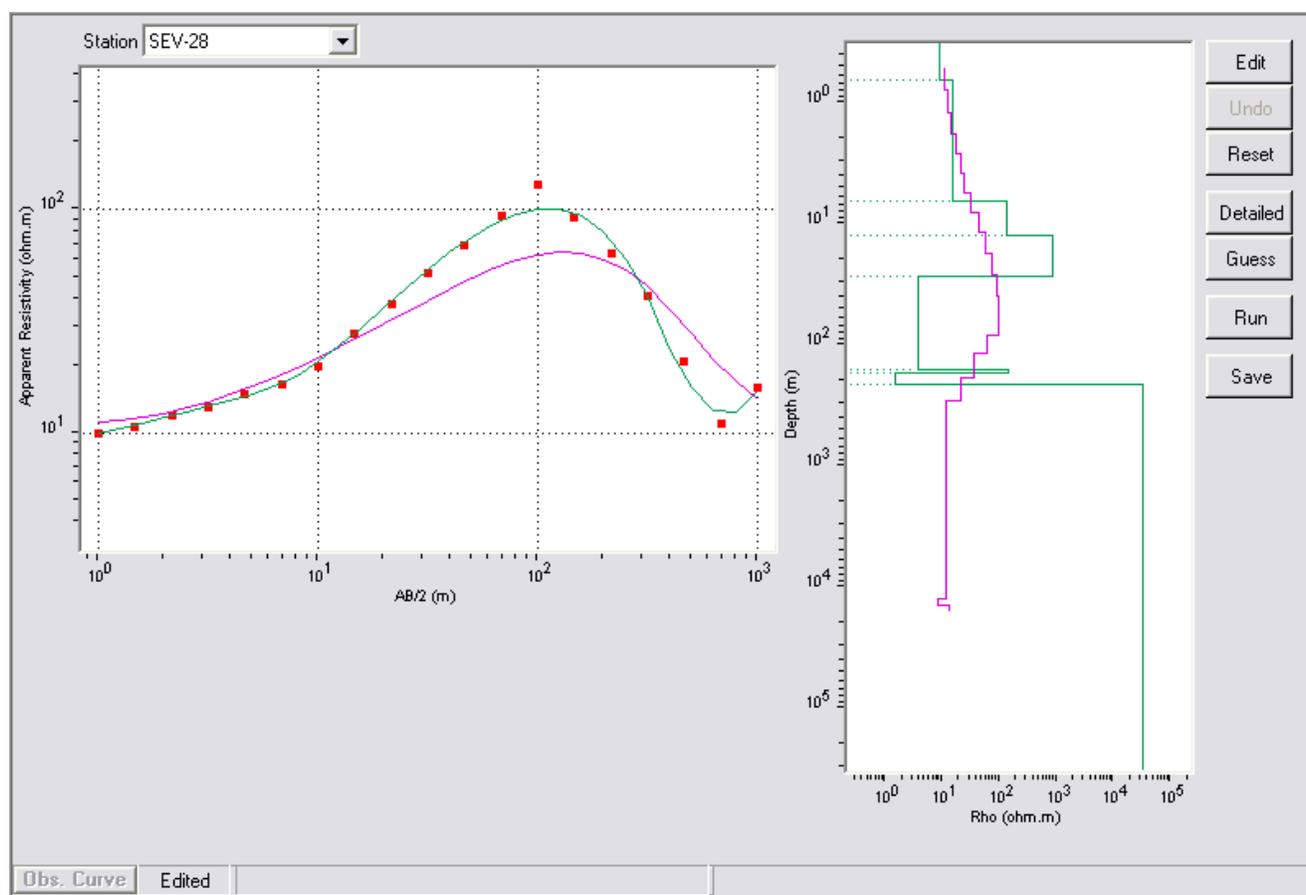
SEV 26



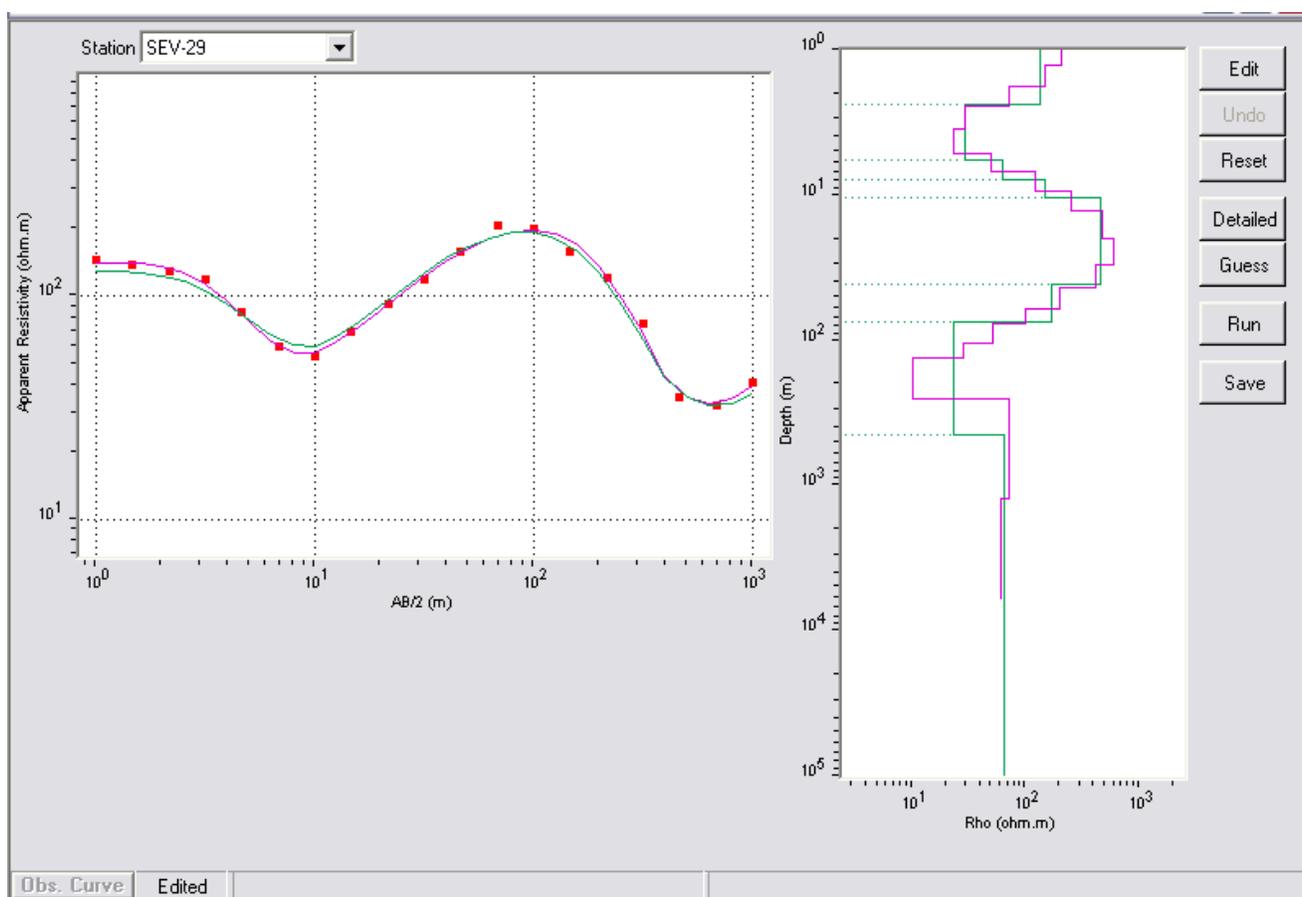
SEV 27



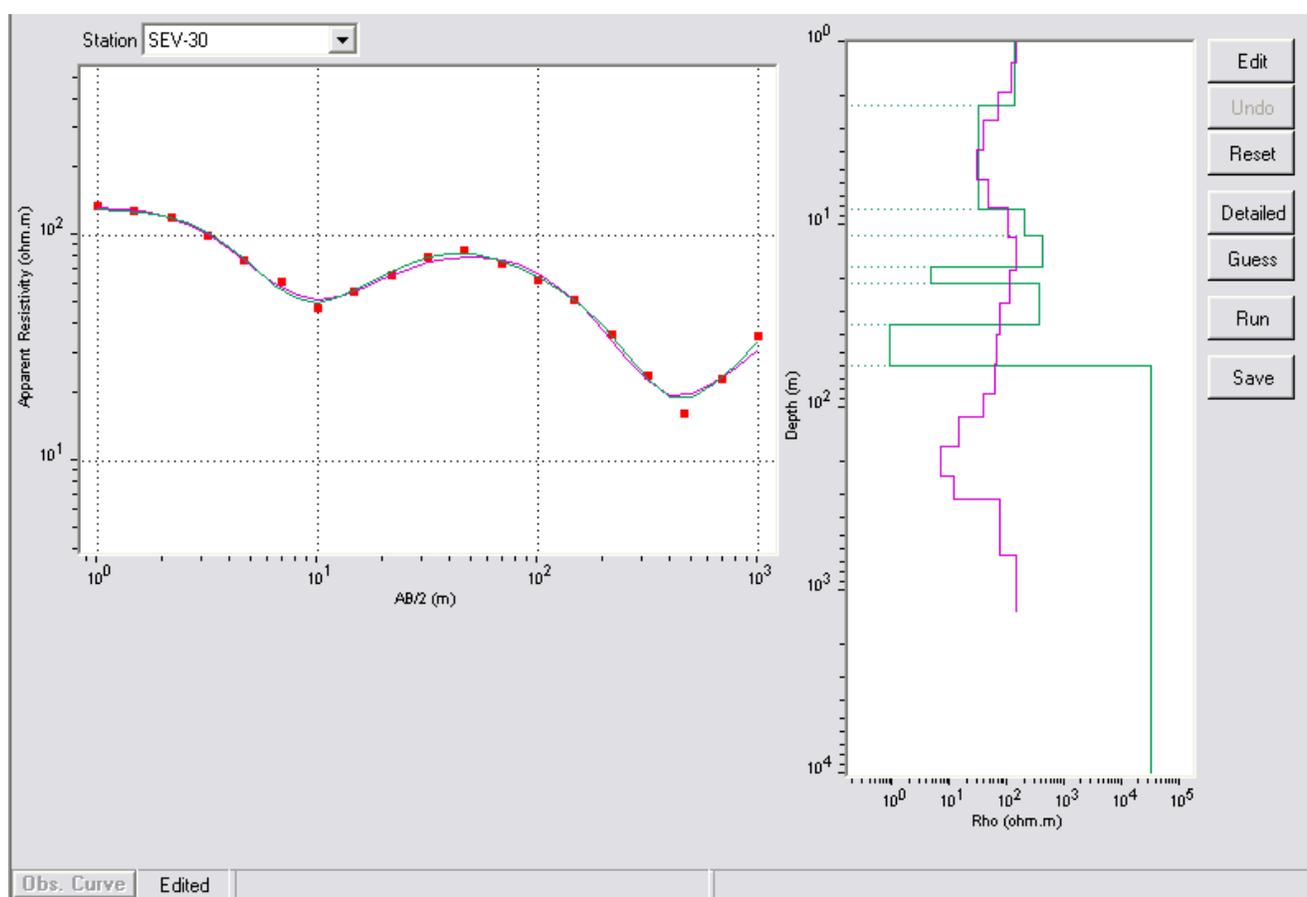
SEV 28



SEV 29



SEV 30



ANEXO 2 MEMORIA FOTOGRÁFICA DE POZOS Y MANANTIALES CENSADOS

Pozo Apotla 1

- ◆ Propietario: Balneario Apotla
- ◆ Este pozo es para uso de Servicios varios.
- ◆ Caudal :
- ◆ Profundidad de la bomba : 40m
- ◆ Profundidad total : 70m
- ◆ Coordenadas: N 18° 41'57.3''
W 99° 14'36.3'' h= 1006 m
- ◆ Observaciones: A 20m se encuentra un pozo inactivo debido a su asolvamiento.



Pozo Apotla
Activo



Pozo Apotla 2
Inactivo

Pozo La Joya

- ◆ Localizado al este del poblado de San José Vista Hermosa
- ◆ Propietario: Comité de Agua Potable del Poblado de Xoxocotla Mor.
- ◆ El caudal que se extrae es de 22lt/seg diario
- ◆ Profundidad Total 100m
- ◆ Observaciones: En el momento no contaba con luz eléctrica para operar la bomba



Pozo Pueblo Nuevo

- ◆ Localizado al este del poblado de San José Vista Hermosa, aproximadamente a 500mts del pozo La Joya
- ◆ Propietario: Comité de Agua Potable del Poblado de Xoxocotla Mor.
- ◆ Caudal que se extrae de éste igual a 7lt/seg durante 5 horas cada tercer día
- ◆ Profundidad Total 60mts.



Pozo Brotante Comunidad de San Gabriel



Pozo Brotante Comunidad de San Gabriel

Noria cerca de la Formación Balsas

N. E. 15 m.



Manantial Chihuahuita

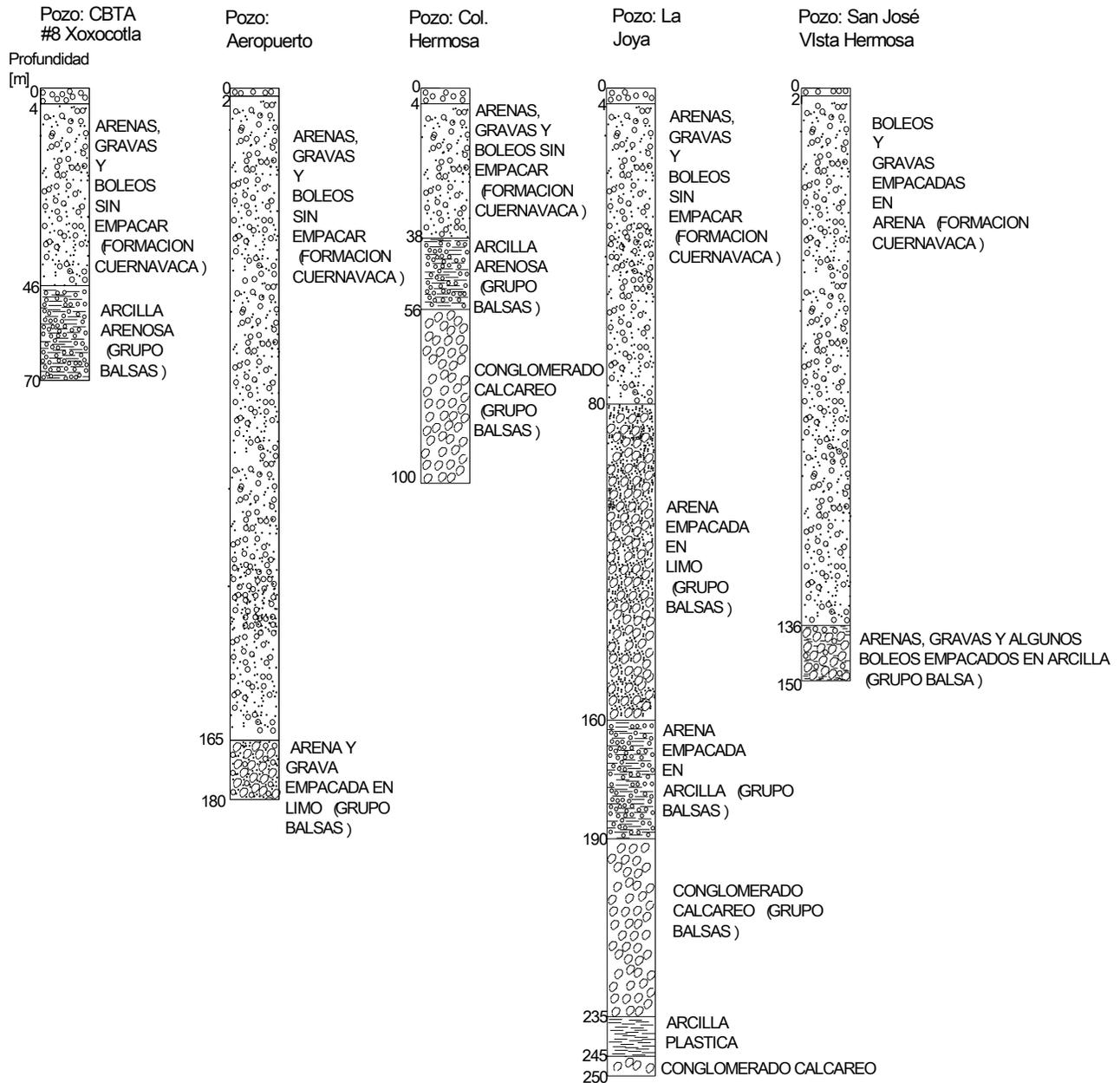
Aflora en Basaltos de la Formación Chichinautzin.





Manantial Chihuahuita

ANEXO 3 CORTES LITOLÓGICOS



ANEXO 4 TABLAS DE PRUEBAS DE BOMBEO

Tabla 1 Datos de prueba de Bombeo TACSA

Pozo de Bombeo	Hacienda "Vista Hermosa "					
Caudal inicial	14.13 l/s	Nivel Estático	68.32		Etapa	Recuperación
Fecha	Hora	Lectura Sonda	t	Observaciones		
		69.73	0.000001			
		68.44	300			
		68.43	360			
		68.42	480			
		68.41	600			
		68.4	720			
		68.39	1080			
		68.38	1500			
		68.38	1800			
		68.36	2700			
		68.34	3600			
		68.33	4500			
		68.32	5400			

Tabla 2 Datos obtenidos en la prueba de bombeo elaborada por Ultra Ingenieros (1983)

Pozo de Bombeo	286	Nivel Estático	21.83 m	Etapa	Abatimiento
Caudal inicial	57 l/s	Lectura Sonda	t	Observaciones	
29/04/1990	11:30:00 a.m.	21.83	0		
		27.6	1		
		28.07	2		
		28.3	3		
		28.75	5		
		29	7		
		29.35	10		
		29.6	15		
		29.85	20		
		30.25	30		
		30.5	40		
		30.7	60		
		30.95	80		
		31.07	100		
		31.13	120		
		31.3	180		
		31.5	240		
		31.64	300		
		31.65	360		
		31.7	420		
		31.74	1440		

Tabla 3 Datos obtenidos en la prueba de bombeo, en la etapa de recuperación, elaborada por
Ultra Ingenieros (1983)

Pozo de Bombeo	286					
Caudal inicial	57 l/s	Nivel Estático	21.83 m		Etapa	Recuperación
Fecha	Hora	Lectura Sonda	t	t'	t/t'	Observaciones
29/04/1990	11:30:00 a.m.	31.74	1440	0		
		25.75	1441	1	1441	
		25.25	1442	2	721	
		24.8	1443	3	481	
		24.5	1444	4	361	
		24.26	1445	5	289	
		24.13	1446	6	241	
		24.05	1447	7	307	
		23.74	1450	10	145	
		23.35	1455	15	97	
		23.07	1462	22	66	
		22.73	1470	30	49	
		22.42	1480	40	37	
		22.23	1490	50	30	
		22.08	1500	60	25	

ANEXO 5 COTIZACIÓN DEL POZO A 250 M

ANTEPRESUPUESTO POZO PUENTE DE IXTLA, MOR. 2010

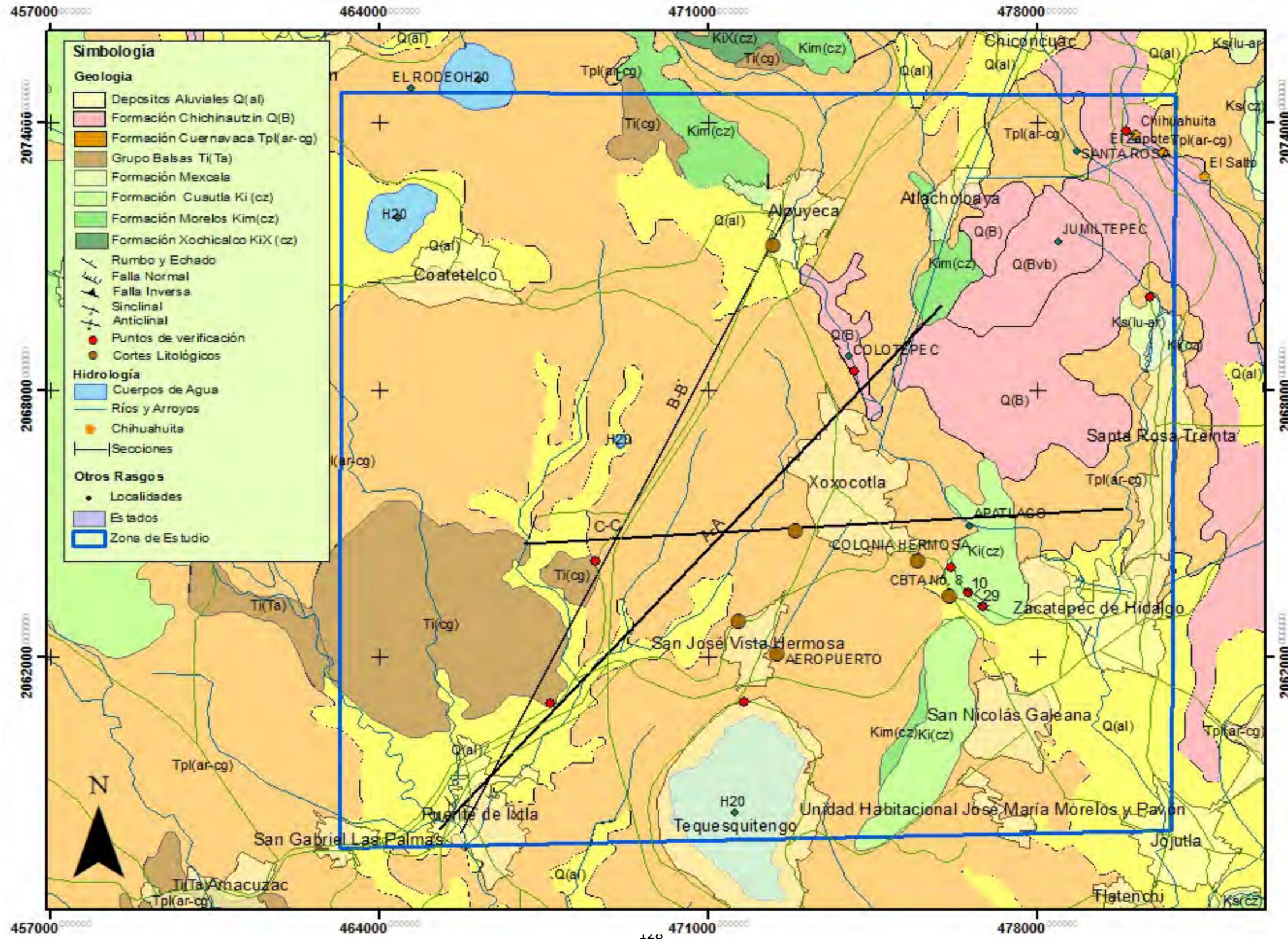
	CONCEPTO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	IMPORTE
1	Movimiento de equipo de perforación hasta una distancia de 15 km.	Lote	6,804.10	1	6,804.10
2	Instalación y desmantelamiento del equipo de perforación.	Lote	6,453.88	1	6,453.88
3	Transporte de equipo por km. Subsecuente a los primeros 15 Km.				
3.1	En camino pavimentado	Km.	39.82	60	2,389.20
3.2	En terracería	Km.	46.67	10	466.70
3.3	En brecha	Km.	69.68	1	69.68
4	Equipo de perforación trabajando, excepto perforación	Hr	1,273.43	24	30,562.32
5	Equipo de perforación ocioso por instrucciones de la CONAGUA	Hr	958.56	12	11,502.72
6	Excavación y relleno de fosas para lodos	Lote	6,238.31	1	6,238.31
7	Conductor para pozos de bombeo	Lote	6,576.50	1	6,576.50
8	Lodo de perforación	M3	238.28	90	21,445.20
9	Acarreo de agua en camión tanque pipa primer Km.	M3	36.92	226	8,343.92
10	Kilómetro subsecuente al primero	M3-Km.	4.85	2260	10,961.00
11	Perforación de pozo 31.12 cm. (12 1/4" nominal) de diámetro				
	En material tipo:				

11.1	De 0 a 100 m de profundidad, en material tipo I	M	589.25	90	53,032.50
11.2	De 0 a 100 m de profundidad, en material tipo II	M	1,036.81	5	5,184.05
11.3	De 0 a 100 m de profundidad, en material tipo III	M	2,144.84	3	6,434.52
11.4	De 100 a 200 m de profundidad, en material tipo I	M	627.91	90	56,511.90
11.5	De 100 a 200 m de profundidad, en material tipo II	M	1,148.52	5	5,742.60
11.6	De 100 a 200 m de profundidad, en material tipo III	M	2,321.44	3	6,964.32
12	Ampliación de 31.12 cm. (12 1/4" nominal) a 45.72 cm.(18" nominal), en material tipo:				
12.1	De 0 a 100 m de profundidad, en material Tipo I	M	465.60	90	41,904.00
12.2	De 0 a 100 m de profundidad, en material Tipo II	M	760.53	5	3,802.65
12.3	De 0 a 100 m de profundidad, en material Tipo III	M	1,605.57	3	4,816.71
12.1	De 100 a 200 m de profundidad, en material Tipo I	M	481.79	90	43,361.10
12.2	De 100 a 200 m de profundidad, en material Tipo II	M	880.67	5	4,403.35
12.3	De 100 a 200 m de profundidad, en material Tipo III	M	1,658.78	3	4,976.34
	Ampliación de 31.12 cm. (12 1/4" nominal) a 66.04 cm.(26" nominal), en material tipo:				
12.1	De 0 a 100 m de profundidad, en material Tipo I	M	867.78	28	24,297.84
12.2	De 0 a 100 m de profundidad, en material Tipo II	M	1,591.25	1	1,524.07
12.3	De 0 a 100 m de profundidad, en material Tipo III	M	3,766.21	1	3,766.21
13.1	Registro eléctrico, para profundidades hasta de 450 m	Reg.	11,048.17	1	11,048.17
14	Colocación de tubería de acero para ademe soldando las juntas con doble arco eléctrico.				
14.1	De 20.32 cm (8") de diámetro	M	52.13	100	5,213.00
14.2	De 35.56 cm. (14") de diámetro	M	69.98	150	10,497.00
	De 55.88 cm. (22") de diámetro	M	100.42	30	3,012.60
14.3					
15	Cementación de tubería para ademe con equipo de perforación	M3	1,603.24	3	4,809.72
17	Suministro y colocación de filtro de grava	M3	1,116.57	25	27,914.25
17.1	Kilómetros subsecuentes al primero	M3-Km.	4.09	250	1,022.50
18	Tratamiento de pozo con dispersor de arcillas	Lt.	44.77	300	13,431.00

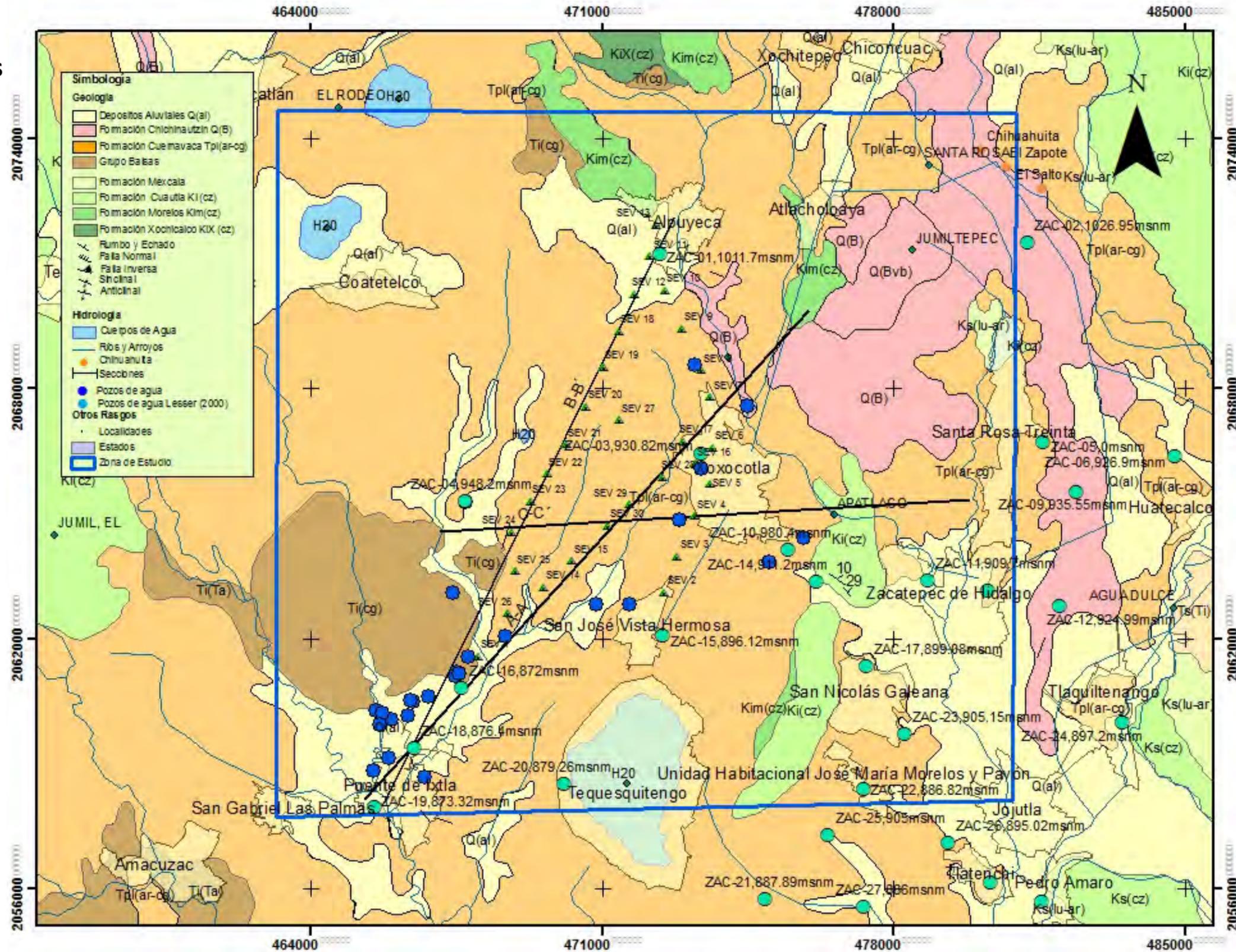
19	Movimiento de unidades neumáticas (600 PCM) en primer Km.	Lote	336.66	1	336.66
19.1	Kilómetros subsecuentes al primero	Km.	21.58	71	1,532.18
19.2	Unidades Neumáticas de alta presión en operaciones	Hr	376.34	24	9,032.16
20	Acarreo de Cemento, Bentonita y similares	Ton	89.75	6	538.50
20.1	Kilómetros subsecuentes al primero	Ton-Km	31.68	480	15,206.40
24	Acarreo y suministro de tubería para ademe de acero				
24.1	Tubería Ranurada de acero de 203.20 mm (8") de diámetro x 6.35 mm (1/4") de espesor	M	750.00	100	75,000.00
24.2	Tubería Lisa de acero de 355.6 mm (14") de diámetro x 6.35 mm (1/4") de espesor	M	1,190.00	100	119,000.00
24.3	Tubería Ranurada de acero, tipo canastilla de 355.6 mm (14") de diámetro x 6.35 mm (1/4") de espesor	M	1,253.00	50	62,650.00
24.4	Tubería Lisa de acero de 558.80.6 mm (22") de diámetro x 6.35 mm (1/4") de espesor	M	2,015.00	30	60,450.00
25.	Registro de vídeo	Reg.	10,000.00	1	10,000.00
26.	Construcción de la caja protectora para el brocal del pozo	Lote	10,000.00	1	10,000.00
27.	Elaboración y entrega de informe final	Inf.	20,000.00	1	20,000.00
	SUBTOTAL				839,229.83
	IVA 16 %				134,276.78
	TOTAL				973,506.61
	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS				
	DIÁM. PERF. PROF. DIÁM. ADEME PROF.				

	121/4"	0-200 M	8" RANURADA	200-250 M				
	26"	0-30 M	22" CEM. LISA	0-30 M				
	18"	30-200 M	14" LISA	30-120 M				
			14" RANURADA	120-200 M				
	N.E 120 M							
	BOMBA DE 8" PARA UM GASTO ENTRE 40 Y 64 LPS, DEPENDE DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL ACUÍFERO.							

Mapa Geológico



Aprovechamientos



Pozos Propuestos

