

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA  
ESCUELA DE FÍSICA



TRABAJO DE GRADUACION  
“MODELO CONCEPTUAL Y VULNERABILIDAD  
INTRÍNSECA DEL ACUÍFERO QUEZALTEPEQUE-NEJAPA”

PRESENTADO POR:  
CÉSAR ARMANDO ALVARADO BATRES

PARA OPTAR AL GRADO DE:  
LICENCIADO EN FÍSICA

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, SEPTIEMBRE DE 2007

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA  
ESCUELA DE FÍSICA



TRABAJO DE GRADUACION  
“MODELO CONCEPTUAL Y VULNERABILIDAD  
INTRÍNSECA DEL ACUÍFERO QUEZALTEPEQUE-NEJAPA”

PRESENTADO POR:  
CÉSAR ARMANDO ALVARADO BATRES

ASESORES: M. Sc. DAGOBERTO AREVALO HERRERA  
M. Sc. JULIO RENE ACOSTA MARTINEZ

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, SEPTIEMBRE DE 2007



## AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR: DRA. MARIA ISABEL RODRIGUEZ

SECRETARIA GENERAL: LIC: ALICIA MARGARITA RIVAS

FISCAL GENERAL: LIC. PEDRO ROSALIO ESCOBAR

## FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICA

DECANO: M. Sc. HECTOR ELIAS

SECRETARIA: LICDA. MARTA NOEMI DE ROSALES

DIRECTOR DE LA  
ESCUELA DE FISICA: LIC. AMERICO MEJIA

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, SEPTIEMBRE DE 2007

## **DEDICATORIA**

- \* A Dios que me ha ayudado en cada momento de mi vida, y esta etapa no fue la excepción.
- \* A mis padres: Blanca Imelda Batres de Alvarado y Encarnación Alvarado Coreas, que gracias a su ayuda completa y desinteresada logre culminar con mis estudios universitarios.
- \* A mi esposa e hijos, Claudia de Jesús Munguia Beltrán, César Alejandro Alvarado Munguia y Claudia Leticia Alvarado Munguia. Que gracias a la motivación y apoyo incondicional y amor he podido finalizar la licenciatura.
- \* A mis hermanos Imelda Guadalupe, Mario Ernesto y Nelson Mauricio. Que por medio de sus palabras de aliento me impulsaron a terminar con mi carrera.
- \* A mis amigos y amigas que de una u otra forma han estado conmigo.
- \* Una dedicatoria muy especial a Leti, ya que durante toda mi carrera me acompaño, dándome toda la ayuda que necesite en los momentos mas difíciles y que hasta hoy sigue caminando a mi lado.

## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar A Dios, ya que sin el no lo hubiera podido lograr.*

*A mis asesores de tesis:*

- ❖ M.Sc. Dagoberto Arévalo Herrera. Y M.Sc. Julio Rene Acosta Martínez. Que se mantuvieron pendientes en cada paso de esta investigación, ya que gracias a ellos se logro mucha colaboración de otras instituciones de manera eficaz.

*A los observadores asignados por la Escuela de Física:*

- ❖ M.Sc. Laura Gil y M.Sc, Luís Alfonso Castillo y M.Sc Nelson E. Cedillos Gómez. Que con sus aportaciones y sugerencias a las diferentes partes del manuscrito legan a la Escuela de Física una fuente importante de consulta para los alumnos que deseen continuar en el área de Hidrogeología.

*En la parte metodologica, se desea agradecer mucho las siguientes instituciones y oficinas:*

- ❖ Universidad de El Salvador.
- ❖ Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS).
- ❖ Alcaldías de Nejapa y Quezaltepeque.
- ❖ Laboratorio de Sistemas de Información Geográfico de la Universidad de El Salvador.
- ❖ Geólogos del Mundo.
- ❖ Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA).

*En especial a:*

- ✓ Muy especial agradecimiento a M.Sc. Laura Gil.
- ✓ Alex Chávez, Karla Rodríguez, José Maria Polo, Don Feliciano, Luís Castillo, Marco Antonio Ayala.

## INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS. _____	<i>iii</i>
INDICE DE FIGURAS. _____	<i>v</i>
INDICE DE ANEXOS. _____	<i>vii</i>
RESUMEN. _____	<i>viii</i>
INTRODUCCION. _____	<i>ix</i>
OBBJETIVOS. _____	<i>x</i>
Capítulo 1 MARCO TEORICO. _____	<b>1</b>
1.2 DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO. _____	1
1.2 UBICACIÓN. _____	1
1.3 RELIEVE NACIONAL. _____	1
1.4 GEOLOGIA. _____	3
1.4.1 Estratos de San Salvador (Holoceno hasta Pleistoceno). _____	5
1.4.2 Estratos de Cuscatlán o Guazapa (Pleistoceno hasta Plioceno). _____	5
1.4.3 Estratos de la Cordillera del bálsamo (Plioceno). _____	6
1.5 PROSPECCION GEOFISICA. _____	7
1.5.1 Métodos Eléctricos. _____	8
1.6 FUNDAMENTOS DE LA PROSPECCION ELECTRICA POR CORRIENTE CONTINUA. _____	9
1.7 TECNICA DEL SONDEO ELECTRICO VERTICAL. _____	12
1.7.1 Arreglo Schlumberger. _____	13
1.8 INFILTRACION DEL AGUA EN EL SUELO. _____	14
1.8.1 infiltración. _____	14
1.8.2 Factores que influyen en el proceso de infiltración. _____	15
1.8.3 Ecuación de infiltración. _____	16
1.8.4 Método de los cilindros infiltrometros. _____	17
1.9 VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION DE ACUIFEROS. _____	17
1.9.1 Principios básicos para la evaluación de la Vulnerabilidad. _____	18
1.9.2 Aplicación del índice de vulnerabilidad GOD. _____	19
Capítulo 2 METODOLOGIA. _____	<b>24</b>

2.1	Investigación de parámetros físicos de la zona de estudio.	24
2.1.1	Geología.	24
2.1.2	Litología.	24
2.1.3	Precipitación.	24
2.1.4	Evaporación.	24
2.1.5	Topología.	24
2.1.6	Hidrogeología.	25
2.1.7	Uso de la Tierra.	26
2.2	Medición de parámetros físicos in situ.	26
2.2.1	Ubicación de pozos y manantiales.	26
2.2.2	Pruebas de Infiltración.	30
2.2.3	Sondeos Eléctricos Verticales.	31
2.2.4	Perfil Geológico.	32
 <b>Capítulo 3 RESULTADOS Y ANALISIS.</b>		<b>34</b>
1.1	MODELO CONCEPTUAL.	34
1.2	INDICE DE VULNERABILIDAD GOD.	42
1.2.1	Grado de confinamiento hidráulico (G).	42
1.2.2	Ocurrencia del sustrato suprayacente (O).	44
1.2.3	Distancia al nivel del agua subterráneo o techo del acuífero. (D).	46
1.2.4	Vulnerabilidad del acuífero (índice GOD).	48
 <b>Capítulo 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>		<b>50</b>
4.1	CONCLUSIONES.	50
4.2	RECOMENDACIONES.	51
 <b>BILIOGRAFIA.</b>		<b>53</b>
<b>ANEXOS.</b>		<b>54</b>



## INDICE DE TABLAS

### Capítulo 1

Tabla I.1: Escala del tiempo geológico, proporcionado por el Centro de Investigaciones Geotécnicas (M.O.P.).	_____	3
TABLA I.2. Definiciones de cada una de las clases de vulnerabilidad.	_____	19
TABLA I.3. Esta tabla muestra los parámetros a utilizar para determinar el índice de vulnerabilidad de contaminación del acuífero. (Foster, et al,2003).	_____	21
Tabla I.4 Factores hidrogeológicos que controlan la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos.	_____	22

### Capítulo 2

TABLA II.1 Muestra la información recolectada en el inventario de pozos del municipio de Nejapa.	_____	26
TABLA II.2 Muestra la información recolectada en el inventario de pozos de los municipios de Apopa y Quezaltepeque.	_____	28
TABLA II.3 Muestra la información recolectada en el inventario de manantiales de los municipios de Nejapa, Apopa y Quezaltepeque.	_____	29
TABLA II.4 Muestra la información recolectada en el desarrollo de las pruebas de infiltración en Nejapa, Apopa y Quezaltepeque.	_____	29

## Capítulo 3

Tabla III.1 Muestra el índice de la ocurrencia del sustrato suprayacente.	_____	44
Tabla III.2 Muestra el índice de la distancia al nivel del agua subterránea (no confinado) o al techo del acuífero (semiconfinado).	_____	46
Tabla III.3 Muestra el índice de vulnerabilidad intrínseca del acuífera Quezaltepeque-Nejapa, obtenido a través de la aplicación de la metodología GOD.	_____	48

## INDICE DE FIGURAS

### Capítulo 1

Figura 1.1: Ubicación de la zona de estudio.	_____	2
Figura 1.2: Mapa geológico de la zona de estudio.	_____	4
Figura 1.3 Inyección de corriente en un terreno.	_____	10
Figura 1.4: Esquema de la composición de los electrodos del sondeo eléctrico vertical.	_____	12

### Capítulo 2

Figura 2.1 Muestra la medición de parámetros de los pozos en la zona de estudio.	_____	25
Figura 2.2 Muestra la aplicación de la prueba de infiltración.	_____	30
Figura 2.3 Muestra la realización del sondeo eléctrico vertical.	_____	31
Figura 2.4. La imagen muestra los datos del Sev24-06, con un error 9.52%, utilizando Ipi2win.	_____	32
Figura 2.5. Perfil geológico 1-1´.	_____	33

### Capítulo 3

Figura 3.1. Muestra, la distribución de las unidades hidrogeológicas, sobre el área de estudio en el acuífero de Quezaltepeque-Nejapa.	_____	35
Figura 3.2. Mapa de curvas isofreáticas.	_____	37
Figura 3.3 Perfil geológico 2-2´	_____	38
Figura 3.4 Perfil geológico 3-3´	_____	39
Figura 3.5 Perfil geológico 4-4´	_____	40
Figura 3.6 Perfil geológico 6-6´	_____	41
Figura 3.7 Muestra el mapa del grado de confinamiento de la zona de estudio.	_____	43

Figura 3.8 Muestra el mapa de ocurrencia del sustrato suprayacente de la zona de estudio.	_____	45
Figura 3.9 Muestra el mapa de distancia al nivel de agua de la zona de estudio.	_____	47
Figura 3.10 Muestra el índice GOD de la zona de estudio.	_____	49

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa Hidrogeológico de El Salvador, cortesía de SNET.	_____	55
Anexo 2. Cuenca del río Lempa de El Salvador. Cortesía de SNET.	_____	56
Anexo 3. División de la Cuenca del Río Lempa del PLAMDARH, cortesía SNET.	_____	57
Anexo 4. Distribución de pozos en la zona de estudio.	_____	58
Anexo 5. Distribución de pruebas de infiltración en la zona de estudio.	_____	59
Anexo 6. Distribución de sondeos eléctricos verticales en la zona de estudio.	_____	60
Anexo 7. Distribución de perfiles en la zona de estudio.	_____	61
Anexo 8. Datos de campo de los sondeos eléctricos verticales procesados en hoja de Excel.	_____	62
Anexo 9. Modelos de interpretación de 34 sondeos eléctricos verticales con el arreglo Schlumberger realizados en la zona de Quezaltepeque-Nejapa en el periodo de 12 de mayo de 2006 al 12 de julio de 2006.	_____	96
Anexo 10. Perfiles geoelectrónicos realizados con la información geológica, estratigráfica y geofísica.	_____	113

## RESUMEN

La zona de estudio es el acuífero de Quezaltepeque-Nejapa, esta ubicado en la frontera de los departamentos de La Libertad y San Salvador respectivamente y pertenece a la cuenca del río San Antonio.

El objetivo principal es la determinación de un modelo conceptual hidrológico y su vulnerabilidad intrínseca del acuífero aplicando la metodología GOD. Por la importancia que tiene para el suministro del recurso hídrico de la zona metropolitana y de los municipios de Quezaltepeque y Nejapa.

Se realizaron sondeos eléctricos verticales con el arreglo Schlumberger, cuya correlación con la litología de los pozos en la zona de estudio y la geología superficial, sirvieron de base para la aplicación de la metodología GOD. También se realizaron pruebas de infiltración con el método de los cilindros infiltrometros y se correlacionaron con los registros de evapotranspiración y precipitación. Sirviendo de base para la determinación del modelo conceptual.

Los resultados demuestran que el acuífero de Quezaltepeque-Nejapa, se encuentra en una capa geoelectrica con resistividades entre 10 y 100  $\Omega$  m. asociada a depósitos piroclásticos y alteraciones de lavas fracturadas.

Las líneas de flujo muestran que el río San Antonio tiene un comportamiento efluente y recibe parte de la descarga del acuífero.

El acuífero presenta vulnerabilidad que va desde despreciable hasta alta, siendo en las lavas fracturadas y depósitos piroclásticos donde varía de baja a media. El área más cercana al volcán de San Salvador es donde se encuentra un índice de alta vulnerabilidad. y donde no existe capacidad de acuífero, en la parte norte de la zona de estudio es despreciable la vulnerabilidad.

Dados los resultados, es importante la realización a corto plazo de medidas de protección del acuífero para el uso sostenible del recurso hídrico, iniciando con la delimitación del área de recarga del acuífero. Así como también el uso restringido de la tierra.

## INTRODUCCIÓN

El Salvador tiene una extensión territorial de 20,740 Km<sup>2</sup> y una población superior a los 6 millones de habitantes. Por lo tanto la demanda de agua en un país densamente poblado es enorme.

El Salvador se divide en diez regiones o cuencas hidrográficas, cuya división ha sido realizada por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). Cada cuenca se le ha asignado con el nombre de región, desde la región A hasta la región J. La cuenca del río Lempa (región A), es la más importante del país ya que abarca en mayor porcentaje al país con un área de 10,255 Km<sup>2</sup> y un perímetro de 933 Km.

Las principales zonas de recarga de los acuíferos (formaciones geológicas que contienen recursos hídricos utilizables) en el país, se encuentran en los volcanes de San Salvador, Santa Ana, San Miguel, San Vicente y Conchagua; cada acuífero presenta una dimensión superficial establecida y por lo tanto un volumen de recarga determinada.

Los recursos hídricos estimados en El Salvador son de aproximadamente 17971,3 millones de metros cúbicos. Estos recursos se distribuyen en 65.75 por ciento a recursos superficiales y 34.25 por ciento a recursos subterráneos (Losilla, et al 2005). Aproximadamente un 51 % de habitantes tiene acceso al agua potable y de esta el 81 % es abastecido con agua subterránea.

De ahí la gran importancia de los acuíferos, puesto que en el país no existe una percepción y concientización de parte de la sociedad ante los problemas de la calidad de los recursos hídricos subterráneos y la degradación de los mismos.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo conceptual y determinar la vulnerabilidad aplicando la metodología GOD del acuífero Quezaltepeque-Nejapa. Para este propósito fue necesario realizar 34 sondeos eléctricos verticales, 15 pruebas de infiltración y se obtuvo la información de la geología de la zona, con la ayuda de 75 pozos, 55 excavados y 20 perforados. Para la aplicación de la metodología GOD (por sus siglas en inglés *Groundwater Hydraulic confinement, Overlaying strata, Depth to groundwater*) y la elaboración del mapa de vulnerabilidad fue necesario utilizar el programa “Arc View Gis 3.1” para presentar el producto final.

## OBJETIVOS

### GENERAL

Proponer el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero Quezaltepeque-Nejapa y evaluar su vulnerabilidad intrínseca, caracterizando parámetros como litología, capacidad de infiltración, profundidad del agua y dirección del agua.

### ESPECIFICOS

- Realizar perfiles hidrogeológicos basados en la información recolectada de los Sondeos Eléctricos Verticales, utilizando el arreglo de Schlumberger y el inventario de pozos.
- Proponer el modelo hidrogeológico conceptual en base a la información obtenida de las pruebas de infiltración, utilizando el método de los cilindros infiltrómetros, perfiles geoelectrónicos, perfiles litológicos, valores de precipitación y evapotranspiración.
- Aplicar la metodología GOD para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos de la zona de estudio.



# Capítulo 1                      MARCO TEORICO

## 1.1 DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO.

## 1.2 UBICACIÓN.

La zona de estudio esta ubicada en los departamentos de San Salvador y La Libertad, en los municipios de Quezaltepeque y Nejapa (figura 1.1).

## 1.3 RELIEVE NACIONAL.

La mayor parte del territorio salvadoreño se distingue por una topografía montañosa debido a las actividades volcánicas y tectónicas que experimentó en su proceso formativo. La característica geológica más perceptible es la cadena de volcanes del periodo final del Pleistoceno en la región meridional del país. Los rasgos geomorfológicos más notables del relieve son:

- I. Planicie aluvial costera.
- II. Cadena costera.
- III. Meseta o fosa central.
- IV. Cadena interior.
- V. Cordillera fronteriza.

Los municipios de Quezaltepeque y Nejapa corresponden a la denominada Meseta o Fosa Central a una altitud de 200 a 500 msnm. Debido a que este espacio corresponde entre la Cadena Costera y la Cordillera Fronteriza caracterizado por una topografía plana comparada con las fuertes pendientes de los sistemas orográficos que la limitan. Se extiende de Este a Oeste a todo lo largo de la república con una longitud de unos 240 kilómetros y una anchura promedio de 45 a 50 kilómetros. Cubre unos 10197 kilómetros cuadrados. A lo largo de su extensión emergen cuatro prominencias que por su elevación y por estar alineadas siempre se han considerado un sistema orográfico diferenciado; al cual se denomina cadena Interior (Centro nacional de Registro; 2000).

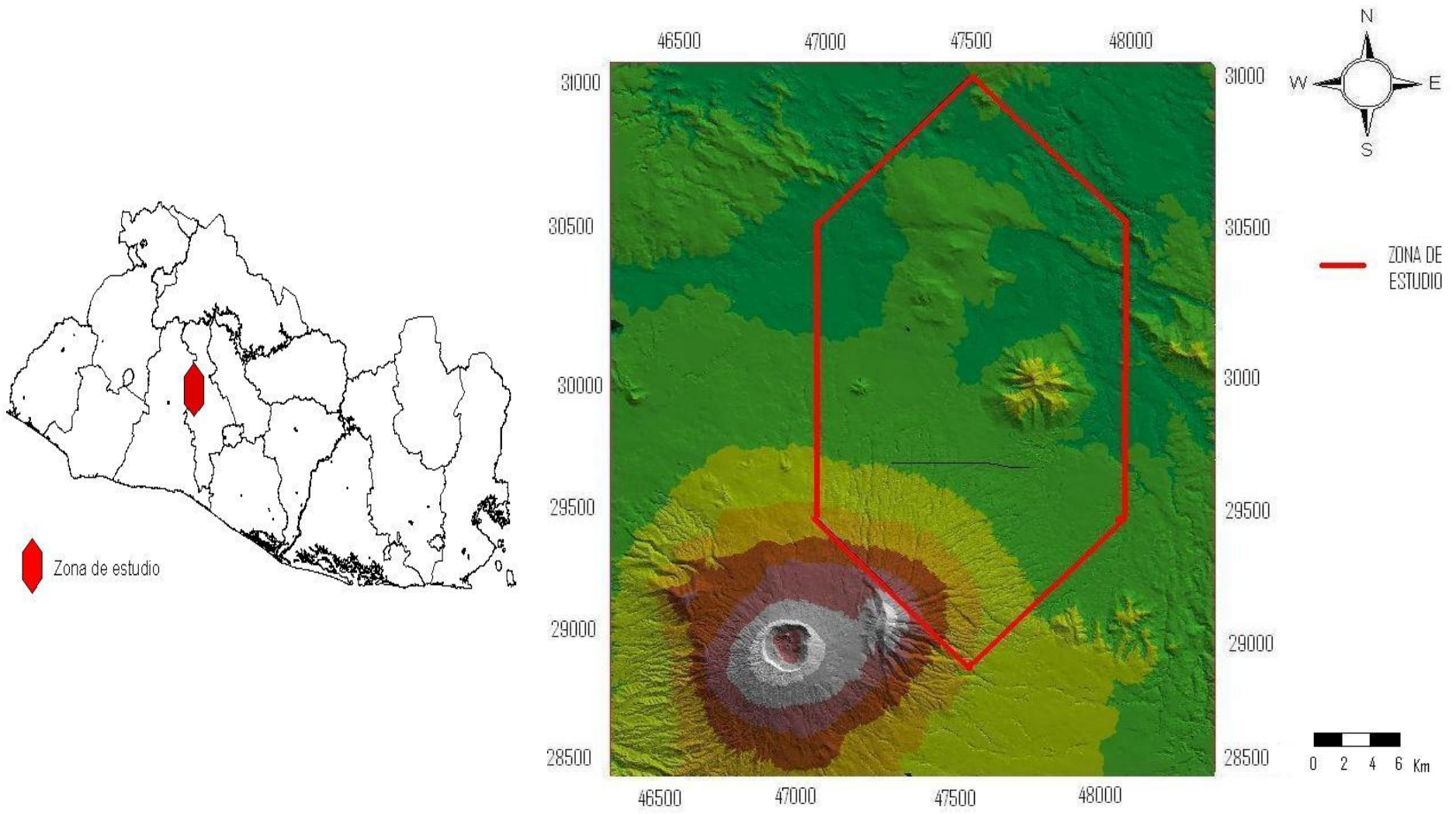


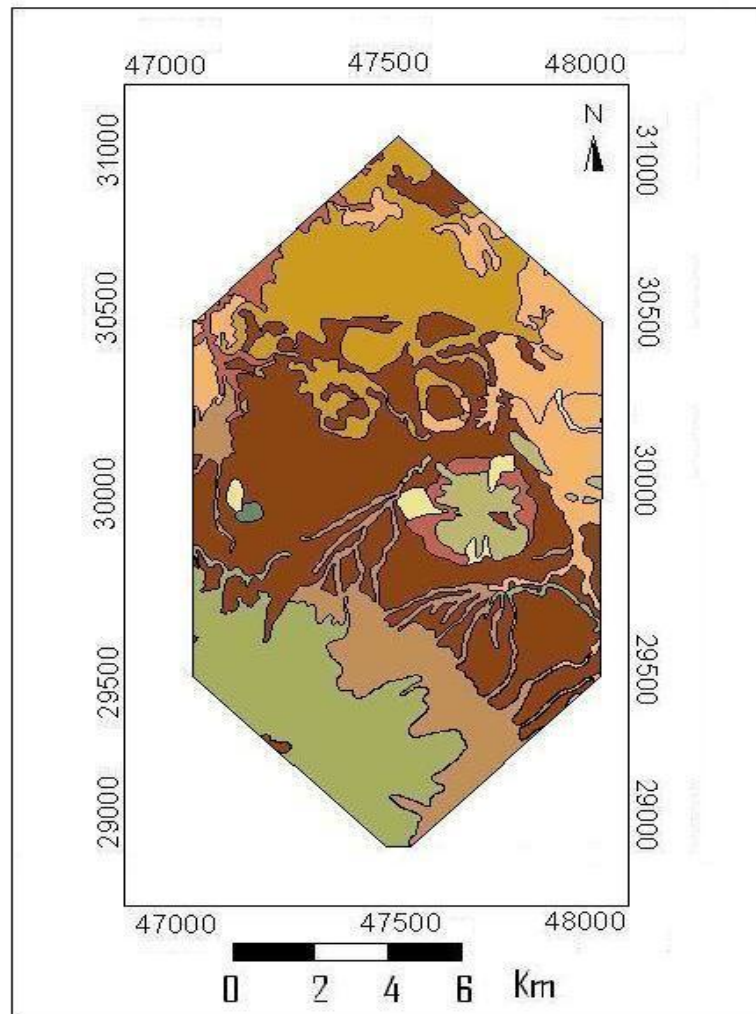
Figura 1.1 Ubicación de la zona de estudio.

#### 1.4 GEOLOGÍA.

Un 25% del territorio nacional es de edad Pleistocénica y un 70% está cubierto por rocas de edad Terciaria, predominando la época Pliocénica. Por eso, las capas de edad Cretácica, que cubren aproximadamente el 5% del territorio salvadoreño no juegan un papel importante para la constitución geológica total de la república. Solamente estas últimas capas son de origen sedimentario marino, todas las demás rocas, con pocas excepciones, están originadas por fenómenos volcánicos. También se conocen algunas rocas Intrusivas que pertenecen a la época del Mioceno; es decir, también son terciarias.

Tabla I.1 Escala del tiempo geológico, proporcionado por el Centro de Investigaciones Geotécnicas (M.O.P.) 2000.

ERA	PERIODO	EPOCA	Millones de años antes del presente
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	0.011 hasta el presente
		Pleistoceno	1.8 hasta 0.011
	Terciario	Plioceno	5 hasta 1.8
		Mioceno	23 hasta 5
		Oligoceno	38 hasta 23
		Eoceno	54 hasta 38
		Paleoceno	65 hasta 54
Mesozoico	Cretácico		146 hasta 65
	Jurásico		208 hasta 146
	Triásico		245 hasta 208
Paleozoico	Pérmico		286 hasta 245
	Carbonífero		360 hasta 286
	Devónico		410 hasta 360
	Silúrico		440 hasta 410
	Ordovícico		505 hasta 440
	Cámbrico		544 hasta 505
Precámbrico			4500 (origen de la Tierra) hasta 544



### Miembros geológicos.

- b1** Epiclastitas volcánicas y piroclásticas; localmente, rocas efusivas básicas-intermedias intercaladas.
- b2** Efusivas básicas-intermedias, piroclásticas, epiclastitas volcánicas subordinadas (estratos no diferenciados y edificios volcánicos).
- b3** Efusivas básicas intermedias.
- c1** Piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas (ignimbritas).
- c2** Efusivas ácidas e intermedias-ácidas.
- c3** Efusivas básicas intermedias.
- Qf** Depósitos sedimentarios del cuaternario.
- s2** Efusivas básicas-intermedias, piroclásticas subordinadas.
- s3a** Piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas (tobas color café).
- s4** Piroclásticas ácidas y epiclastitas volcánicas subordinadas; localmente efusivas ácidas (tierra blanca).
- s5a** Efusivas básicas intermedias (lavas escoriáceas).
- s5b** Conos de acumulación (escorias, tobas de lapilli, cinder).
- s5c** Cenizas volcánicas y tobas de lapilli (s5' c).

Figura 1.2 Mapa geológico de la zona de estudio.

#### 1.4.1 Estratos de San Salvador ( Holoceno hasta Pleistoceno)

Son productos extrusivos de los volcanes individuales de la cadena volcánica joven que atraviesa la parte sur del país. Estos productos son: corrientes de lava, cúpulas de lava, tobas fundidas, tobas, pómez, escoria y cenizas volcánicas, que se encuentran a veces intercalados con sedimentos lacustres. El espesor de los estratos y la sucesión varía de volcán a volcán. También se encuentran suelos fósiles color café y negro a poca profundidad (hasta 4 metros).

La formación de San Salvador se ha dividido en 8 miembros:

- a) Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas; localmente efusivas básicas-intermedias (s1).
- b) Efusivas básicas-intermedias, piroclastitas subordinadas (s2).
- c) Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas (tobas color café) (s3´a)
- d) Efusivas acidas (s3´b).
- e) Piroclastitas acidas y epiclastitas volcánicas subordinadas; localmente efusivas acidas (tierra blanca) (s4).
- f) Efusivas básicas intermedias (lavas escoriáceas) (s5´a).
- g) Conos de acumulación (escorias, tobas de lapilli, cinder) (s5´b).
- h) Cenizas volcánicas y tobas de lapilli (s5´c).
- i) Depósitos sedimentarios del cuaternario (Qf).

#### 1.4.2 Estratos de Cuscatlán o Guazapa (Pleistoceno hasta Plioceno)

Son productos extrusivos de los volcanes individuales de la cadena volcánica vieja que atraviesa la parte norte del país. Estos productos son: corrientes de lava, aglomerados, tobas, escorias y cenizas volcánicas endurecidas y tobas fundidas con intercalaciones de sedimentos lacustres y fluviales. El espesor de los estratos y su sucesión varía de volcán a volcán. También se encuentran suelos fósiles de color rojo de poca profundidad (hasta 4 metros). Esta formación se divide en tres miembros:

- a) Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas (ignimbritas) (c1).
- b) Efusivas acidas e intermedias-acidas (c2).
- c) Efusivas básicas intermedias (c3).

### 1.4.3 Estratos de la Cordillera del bálsamo (Plioceno)

Compuestos por productos volcánicos en los cuales prevalecen los aglomerados con intercalaciones de tobas endurecidas y corrientes de lava basáltica-andesítica con un espesor aproximado de 500 m. también hay suelos fósiles de color rojo de gran profundidad (hasta 20 m). Además, se encuentran rocas extrusivas con pocas intercalaciones de tobas y aglomerados; la parte inferior es de carácter andesítico y la parte superior basáltica. Hay afloramientos más ácidos (hasta riolíticos) sobre todo en el este del país. El espesor aproximado de esta serie es mayor de 1000 m.

Esta formación comprende tres miembros:

- a) Epiclastitas volcánicas y piroclastitas; localmente, rocas efusivas básicas-intermedias intercaladas (b1).
- b) Efusivas básicas-intermedias, piroclastitas, epiclastitas volcánicas subordinadas (estratos no diferenciados y edificios volcánicos) (b2).
- c) Efusivas básicas intermedias (b3).

Principalmente el área de estudio esta constituido en superficie por los siguientes miembros de las formaciones de San Salvador, Cuscatlán y Bálsamo:

#### A) Formación San Salvador:

- 1) Piroclastitas acidas y epiclastitas volcánicas subordinadas; localmente efusivas acidas (tierra blanca) (s4).
- 2) Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas (tobas color café) (s3´a).
- 3) Efusivas básicas intermedias (lavas escoriaceas) (s5´a).
- 4) Depósitos sedimentarios del cuaternario (Qf).
- 5) Conos de acumulación (escorias, tobas de lapilli, cinder) (s5´b).
- 6) Cenizas volcánicas y tobas de lapilli (s5´c).

#### B) Formación Cuscatlan:

- 1) Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas (ignimbritas) (c1).
- 2) Efusivas básicas intermedias (c3).

#### C) Formación Bálsamo

- 1) Epiclastitas volcánicas y piroclastitas; localmente, rocas efusivas básicas-intermedias intercaladas (b1).
- 2) Efusivas básicas intermedias (b3).

En El Salvador son 26 las cuencas hidrográficas más importantes, siendo la del río Lempa una de ellas; es por ello que se ha realizado el proyecto de investigación en una zona de dicha cuenca.

La cuenca del río Lempa tiene un área total de 18,246 Kms<sup>2</sup> (Guatemala, Honduras y El Salvador); el área nacional es de 10,121.75 kms<sup>2</sup>. Lo que corresponde a un 48.1 % de cubrimiento sobre el país y un perímetro de 933 kms.

La elevación máxima es de 2730 msnm. Suelos-grupos: Zona Baja: Aluviales, Coluviales. Zona Central: Latosotes Arcillo-rojizos y Litosoles. Zona Alta: Podzolicos Rojo-amarillentos y Latosoles Hidro-húmicos. Pertenecen las clases II, III, IV, V VI, VII y VIII y los usos de suelos son: D, C1, B2, B4, B4 y P2, B5, B6.

En la clasificación climática pertenece a: Tierra Caliente, Calurosa, Templada, Fría. Con un rango de temperatura desde 10° C hasta 28°C. La precipitación promedio anual varía entre 1400 – 2400 mm. Y para finalizar la vegetación en la zona baja y central es bosque húmedo subtropical y en la zona alta es de bosque muy húmedo Montano bajo y algunas de estas áreas pertenecen a los bosques muy húmedos subtropical (A V Consultores S A de C V y Alcaldía Municipal de Nejapa; 2003).

## 1.5 PROSPECCION GEOFISICA.

La geofísica estudia la tierra en su composición y dinámica, sobre la base de medidas de tipo físico que normalmente se realizan desde la superficie del planeta. Cuando este estudio tiene que ver con áreas relativamente pequeñas y profundidades que no sobrepasen máximo unos pocos kilómetros, para obtener un fin económico inmediato, se habla de geofísica aplicada, y el conjunto de métodos para obtener ese fin constituyen la prospección geofísica.

Se pueden inferir informaciones sobre la composición del subsuelo mediante algún parámetro físico medido en superficie, que puede ser la velocidad de una onda mecánica, o variaciones de un campo gravitacional producidas por diferencias de densidad, o la intensidad de una corriente asociada a la mayor o menor facilidad de propagación de las cargas eléctricas.

Los métodos ofrecen una forma de obtener información detallada acerca de las condiciones del suelo y rocas del subsuelo. Esta capacidad de caracterizar rápidamente las condiciones

del subsuelo sin perturbar el sitio ofrece el beneficio de costos más bajos y menos riesgo, dando mejor entendimiento general de las condiciones complejas del sitio. Es necesario a menudo utilizar más de un método para lograr obtener la información deseada.

#### 1.5.1 Métodos eléctricos.

Estos métodos utilizan las variaciones de las propiedades eléctricas, de las rocas y minerales, y más especialmente su resistividad. Generalmente, emplean un campo artificial eléctrico creado en la superficie por el paso de una corriente en el subsuelo.

Se emplean como métodos de reconocimiento y de detalle, sobre todo en prospección de aguas subterráneas. Los mapas de isoresistividad permiten definir los límites del acuífero, el nivel del agua en los acuíferos, la presencia de agua salada y permite la cartografía de las unidades litológicas.

Los métodos geoelectrónicos pueden clasificarse en dos grandes grupos:

1. En los métodos *inductivos* se trabajan con corrientes inducidas en el subsuelo a partir de frecuencias relativamente altas (entre 100 Hz y 1 MHz).
2. En el caso de los métodos *conductivos*, se introduce en el subsuelo una corriente continua o de baja frecuencia (hasta unos 15 Hz), mediante electrodos.

Los métodos eléctricos de prospección geofísica comprenden variedad de técnicas que emplean tanto fuentes naturales como artificiales, de las cuales son de aplicación más amplia.

Este método permite suministrar una información cuantitativa de las propiedades conductoras del subsuelo y se puede determinar aproximadamente la distribución vertical de su resistividad. El método de resistividades permite no sólo el estudio de formaciones subhorizontales, sino también la determinación de formaciones subverticales (fallas, filones, zonas de contacto, etc.).



El más importante de los métodos que utilizan corriente continua producida por generadores artificiales es el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV). Encuentra su aplicación principal en regiones cuya estructura geológica puede considerarse formada por estratos horizontales. La finalidad del S.E.V. es la determinación de las profundidades de las capas del subsuelo y las resistividades o conductividades eléctricas de las mismas, mediante mediciones efectuadas en la superficie.

#### 1.6 FUNDAMENTOS DE LA PROSPECCION ELECTRICA POR CORRIENTE CONTINUA.

Consideremos un subsuelo compuesto por un semiespacio homogéneo de resistividad  $\rho$  y el otro semiespacio de resistividad infinita que representará la atmósfera (Fig. 1.3). Utilizando una fuente de corriente continúa, conectada por medio de cables, a cuatro electrodos A y B, parcialmente clavados en el suelo. Considerando a los electrodos como puntuales. La corriente  $I_A$  penetrará por A en el suelo y luego de recorrer, saldrá por B con intensidad  $I_B$  volviendo a la fuente de corriente continúa, para entrar al circuito (ORELLANA; 1982).

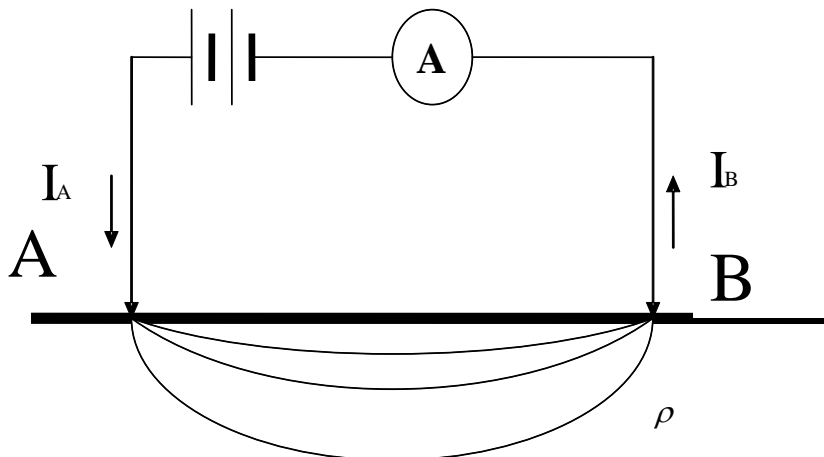
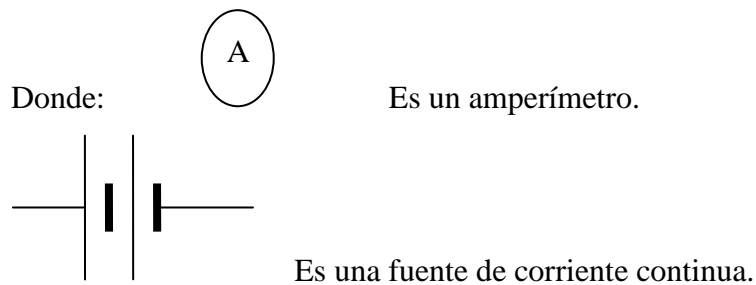


Figura 1.3 Inyección de corriente en un terreno.



A y B son electrodos.

$I_A$  y  $I_B$  son las corrientes que atraviesan el circuito.

Para establecer las leyes del fenómeno. Se inicia con las leyes de Maxwell.

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad \text{Ec. I.1}$$

Donde  $\nabla \times E$ : El rotacional del campo eléctrico.

$-\frac{\partial B}{\partial t}$ : La derivada parcial, respecto del tiempo del campo magnético.

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad \text{Ec. I.2}$$

Donde  $\nabla \times H$ : El rotacional de la intensidad del campo magnético.

$\frac{\partial D}{\partial t}$ : La derivada parcial respecto del tiempo del desplazamiento eléctrico.

$J$ : La densidad de corriente.

En donde, por tratarse de un campo estacionario, habrán de anularse las derivadas temporales, así:

$$\nabla_x E = 0 \quad \text{Ec. I.3}$$

$$\nabla_x H = J \quad \text{Ec. I.4}$$

Por lo que de la ecuación I.3 se deduce que el campo eléctrico  $E$  es conservativo o irrotacional, por lo que deriva un potencial escalar  $U$ . Esto es

$$E = -\nabla U \quad \text{Ec. I.5}$$

Donde  $\nabla U$ : El gradiente del potencial escalar eléctrico.

Por otra parte habrá de cumplirse la ley de Ohm, en forma diferencial para medios isótropos.

$$J = \sigma E \quad \text{Ec. I.6}$$

Donde  $\sigma$  es conductividad eléctrica.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot J = 0 \quad \text{Ec. I.7}$$

La ecuación I.6 nos dice que la densidad de corriente  $J$  en un punto, tiene la misma dirección y sentido que el campo eléctrico  $E$  en el mismo punto y es proporcional a él. El factor de proporcionalidad es la conductividad eléctrica, inversa de la resistividad. En todos los puntos se cumplirá la ecuación de **continuidad** (Ec. I.7) que por tratarse de condiciones estacionarias; es decir, que no varía con el tiempo.

$$\nabla \cdot J = \nabla \cdot (\sigma E) = 0 \quad \text{Ec. I.8}$$

En todos los puntos, excepto en los electrodos.

Combinando las ecuaciones I.8 y I.5, tendremos que:

$$\nabla \cdot (\sigma E) = \sigma \nabla \cdot E + E \cdot \nabla \sigma = -\sigma \nabla \cdot \nabla U + E \cdot \nabla \sigma = -\sigma \nabla^2 U + E \cdot \nabla \sigma = 0 \quad \text{Ec. I.9}$$

Esta ecuación es la más general de la prospección eléctrica y en la que  $U$  representa el potencial escalar eléctrico. Para cada zona de conductividad uniforme se cumple que  $\nabla \sigma = 0$ , y por lo tanto

$$\nabla^2 U = 0 \quad \text{Ec. I.10}$$

Que es la ecuación de Laplace, la cual será válida en todo el semiespacio conductor, pero no en los electrodos, ni en las superficies de discontinuidad de la resistividad, que aparece en otros casos (ORELLANA; 1982).

### 1.7 TÉCNICA DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL.

Las técnicas del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) consisten básicamente en el análisis e interpretación de un parámetro físico: la resistividad eléctrica, obtenido a partir de medidas efectuadas en la superficie del terreno, investigando de manera puntual sus variaciones en la profundidad (figura I.4).

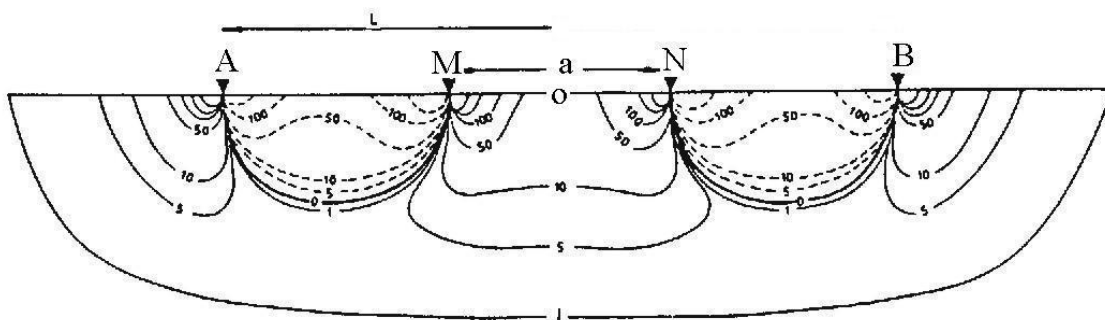


Figura 1.4: Esquema de la composición de los electrodos del sondeo eléctrico vertical.

Donde A, M, N y B son los electrodos.

$a$  es la distancia entre los electrodos M y N.

$L$  es la distancia del electrodo A hacia el origen.

Los arreglos de campo más utilizados en la técnica de SEV. Colocando cuatro electrodos en la superficie del terreno dispuestos simétricamente en relación a un centro "O" y sobre una misma recta (Figura 1.4).

### 1.7.1 Arreglo Schlumberger.

El sondeo eléctrico vertical es una serie de determinaciones de resistividad aparente, efectuadas con el mismo tipo de dispositivo y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción. El dispositivo puede ser simétrico o asimétrico, su azimut y su centro deben permanecer fijos durante la medición.

Son muy empleados los dispositivos en los que 4 electrodos A, M, N, B (A y B de emisión de corriente, y M y N de potencial) se encuentran, en este orden sobre una misma recta. Si además, los 4 electrodos se disponen simétricamente respecto de un centro "O", tendremos un dispositivo simétrico.

El coeficiente del dispositivo correspondiente puede calcularse por medio de la siguiente ecuación:

$$r_a = \rho \left( \frac{r}{r+a} \right) \frac{V}{I} \quad \text{Ec. I.11}$$

Donde  $r_a$  es resistividad aparente,  $\rho$  la constante  $\pi=3.1416$ ,  $V$  es voltaje,  $I$  es corriente, y  $r$  es la distancia entre AM.

Si las distancias entre los electrodos contiguos son lineales,  $AM=MN=NB$  o sea  $r = a$  resulta el dispositivo llamado Wenner, el coeficiente del este dispositivo es  $K= 2 \rho a$ .

Si llamamos  $L$  a la distancia  $OA=OB$  la expresión de  $r_a$  toma la siguiente forma:

$$r_a = \left( \frac{\rho}{a} \right) \left( L^2 - \frac{a^2}{2} \right) \frac{V}{I} \quad \text{Ec. I.12}$$

que es la fórmula general para dispositivos lineales simétricos.

El más eficaz y usado de estos dispositivos es el Schlumberger. Se trata en realidad de un dispositivo límite que aunque irrealizable prácticamente de modo riguroso, presenta grandes ventajas teóricas, y puede llevarse a la práctica con suficiente aproximación. La idea de Schlumberger es hacer que la distancia "a" que separa los electrodos MN tienda a 0. El Segundo miembro de la ecuación de  $r_a$  no tiende sin embargo, a infinito, pues  $V$  decrece al mismo tiempo que  $a$ . Se tendrá que el límite de  $V/a$  cuando "a" tiende a 0, es el gradiente del potencial, o sea el campo.

La idea Schlumberger consiste, en utilizar una distancia  $MN=a$  muy corta, de tal modo que pueda tomarse como válida la ecuación del límite. Los desarrollos teóricos se establecen suponiendo que lo que se mide es realmente el campo  $E$ , el cual en la práctica, se toma igual a  $V/a$ . Es decir que, si bien en la teoría matemática se emplea la fórmula del límite en las observaciones de campo la que se utiliza realmente es la de  $ra$ , por lo cual el error que se comete al emplear esta expresión es sólo el que proviene de despreciar el término  $a^2/4$ . Este error es muy pequeño. En las mediciones de campo suele tomarse la norma de que  $MN$  es menor o igual que  $AB/5$ . como  $MN$  es igual a “ $a$ ” y  $2L$  es igual a  $AB$ , el error relativo será igual al 4%. para  $MN$  igual a  $AB/5$ .

Normalmente,  $MN$  es mucho más pequeño respecto de  $AB$ , y el error será muy reducido. Por otra parte, la precisión de las mediciones geoelectricas de campo están muy limitadas por heterogeneidades irrelevantes del terreno (ruido geológico), por lo que no puede exigírsele gran exactitud.

En resumen, se puede decir que el dispositivo Schlumberger es un dispositivo lineal simétrico en el que la distancia  $MN$  es muy pequeña (todo lo más una quinta parte de la distancia  $AB$ ).

## 1.8 INFILTRACION DEL AGUA EN EL SUELO

### 1.8.1 Infiltración.

El término de infiltración se refiere a la entrada del agua hacia el interior del suelo, siendo la única fuente de humedad para mantener el crecimiento de la vegetación y el suministro de agua subterránea a los pozos y arroyos, teniendo generalmente una dirección vertical.

Se entiende por capacidad de infiltración, velocidad de infiltración o tasa de infiltración, al volumen de agua que pasa por el suelo por unidad de área por unidad de tiempo:

$$I = V/AT \qquad \text{Ec I.13}$$

Donde:  $I$  es la infiltración del agua.

$V$ : es el volumen de agua que pasa por el suelo.

$A$ : es el área del suelo donde se infiltra el agua.

$T$ : es el tiempo que tarda en infiltrarse.

Muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluyendo la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, las propiedades del suelo, tales como la porosidad y la conductividad hidráulica y el contenido de humedad presente en el suelo. Estratos del suelo con propiedades físicas diferentes pueden suponerse unos sobre otros formando *horizontes* o zonas de humedad.

La infiltración puede describirse mediante ecuaciones matemáticas solamente en forma aproximada y lleva un proceso muy complejo en el interior de la superficie de la tierra, ya que tiene que pasar por cuatro zonas de humedad las cuales son:

1. Zona saturada: es la que esta cerca de la superficie.
2. Zona de transmisión: es la zona de flujo no saturado y contenido de humedad aproximadamente uniforme.
3. Zona de mojado: en la cual la humedad decrece con la profundidad.
4. Frente mojado: en el cual el cambio de contenido de la humedad con la profundidad es tan grande que da la apariencia de una discontinuidad aguda entre el suelo mojado arriba y el suelo seco debajo.

Dependiendo de la cantidad de infiltración y de las propiedades físicas del suelo, al frente mojado puede penetrar en el suelo desde unos pocos centímetros hasta varios metros.

En general la infiltración del suelo es alta en los primeros estados, especialmente cuando el suelo esta seco, tiende a decrecer en forma monótona y eventualmente a acercarse asintóticamente a una velocidad constante, denominada capacidad de infiltración final, es decir que el proceso ha alcanzado una velocidad constante, se conoce también como infiltración estable de equilibrio o infiltración básica (MONSALVE; 1999).

### 1.8.2 Factores que influyen en el proceso de infiltración

Existen varios factores que influyen en la infiltración del agua, los cuales tiene que ser tomados en cuenta para las pruebas que se necesiten realizar.

1. Suelo: actúa como un medio poroso que proporciona gran numero de canales para que el agua penetre a través de la superficie, así, la infiltración varia según el tamaño de los poros y su permanencia, los que a su vez dependen del tamaño de las partículas, “textura”, el grado de cohesión entre las partículas y agregados,

“estructura”. Mientras mas grande se mantenga el tamaño de los poros, será mayor el grado de infiltración.

2. Vegetación: la formación de la capa selladora de la superficie se puede reducir considerablemente con vegetación. En general la cubierta vegetal y las condiciones en que se encuentra la superficie del suelo tiene mayor importancia sobre la infiltración que el tipo y la textura del suelo.
3. Humedad previa: un suelo seco tiene mayor capacidad de infiltración inicial por el hecho de que se suman fuerzas gravitacionales y de capilaridad.
4. Otros factores: pendiente del terreno, la temperatura del agua, la salinidad, también son muy importantes.

### 1.8.3 Ecuación de Infiltración.

Kostiakov, en 1932, fue el primero que propuso el uso de una ecuación empírica que hasta hoy es de amplio uso para analizar los resultados experimentales que se obtiene de las pruebas de campo. La ecuación es:

$$I = K * T^n \quad \text{Ec. I.14}$$

Donde I = velocidad de infiltración.

T = Tiempo (min.)

K = Constante que representa la velocidad de infiltración.

n = pendiente de la curva de velocidad de infiltración con respecto al tiempo.

La infiltración acumulada se obtiene integrando la ecuación de infiltración respecto al tiempo.

$$D = \sum_{t=0}^t I dt \quad \text{Ec. I.15}$$

Integrando se obtiene:

$$D = c * T^m \quad \text{Ec. I.16}$$

Donde D = Infiltración acumulada.

c = Infiltración en el perfil cuando T = 1.

m = pendiente de la curva de infiltración vrs tiempo.



#### 1.8.4 Método de los cilindros infiltrómetros.

El método del cilindro, ideado por Musgrave en 1935, es el método más extendido para el estudio de la infiltración de agua en el suelo, con el se determina la velocidad de infiltración, así como la lamina que se acumula durante el proceso de infiltración.

De acuerdo a Gurovich en 1999, los primeros estudios emplearon cilindros simples; pero los resultados obtenidos presentaron una gran variabilidad, posiblemente debido al movimiento lateral del agua no controlado. Posteriormente se empleó cilindros dobles o multicilindros, con el objeto de minimizar el flujo por medio de un área tampón alrededor del cilindro central.

Es un método de campo que busca simular las condiciones que se dan cuando un terreno es inundado por lluvia y mediante la toma de lecturas de láminas infiltradas explicar el fenómeno.

La limitación más seria es su ubicación en el suelo que produce un cierto grado de alteración de las condiciones naturales, destrucción de la estructura o compactación, lo que provoca a su vez gran variación en las velocidades de infiltración (GUROVICH R., L.A. 1999).

### 1.9 VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACION DE ACUIFEROS

Desde 1968 que se introdujera el término “vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación”, se han sucedido numerosas definiciones, calificaciones y metodologías sobre el mismo, en muchos casos orientados a su representación cartográfica.

Una está representada por aquellos investigadores que consideran a la vulnerabilidad como una propiedad referida exclusivamente al medio (tipo de acuífero y cobertura, permeabilidad, profundidad, recarga, etc.), sin tener en cuenta la incidencia de las sustancias contaminantes (vulnerabilidad intrínseca) y en la otra orientación, se agrupan los que sí le otorgan, además del comportamiento del medio, trascendencia al tipo y carga del contaminante (vulnerabilidad específica).

También existen divergencias respecto a la utilidad de las representaciones cartográficas y así la vulnerabilidad debe mantenerse en un marco cualitativo o pasar a otro cuantitativo.

En este sentido en el Congreso XXIX de la Asociación Internacional de Hidrología (IAH), realizado en Bratislava en 1999, se produjo una fuerte controversia entre las escuelas Alemana y Checa, al sostener la primera la necesidad de adecuar nuevas metodologías para transformar a la vulnerabilidad en una variable cuantitativa, mientras que los Checos propiciaron el mantenimiento del alcance cualitativo del término, debido al inconveniente que implica la asignación de magnitudes representativas a los componentes y procesos que inciden en la vulnerabilidad.

Foster e Hirata en 1991 conceptualizan que la “vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta”. En este caso al citar a una carga contaminante impuesta.

Otro concepto íntimamente asociado a la vulnerabilidad es el de riesgo a la contaminación, aunque este también genera diferencias en su definición, utilidad y técnicas para el mapeo. El riesgo se define como el peligro de deterioro en la calidad de un acuífero, por la existencia real o potencial de sustancias contaminantes en su entorno.

En el entendimiento del suscrito, la vulnerabilidad intrínseca tiene mayor utilidad en los trabajos de planificación de uso del territorio y del agua. Particularmente en lo que respecta a la preservación de la calidad del recurso. En los sitios donde no está afectado, ni se realizan prácticas como fertilización, aplicación de plaguicidas, riego, cría concentrada de ganado, ni actividades domésticas, urbanas, o industriales, que por su intensidad pudieran afectarlo.

La vulnerabilidad específica incluye parcialmente el concepto de riesgo, toda vez que se refiere al peligro de deterioro en relación a sustancias contaminantes específicas.

#### 1.9.1 Principios básicos para la evaluación de la Vulnerabilidad.

Los mecanismos de recarga del agua subterránea y la capacidad de atenuación natural del perfil de suelo a los contaminantes varían ampliamente con las condiciones geológicas cercanas a la superficie del terreno. Así, en lugar de aplicar controles universales sobre los usos del territorio potencialmente contaminante para el acuífero y la descarga de efluentes, es más efectivo (y menos perjudicial para el desarrollo económico) modificar el tipo y nivel de control de acuerdo a esta capacidad de atenuación. Esta es la premisa básica del

concepto de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos y lo que conduce a la necesidad de contar con el mapeo de la misma.

De acuerdo a la complejidad de factores que gobiernan el transporte de contaminantes en los acuíferos, puede parecer a simple vista que las condiciones hidrogeológicas son demasiado complejas para ser encapsuladas en zonas mediante el mapeo de la vulnerabilidad y también se puede tratar cada actividad contaminante en forma individual y emprender una evaluación independiente del peligro de contaminación que esta genera.

Sin embargo con este enfoque es poco probable arribar a una caracterización universal del peligro de contaminación y evitar decisiones inconsistentes, también se requiere una gran cantidad de recursos humanos e inversiones financieras cuantiosas destinadas a las investigaciones de campo y se pueden presentar problemas administrativos en aquellos casos donde la responsabilidad institucional es compartida.

#### 1.9.2 Aplicación del índice de vulnerabilidad GOD.

TABLA I.2. Definiciones de cada una de las clases de vulnerabilidad.

CLASE DE VULNERABILIDAD	DEFINICION CORRESPONDIENTE
Extrema	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación.
Alta	Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados) en muchos escenarios de contaminación.
Moderada	Vulnerable a algunos contaminantes, solo cuando son continuamente descargados o lixiviados
Baja	Solo vulnerables a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos periodos de tiempo.
Despreciable	Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificante.

El método GOD (por sus siglas en inglés *Groundwater hydraulic confinement, Overlaying strata, Depth to groundwater*) para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos ha sido ampliamente utilizada en América Latina y el Caribe durante la década de los 90's. debido a su claridad conceptual y a su simplicidad de aplicación. El método considera dos factores básicos:

- El grado de inaccesibilidad hidráulica de la zona saturada.
- La capacidad de atenuación de los estratos suprayacentes a la zona saturada del acuífero.

Estos factores no son directamente medibles; dependen a su vez de la combinación de distintos parámetros. Dado que la información relacionada con la mayoría de estos parámetros no esta generalmente disponible.

Sobre la base de tales consideraciones, el índice de vulnerabilidad GOD caracteriza la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en función de los siguientes parámetros (generalmente disponibles o fácilmente determinables):

- Grado de confinamiento hidráulico del acuífero en consideración.
- Ocurrencia del sustrato suprayacente (zona no saturada o capas confinantes) en términos de características litológicas y grado de consolidación, que determina su capacidad de atenuación de contaminantes.
- Distancia al agua, determinada como: la profundidad al nivel del agua en acuíferos no confinados o la profundidad al techo de acuíferos confinados.

TABLA I.3. Esta tabla muestra los parámetros a utilizar para determinar el índice de vulnerabilidad de contaminación del acuífero. (Foster, et al, 2003)

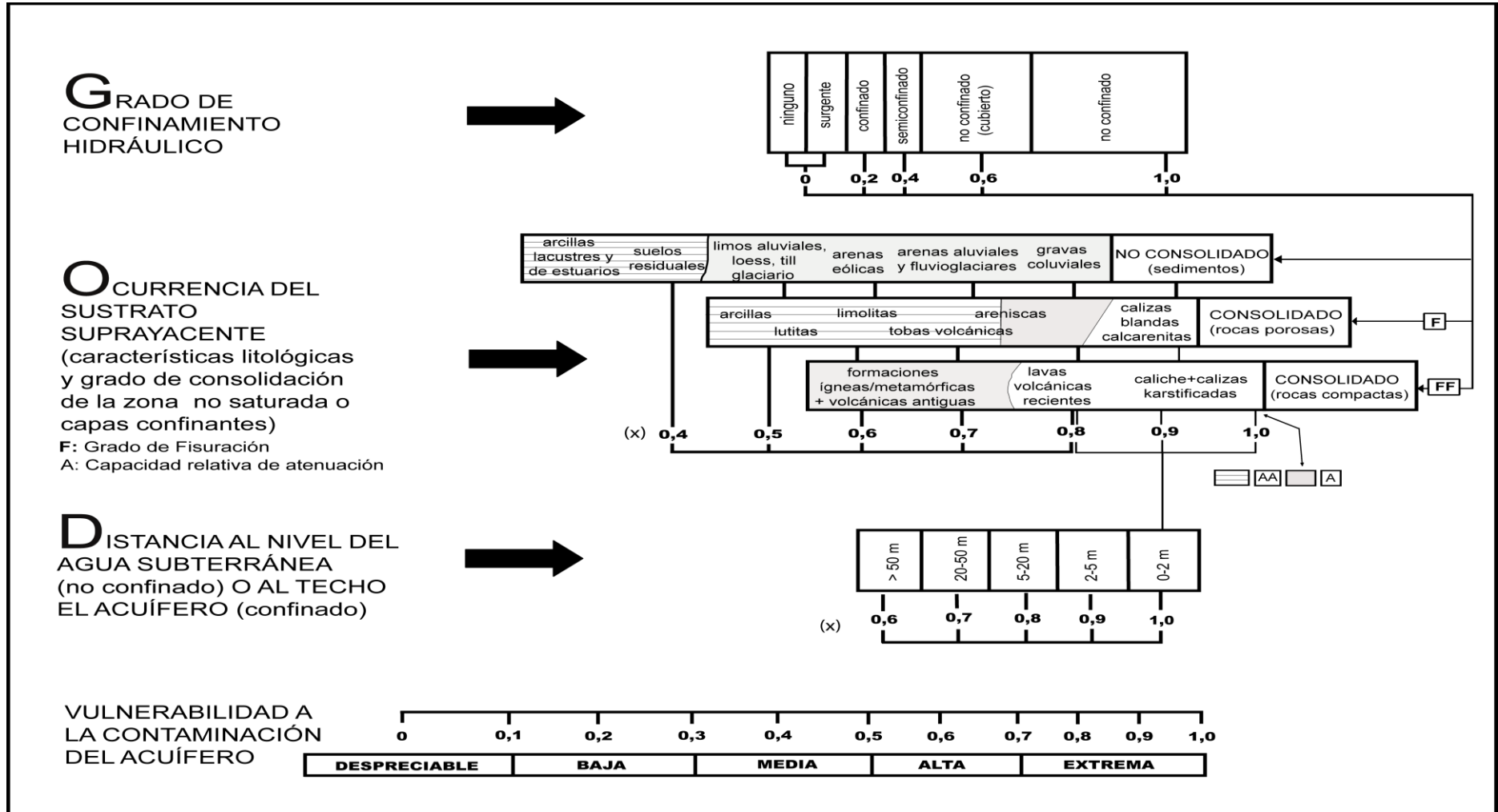


Tabla I.4 Factores hidrogeológicos que controlan la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos.

COMPONENTE DE LA VULNERABILIDAD	INFORMACION HIDROGEOLOGICA	
	Idealmente requerida	Normalmente disponible
Inaccesibilidad Hidráulica	<p>Grado de confinamiento del acuífero.</p> <p>Profundidad del agua subterránea o al techo del acuífero.</p> <p>Contenido de humedad de la zona.</p> <p>Conductividad hidráulica vertical de los estratos de la zona no saturada o de las capas confinantes.</p>	<p>Tipo de acuífero.</p> <p>Profundidad al agua subterránea o al techo del acuífero confinado.</p>
Capacidad de Atenuación	<p>Distribución del tamaño de granos y fisuras en la zona no saturada o en las capas confinantes.</p> <p>Mineralogía de los estratos de la zona no saturada o capas confinantes.</p>	<p>Grado de consolidación/fisuración de estos estratos</p> <p>Características litológicas de estos estratos.</p>

Consecuentemente, la estimación del índice de vulnerabilidad GOD (Foster e Hirata, 1988) involucra una serie de etapas concretas:

1. Identificar el grado de confinamiento hidráulico del acuífero y asignarle un índice a este parámetro en una escala de 0.0 a 1.0.
2. Especificar las características del sustrato suprayacente a la zona saturada del acuífero en términos de:
  - a) Grado de consolidación (teniendo en cuenta la probable presencia o ausencia de permeabilidad por fisuras).
  - b) Tipo de litología (considerando indirectamente porosidad efectiva, permeabilidad de la matriz y contenido de humedad en la zona no saturada

o retención específica) y asignar un índice a este parámetro con una escala de 0.4 a 1.0

3. Estimar la distancia o profundidad al nivel del agua (en acuíferos no confinados) o profundidad al techo del primer acuífero confinado, con la consiguiente asignación de un índice en una escala de 0.6 a 1.0.

El índice final integrado de vulnerabilidad de acuíferos GOD es el producto de los índices obtenidos para cada uno de estos parámetros. Es importante tener en cuenta que figura de parámetros a utilizar para determinar el índice de vulnerabilidad de contaminación del acuífero contiene ligeras modificaciones respecto a la versión original que consideran las experiencias obtenidas por su aplicación en los años 90's. Estas modificaciones incluyen:

- una pequeña reducción en los índices del parámetro de “distancia al agua”
- una simplificación en la caracterización geológica del sustrato suprayacente, para las “rocas potencialmente fracturadas de vulnerabilidad intrínseca intermedia”
- una aclaración para el índice de “confinamiento del acuífero” en acuíferos semiconfinados.

Se debe notar también que cuando se presenta una secuencia de depósitos diferentes se debe seleccionar la litología predominante o limitante para caracterizar al sustrato suprayacente.

## Capítulo 2 METODOLOGIA

Con el fin de cumplir los objetivos planteados en la investigación se presenta la metodología experimental que guió el presente trabajo, el cual se dividió en dos grandes etapas. Investigación de parámetros físicos de la zona de estudio y medición de parámetros físicos in situ.

### 2.1 Investigación de parámetros físicos de la zona de estudio.

Esta parte se refiere a la búsqueda de información que ha sido recolectada por diferentes instituciones o en diferentes investigaciones que obtienen mediciones de parámetros físicos que se pueden utilizar para este proyecto de graduación como por ejemplo: columnas de pozos perforados, precipitación, geología, etc.

#### 2.1.1 Geología.

La información geológica ha sido proporcionada por el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad de El Salvador. Esta información es utilizada en el programa de Arc View, que permite visualizar de manera virtual la división geológica de la zona de estudio.

#### 2.1.2 Litología.

Esta información es proporcionada por los perfiles litológicos de los pozos perforados en la zona de estudio. Dichos perfiles han sido obtenidos en su mayoría por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) y los demás por empresa privada. Siendo un total de 11 perfiles litológicos de pozos.

#### 2.1.3 Precipitación.

Los valores de precipitación de la zona de Quezaltepeque y Nejapa han sido obtenidos con la ayuda del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). Ya que dicha institución cuenta con dos estaciones meteorológicas ubicadas en las proximidades de la zona de interés.

#### 2.1.4 Evaporación.

Los datos de evaporación también han sido obtenidos por SNET.

#### 2.1.5 Topología.

La topología se ha logrado obtener por medio de dos fuentes: una de ellas es el Laboratorio de Información Geográfica de la Universidad de El Salvador, y la otra es el Centro Nacional de Registro (CNR).



### 2.1.6 Hidrogeología.

Para esta parte se ha consultado varios libros entre ellos: Manejo de aguas subterráneas, Los Acuíferos Volcánicos y el Desarrollo Sostenible en América Central, Atlas de El Salvador.

### 2.1.7 Uso de la Tierra.

La información del uso de la Tierra ha sido obtenida por medio de la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS). Esta institución nos ha proporcionado todo tipo de información en Shapes, así como: fallas, curvas de nivel, línea ferroviaria, ríos y división departamental entre otros.

## 2.2 Medición de parámetros físicos in situ.

La realización del trabajo de campo, consiste en la medición de los diferentes parámetros físicos in situ, y esta etapa del proyecto de graduación se divide en las siguientes partes:

### 2.2.1 Ubicación de pozos y manantiales.

Esta etapa consiste en la ubicación en coordenadas espaciales y la medida de la profundidad a la que se encuentra el agua para el caso de los pozos, como se observa en la figura 2.1 y otras medidas de menor importancia, en esta parte se logró ubicar 75 pozos entre estos 20 perforados y 55 excavados y 13 manantiales.

En esta etapa del trabajo se obtuvo la colaboración logística de parte de la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS), geólogos del Mundo y de las alcaldías de Quezaltepeque, Nejapa y Apopa.



Figura 2.1 Muestra la medición de parámetros de los pozos en la zona de estudio.

TABLA II.1 Muestra la información recolectada en el inventario de pozos del municipio de Nejapa.

No	Fecha:	Lugar:	Tipo de Pozo	Profundidad d	Brocal:(m)	Altura(m)	Y o W	X o N	Precision(m)	Observacione	Municipio	Col. Litologica
1	20/02/2006	EMBOSALVA	Perforado			469	13.81814	89.24317	8		Nejapa	No
2	20/02/2006	EMBOSALVA	Perforado			469	13.81996	89.24441	10		Nejapa	No
3	20/02/2006	Pozo de ANDA # 7, Calle al MIDES	Perforado			467	13.81873	89.24945	5		Nejapa	
4	20/02/2006	Pozo de ANDA # 8, Calle al MIDES	Perforado			454	13.82648	89.2442	4		Nejapa	Si
5	20/02/2006	Caserio El Anonal	Excavado	2.28	0.24	453	13.84686	89.23275	8		Nejapa	No
6	20/02/2006	Caserio El Anonal	Excavado	9.87	0.42	458	13.84813	89.23476	4		Nejapa	No
7	20/02/2006	Caserio El Anonal	Excavado	7.84	0.53	457	13.847140	89.23476	8		Nejapa	No
8	20/02/2006	Plan SABAR Hda Mapilapa	Perforado			426	13.8321	89.22705	8		Nejapa	Si
9	20/02/2006	Mapilapa, Sector el Junquillo	Excavado	5	0.37	432	13.82065	89.22929	6		Nejapa	No
10	20/02/2006	Pozo de ANDA El Salitre	Perforado	> 100		478	13.81283	89.2402	4		Nejapa	
11	20/02/2006	Pozo de ANDA # 3	Perforado			454	13.82648	89.2442	4		Nejapa	Si
12	20/02/2006	Lotif. El Cedral I	Excavado	27	0.29	505	13.80322	89.22227	8		Nejapa	No
13	20/02/2006	Lotif. El Cedral I	Excavado	20.8	0.6	506	13.80424	89.22111	9		Nejapa	No
14	20/02/2006	Lotif. El Cedral I	Excavado	12.83	0.78	498	13.8044	89.22035	6		Nejapa	No
15	22/02/2006	Pozo de ANDA, Barrio San Antonio	Excavado	4.76	0.46	431	13.81784	89.2333	6		Nejapa	No
16	22/02/2006	Lotif. Macance	Excavado	8.65	0.72	436	13.81829	89.23095	12		Nejapa	No
17	22/02/2006	Aldea Las Mercedes, Cuesta Blanca	Excavado	10.44	0.36	496	13.80034	89.22017	15		Nejapa	No
18	22/02/2006	Aldea Las Mercedes, Cuesta Blanca	Excavado	11.39	0.54	499	13.80017	89.22022	5		Nejapa	No
19	22/02/2006	Finca San Antonio	Excavado			474	13.81113	89.2366	6		Nejapa	No
20	22/02/2006	Canton Camotepeque.	Excavado	10.2	0.57	438	13.83037	89.21988	21		Nejapa	No
21	22/02/2006	Canton Camotepeque.	Excavado			425	13.83337	89.21616	8	Sin Agua	Nejapa	No
22	22/02/2006	Canton Camotepeque.	Excavado	8.24	0.34	413	13.83443	89.20778	5		Nejapa	No

CONTINUACIÓN DE TABLA II.1 Muestra la información recolectada en el inventario de pozos del municipio de Nejapa.

No	Fecha:	Lugar:	Tipo de Pozo	Profundidad d	Brocal:(m)	Altura(m)	Y o W	X o N	Precision(m)	Observacione	Municipio	Col. Litologica
23	22/02/2006	Canton Camotepeque, Barba Rubia	Excavado	13.53	0.7	411	13.83543	89.20648	7		Nejapa	No
24	22/02/2006	Canton Camotepeque, Barba Rubia	Excavado	4.15	0.3	440	13.83222	89.20351	7		Nejapa	No
25	27/02/2006	Canton Las Marias	Excavado	5.9	0.56	415	13.82945	89.22195	16		Nejapa	No
26	27/02/2006	Canton Camotepeque,	Excavado	8.67	0.15	405	13.83301	89.21059	12		Nejapa	No
27	27/02/2006	Canton Camotepeque. Caserio El Jute	Excavado	15.82	0.58	425	13.83671	89.20242	6		Nejapa	No
28	27/02/2006	Canton Camotepeque, Caserio las mariitas	Excavado	25.34	0.58	444	13.82174	89.22386	21		Nejapa	No
29	27/02/2006	Canton Camotepeque, Caserio las mariitas	Excavado	8	0.56	433	13.82168	89.2259	16		Nejapa	No
30	01/03/2006	Lotif. El Castillo	Excavado	20.96	0.57	414	13.80102	89.18757	16		Apopa	No
31	01/03/2006	Lotif. El Castillo	Excavado	15.56	0.38	424	13.80127	89.18668	7		Apopa	No
32	01/03/2006	Lotif. El Castillo	Excavado	13.79	0.56	421	13.80106	89.18643	7		Apopa	No
33	01/03/2006	Lotif. El Castillo	Excavado	11.51	0.28	425	13.79931	89.18657	14		Apopa	No
34	01/03/2006	Pozo de ANDA # 1y2, Lotif El Castillo	Perforado			433	13.7999	89.19005	7		Apopa	No
35	01/03/2006	Pozo de ANDA # 4, Lotif El Castillo	Perforado			434	13.79886	89.19293	18		Apopa	Si
36	01/03/2006	Lotif. El Castillo	Excavado	12.24	0.57	439	13.79925	89.18871	10		Apopa	No
37	01/03/2006	Comunidad Ismatapa	Excavado	29.06	0.28	452	13.79662	89.18955	5		Apopa	No
38	06/03/2006	Pozo de Nejapa Power	Perforado			499	13.77661	89.20083	5		Apopa	No
39	08/03/2006	San Luis Mariona, Ctn Las Flores, Km. 12,	Excavado	18.4	0.4	471	13.78	89.18764	12		Apopa	No
40	08/03/2006	Bodegas RAMSA	Perforado			517	13.78151	89.2022	6		Apopa	No
41	20/03/2006	El Sitio	Excavado	25.56	0.47	445	13.80777	89.19182	11		Apopa	No
42	20/03/2006	El Sitio	Excavado	7.35	0.56	454	13.80943	89.19235	8		Apopa	No
43	20/03/2006	Bodegas Hiper Paiz.	Perforado			556	13.77942	89.21568	18	Prof. 216 m *	Apopa	No
44	20/03/2006	Santa Carlota	Excavado	17.91	0.47	462	13.80243	89.20546	13		Apopa	No

TABLA II.2 Muestra la información recolectada en el inventario de pozos de los municipios de Apopa y Quezaltepeque.

No	Fecha:	Lugar:	Tipo de Pozo	Profundidad de pozo(m)	Brocal:(m)	Altura(m)	Y o W	X o N	Precision(m)	Municipio	Col. Litologica
1	01/03/2006	Lotif. El Castillo	Excavado	20.96	0.57	414	13.80102	89.18757	16	Apopa	No
2	01/03/2006	Lotif. El Castillo	Excavado	15.56	0.38	424	13.80127	89.18668	7	Apopa	No
3	01/03/2006	Lotif. El Castillo	Excavado	13.79	0.56	421	13.80106	89.18643	7	Apopa	No
4	01/03/2006	Lotif. El Castillo	Excavado	11.51	0.28	425	13.79931	89.18657	14	Apopa	No
5	01/03/2006	Pozo de ANDA # 1y2, Lotif El Castillo	Perforado			433	13.7999	89.19005	7	Apopa	No
6	01/03/2006	Pozo de ANDA # 4, Lotif El Castillo	Perforado			434	13.79886	89.19293	18	Apopa	Si
7	01/03/2006	Lotif. El Castillo	Excavado	12.24	0.57	439	13.79925	89.18871	10	Apopa	No
8	01/03/2006	Comunidad Ismatapa	Excavado	29.06	0.28	452	13.79662	89.18955	5	Apopa	No
9	06/03/2006	Pozo de Nejapa Power	Perforado			499	13.77661	89.20083	5	Apopa	No
10	08/03/2006	San Luis Mariona, Ctn Las Flores, Km. 12,	Excavado	18.4	0.4	471	13.78	89.18764	12	Apopa	No
11	08/03/2006	Bodegas RAMSA	Perforado			517	13.78151	89.2022	6	Apopa	No
12	20/03/2006	El Sitio	Excavado	25.56	0.47	445	13.80777	89.19182	11	Apopa	No
13	20/03/2006	El Sitio	Excavado	7.35	0.56	454	13.80943	89.19235	8	Apopa	No
14	20/03/2006	Bodegas Hiper Paiz.	Perforado			556	13.77942	89.21568	18	Apopa	No
15	20/03/2006	Santa Carlota	Excavado	17.91	0.47	462	13.80243	89.20546	13	Apopa	No
16	17/05/2006	Platanillo, El Proyecto	Excavado	5.85	0.51	387	471361	303650	6	Quezaltepeque	No
17	02/06/2006	Canton Santa Rosa	Excavado	18.5	0.7	468	471873	300072	7	Quezaltepeque	No
18	02/06/2006	Col. Lupita	Excavado	17.28	0.53	473	472077	300128	8	Quezaltepeque	No
19	02/06/2006	Calle Vieja	Excavado	8.41	0.53	465	471837	300397	8	Quezaltepeque	No
20	02/06/2006	Canton Santa Rosa	Excavado	2.83	0.18	463	471466	300629	6	Quezaltepeque	No
21	02/06/2006	Canton Santa Rosa Abajo	Excavado	5.92	0.64	468	471465	301090	6	Quezaltepeque	No
22	02/06/2006	Lotif. Los Izotes	Excavado	4.03	0.58	449	471673	301471	11	Quezaltepeque	No
23	02/06/2006	Santa Lucia	Excavado	6.84	0.5	406	471295	302102	8	Quezaltepeque	No
24	02/06/2006	Lotif. San Rafael, Finca El Guitarron	Excavado	13.91	0.46	438	471448	302829	13	Quezaltepeque	No
25	02/06/2006	Platanillo	Excavado	10.75	0.63	431	471745	303408	8	Quezaltepeque	No
26	14/02/2006	Canton Santa Rosa	Excavado	9	0.66	468	472256	300205	10	Quezaltepeque	No
27	14/02/2006	Canton Santa Rosa	Excavado	15.35	0.89	474	472390	300172	5	Quezaltepeque	No
28	15/02/2006	Las Margaritas, La Ceiba	Excavado	6.84	0.38	492	472087	299962	6	Quezaltepeque	No

TABLA II.3 Muestra la información recolectada en el inventario de manantiales de los municipios de Nejapa, Apopa y Quezaltepeque.

No	Fecha:	Lugar:	Altura(m)	Y o W	X o N	Precision(	municipio
1	14/02/2006	Nac. Rio San Antonio	448	13.81756	89.23368	4	Nejapa
2	22/02/2006	Nac. Tres piedras	425	13.81818	89.2325	7	Nejapa
3	20/02/2006	Nac. El Anonal	445	13.84575	89.23358	9	Nejapa
4	27/02/2006	Nac. La Galera	425	13.8424	89.22321	11	Nejapa
5	01/03/2006	Nac. Chacalapa	424	13.79561	89.20569	10	Apopa
6	01/03/2006	Urb Los Angeles	449	13.79488	89.18923	4	Apopa
7	01/03/2006	Nac. La Periquera	451	13.795	89.20414	8	Apopa
8	01/03/2006	Nac. La pila del sanjon	455	13.79631	89.2094	9	Apopa
9	01/03/2006	Quebrada del muerto	448	13.79732	89.21165	9	Apopa
10	06/03/2006	Nac. Chaguite	424	13.80421	89.17824	11	Apopa
11	20/03/2006	Nac. El Caguie	456	13.80514	89.1774	17	Apopa
12	20/03/2006	Quebrada Las Lajas	469	13.79584	89.2063	5	Apopa
13	17/05/2006	Platanillo	388	304634	471766	7	Quezaltepeque

TABLA II.4 Muestra la información recolectada en el desarrollo de las pruebas de infiltración en Nejapa, Apopa y Quezaltepeque.

Prueba	Fecha	Altura (m)	N	W	Precision (m)	Tipo de uso de suelo	Tipo de miembro	infiltracion mm/h
1	15/03/2006	465	13.81308	89.23533	5	café	S4	15.0
2	20/03/2006	505	13.80047	89.24223	13	café	S4	11.4
3	20/03/2006	487	13.80668	89.23575	5	café	S4	7.5
4	22/03/2006	463	13.8468	89.2321	5	Caña de azucar.	C3	10.3
5	27/03/2006	480	13.81332	89.24081	5	café	S3a	29.6
6	29/03/2006	496	13.7814	89.19165	4	Caña de azucar.	S4	8.0
7	03/04/2006	461	13.79593	89.20614	8	tejido urbano	S3a	17.9
8	05/04/2006	605	13.77518	89.2212	8	Caña de azucar.	S2	14.4
9	10/04/2006	472	13.79631	89.19541	4	mosaico de cultivo	S4	11.7
10	10/04/2006	478	13.79572	89.19028	4	mosaico de cultivo	S3a	8.3
11	12/04/2006	582	13.77772	89.21935	4	Caña de azucar.	S2	7.0
12	17/04/2006	442	13.80325	89.1972	6	tejido urbano	C1	8.7
13	17/04/2006	625	13.80841	89.20513	4	granos basicos	b3	23.1
14	14/04/2006	456	13.81637	89.23435	5	tejido urbano	S4	14.1
15	19/04/2006	437	13.7992	89.19447	7	bosque mixto	S2	12.9

### 2.2.2 Pruebas de Infiltración.

En el caso de las pruebas de infiltración se lograron hacer 15 pruebas de infiltración, para ello se decidieron hacerlas en base al tipo de miembro geológico y el tipo de uso de suelo. En esta etapa, también la OPAMSS y Geólogos del mundo fue quienes aportaron la ayuda necesaria y el equipo para realizar las pruebas de infiltración fue proporcionado por el Laboratorio SIG de la UES, este equipo consiste en los anillos infiltrómetros, como se observa en la figura 2.2, un mazo de goma, una regla de 30 centímetros con escala de 1 centímetro, un cronometro y agua. En la tabla II.4, muestra la información recolectada en las pruebas de infiltración.



Figura 2.2 Muestra la aplicación de la prueba de infiltración.



### 2.2.3 Sondeos Eléctricos Verticales.

La realización de los sondeos eléctricos verticales fue realizada con el equipo de la UES, específicamente este es de marca CHARGY utilizando este, la separación máxima entre los electrodos A y B, que se puede alcanzar es de 600m. Lo que significa que el poder de penetración aproximada es de 210m de profundidad. Y el equipo de Sondeo Eléctrico Vertical marca OYO que le pertenece a ANDA, el cual tiene una separación máxima entre los electrodos A y B de 1000m. Al final se realizaron 34 SEV's.

En esta ocasión también se tuvo la colaboración de la OPAMSS y Geólogos del Mundo.



Figura 2.3 Muestra la realización del sondeo eléctrico vertical.

### 2.2.4 Perfil Geológico.

Esta etapa consiste en la realización de los perfiles geológicos, utilizando la información de los SEV, columnas de pozos y la información en Arc View, ya antes organizada.

En este caso se utilizan los SEV previamente interpretado, para ello se utilizaron los software “IPI2WIN” y “QWSLN”. A continuación se procedió a graficarlos en el software Arc View.

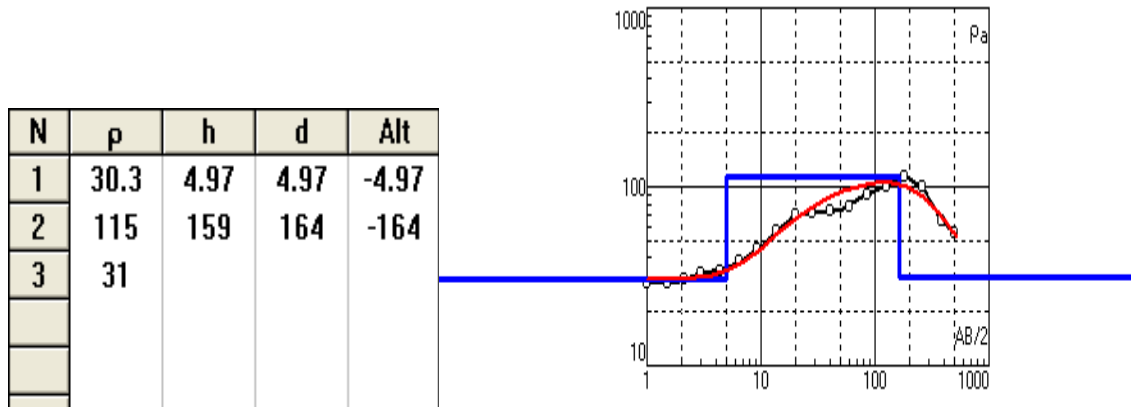


Figura 2.4. La imagen muestra los datos del Sev24-06, con un error 9.52%, utilizando Ipi2win.



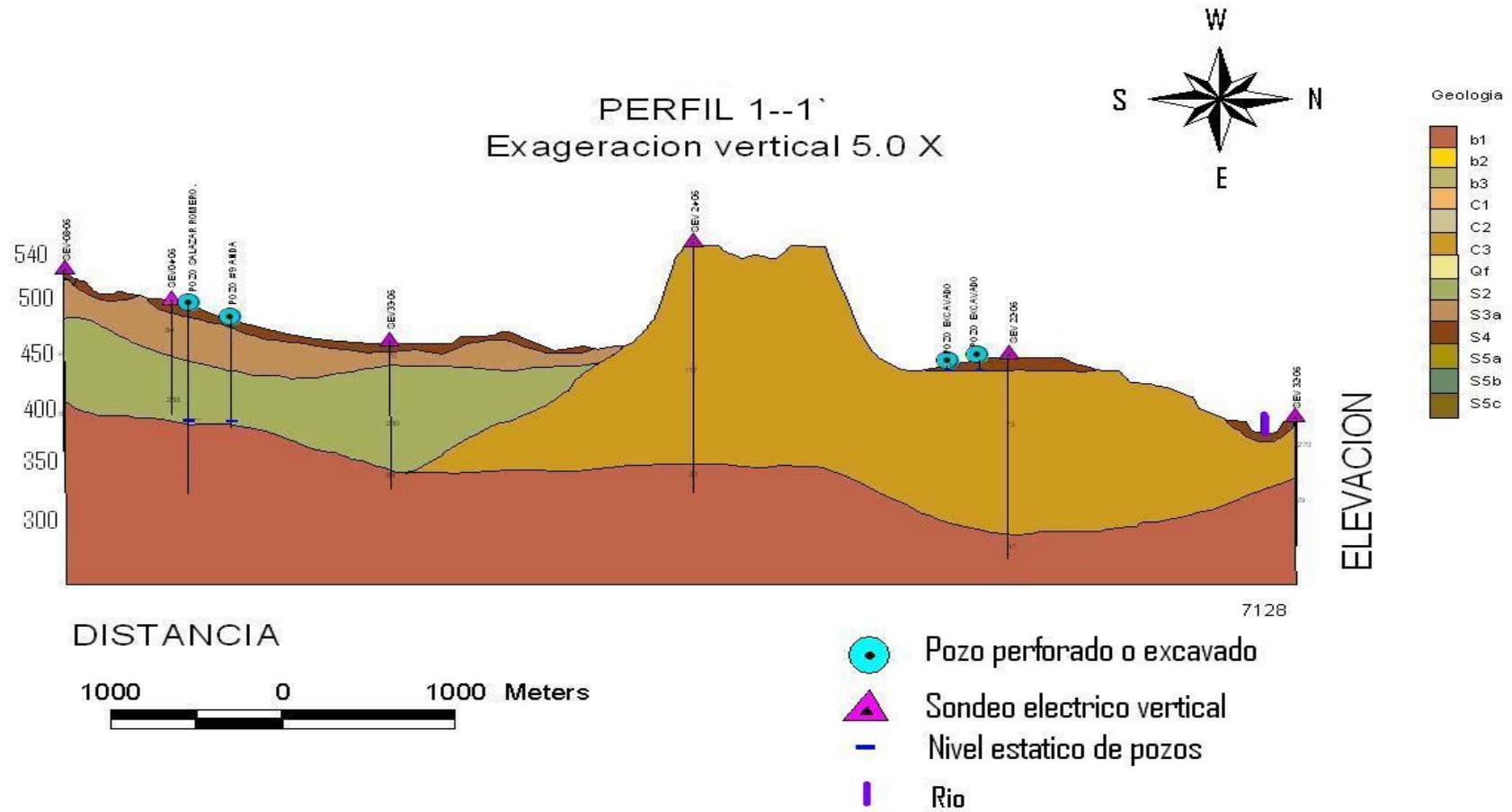


Figura 2.5. Perfil geológico 1-1'.

Para ver en total todos los gráficos de los sondeos, revisar el anexo 5. Y todos los perfiles geológicos, revisar el anexo 6.

## Capítulo 3 RESULTADOS Y ANALISIS.

### 3.1 MODELO CONCEPTUAL.

En el área de estudio, se puede concluir que existen dos acuíferos; el primer acuífero es el superficial y se encuentra aproximadamente entre 5 y 25 metros de profundidad. Este acuífero es el de interés ya que es el que está más expuesto a la contaminación y al que se tiene alcance con la información recolectada.

Mientras que el otro acuífero, es el que existe a una profundidad aproximada de 150 metros; de este acuífero no se puede describir mucho, porque la información registrada no tiene la amplitud necesaria para describir un modelo conceptual; sin embargo, por la profundidad a la que se encuentra este, el riesgo de ser contaminado disminuye considerablemente. Por lo tanto, a continuación nos referiremos como acuífero solamente al que está más superficial.

En las orillas del volcán de San Salvador, se encuentran los mayores espesores del acuífero.

El acuífero de Quezaltepeque-Nejapa se puede clasificar tres unidades hidrogeológicas, estas son las siguientes:

1. Unidad hidrogeológica de depósitos piroclásticos.
2. Unidad hidrogeológica de lavas fracturadas.
3. Unidad hidrogeológica de tobas endurecidas.

1. Unidad Hidrogeológica de lavas fracturadas (Holoceno hasta Pleistoceno). Consiste en corrientes de lava basáltica, tobas color café, ceniza y lavas, piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas y están depositados sobre las formaciones de Cuscatlán y Bálsamo. En esta unidad hidrogeológica se recolecta la información de un manantial, dos pruebas de infiltración, un pozo perforado y dos sondeos eléctricos verticales.

La unidad de lavas fracturadas está ubicada en la parte noreste del volcán de San Salvador y de todas las unidades hidrogeológicas es la que abarca un área territorial de 19 Km<sup>2</sup>. En esta parte es la zona de precipitación más alta entre 1900 y 2100 mm.

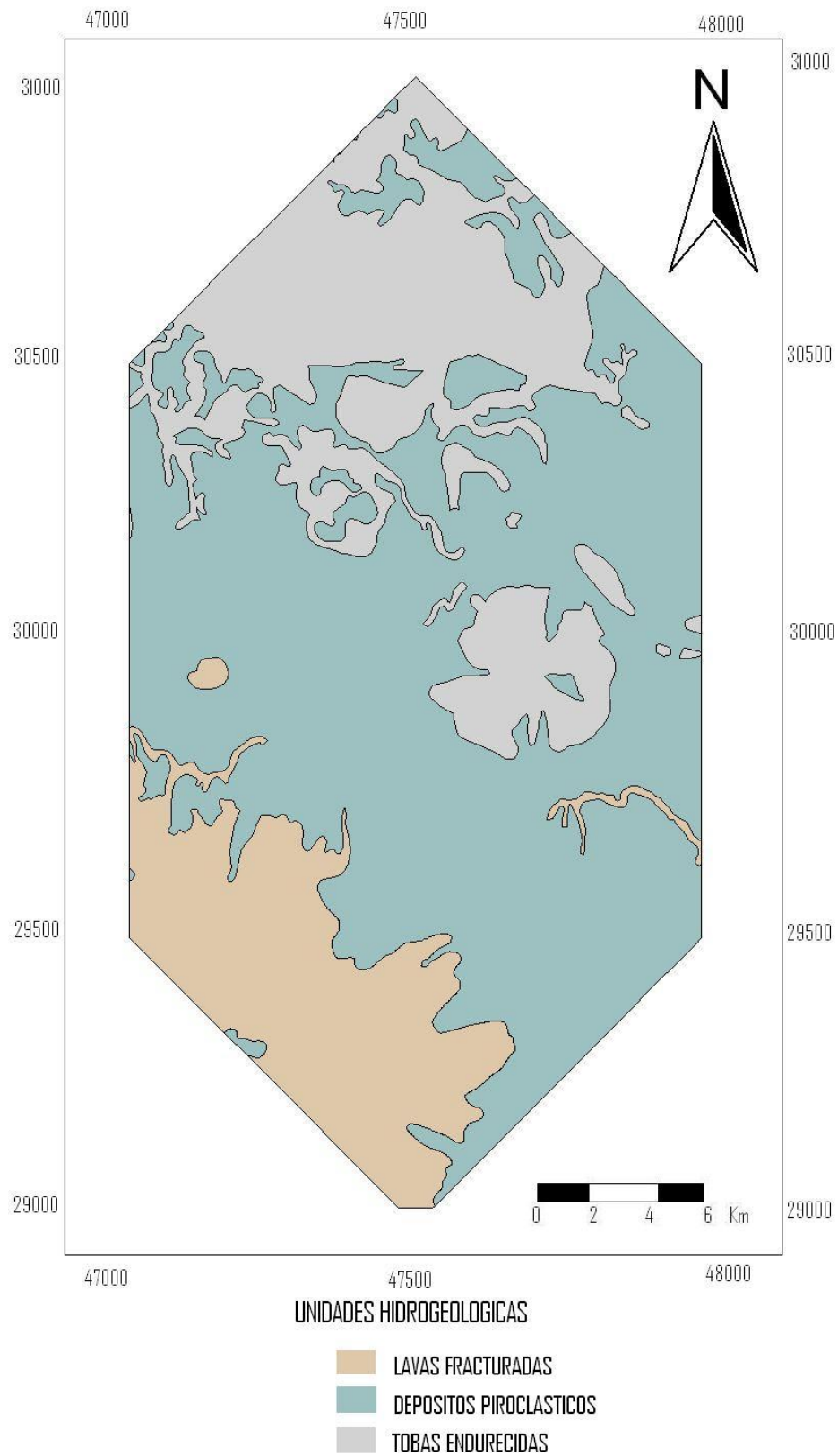


Figura 3.1. Distribución de las unidades hidrogeológicas, sobre el área de estudio en el acuífero de Quezaltepeque-Nejapa.

2. Unidad Hidrogeológica de depósitos piroclásticos (Holoceno hasta Plioceno). Consiste principalmente de productos piroclásticos depositados sobre la formación de bálsamo (b1) y también efusivas andesíticas y basálticas.

La información que se registra en esta unidad es la siguiente: veinte sondeos eléctricos verticales, diez manantiales, 12 pruebas de infiltración y la ubicación de 19 pozos perforados y 51 excavados.

Esta unidad hidrogeológica abarca una extensión territorial de 55 Km<sup>2</sup>, dentro de la zona de estudio y por lo tanto la más importante.

El promedio de infiltración en esta zona es de 12.5 mm/h. con rangos que varían desde 7 y 30 mm/h. ubicándose los valores de infiltración más alta al lado oeste del cerro de Nejapa. También la mayoría de manantiales se ubican a los costados sur y oeste del cerro de Nejapa. La mayor proporción de pozos esta dispuesta de este-oeste, iniciando al extremo oeste del cerro de Nejapa y finalizando al costado este del casco urbano de Quezaltepeque.

3. Unidad hidrogeológica de mínima capacidad acuífera (Plioceno). Consiste en lavas andesíticas con valores muy bajos de impermeabilidad.

Los datos obtenidos de estas unidades hidrogeológicas son: una prueba de infiltración, tres pozos y seis sondeos eléctricos verticales.

La evapotranspiración se divide en dos zonas, la parte norte y noroeste del cerro de Nejapa es de 1850-1950mm/h y la parte sur y suroeste es de 1750-1850mm/h. La infiltración promedio es de 13.3 mm/h.

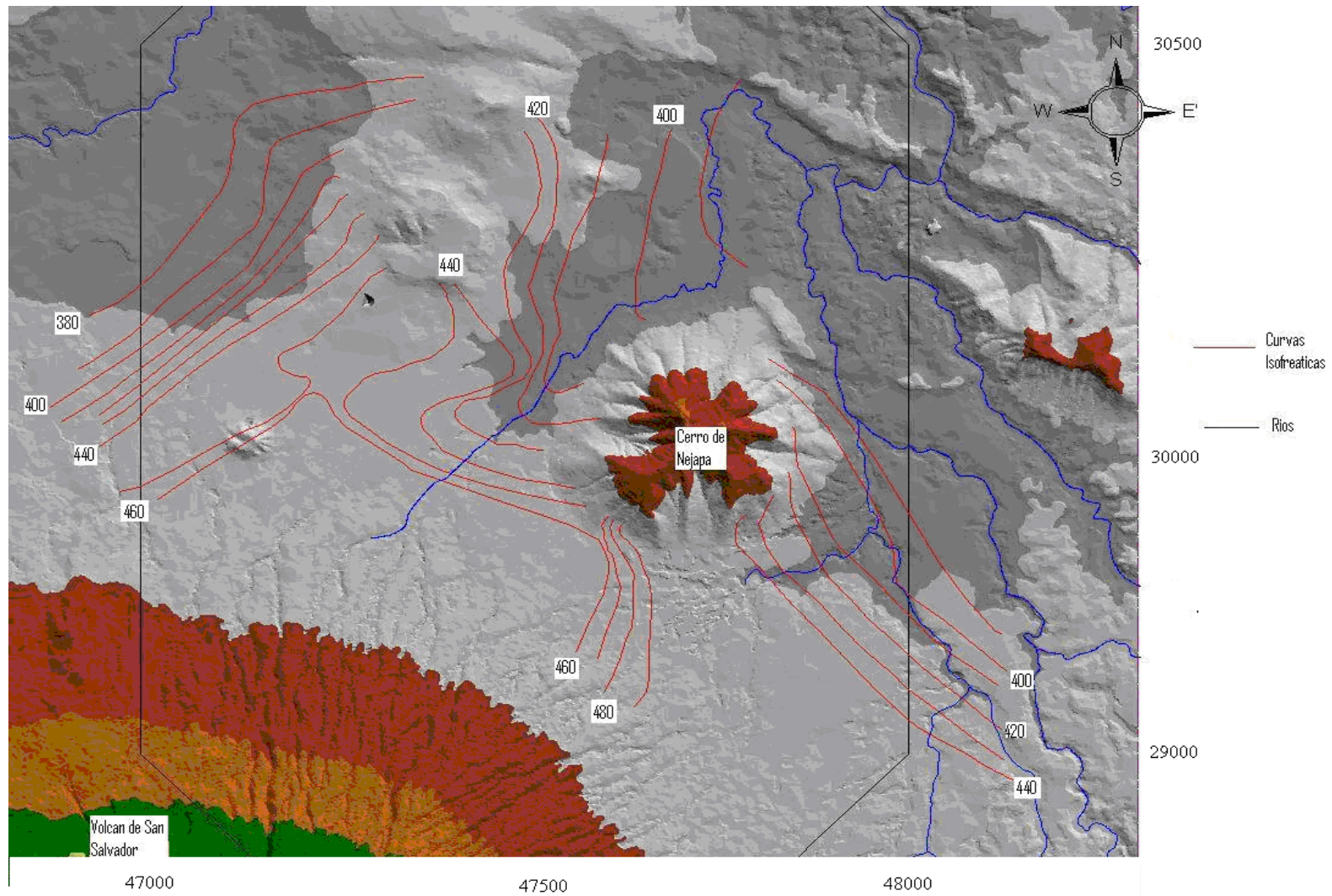


Figura 3.2. Mapa de curvas isofreáticas.

Se puede observar en base al mapa de curvas isofreáticas, que el acuífero es quien cede agua al río San Antonio, río Acelhuate y río Tomayate.

La dirección del flujo del agua es de la siguiente manera:

De la parte noreste del volcán de San Salvador hacia la parte sur del cerro de Nejapa.

Donde se encuentra el nivel de agua a una elevación promedio de 470 msnm.

De la parte oeste del cerro de Nejapa hasta el cantón Galera Quemada.

De la parte norte del cerro de Nejapa hasta los cantones de Camotepeque y tutultepeque.

De la parte sureste del cerro de Nejapa hacia la finca El Ángel.

De la zona norte de Quezaltepeque hacia el casco urbano de Quezaltepeque.

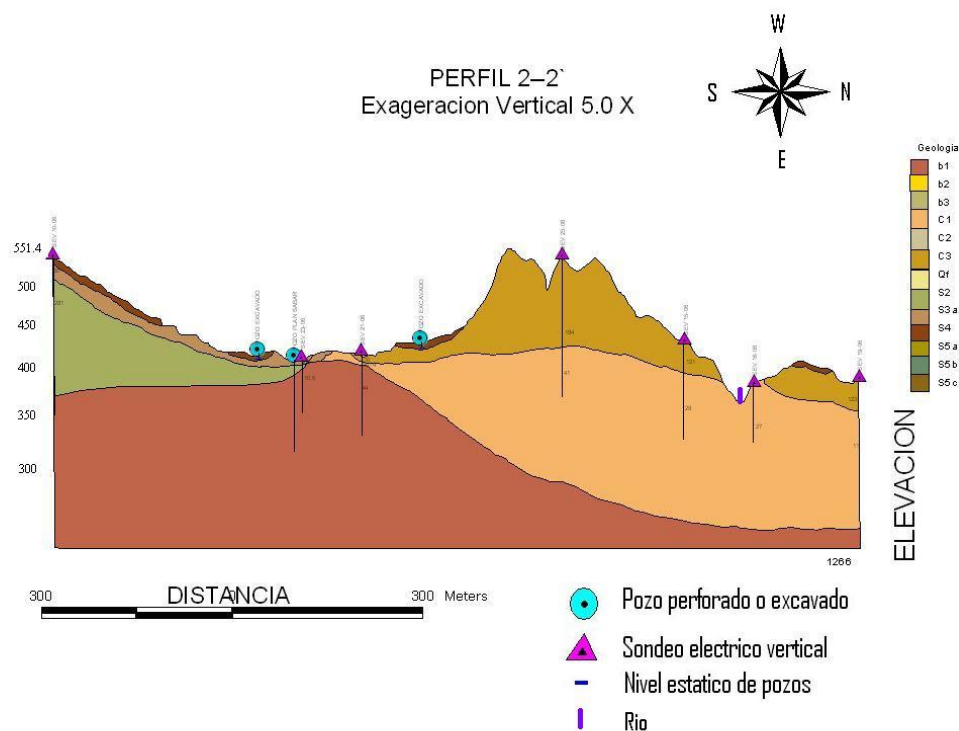


Figura 3.3 Perfil geológico 2-2´

El perfil 2-2' esta trazado con ocho sondeos eléctricos verticales y tres pozos, esta ubicado de sur a norte en la parte central de la zona de estudio, iniciando en el cantón galera quemada, a orilla del volcán de San Salvador, pasando al costado oeste del cerro de Nejapa hasta llegar al cantón Tutultepeque, al norte de Nejapa. En el perfil se observa en los primeros 500 metros de distancia vertical una capa de tierra blanca y ceniza volcánica, a 50 metros de profundidad, se encuentran lavas fracturadas, con capacidad acuífera hasta unos 125 metros, teniendo como basamento rocas basálticas.

Continuando el perfil, desde 500 hasta 1000 metros de distancia horizontal nos encontramos con la unidad hidrogeológica de mínima capacidad acuífera y en el final del perfil se observa la unidad hidrogeológica de depósitos piroclásticos de 150 metros.

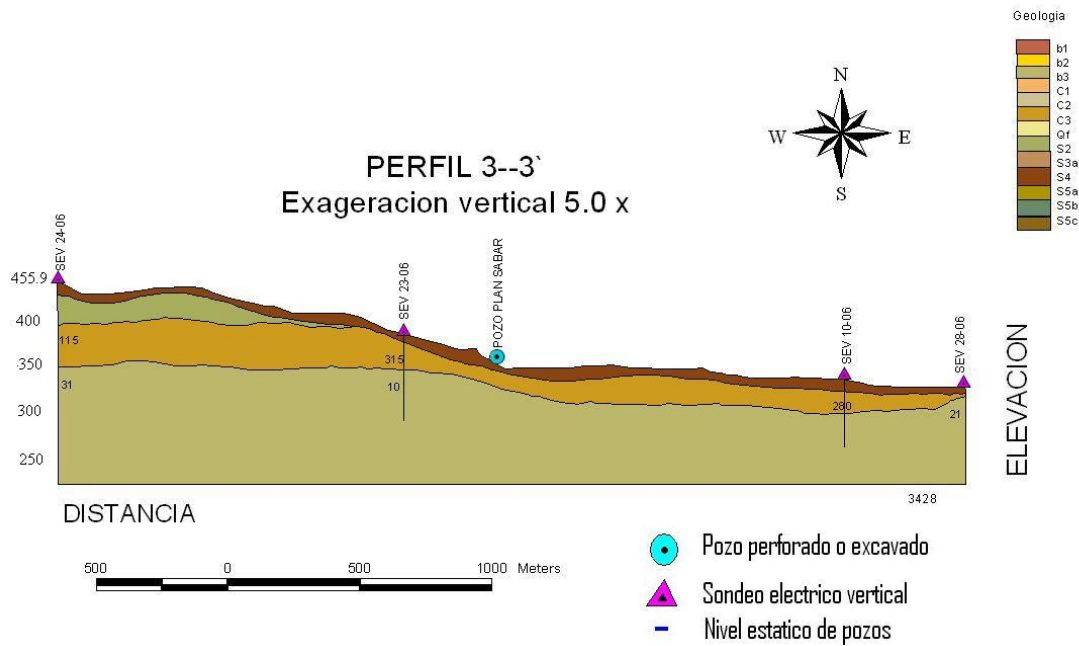


Figura 3.4 Perfil geológico 3-3'

El perfil 3-3' esta trazado con cuatro sondeos eléctricos verticales y un pozo perforado, esta ubicado de oeste a este, iniciando en el cantón Galera Quemada, hasta el costado norte del cerro de Nejapa, hasta el río San Antonio. A lo largo de todo el perfil existe la unidad hidrogeológica de depósitos piroclásticos hasta una profundidad de 10 metros, teniendo como basamento rocas basálticas.



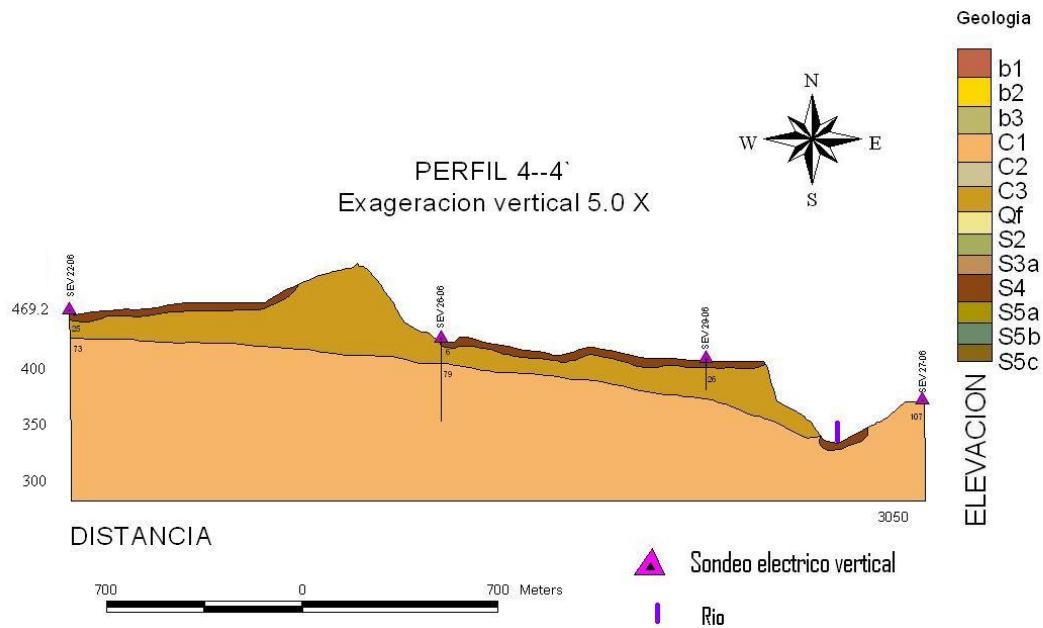


Figura 3.5 Perfil geológico 4-4'

El perfil 4-4' esta trazado con cuatro sondeos eléctricos verticales, esta ubicado de oeste-este, desde el cantón Camotepeque hasta el cantón Bonete. En los primeros 750 metros de distancia horizontal se observa tierra blanca con una profundidad de 12 metros. Continuando un área de rocas basálticas de unos 500 metros, continúa con la misma tierra blanca a lo largo de 1200 metros de distancia horizontal y a la orilla del río San Antonio. Al extremo se observa con mayor profundidad la unidad hidrogeológica de depósitos piroclásticos, hasta unos 50 metros.



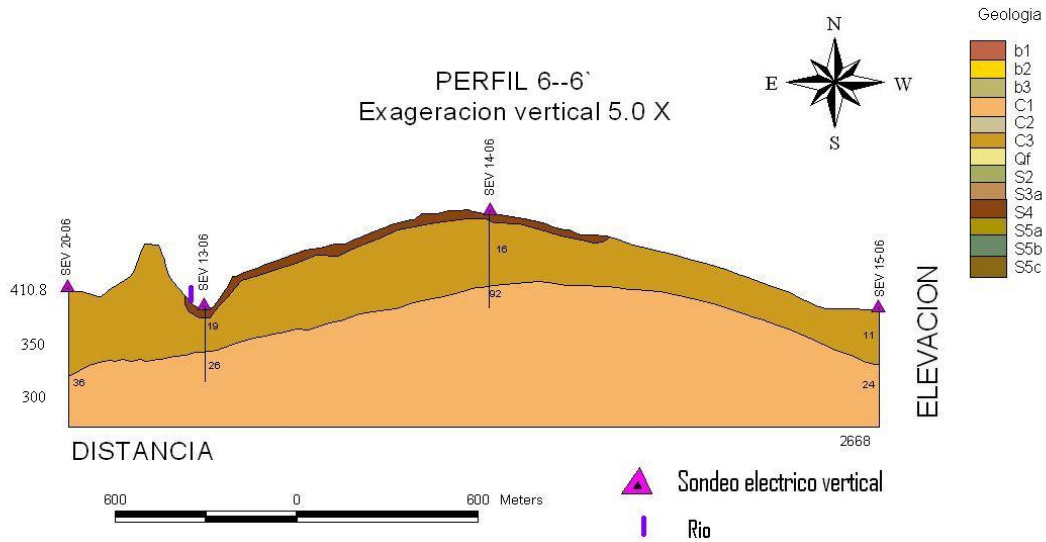


Figura 3.6 Perfil geológico 6-6´

El perfil 6-6´ esta trazado con 4 sondeos eléctricos verticales. Esta ubicado de oeste-este. En el cantón de Tutultepeque, la parte más norte de Nejapa. El perfil presenta dos unidades hidrogeológicas. La de depósitos piroclásticos y el de mínima capacidad acuífera. La de depósitos piroclásticos se extiende en la parte central del perfil a lo largo de 1800 metros. Con una profundidad de 15 metros. Y alrededor de esta, la otra unidad hidrogeológica.

### 3.2 INDICE DE VULNERABILIDAD GOD.

Basándose en la tabla I.5, de la determinación del índice de vulnerabilidad de un acuífero, las unidades hidrogeológicas y utilizando el software de Arc View podemos presentar el mapa de vulnerabilidad del acuífero de Quezaltepeque-Nejapa. El cual es una multiplicación de tres mapas.

#### 3.2.1 Grado de confinamiento hidráulico (G).

Este esta definido por el tipo de acuífero y el grado de confinamiento y el índice varia de 0 a 1. Para el caso de la unidad hidrogeológica de mínima capacidad acuifera, se le asigno el valor de cero y la unidad hidrogeológica de depósitos piroclásticos se le asigno un índice de 0,50 como acuífero semiconfinado dado que las capas son depósitos piroclásticos recientes. Y a las zonas donde el nivel estático es mayor de 30 metros se le asigno un índice de 0,80 como acuífero no confinado cubierto.

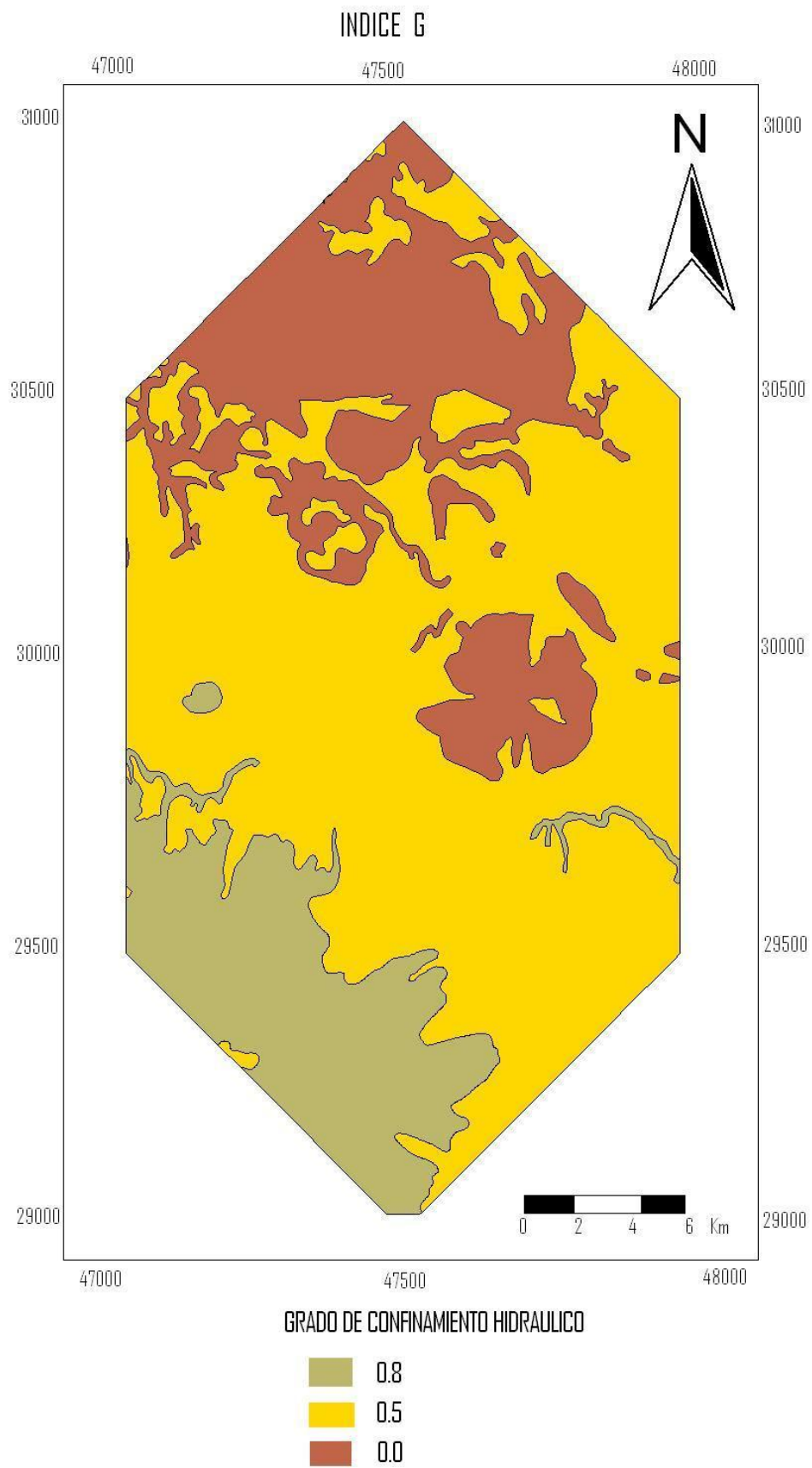


Figura 3.7 Mapa del grado de confinamiento de la zona de estudio.

### 3.2.2 Ocurrencia del sustrato suprayacente (O).

Este esta determinada por las características litológicas que presenta la zona de estudio, en este caso el índice varia entre 0,4 y 1.

Para la asignación de estos valores se tomo en cuenta la tabla III.1 donde es presentan los valores que hay que asignar a cada tipo de sustrato suprayacente.

Tabla III.1 Muestra el índice de la ocurrencia del sustrato suprayacente (Arévalo Herrera; 2004).

Litología	Características	Índice
Efusivas básicas intermedias (lavas escoriaáceas).	Alta porosidad.	1,00
Efusivas básicas intermedias, piroclastitas subordinadas.	Alto grado de fracturamiento.	0,90
Piroclastos pocos consolidados.	Poco consolidados.	0,80
Efusivas básicas intermedias, piroclastitas subordinadas.	Alto grado de fracturamiento.	0,90
Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas (tobas café)	Grado medio de compactación.	0,70
Cenizas volcánicas y tobas de lapillo.	Grado medio de Compactación.	0,70
Piroclastitas acidas y epiclastitas volcánicas subordinadas (tierra blanca).	Poco consolidados.	0,80
Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas (ignimbritas).	Grado medio de facturación.	0,70
Depósitos sedimentarios del cuaternario.	Granulometría heterogénea y poco compacta.	0,90

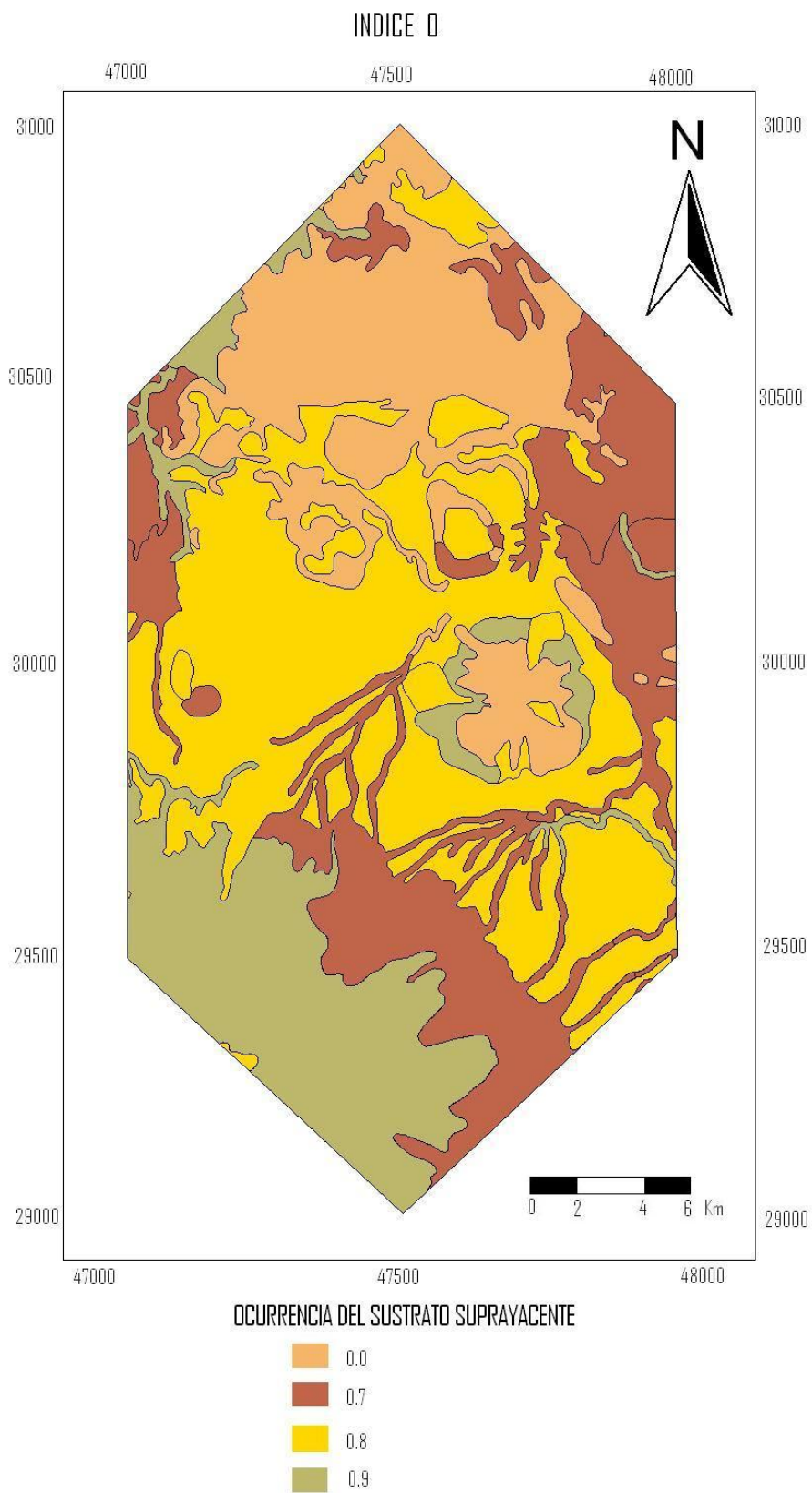


Figura 3.8 Mapa de ocurrencia del sustrato suprayacente de la zona de estudio.

### 3.2.3 Distancia al nivel del agua subterráneo o techo del acuífero. (D).

Para este índice se toma en cuenta la profundidad a la cual se encuentra el nivel del agua subterránea para los acuíferos no confinados y al techo de este cuando es confinado, el índice varía de 0,6 a 1,0.

Tabla III.2 .Muestra el índice de la distancia al nivel del agua subterránea (no confinado) o al techo del acuífero (semiconfinado).

Profundidad al techo del acuífero.	Índice.
2 - 5 m.	0.95
5 – 20 m.	0.85
20 – 50 m	0.75
Mayor de 50 m.	0.65

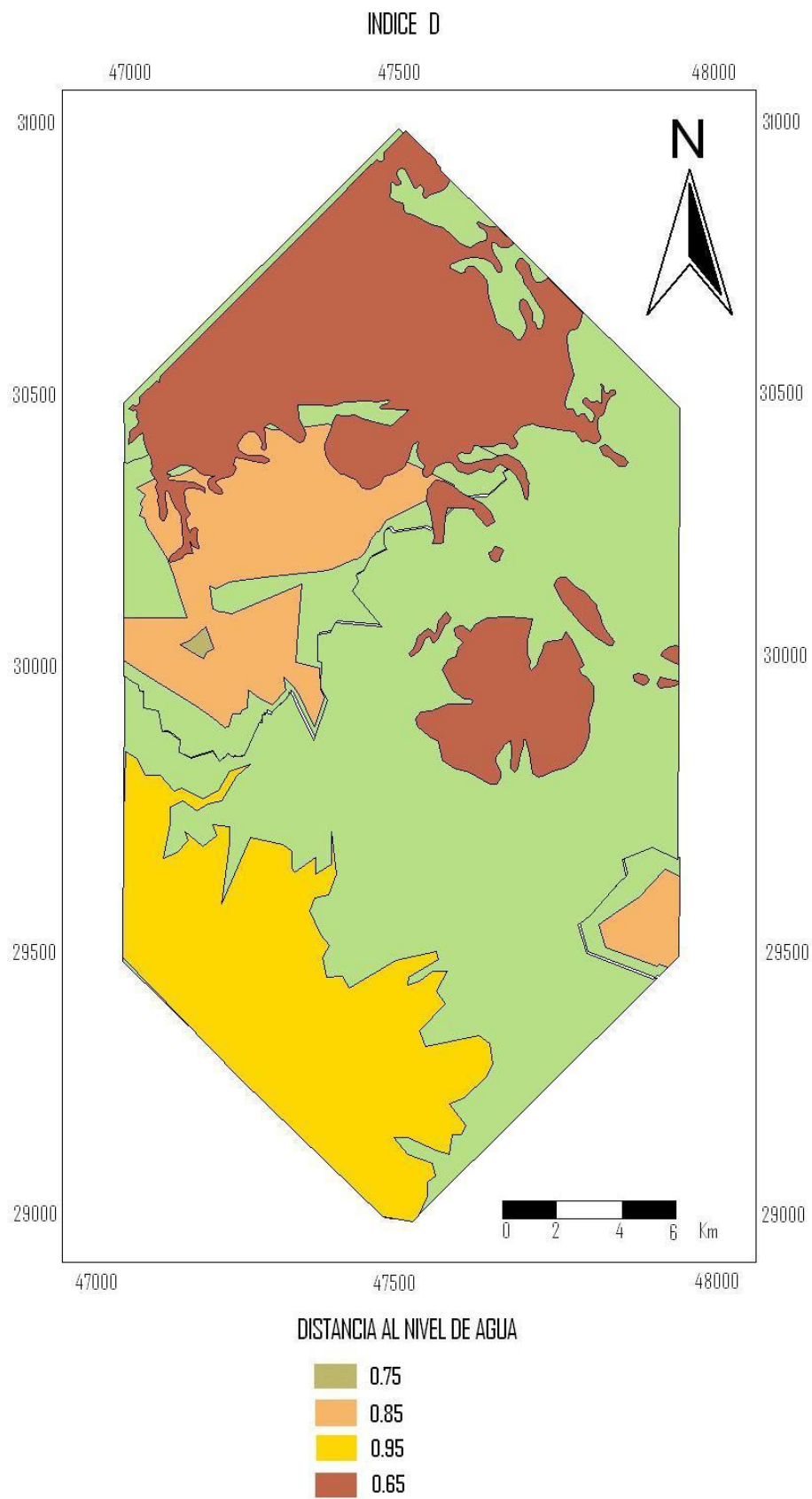


Figura 3.9 Mapa de distancia al nivel de agua en la zona de estudio.

### 3.2.4 Vulnerabilidad del acuífero (índice GOD).

Teniendo en cuenta los mapas grado de confinamiento, de ocurrencia del sustrato suprayacente y profundidad de agua. Se procedió a calcular el índice GOD, como el producto de los índices individuales G, O y D (figura 3.10).

Para ello y en la elaboración de todos los mapas, fue necesario la utilización de los programas de sistemas de información geográfica (SIG), de ahí se obtiene el siguiente cuadro y mapa.

Tabla III.3 .Muestra el índice de vulnerabilidad intrínseca del acuífera Quezaltepeque-Nejapa, obtenido a través de la aplicación de la metodología GOD.

Vulnerabilidad	Definición correspondiente.	Índice GOD
Extrema	No se aprecia.	0,7 – 1,0
Alta	El área más cercana al volcán de San Salvador. En la parte sur de la zona de estudio.	0,5 – 0,7
Moderada (media)	Es la zona de los depósitos piroclastos y a las orillas del río San Antonio y la parte central de la zona de estudio La zona donde existe lavas fracturadas.	0,3 – 0,5
Baja	No se aprecia en grandes extensiones.	0,1 – 0,3
Despreciable	Donde no existe capacidad de acuífera. En la parte norte de la zona de estudio.	0,0 – 0,1



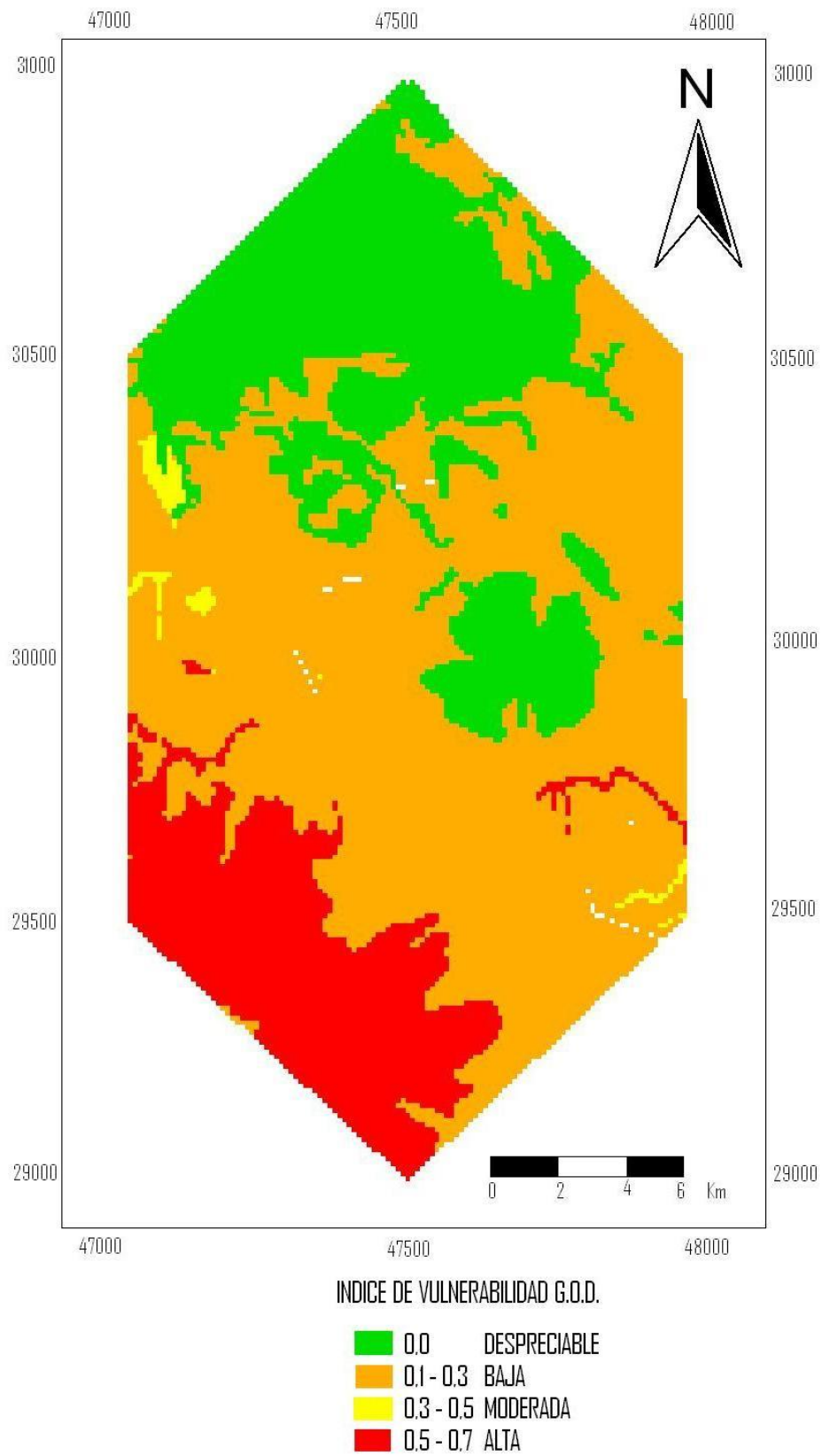


Figura 3.10 Muestra el índice GOD de la zona de estudio.

## Capítulo 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 4.1 CONCLUSIONES.

La presente investigación se logró elaborar con éxito, mediante la aplicación de la metodología GOD y el modelo conceptual hidrológico.

El proceso involucro conocer en primer lugar la teoría relacionada con las técnicas de prospección geofísica, métodos de infiltración del agua, geología, hidrogeología, vulnerabilidad de acuíferos y metodología GOD. Además de aplicar en la recolección de información los conocimientos adquiridos de la técnica Schlumberger para el sondeo eléctrico vertical, la técnica de los cilindros infiltrómetros y medición de parámetros en el campo y en el inventario de los pozos,

También se ha desarrollado la utilidad del software QWSLN, IPI2WIN y Arc View 3.1. Los cuales han sido fundamentales para la realización de esta investigación.

- En base a la aplicación de del índice de vulnerabilidad, también se concluye que el acuífero de Quezaltepeque-Nejapa presenta una vulnerabilidad alta en el área más cercana al volcán de San Salvador.
- En la parte sur de la zona de estudio, presenta una vulnerabilidad moderada, en la zona de los depósitos piroclásticos y a las orillas del río San Antonio y la parte central de la zona de estudio La zona donde existe lavas fracturadas,
- Vulnerabilidad baja no se aprecia en grandes extensiones.
- Despreciable donde no existe capacidad de acuífera. En la parte norte de la zona de estudio.
- El acuífero de Quezaltepeque-Nejapa se encuentra en depósitos piroclásticos sin consolidar, con alternancia de lavas fracturadas del tipo andesititas.
- El promedio de infiltración en la zona de estudio es de 13.3 mm/h.
- La profundidad al nivel estático de los pozos excavados oscila entre lo 2 y 30 metros.
- Se han determinado tres tipos de unidades hidrogeológicas, las cuales son:
  1. Unidad hidrogeológica de depósitos piroclásticos.
  2. Unidad hidrogeológica de lavas fracturadas.
  3. Unidad hidrogeológica de tobas endurecidas.

- La evapotranspiración se divide en dos zonas, la parte norte y noroeste del cerro de Nejapa es de 1850-1950mm/h y la parte sur y suroeste es de 1750-1850mm/h.
- Tomando en cuenta las líneas de flujo se concluye que el río San Antonio, tiene un comportamiento efluente y recibe parte de las descargas del acuífero; entonces.
- El río San Antonio se encuentra a un alto riesgo de contaminación.

## 4.2 RECOMENDACIONES

Al finalizar esta investigación, tomando en cuenta todos los acontecimientos en el desarrollo de la misma, se pueden hacer diversas recomendaciones, mencionando las de mayor trascendencia.

- En primer lugar, la recomendación más importante, es que donde está ubicado la unidad hidrogeológica de depósitos piroclásticos, tenga mayor protección del exceso de construcciones industriales y de vivienda que se avecina, por el establecimiento del anillo periférico. Para ello es necesario delimitar perímetros de protección a los pozos, manantiales y a las zonas de recarga del acuífero.
- También tomando en cuenta para las alcaldías, que han desarrollado estudios de reordenamiento territorial, que procuren llevar a cabo los lineamientos trazados por dichos estudios, y además convertirse en un órgano regulador de los actuales procesos que desarrollan las industrias en los municipios.
- Para aquellas alcaldías que no tienen dicho estudio, que lo realicen a la más brevedad de tiempo posible.
- Se recomienda, que se lleven a cabo más investigaciones sobre la vulnerabilidad de acuíferos en todo el país, ya que de esa forma se pueden tomar decisiones basadas en fundamentos técnicos.
- En estudios próximos de los acuíferos, se pueda agregar análisis químicos y biológicos, para tener un resultado acerca de la calidad del agua del acuífero.

- Apoyo de otras instituciones de forma directa e indirecta; la intervención activa de instituciones gubernamentales hubiese servido de mucha ayuda para la finalización del trabajo de investigación.
- Se pudo observar que en diferentes viviendas existía la letrina de fosa, por lo tanto, se recomienda que se implemente otro tipo de servicio de letrinas que no contamine el acuífero.
- Realizar un mapa de fuentes potenciales de contaminación y evaluar el riesgo del acuífero.
- Utilizar las herramientas geofísicas para la determinación del recurso hídrico.

## **BIBLIOGRAFIA.**

REYNOLDS VARGAS J; 2002; Manejo de aguas subterráneas; Editorial Universidad Estatal a Distancia; San José, Costa Rica.

LOSILLA M, *et al*; 2001; Los Acuíferos Volcánicos y el Desarrollo Sostenible en América Central; Editorial de la Universidad de Costa Rica; San José, Costa Rica.

FOSTER S. *et al*; 2002; Protección de la Calidad del Agua Subterránea; Editorial Mundi-Prensa; México D.F.

ORELLANA, ERNESTO; 1982; Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua; segunda edición, editorial paraninfo; Madrid.

MONSALVE SAENZ, GERMAN; 1999; Hidrológica en la Ingeniería; segunda edición; Editorial Alfaomega; Bogota.

A V Consultores S A de C V y Alcaldía Municipal de Nejapa; Plan Estratégico Participativo de Nejapa; 2003.

INFORMES Y PROYECTOS, S.A. (INYPSA Plan de Desarrollo Territorial para el Valle de San Andrés); 2004.

GUROVICH R., L.A. 1999; Riego Superficial Tecnificado; ALFAOMEGA. Universidad Católica de Chile. México.

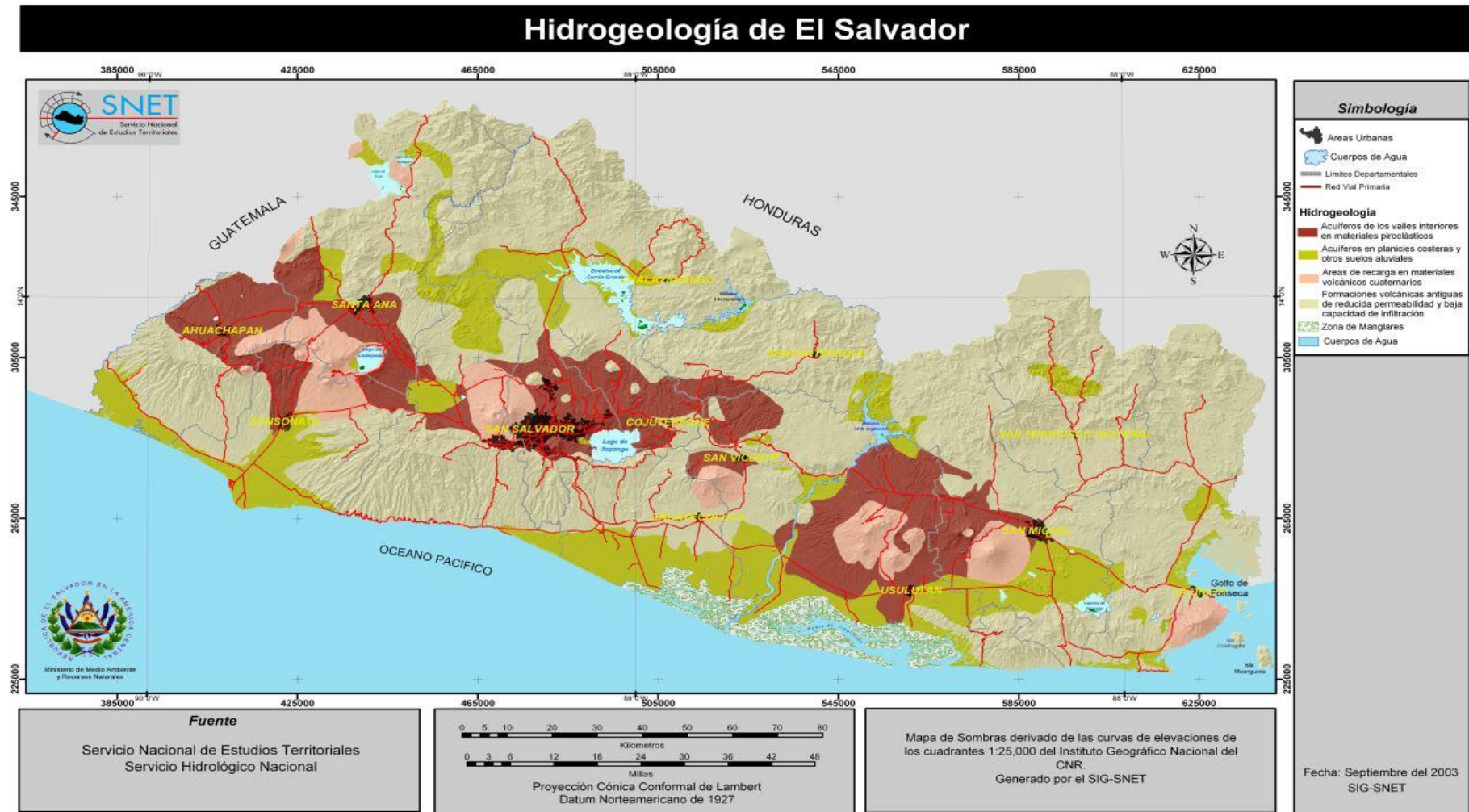
Arévalo Herrera; 2004; Determinación de la Vulnerabilidad del acuífero Opico-Quezaltepeque; Tesis.

REYNOLDS, JOHN M.; 2002; An Introduction to Applied and Environmental Geophysics; Editorial Wiley; England.

TEJADA, JOSE MAURICIO; 2004; Infiltración del agua en el suelo; Universidad de El Salvador.

# **ANEXOS.**

Anexo 1. Mapa Hidrogeológico de El Salvador, (Fuente: SNET)



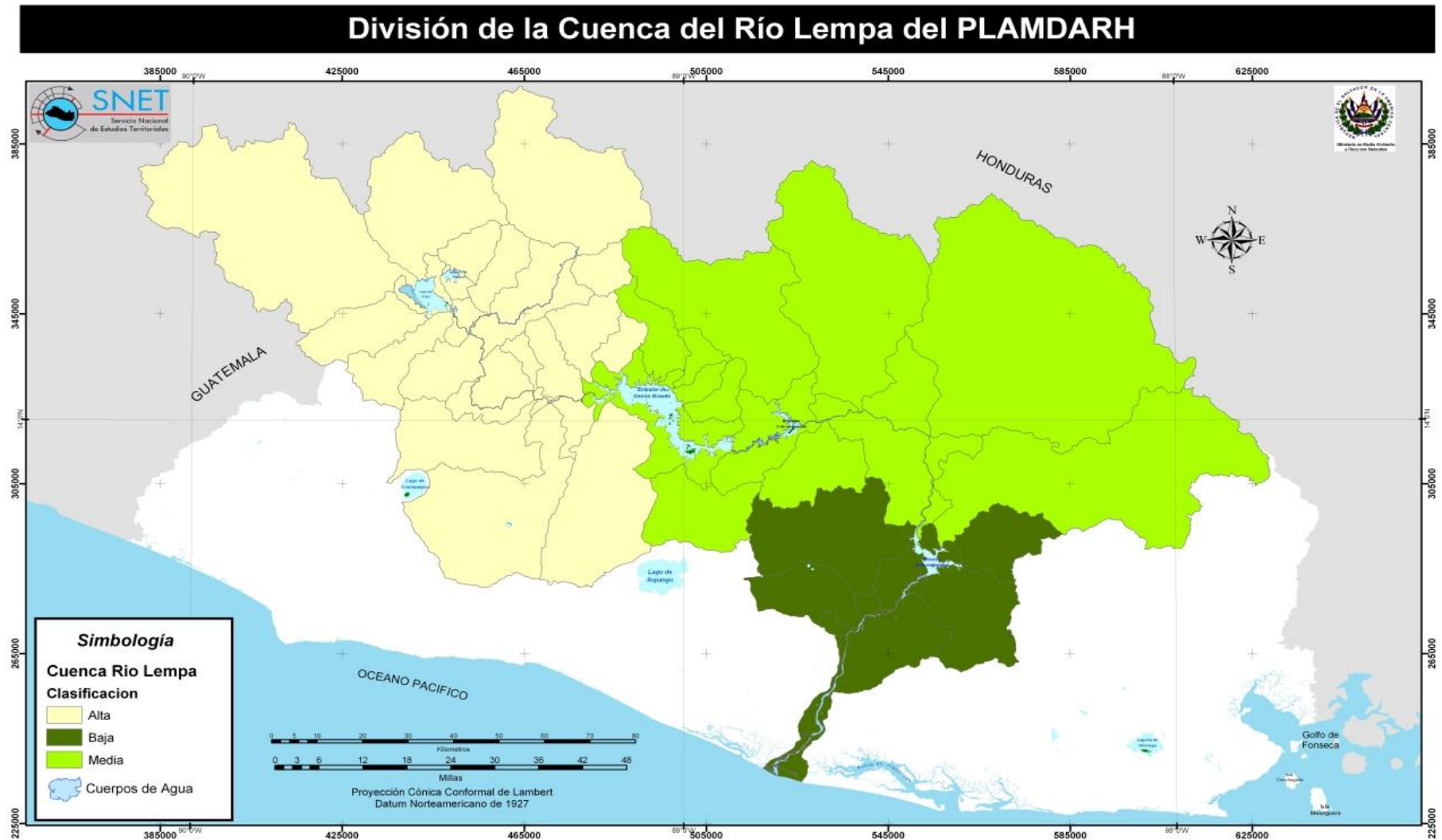


Anexo 2. Cuenca del río Lempa de El Salvador. (Fuente: SNET)

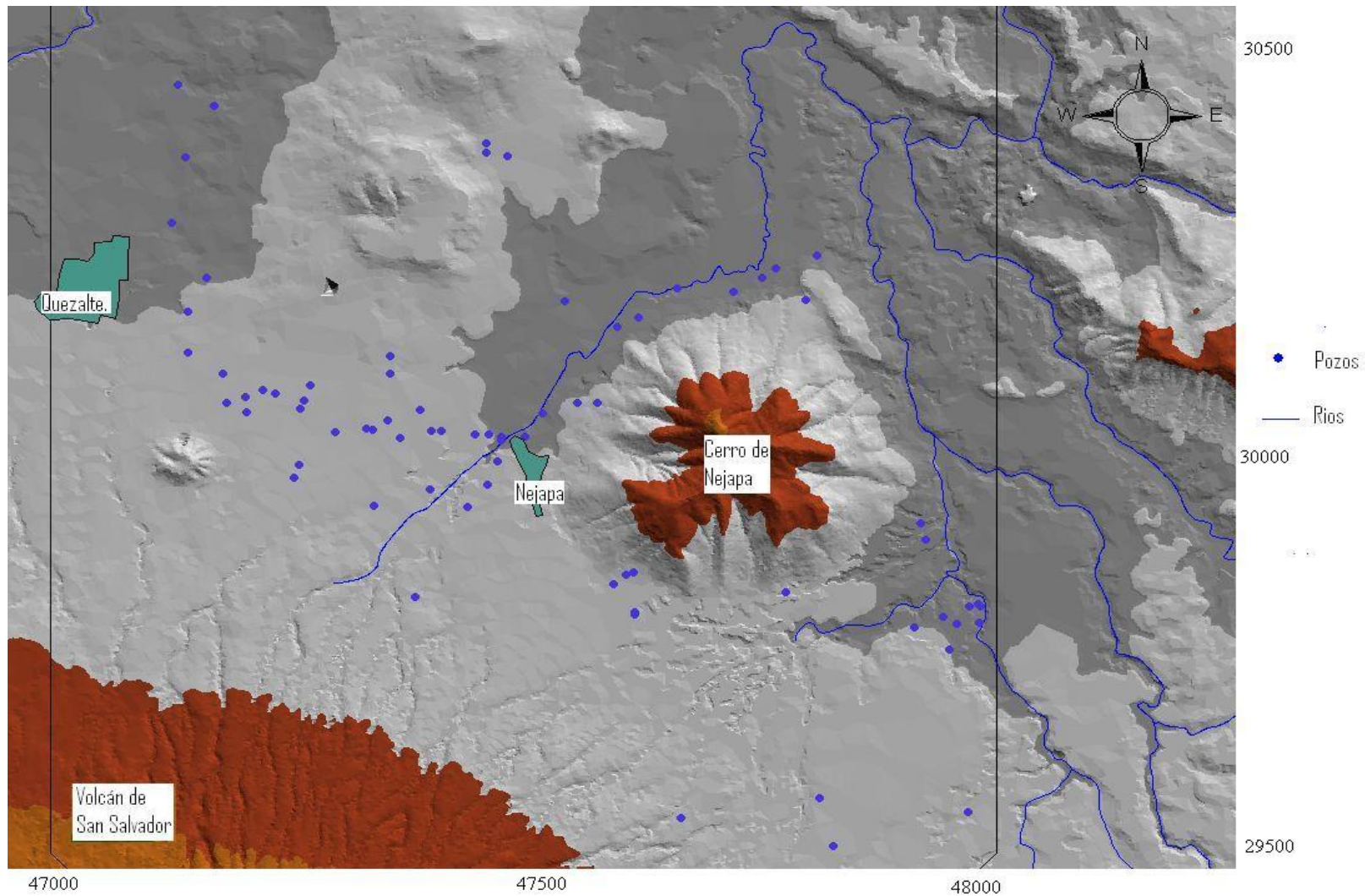




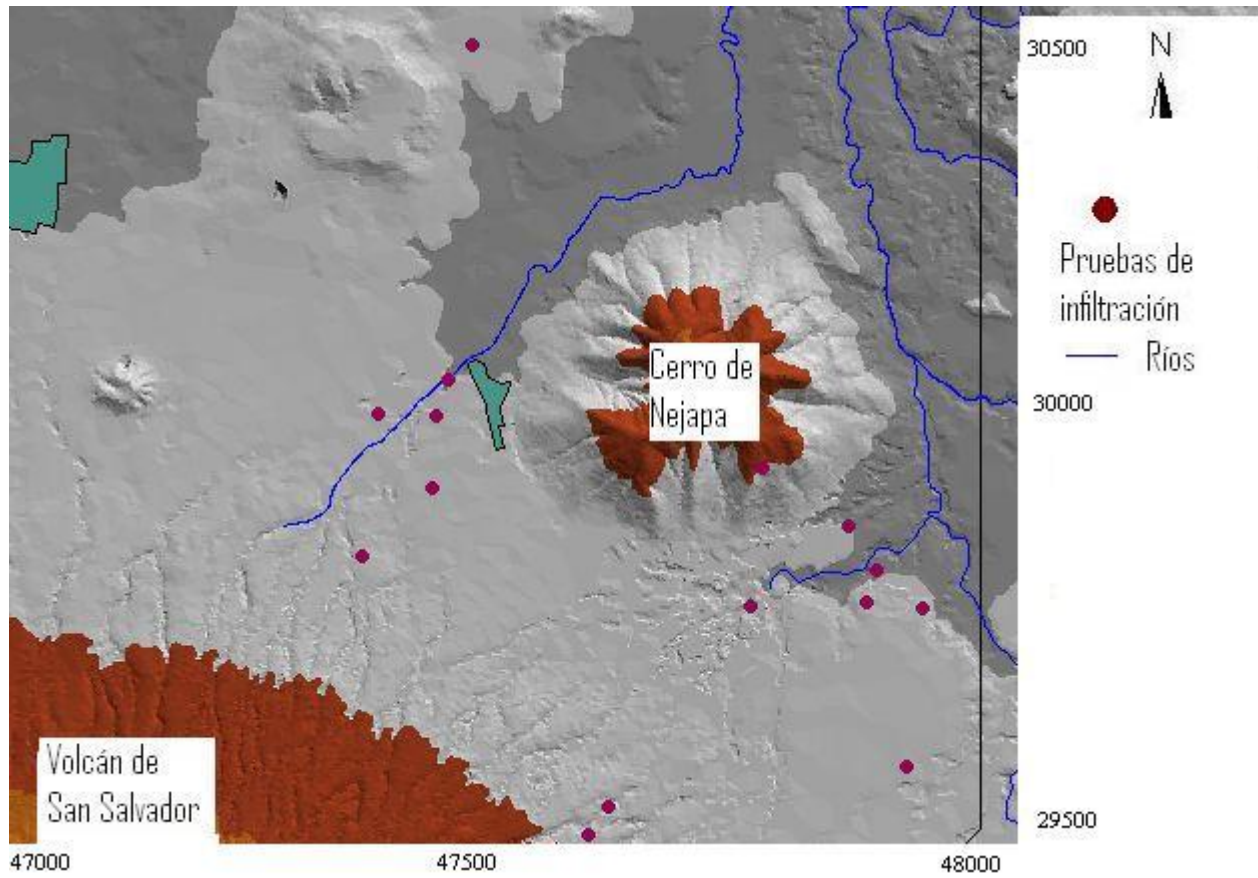
Anexo 3. División de la Cuenca del Río Lempa del PLAMDARH, (Fuente: SNET)



Anexo 4. Distribución de pozos en la zona de estudio.

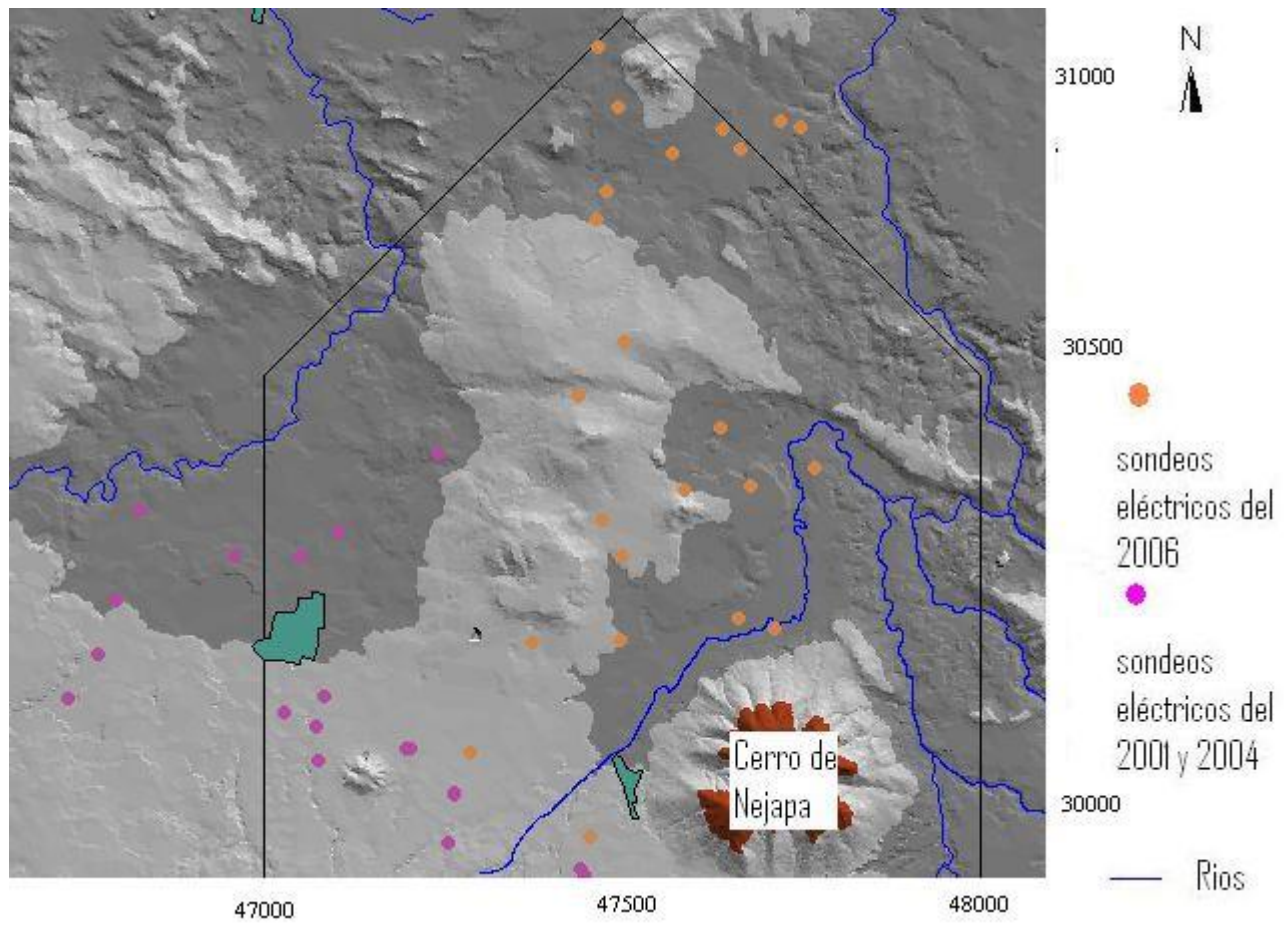


Anexo 5. Distribución de pruebas de infiltración en la zona de estudio.

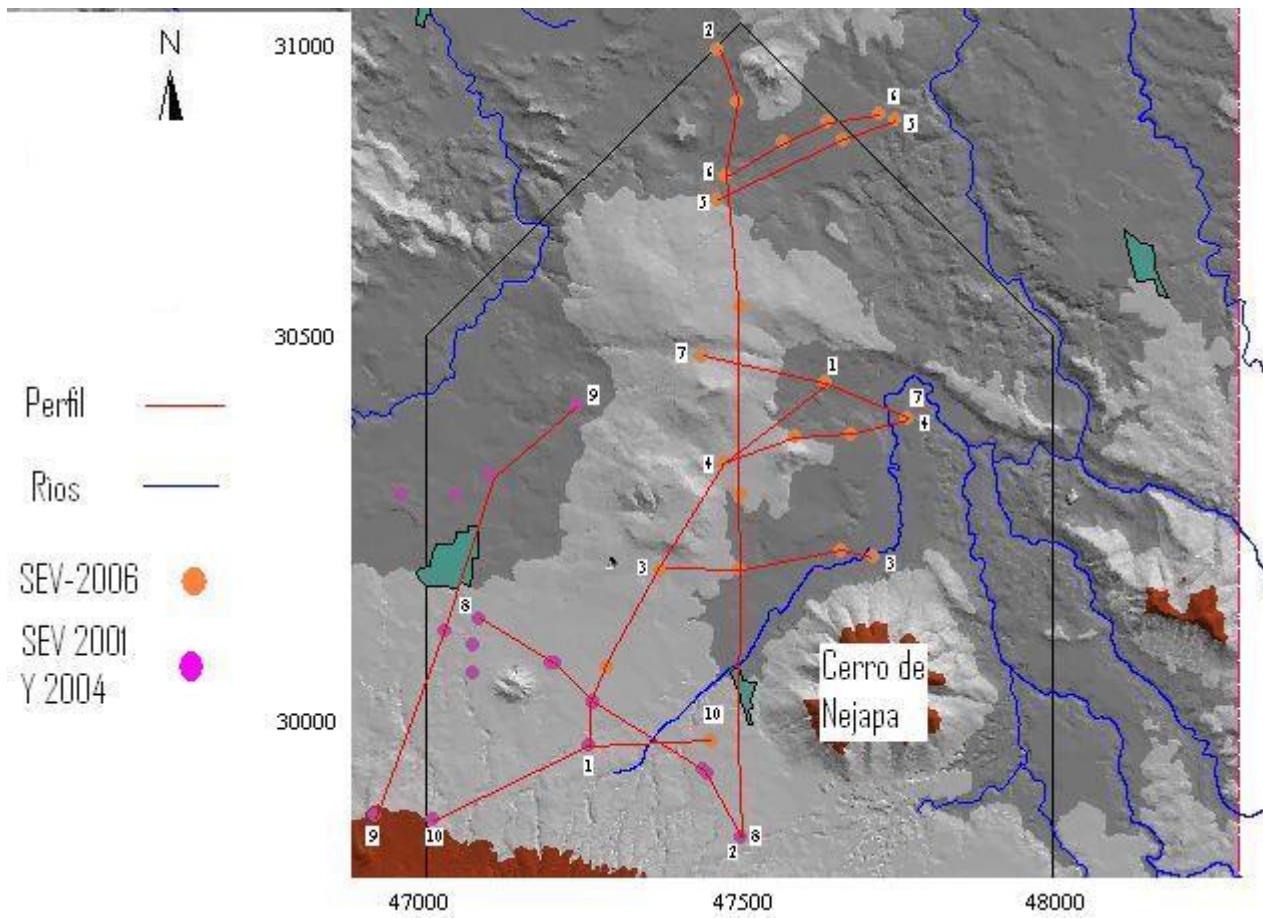




Anexo 6. Distribución de sondeos eléctricos verticales en la zona de estudio.



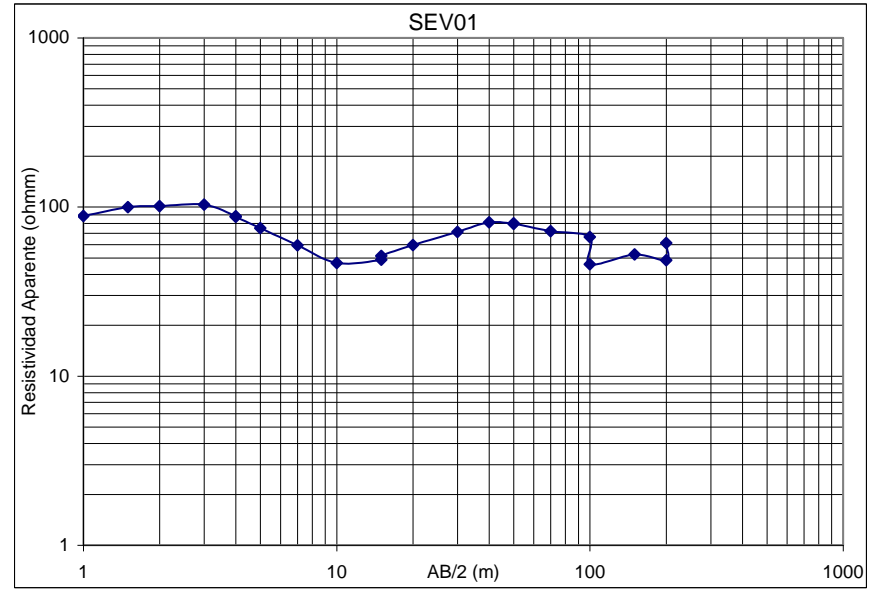
Anexo 7. Distribución de perfiles en la zona de estudio.



Anexo 8. Datos de campo de los sondeos eléctricos verticales procesados en hoja de Excel.

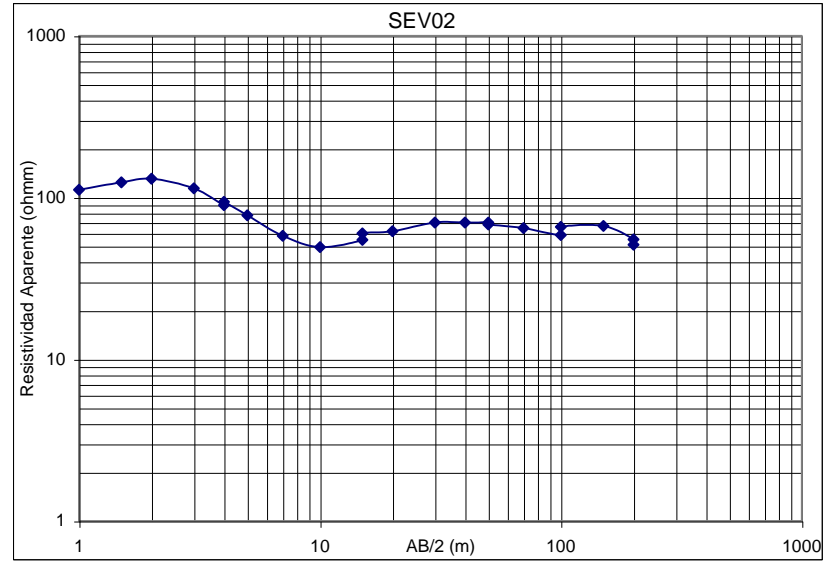
Fecha de Realización	12/05/2006	Código de Sondeo	SEV01			
Ubicación	Canton Santa Rosa	Orientación del Sondeo	N-S			
Proyecto	Tesis	Coordenadas	N:	472012	W:	299766
Responsable	César	Elevación	Z:	496		
		Condiciones de terreno	humedo, monte			

SEV01								
Punto	AB / 2 (m)	AB (m)	MN / 2 (m)	MN (m)	K	V	I	p (m)
1	1	2	0.3	0.6	4.76	96.40	5.20	88.33
2	1.5	3	0.3	0.6	11.31	45.80	5.20	99.61
3	2	4	0.3	0.6	20.47	25.70	5.20	101.18
4	3	6	0.3	0.6	46.65	11.50	5.20	103.17
5	4	8	0.3	0.6	83.30	5.50	5.20	88.11
6	4	8	1	2	23.56	38.70	10.40	87.68
7	5	10	1	2	37.70	20.70	10.40	75.04
8	7	14	1	2	75.40	8.20	10.40	59.45
9	10	20	1	2	155.51	7.80	26.00	46.65
10	15	30	1	2	351.86	3.60	26.00	48.72
11	15	30	2.5	5	137.44	9.70	26.00	51.28
12	20	40	2.5	5	247.40	2.50	10.40	59.47
13	30	60	2.5	5	561.56	3.30	26.00	71.27
14	40	80	2.5	5	1001.38	2.10	25.90	81.19
15	50	100	2.5	5	1566.87	2.60	51.30	79.41
16	50	100	10	20	376.99	10.90	51.40	79.95
17	70	140	10	20	753.98	4.90	51.40	71.88
18	100	200	10	20	1555.09	2.20	51.50	66.43
19	100	200	20	40	753.98	6.70	110.00	45.92
20	150	300	20	40	1735.73	3.10	102.50	52.50
21	200	400	20	40	3110.18	1.60	102.70	48.45
22	200	400	30	60	2047.27	2.30	76.90	61.23
23	300	600	30	60	4665.27			
	400	800	30	60	8330.46			
	400	800	50	100	4948.01			
	500	1000	50	100	7775.44			



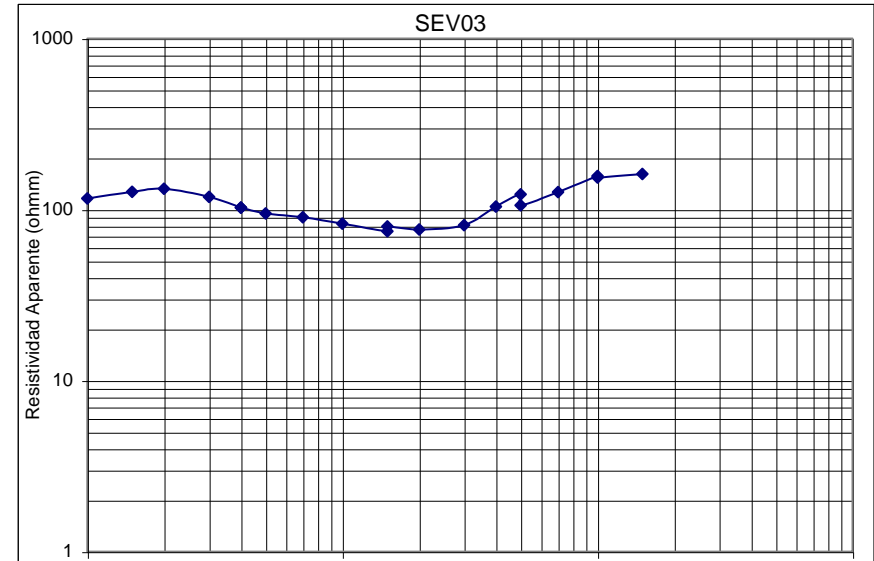
Fecha de Realización	12/05/2006	Código de Sondeo	SEV02		
Ubicación	Canton Santa Rosa	Orientación del Sondeo	N-S		
Proyecto	Tesis	Coordenadas	N: 472071	W: 299761	
Responsable	César	Elevación	Z: 502		
		Condiciones de terreno	humedo, monte		

SEV02								
Punto	AB / 2 (m)	AB (m)	MN / 2 (m)	MN (m)	K	V	l	ρ (m)
1	1	2	0.3	0.6	4.76	122.10	5.20	111.88
2	1.5	3	0.3	0.6	11.31	57.20	5.20	124.41
3	2	4	0.3	0.6	20.47	33.20	5.20	130.71
4	3	6	0.3	0.6	46.65	12.70	5.20	113.94
5	4	8	0.3	0.6	83.30	5.60	5.20	89.71
6	4	8	1	2	23.56	20.80	5.20	94.25
7	5	10	1	2	37.70	10.70	5.20	77.57
8	7	14	1	2	75.40	4.00	5.20	58.00
9	10	20	1	2	155.51	3.30	10.40	49.34
10	15	30	1	2	351.86	1.60	10.30	54.66
11	15	30	2.5	5	137.44	4.50	10.30	60.05
12	20	40	2.5	5	247.40	2.60	10.40	61.85
13	30	60	2.5	5	561.56	1.30	10.40	70.19
14	40	80	2.5	5	1001.38	3.60	51.40	70.14
15	50	100	2.5	5	1566.87	2.30	51.50	69.98
16	50	100	10	20	376.99	9.30	51.40	68.21
17	70	140	10	20	753.98	4.40	51.20	64.80
18	100	200	10	20	1555.09	2.90	76.90	58.64
19	100	200	20	40	753.98	6.70	76.80	65.78
20	150	300	20	40	1735.73	3.90	101.30	66.82
21	200	400	20	40	3110.18	1.80	101.50	55.16
22	200	400	30	60	2047.27	3.80	152.00	51.18



Fecha de Realización	19/05/2006	Código de Sondeo	SEV03		
Ubicación	Nejapa	Orientación del Sondeo	N-S		
Proyecto	Tesis	Coordenadas	N: 472667	W: 299129	
Responsable	César	Elevación	Z: 469		
		Condiciones de terreno	ripió, escombros, material rocoso		

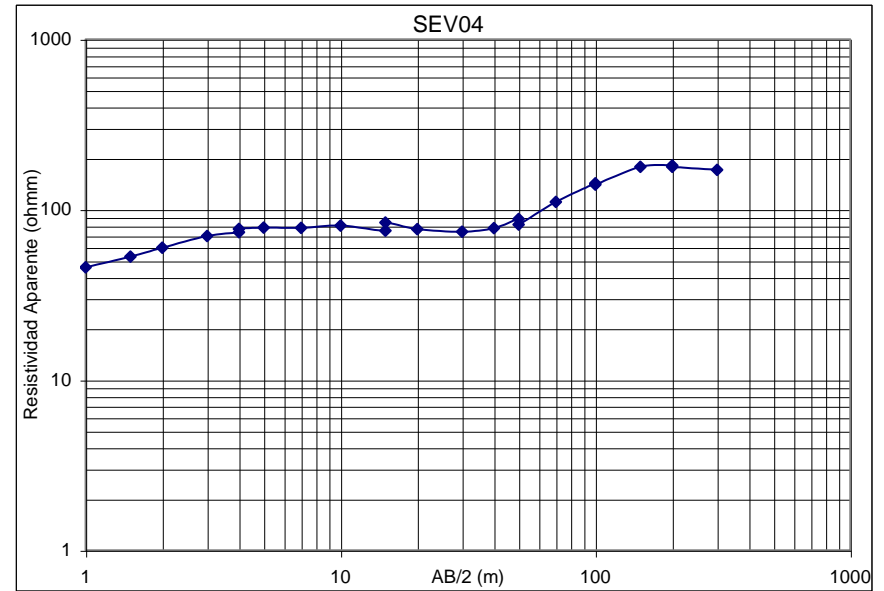
SEV03								
Punto	AB / 2 (m)	AB (m)	MN / 2 (m)	MN (m)	K	V	l	ρ (m)
1	1	2	0.3	0.6	4.76	126.80	5.20	116.19
2	1.5	3	0.3	0.6	11.31	58.40	5.20	127.02
3	2	4	0.3	0.6	20.47	33.60	5.20	132.29
4	3	6	0.3	0.6	46.65	13.20	5.20	118.43
5	4	8	0.3	0.6	83.30	6.40	5.20	102.53
6	4	8	1	2	23.56	44.90	10.30	102.71
7	5	10	1	2	37.70	26.20	10.40	94.97
8	7	14	1	2	75.40	12.30	10.30	90.04
9	10	20	1	2	155.51	13.60	25.60	82.61
10	15	30	1	2	351.86	5.40	25.50	74.51
11	15	30	2.5	5	137.44	14.80	25.50	79.77
12	20	40	2.5	5	247.40	7.90	25.60	76.35
13	30	60	2.5	5	561.56	3.70	25.60	81.16
14	40	80	2.5	5	1001.38	2.70	26.00	103.99
15	50	100	2.5	5	1566.87	4.00	51.10	122.65
16	50	100	10	20	376.99	14.40	51.20	106.03
17	70	140	10	20	753.98	8.60	51.30	126.40
18	100	200	10	20	1555.09	5.10	50.50	157.05
19	100	200	20	40	753.98	10.30	50.50	153.78
20	150	300	20	40	1735.73	4.70	50.60	161.22





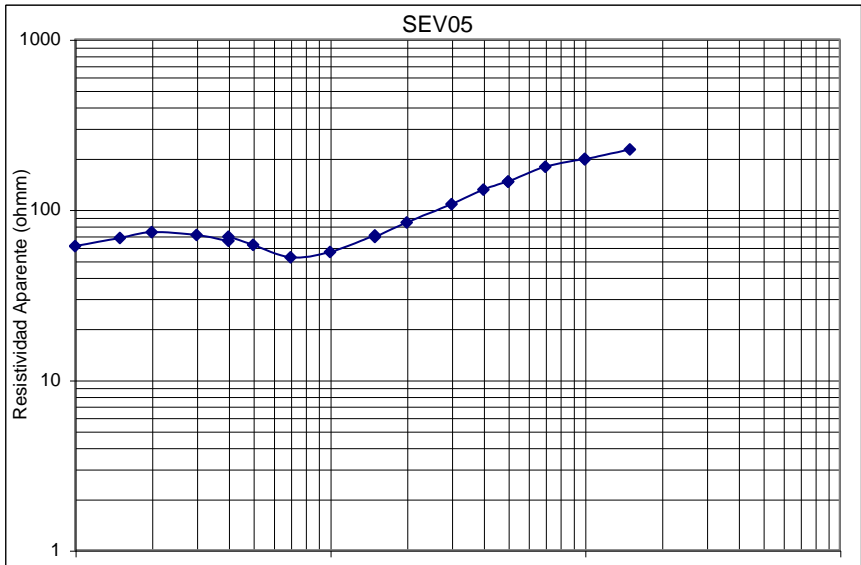
Fecha de Realización	19/05/2006	Código de Sondeo	SEV04		
Ubicación	Nejapa	Orientación del Sondeo	N-S		
Proyecto	Tesis	Coordenadas	N: 472687	W: 299153	
Responsable	César	Elevación	Z: 487		
		Condiciones de terreno	ripio, escombros, material rocoso		

SEV04								
Punto	AB / 2 (m)	AB (m)	MN / 2 (m)	MN (m)	K	V	l	ρ (m)
1	1	2	0.3	0.6	4.76	50.10	5.20	45.91
2	1.5	3	0.3	0.6	11.31	24.40	5.20	53.07
3	2	4	0.3	0.6	20.47	15.20	5.20	59.84
4	3	6	0.3	0.6	46.65	7.80	5.20	69.98
5	4	8	0.3	0.6	83.30	4.60	5.20	73.69
6	4	8	1	2	23.56	17.00	5.20	77.03
7	5	10	1	2	37.70	10.80	5.20	78.30
8	7	14	1	2	75.40	5.50	5.30	78.24
9	10	20	1	2	155.51	5.40	10.40	80.74
10	15	30	1	2	351.86	2.20	10.30	75.15
11	15	30	2.5	5	137.44	6.30	10.30	84.07
12	20	40	2.5	5	247.40	3.20	10.30	76.86
13	30	60	2.5	5	561.56	3.40	25.70	74.29
14	40	80	2.5	5	1001.38	2.00	25.70	77.93
15	50	100	2.5	5	1566.87	2.90	51.60	88.06
16	50	100	10	20	376.99	11.20	51.60	81.83
17	70	140	10	20	753.98	11.10	75.50	110.85
18	100	200	10	20	1555.09	7.00	76.30	142.67
19	100	200	20	40	753.98	14.20	76.30	140.32
20	150	300	20	40	1735.73	5.30	51.60	178.28
21	200	400	20	40	3110.18	6.00	102.80	181.53
22	200	400	30	60	2047.27	6.70	77.00	178.14
23	300	600	30	60	4665.27	4.70	128.00	171.3027



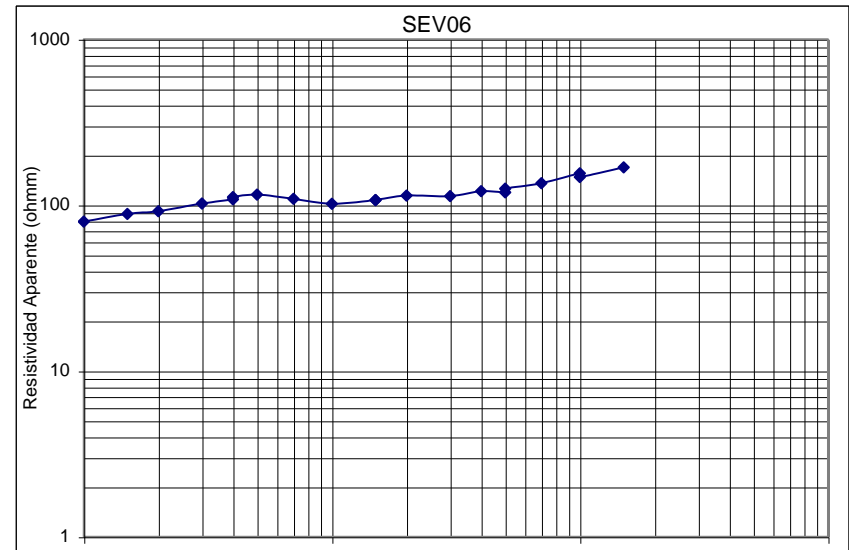
Fecha de Realización	19/05/2006	Código de Sondeo	SEV05		
Ubicación	Nejapa	Orientación del Sondeo	N-S		
Proyecto	Tesis	Coordenadas	N: 475034	W: 296972	
Responsable	César	Elevación	Z: 543		
		Condiciones de terreno	cultiva caña		

SEV05								
Punto	AB / 2 (m)	AB (m)	MN / 2 (m)	MN (m)	K	V	l	ρ (m)
1	1	2	0.3	0.6	4.76	67.80	5.30	60.95
2	1.5	3	0.3	0.6	11.31	31.90	5.30	68.07
3	2	4	0.3	0.6	20.47	18.70	5.20	73.62
4	3	6	0.3	0.6	46.65	7.90	5.20	70.88
5	4	8	0.3	0.6	83.30	4.10	5.20	65.68
6	4	8	1	2	23.56	15.30	5.20	69.33
7	5	10	1	2	37.70	17.10	10.40	61.99
8	7	14	1	2	75.40	7.30	10.50	52.42
9	10	20	1	2	155.51	3.80	10.50	56.28
10	15	30	1	2	351.86	5.20	26.00	70.37
11	15	30	2.5	5	137.44	13.00	25.90	68.99
12	20	40	2.5	5	247.40	8.80	25.90	84.06
13	30	60	2.5	5	561.56	5.00	26.10	107.58
14	40	80	2.5	5	1001.38	3.40	26.00	130.95
15	50	100	2.5	5	1566.87	4.80	51.40	146.32
16	50	100	10	20	376.99	29.60	76.70	145.49
17	70	140	10	20	753.98	18.10	76.60	178.16
18	100	200	10	20	1555.09	9.80	76.80	198.44
19	100	200	20	40	753.98	26.80	102.50	197.14
20	150	300	20	40	1735.73	13.30	102.50	225.22



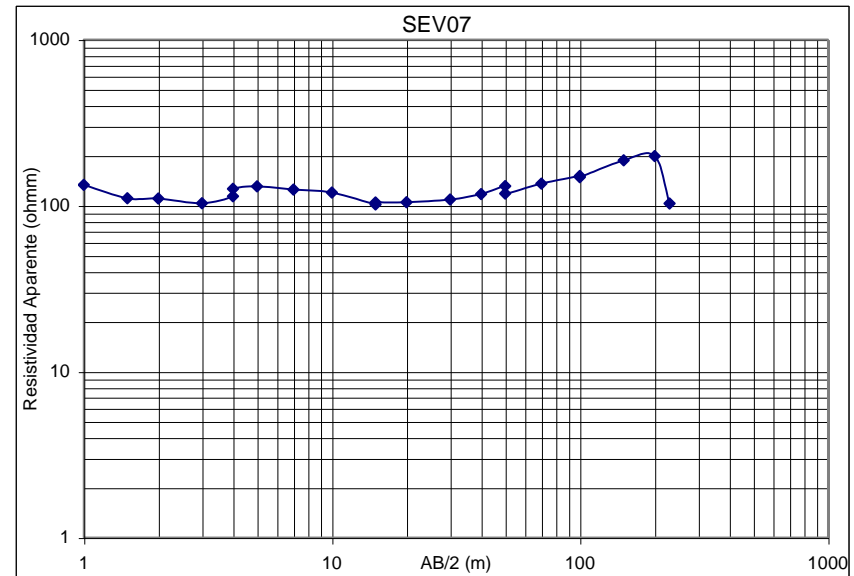
Fecha de Realización	25/05/2006	Código de Sondeo	SEV06		
Ubicación	El Castaño	Orientación del Sondeo	N-S		
Proyecto	Tesis	Coordenadas	N: 474424	W: 298082	
Responsable	César	Elevación	Z: 499		
		Condiciones de terreno	humedo, monte		

SEV06								
Punto	AB / 2 (m)	AB (m)	MN / 2 (m)	MN (m)	K	V	l	ρ (m)
1	1	2	0.3	0.6	4.76	86.70	5.20	79.44
2	1.5	3	0.3	0.6	11.31	40.60	5.20	88.30
3	2	4	0.3	0.6	20.47	23.30	5.20	91.73
4	3	6	0.3	0.6	46.65	11.40	5.20	102.28
5	4	8	0.3	0.6	83.30	13.40	10.30	108.38
6	4	8	1	2	23.56	48.80	10.30	111.63
7	5	10	1	2	37.70	31.60	10.30	115.66
8	7	14	1	2	75.40	14.90	10.30	109.07
9	10	20	1	2	155.51	6.80	10.40	101.68
10	15	30	1	2	351.86	7.80	25.60	107.21
11	15	30	2.5	5	137.44	19.90	25.50	107.26
12	20	40	2.5	5	247.40	11.30	24.50	114.11
13	30	60	2.5	5	561.56	5.10	25.30	113.20
14	40	80	2.5	5	1001.38	6.20	51.10	121.50
15	50	100	2.5	5	1566.87	5.80	76.20	119.26
16	50	100	10	20	376.99	25.40	76.20	125.66
17	70	140	10	20	753.98	18.30	101.90	135.41
18	100	200	10	20	1555.09	10.10	101.10	155.36
19	100	200	20	40	753.98	19.80	101.20	147.52
20	150	300	20	40	1735.73	9.90	101.70	168.96



Fecha de Realización	25/05/2006	Código de Sondeo	SEV07		
Ubicación	El Castaño	Orientación del Sondeo	N-S		
Proyecto	Tesis	Coordenadas	N: 474506	W: 298000	
Responsable	César	Elevación	Z: 497		
		Condiciones de terreno	humedo, monte		

SEV07								
Punto	AB / 2 (m)	AB (m)	MN / 2 (m)	MN (m)	K	V	I	ρ (m)
1	1	2	0.3	0.6	4.76	145.40	5.20	133.23
2	1.5	3	0.3	0.6	11.31	50.80	5.20	110.49
3	2	4	0.3	0.6	20.47	28.00	5.20	110.24
4	3	6	0.3	0.6	46.65	11.50	5.20	103.17
5	4	8	0.3	0.6	83.30	7.10	5.20	113.74
6	4	8	1	2	23.56	27.80	5.20	125.97
7	5	10	1	2	37.70	18.00	5.20	130.50
8	7	14	1	2	75.40	8.60	5.20	124.70
9	10	20	1	2	155.51	4.00	5.20	119.62
10	15	30	1	2	351.86	3.00	10.40	101.50
11	15	30	2.5	5	137.44	7.90	10.40	104.41
12	20	40	2.5	5	247.40	4.40	10.40	104.67
13	30	60	2.5	5	561.56	5.00	25.80	108.83
14	40	80	2.5	5	1001.38	6.00	51.30	117.12
15	50	100	2.5	5	1566.87	4.30	51.50	130.83
16	50	100	10	20	376.99	16.10	51.40	118.08
17	70	140	10	20	753.98	9.20	51.20	135.48
18	100	200	10	20	1555.09	5.00	51.50	150.98
19	100	200	20	40	753.98	15.10	76.80	148.24
20	150	300	20	40	1735.73	8.10	75.20	186.96
21	200	400	20	40	3110.18	6.50	102.00	198.20
22	230	460	20	40	2047.27	5.10	101.60	102.77



Fecha de Realización	05/07/2006	Código de Sondeo	SEV08		
Ubicación	Mecafe	Orientación del Sondeo	N-S		
Proyecto	Tesis	Coordenadas	N: 472600	W: 298454	
Responsable	César	Elevación	Z: 518		
		Condiciones de terreno	humedo, monte		

SEV08									
Punto	AB / 2 (m)	AB (m)	MN / 2 (m)	MN (m)	K	V	I	ρ (m)	
1	1	2	0.3	0.6	4.76	98.90	5.30	88.91	
2	1.5	3	0.3	0.6	11.31	39.70	5.20	86.35	
3	2	4	0.3	0.6	20.47	22.00	5.20	86.62	
4	3	6	0.3	0.6	46.65	9.10	5.20	81.64	
5	4	8	0.3	0.6	83.30	4.80	5.20	76.90	
6	4	8	1	2	23.56	18.30	5.20	82.92	
7	5	10	1	2	37.70	11.30	5.20	81.92	
8	7	14	1	2	75.40	6.10	5.20	88.45	
9	10	20	1	2	155.51	3.40	5.20	101.68	
10	15	30	1	2	351.86	1.90	5.20	128.56	
11	15	30	2.5	5	137.44	4.90	5.20	129.52	
12	20	40	2.5	5	247.40	15.60	25.90	149.01	
13	30	60	2.5	5	561.56	8.40	25.90	182.13	
14	40	80	2.5	5	1001.38	11.00	51.10	215.56	
15	50	100	2.5	5	1566.87	12.20	76.30	250.53	
16	50	100	10	20	376.99	53.80	76.60	264.78	
17	70	140	10	20	753.98	35.20	76.10	348.75	
18	100	200	10	20	1555.09	20.10	75.90	411.82	
19	100	200	20	40	753.98	54.90	101.40	408.22	
20	150	300	20	40	1735.73	21.00	102.10	357.01	
21	200	400	20	40	3110.18				
22	230	460	20	40	2047.27				
23	300	600	30	60	4665.27				



Fecha de Realización	12/07/2006
Ubicación	Platanillo
Proyecto	Tesis
Responsable	César

12/07/2006

Platanillo

Tesis

César

Código de Sondeo	SEV09
------------------	-------

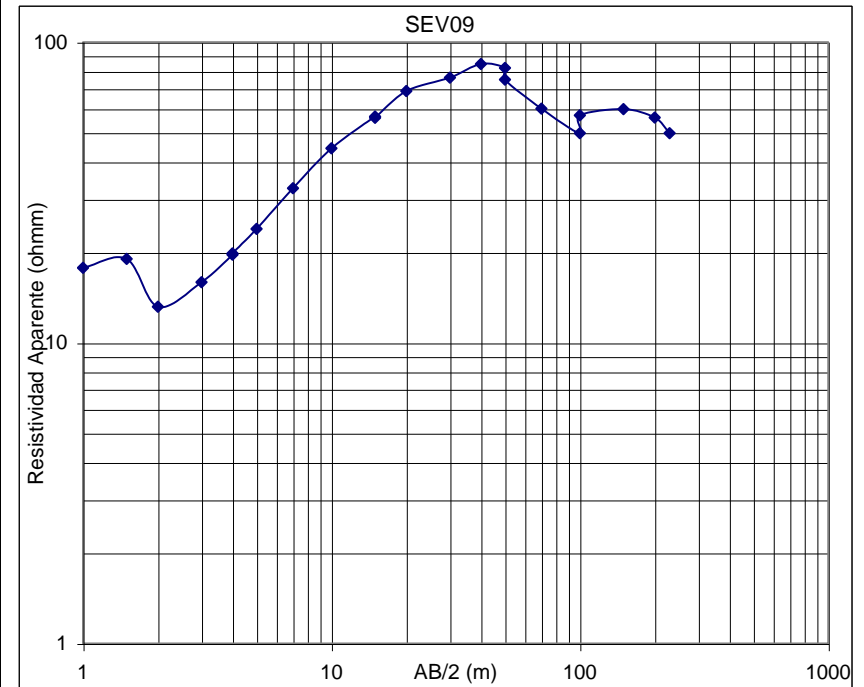
Orientación del Sondeo	N-S
------------------------	-----

Coordenadas	N:	472438	W:	303874
-------------	----	--------	----	--------

Elevación	Z:	414
-----------	----	-----

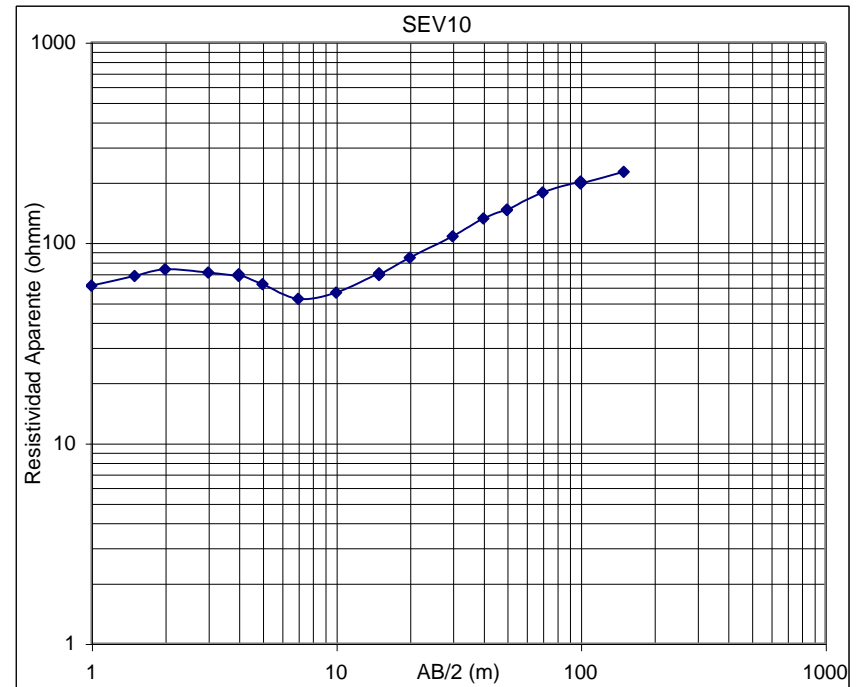
Condiciones de terreno	humedo, monte
------------------------	---------------

SEV09								
Punto	AB / 2 (m)	AB (m)	MN / 2 (m)	MN (m)	K	V	I	ρ (m)
1	1	2	0.3	0.6	4.76	19.40	5.20	17.78
2	1.5	3	0.3	0.6	11.31	17.50	10.40	19.03
3	2	4	0.3	0.6	20.47	16.60	25.80	13.17
4	3	6	0.3	0.6	46.65	17.50	51.30	15.91
5	4	8	0.3	0.6	83.30	12.10	51.30	19.65
6	4	8	1	2	23.56	43.20	51.30	19.84
7	5	10	1	2	37.70	32.40	51.00	23.95
8	7	14	1	2	75.40	22.20	51.20	32.69
9	10	20	1	2	155.51	14.60	51.20	44.34
10	15	30	1	2	351.86	12.30	76.50	56.57
11	15	30	2.5	5	137.44	31.20	76.50	56.06
12	20	40	2.5	5	247.40	21.00	75.50	68.81
13	30	60	2.5	5	561.56	10.30	75.90	76.21
14	40	80	2.5	5	1001.38	8.60	101.70	84.68
15	50	100	2.5	5	1566.87	8.00	152.80	82.04
16	50	100	10	20	376.99	30.40	152.70	75.05
17	70	140	10	20	753.98	8.00	100.30	60.14
18	100	200	10	20	1555.09	4.90	153.00	49.80
19	100	200	20	40	753.98	9.50	125.50	57.07
20	150	300	20	40	1735.73	4.40	127.60	59.85
21	200	400	20	40	3110.18	2.30	127.30	56.19
22	230	460	20	40	2047.27	3.10	127.30	49.85
23	300	600	30	60	4665.27			
	400	800	30	60	8330.46			
	400	800	50	100	4948.01			
	500	1000	50	100	7775.44			



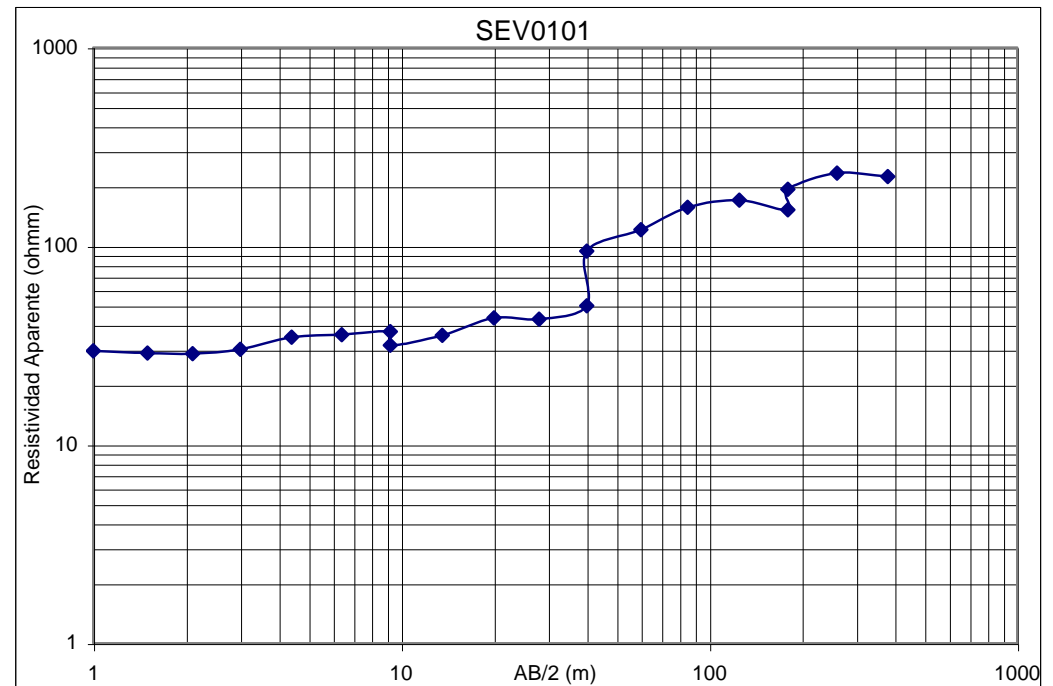
Fecha de Realización	12/07/2006	Código de Sondeo	SEV10		
Ubicación	Quezaltepeque	Orientación del Sondeo	N-S		
Proyecto	Tesis	Coordenadas	N: 475034	W: 296972	
Responsable	César	Elevación	Z: 543		
		Condiciones de terreno	seco		

SEV10								
Punto	AB / 2 (m)	AB (m)	MN / 2 (m)	MN (m)	K	V	I	ρ (m)
1	1	2	0.3	0.6	4.76	67.80	5.30	60.95
2	1.5	3	0.3	0.6	11.31	31.90	5.30	68.07
3	2	4	0.3	0.6	20.47	18.70	5.20	73.62
4	3	6	0.3	0.6	46.65	7.90	5.20	70.88
5	4	8	0.3	0.6	83.30	8.50	10.40	68.09
6	4	8	1	2	23.56	31.00	10.50	69.56
7	5	10	1	2	37.70	17.10	10.40	61.99
8	7	14	1	2	75.40	7.30	10.50	52.42
9	10	20	1	2	155.51	9.40	26.00	56.22
10	15	30	1	2	351.86	5.20	26.00	70.37
11	15	30	2.5	5	137.44	13.00	25.90	68.99
12	20	40	2.5	5	247.40	8.80	25.90	84.06
13	30	60	2.5	5	561.56	5.00	26.10	107.58
14	40	80	2.5	5	1001.38	6.80	51.60	131.97
15	50	100	2.5	5	1566.87	4.80	51.40	146.32
16	50	100	10	20	376.99	29.60	76.70	145.49
17	70	140	10	20	753.98	18.10	76.60	178.16
18	100	200	10	20	1555.09	13.30	102.40	201.98
19	100	200	20	40	753.98	26.80	102.50	197.14
20	150	300	20	40	1735.73	13.30	102.50	225.22
21	200	400	20	40	3110.18			
22	230	460	20	40	2047.27			
23	300	600	30	60	4665.27			
	400	800	30	60	8330.46			
	400	800	50	100	4948.01			
	500	1000	50	100	7775.44			



Fecha de Realización		19/07/2001		Código de Sondeo		SEV0101			
Ubicación		Linea Ferrea		Orientación del Sondeo					
Proyecto				Coordenadas		N:	13°47'34.6"	W:	89°13'52.4"
Responsable				Elevación		Z:			
				Condiciones de terreno		Terreno Seco			

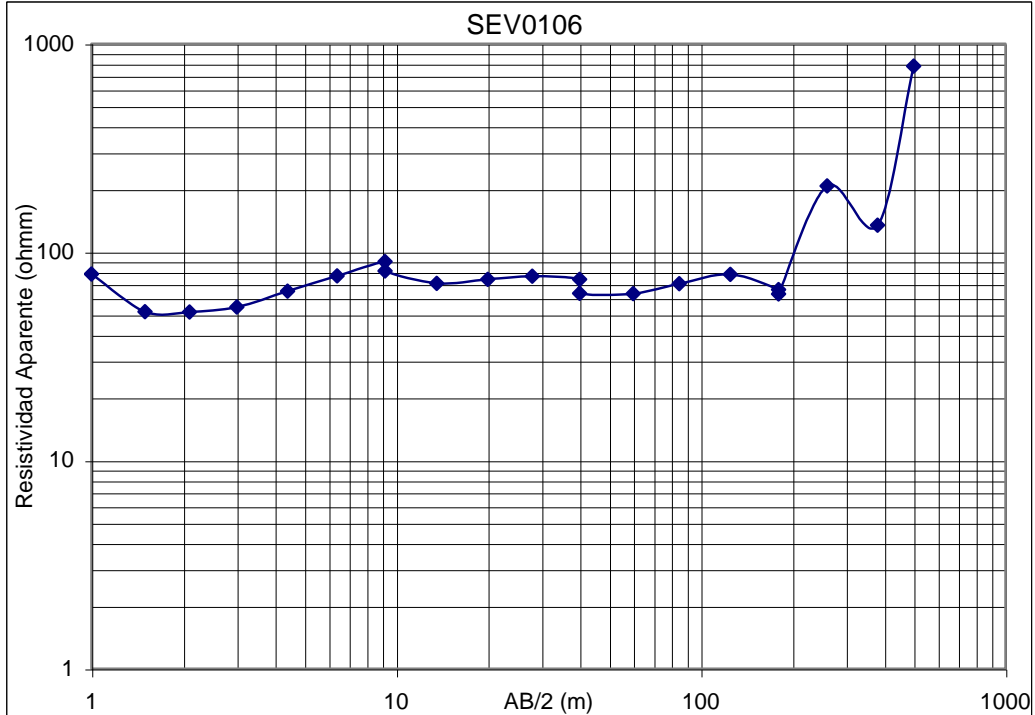
SEV0101					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (°)	$\rho$ -a (Ωm)
1	1	0.5	2.356	12.6	29.688
2	1.5	0.5	6.283	4.6	28.903
3	2.1	0.5	13.069	2.2	28.752
4	3	0.5	27.489	1.1	30.238
5	4.4	0.5	60.036	0.58	34.821
6	6.4	0.5	127.894	0.28	35.810
7	9.2	0.5	265.119	0.14	37.117
8	9.2	2	63.335	0.5	31.667
9	13.6	2	142.126	0.25	35.531
10	20	2	311.018	0.14	43.542
11	28	2	612.611	0.07	42.883
12	40	2	1253.495	0.04	50.140
13	40	10	235.619	0.4	94.248
14	60	10	549.779	0.22	120.951
15	85	10	1119.192	0.14	156.687
16	125	10	2438.661	0.07	170.706
17	180	10	5073.672	0.03	152.210
18	180	40	1209.513	0.16	193.522
19	260	40	2591.814	0.09	233.263
20	380	40	5607.743	0.04	224.310





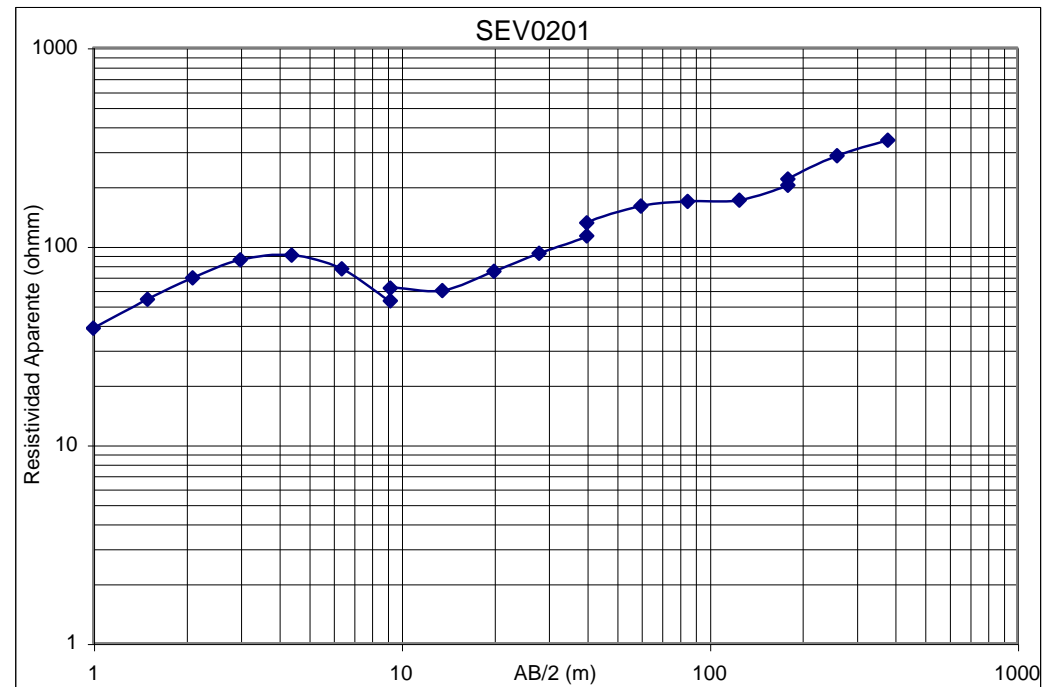
Fecha de Realización		26/01/2006		Código de Sondeo		SEV0106	
Ubicación		Tutultepeque		Orientación del Sondeo			
Proyecto				Coordenadas		N: 13°53'50,5"	W: 89°12'29,1"
Responsable				Elevación		Z:	
				Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV0106					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R ( $\pi$ )	$\rho$ -a ( $\pi\text{m}$ )
1	1	0.5	2.356	33.3	78.461
2	1.5	0.5	6.283	8.2397	51.772
3	2.1	0.5	13.069	3.9447	51.553
4	3	0.5	27.489	1.9825	54.497
5	4.4	0.5	60.036	1.08	64.839
6	6.4	0.5	127.894	0.6	76.737
7	9.2	0.5	265.119	0.34	90.140
8	9.2	2	63.335	1.28	81.068
9	13.6	2	142.126	0.497	70.636
10	20	2	311.018	0.238	74.022
11	28	2	612.611	0.125	76.576
12	40	2	1253.495	0.059	73.956
13	40	10	235.619	0.2686	63.287
14	60	10	549.779	0.115	63.225
15	85	10	1119.192	0.063	70.509
16	125	10	2438.661	0.032	78.037
17	180	10	5073.672	0.013	65.958
18	180	40	1209.513	0.052	62.895
19	260	40	2591.814	0.08	207.345
20	380	40	5607.743	0.024	134.586
21	500	40	9754.645	0.08	780.372



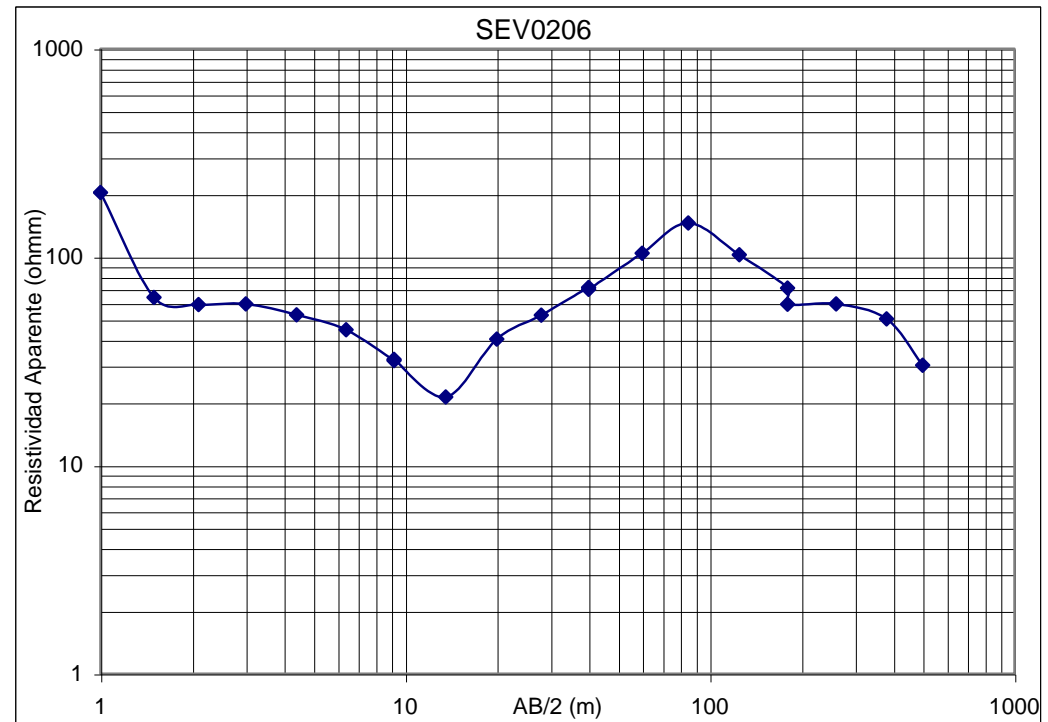
Fecha de Realización		19/07/2001		Código de Sondeo		SEV0201			
Ubicación		Linea Ferrea		Orientación del Sondeo					
Proyecto				Coordenadas		N:	13°47'38"	W:	89°13'56.9"
Responsable				Elevación		Z:			
				Condiciones de terreno		Terreno Seco			

SEV0201					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (°)	$\rho\text{-a}$ (/m)
1	1	0.5	2.356	16.4	38.642
2	1.5	0.5	6.283	8.6	54.035
3	2.1	0.5	13.069	5.3	69.266
4	3	0.5	27.489	3.1	85.216
5	4.4	0.5	60.036	1.5	90.054
6	6.4	0.5	127.894	0.6	76.737
7	9.2	0.5	265.119	0.2	53.024
8	9.2	2	63.335	0.97	61.434
9	13.6	2	142.126	0.42	59.693
10	20	2	311.018	0.24	74.644
11	28	2	612.611	0.15	91.892
12	40	2	1253.495	0.09	112.815
13	40	10	235.619	0.556	131.004
14	60	10	549.779	0.29	159.436
15	85	10	1119.192	0.15	167.879
16	125	10	2438.661	0.07	170.706
17	180	10	5073.672	0.04	202.947
18	180	40	1209.513	0.18	217.712
19	260	40	2591.814	0.11	285.100
20	380	40	5607.743	0.061	342.072



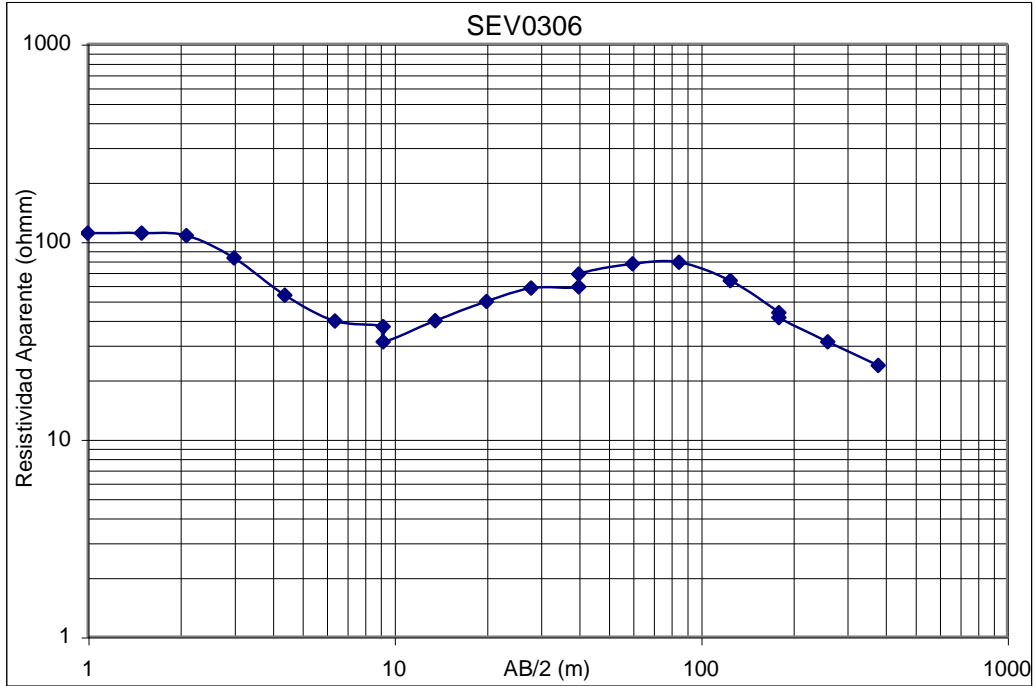
Fecha de Realización		26/01/2006	Código de Sondeo		SEV0206	
Ubicación		Tutultepeque	Orientación del Sondeo			
Proyecto			Coordenadas		N: 13°53'79,1"	W: 89°13'5,3"
Responsable			Elevación		Z:	
			Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV0206					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (π)	ρ-a (πm)
1	1	0.5	2.356	86.6	204.046
2	1.5	0.5	6.283	10.19	64.026
3	2.1	0.5	13.069	4.52	59.072
4	3	0.5	27.489	2.17	59.651
5	4.4	0.5	60.036	0.88	52.832
6	6.4	0.5	127.894	0.35	44.763
7	9.2	0.5	265.119	0.12	31.814
8	9.2	2	63.335	0.51	32.301
9	13.6	2	142.126	0.15	21.319
10	20	2	311.018	0.13	40.432
11	28	2	612.611	0.086	52.685
12	40	2	1253.495	0.057	71.449
13	40	10	235.619	0.297	69.979
14	60	10	549.779	0.19	104.458
15	85	10	1119.192	0.13	145.495
16	125	10	2438.661	0.042	102.424
17	180	10	5073.672	0.014	71.031
18	180	40	1209.513	0.049	59.266
19	260	40	2591.814	0.023	59.612
20	380	40	5607.743	0.009	50.470
21	500	40	9754.645	0.0031	30.239



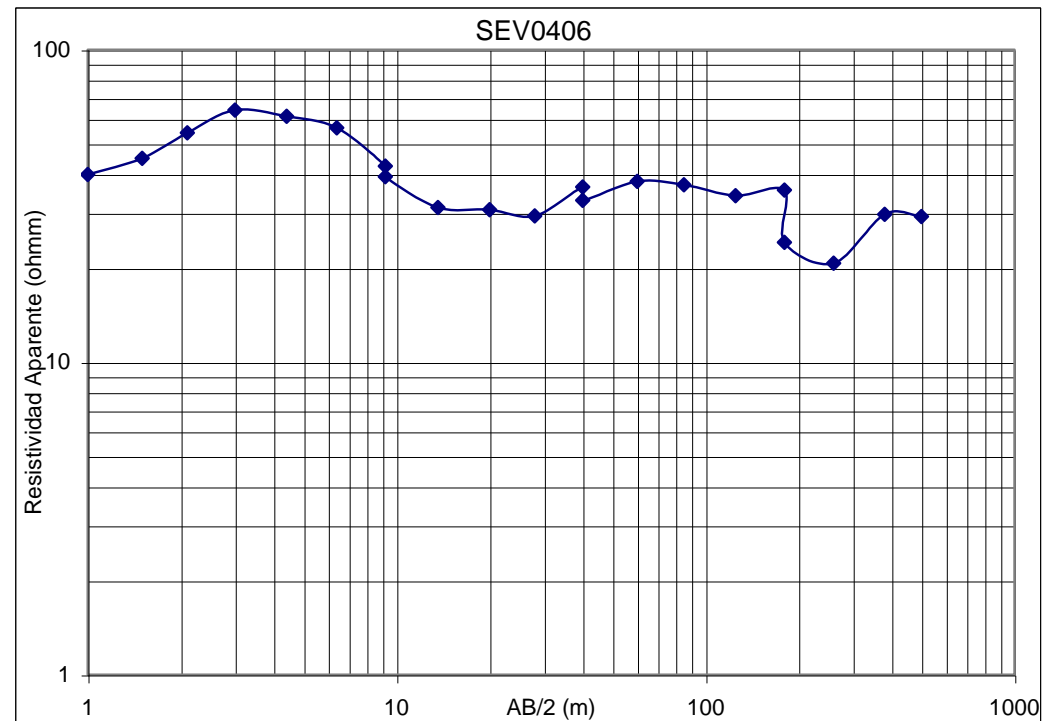
Fecha de Realización		26/01/2006		Código de Sondeo		SEV0306	
Ubicación		Tutultepeque		Orientación del Sondeo			
Proyecto				Coordenadas		N: 13°53'38,4"	W: 89°13'28,8"
Responsable				Elevación		Z:	
				Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV0306					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (°)	$\rho\text{-a}$ (Ωm)
1	1	0.5	2.356	46.8	110.270
2	1.5	0.5	6.283	17.52	110.081
3	2.1	0.5	13.069	8.186	106.983
4	3	0.5	27.489	3.007	82.659
5	4.4	0.5	60.036	0.89	53.432
6	6.4	0.5	127.894	0.31	39.647
7	9.2	0.5	265.119	0.14	37.117
8	9.2	2	63.335	0.49	31.034
9	13.6	2	142.126	0.28	39.795
10	20	2	311.018	0.16	49.763
11	28	2	612.611	0.095	58.198
12	40	2	1253.495	0.047	58.914
13	40	10	235.619	0.29	68.330
14	60	10	549.779	0.14	76.969
15	85	10	1119.192	0.07	78.343
16	125	10	2438.661	0.026	63.405
17	180	10	5073.672	0.0086	43.634
18	180	40	1209.513	0.034	41.123
19	260	40	2591.814	0.012	31.102
20	380	40	5607.743	0.0042	23.553



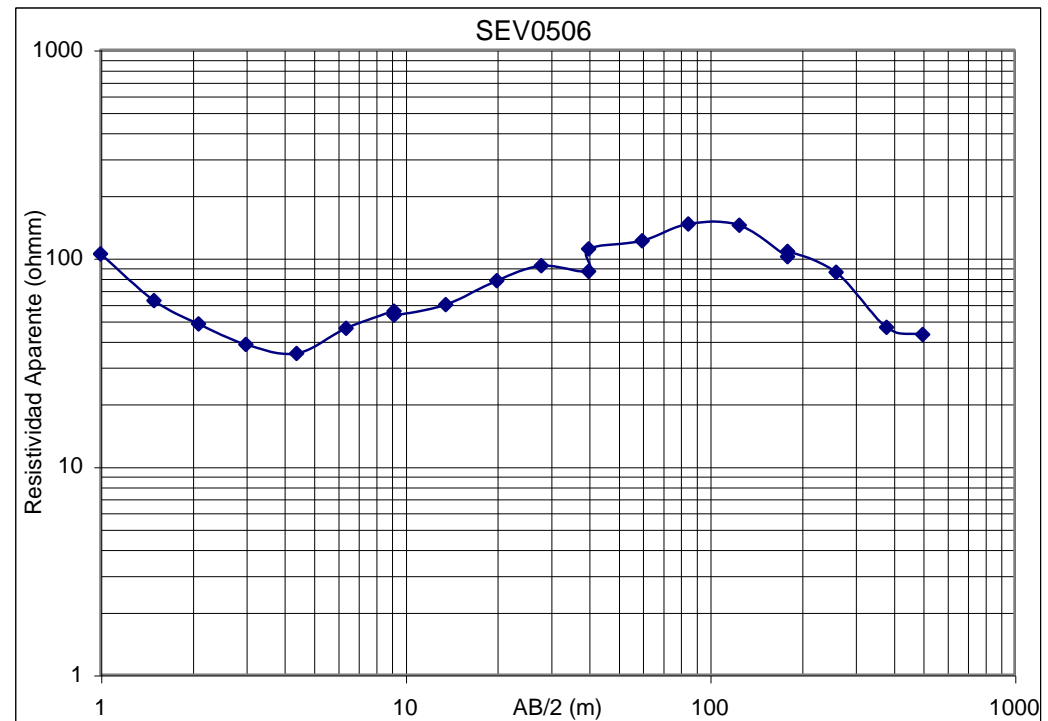
Fecha de Realización		27/01/2006	Código de Sondeo		SEV0406	
Ubicación		Tutultepeque	Orientación del Sondeo			
Proyecto			Coordenadas		N: 13°53'21,2"	W: 89°13'59,6"
Responsable			Elevación		Z:	
			Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV0406					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (◆)	$\rho$ -a (◆m)
1	1	0.5	2.356	16.92	39.867
2	1.5	0.5	6.283	7.15	44.925
3	2.1	0.5	13.069	4.15	54.236
4	3	0.5	27.489	2.33	64.049
5	4.4	0.5	60.036	1.02	61.237
6	6.4	0.5	127.894	0.44	56.273
7	9.2	0.5	265.119	0.16	42.419
8	9.2	2	63.335	0.62	39.267
9	13.6	2	142.126	0.22	31.268
10	20	2	311.018	0.099	30.791
11	28	2	612.611	0.048	29.405
12	40	2	1253.495	0.029	36.351
13	40	10	235.619	0.14	32.987
14	60	10	549.779	0.069	37.935
15	85	10	1119.192	0.033	36.933
16	125	10	2438.661	0.014	34.141
17	180	10	5073.672	0.007	35.516
18	180	40	1209.513	0.02	24.190
19	260	40	2591.814	0.008	20.735
20	380	40	5607.743	0.0053	29.721
21	500	40	9754.645	0.003	29.264



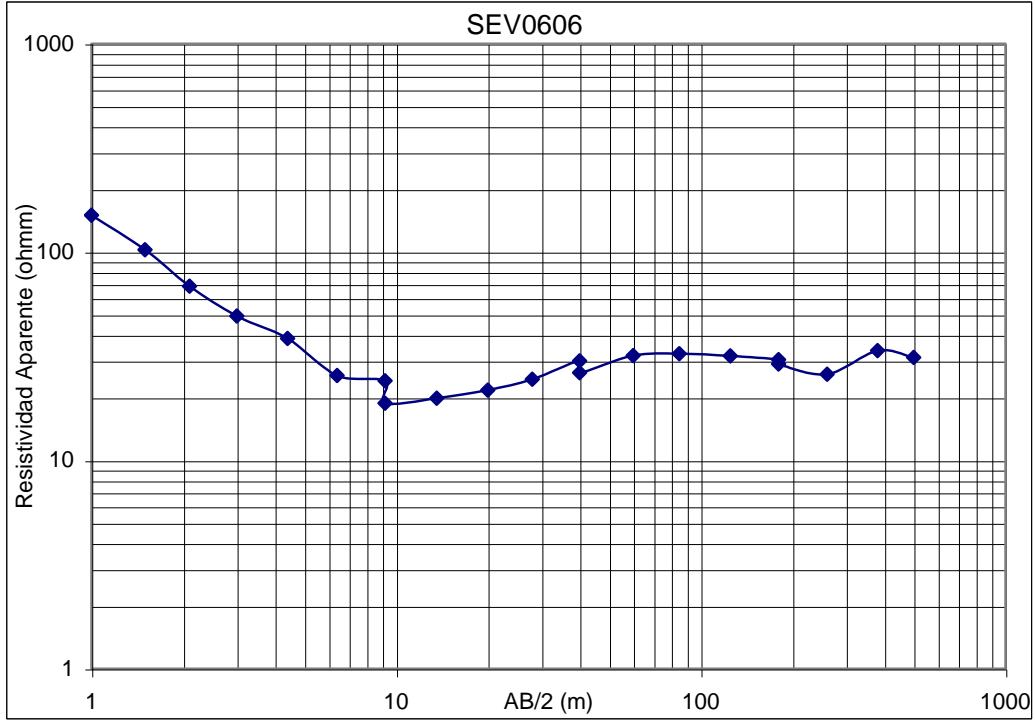
Fecha de Realización		27/01/2006	Código de Sondeo		SEV0506	
Ubicación		Tutultepeque	Orientación del Sondeo			
Proyecto			Coordenadas		N: 13°53'59,9"	W: 89°13'53,4"
Responsable			Elevación		Z:	
			Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV0506					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (Ω)	ρ-a (Ωm)
1	1	0.5	2.356	44.4	104.615
2	1.5	0.5	6.283	9.94	62.455
3	2.1	0.5	13.069	3.7	48.355
4	3	0.5	27.489	1.4	38.485
5	4.4	0.5	60.036	0.58	34.821
6	6.4	0.5	127.894	0.36	46.042
7	9.2	0.5	265.119	0.21	55.675
8	9.2	2	63.335	0.84	53.201
9	13.6	2	142.126	0.42	59.693
10	20	2	311.018	0.25	77.754
11	28	2	612.611	0.15	91.892
12	40	2	1253.495	0.069	86.491
13	40	10	235.619	0.47	110.741
14	60	10	549.779	0.22	120.951
15	85	10	1119.192	0.13	145.495
16	125	10	2438.661	0.059	143.881
17	180	10	5073.672	0.02	101.473
18	180	40	1209.513	0.089	107.647
19	260	40	2591.814	0.033	85.530
20	380	40	5607.743	0.0083	46.544
21	500	40	9754.645	0.0044	42.920



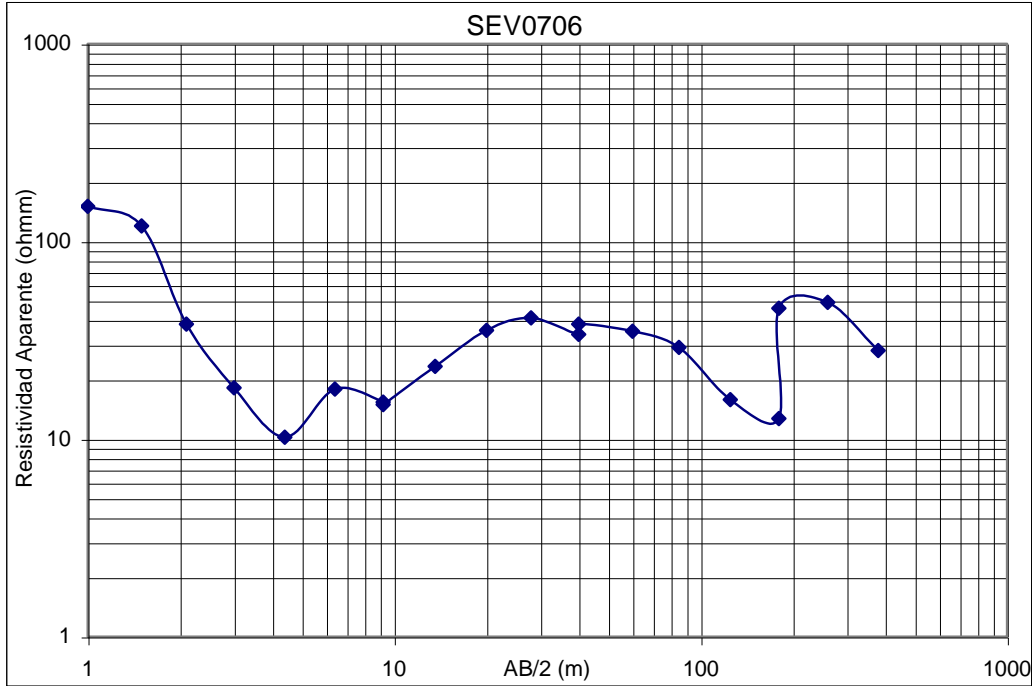
Código de Sondeo		SEV0606			
Fecha de Realización		31/01/2006			
Orientación del Sondeo					
Ubicación		Tutultepeque, potrero		Coordenadas	
		N: 13°53'8,8"		W: 89°14'4,4"	
Proyecto		Elevación		Z:	
Responsable		Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV0606					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (♦)	$\rho\text{-a}$ (♦m)
1	1	0.5	2.356	63.8	150.325
2	1.5	0.5	6.283	16.3	102.416
3	2.1	0.5	13.069	5.25	68.612
4	3	0.5	27.489	1.79	49.205
5	4.4	0.5	60.036	0.64	38.423
6	6.4	0.5	127.894	0.2	25.579
7	9.2	0.5	265.119	0.091	24.126
8	9.2	2	63.335	0.297	18.810
9	13.6	2	142.126	0.14	19.898
10	20	2	311.018	0.07	21.771
11	28	2	612.611	0.04	24.504
12	40	2	1253.495	0.024	30.084
13	40	10	235.619	0.112	26.389
14	60	10	549.779	0.058	31.887
15	85	10	1119.192	0.029	32.457
16	125	10	2438.661	0.013	31.703
17	180	10	5073.672	0.006	30.442
18	180	40	1209.513	0.024	29.028
19	260	40	2591.814	0.01	25.918
20	380	40	5607.743	0.006	33.646
21	500	40	9754.645	0.0032	31.215



Fecha de Realización		31/01/2006		Código de Sondeo		SEV0706			
Ubicación		Tutultepeque, cañal		Orientación del Sondeo					
Proyecto				Coordenadas		N:	13°53'40,0"	W:	89°12'56,6"
Responsable				Elevación		Z:			
				Condiciones de terreno		Terreno Seco			

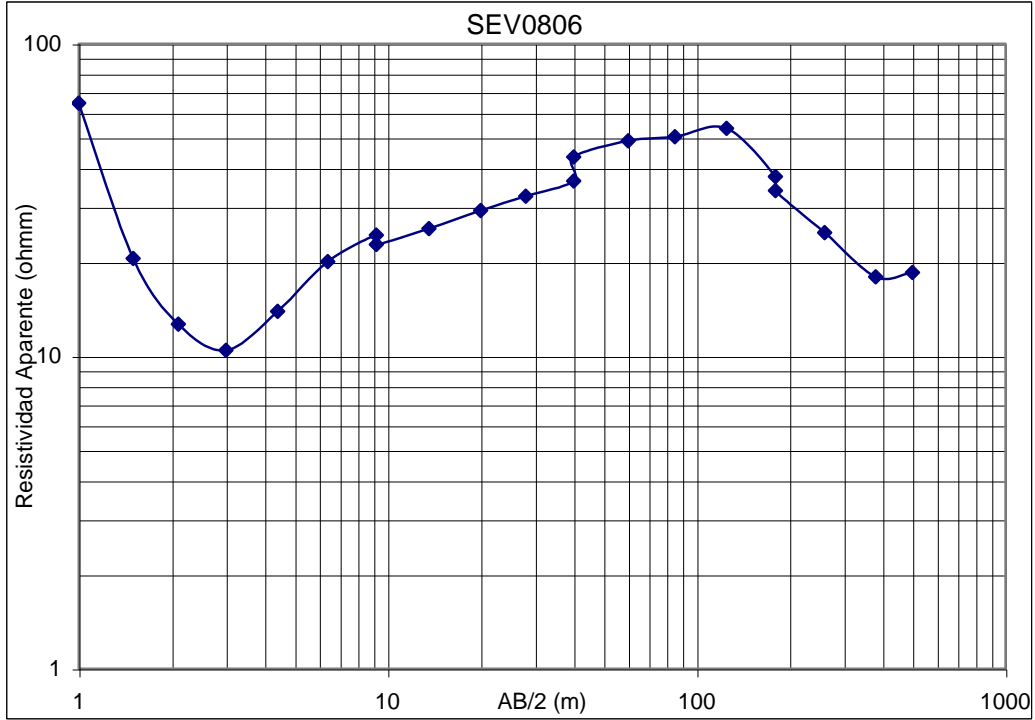
SEV0706					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (π)	ρ-a (πm)
1	1	0.5	2.356	63.8	150.325
2	1.5	0.5	6.283	19.07	119.820
3	2.1	0.5	13.069	2.92	38.162
4	3	0.5	27.489	0.66	18.143
5	4.4	0.5	60.036	0.17	10.206
6	6.4	0.5	127.894	0.14	17.905
7	9.2	0.5	265.119	0.058	15.377
8	9.2	2	63.335	0.236	14.947
9	13.6	2	142.126	0.164	23.309
10	20	2	311.018	0.114	35.456
11	28	2	612.611	0.067	41.045
12	40	2	1253.495	0.027	33.844
13	40	10	235.619	0.162	38.170
14	60	10	549.779	0.064	35.186
15	85	10	1119.192	0.026	29.099
16	125	10	2438.661	0.0065	15.851
17	180	10	5073.672	0.0025	12.684
18	180	40	1209.513	0.038	45.962
19	260	40	2591.814	0.019	49.244
20	380	40	5607.743	0.005	28.039





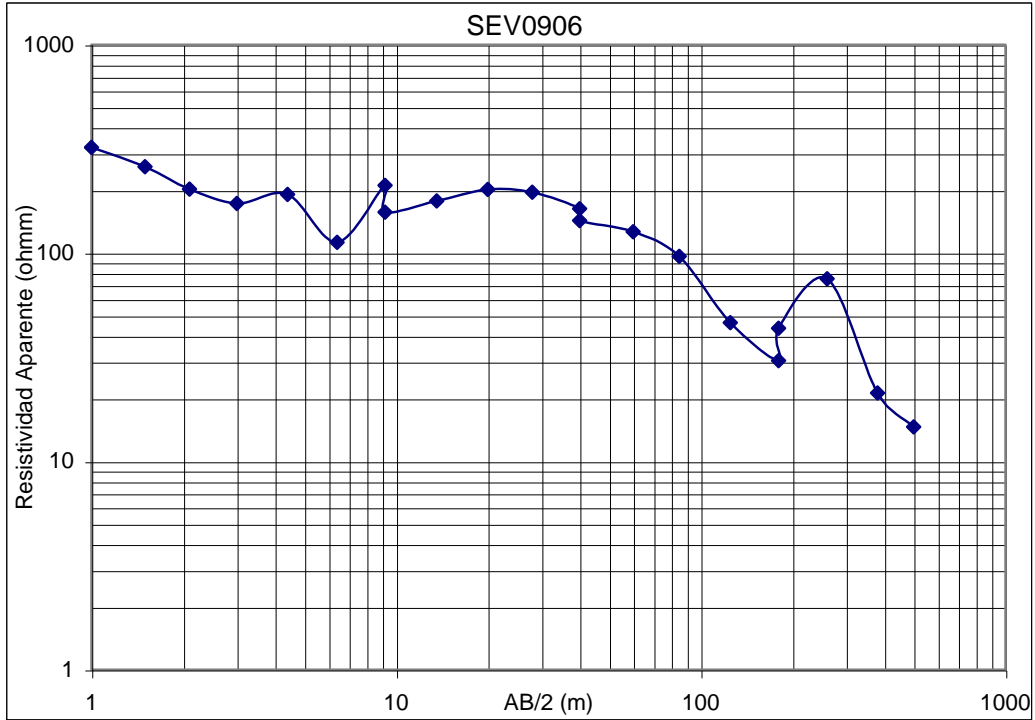
Fecha de Realización		06/02/2006		Código de Sondeo		SEV0806	
Ubicación		Tutultepeque,		Orientación del Sondeo			
Proyecto				Coordenadas		N: 13°54'3,5"	W: 89°14'3,5"
Responsable				Elevación		Z:	
				Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV0806					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R ( )	$\rho\text{-a}$ ( m )
1	1	0.5	2.356	27.4	64.560
2	1.5	0.5	6.283	3.27	20.546
3	2.1	0.5	13.069	0.97	12.677
4	3	0.5	27.489	0.38	10.446
5	4.4	0.5	60.036	0.232	13.928
6	6.4	0.5	127.894	0.157	20.079
7	9.2	0.5	265.119	0.092	24.391
8	9.2	2	63.335	0.36	22.800
9	13.6	2	142.126	0.18	25.583
10	20	2	311.018	0.094	29.236
11	28	2	612.611	0.053	32.468
12	40	2	1253.495	0.029	36.351
13	40	10	235.619	0.184	43.354
14	60	10	549.779	0.089	48.930
15	85	10	1119.192	0.045	50.364
16	125	10	2438.661	0.022	53.651
17	180	10	5073.672	0.0074	37.545
18	180	40	1209.513	0.028	33.866
19	260	40	2591.814	0.0096	24.881
20	380	40	5607.743	0.0032	17.945
21	500	40	9754.645	0.0019	18.534



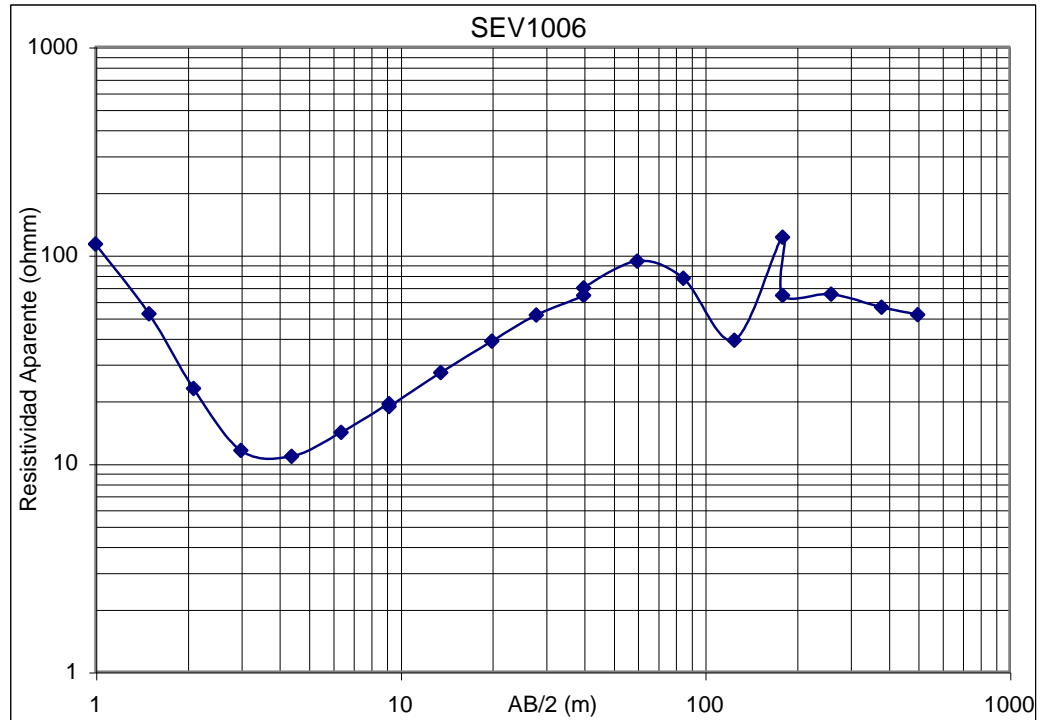
Fecha de Realización		06/02/2006		Código de Sondeo		SEV0906			
Ubicación		Tutultepeque,		Orientación del Sondeo					
Proyecto				Coordenadas		N:	13°53'53,2"	W:	89°12'38,2"
Responsable				Elevación		Z:			
				Condiciones de terreno		Terreno Seco			

SEV0906					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (Ω)	ρ-a (Ω/m)
1	1	0.5	2.356	136.3	321.149
2	1.5	0.5	6.283	41.3	259.496
3	2.1	0.5	13.069	15.51	202.701
4	3	0.5	27.489	6.3	173.180
5	4.4	0.5	60.036	3.18	190.914
6	6.4	0.5	127.894	0.88	112.547
7	9.2	0.5	265.119	0.797	211.300
8	9.2	2	63.335	2.478	156.943
9	13.6	2	142.126	1.252	177.941
10	20	2	311.018	0.649	201.850
11	28	2	612.611	0.32	196.035
12	40	2	1253.495	0.13	162.954
13	40	10	235.619	0.607	143.021
14	60	10	549.779	0.23	126.449
15	85	10	1119.192	0.086	96.251
16	125	10	2438.661	0.019	46.335
17	180	10	5073.672	0.006	30.442
18	180	40	1209.513	0.036	43.542
19	260	40	2591.814	0.029	75.163
20	380	40	5607.743	0.0038	21.309
21	500	40	9754.645	0.0015	14.632



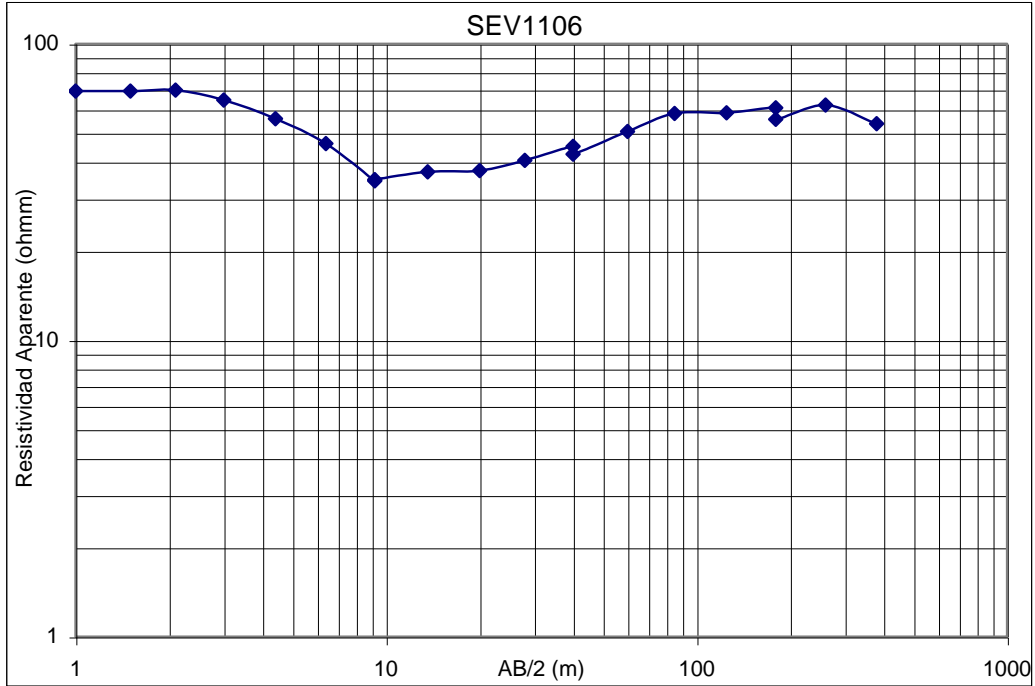
Fecha de Realización		07/02/2006		Código de Sondeo		SEV1006	
Ubicación		Calle a Relleno		Orientación del Sondeo			
Proyecto				Coordenadas		N: 13°50'35,8"	W: 89°13'51,4"
Responsable				Elevación		Z:	
				Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV1006					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (□)	ρ-a (□m)
1	1	0.5	2.356	47.89	112.838
2	1.5	0.5	6.283	8.31	52.213
3	2.1	0.5	13.069	1.75	22.871
4	3	0.5	27.489	0.42	11.545
5	4.4	0.5	60.036	0.18	10.806
6	6.4	0.5	127.894	0.11	14.068
7	9.2	0.5	265.119	0.073	19.354
8	9.2	2	63.335	0.296	18.747
9	13.6	2	142.126	0.192	27.288
10	20	2	311.018	0.124	38.566
11	28	2	612.611	0.084	51.459
12	40	2	1253.495	0.051	63.928
13	40	10	235.619	0.295	69.508
14	60	10	549.779	0.17	93.462
15	85	10	1119.192	0.069	77.224
16	125	10	2438.661	0.016	39.019
17	180	10	5073.672	0.024	121.768
18	180	40	1209.513	0.053	64.104
19	260	40	2591.814	0.025	64.795
20	380	40	5607.743	0.01	56.077
21	500	40	9754.645	0.0053	51.700



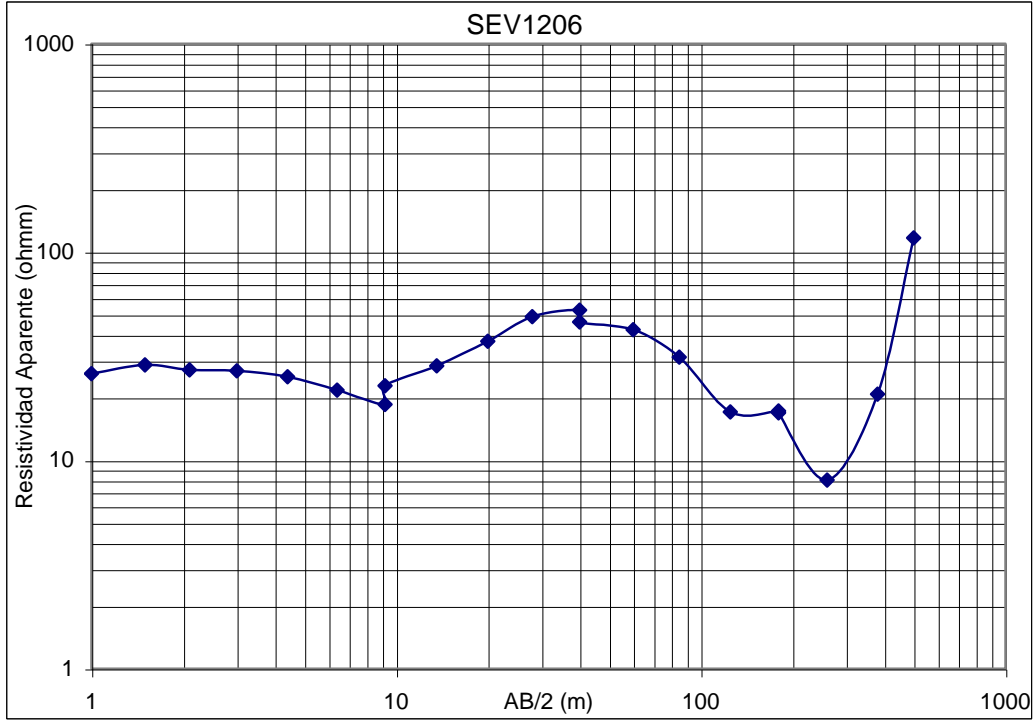
Código de Sondeo		SEV1106			
Fecha de Realización		07/02/2006			
Orientación del Sondeo					
Ubicación		Calle a Relleno		Coordenadas	
		N: 13°50'52"		W: 89°14'0,8"	
Proyecto		Elevación		Z:	
Responsable		Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV1106					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (°)	$\rho\text{-a}$ (/m)
1	1	0.5	2.356	29.4	69.272
2	1.5	0.5	6.283	11.02	69.241
3	2.1	0.5	13.069	5.34	69.789
4	3	0.5	27.489	2.35	64.599
5	4.4	0.5	60.036	0.93	55.833
6	6.4	0.5	127.894	0.36	46.042
7	9.2	0.5	265.119	0.13	34.465
8	9.2	2	63.335	0.55	34.834
9	13.6	2	142.126	0.26	36.953
10	20	2	311.018	0.12	37.322
11	28	2	612.611	0.066	40.432
12	40	2	1253.495	0.036	45.126
13	40	10	235.619	0.18	42.412
14	60	10	549.779	0.092	50.580
15	85	10	1119.192	0.052	58.198
16	125	10	2438.661	0.024	58.528
17	180	10	5073.672	0.012	60.884
18	180	40	1209.513	0.046	55.638
19	260	40	2591.814	0.024	62.204
20	380	40	5607.743	0.0096	53.834



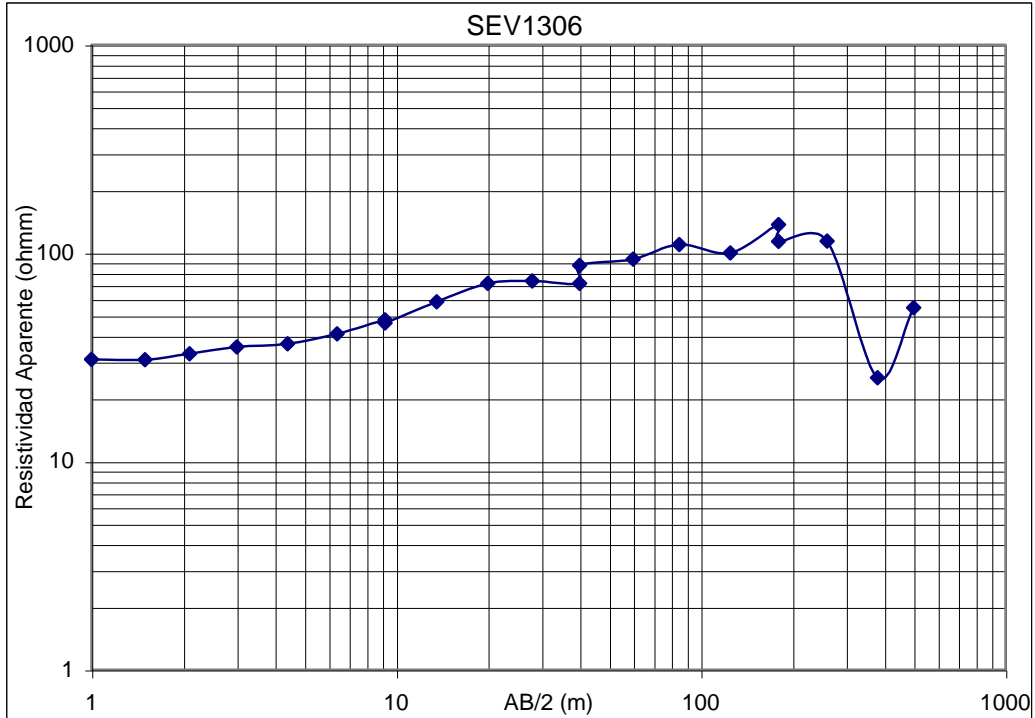
Fecha de Realización		08/02/2006		Código de Sondeo		SEV1206			
Ubicación		Calle a Mapilapa		Orientación del Sondeo					
Proyecto				Coordenadas		N:	13°49'57,1"	W:	89°13'52,2"
Responsable				Elevación		Z:			
				Condiciones de terreno		Terreno Seco			

SEV1206					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (□)	$\rho\text{-a}$ (□m)
1	1	0.5	2.356	11.08	26.107
2	1.5	0.5	6.283	4.57	28.714
3	2.1	0.5	13.069	2.08	27.184
4	3	0.5	27.489	0.98	26.939
5	4.4	0.5	60.036	0.42	25.215
6	6.4	0.5	127.894	0.17	21.742
7	9.2	0.5	265.119	0.07	18.558
8	9.2	2	63.335	0.36	22.800
9	13.6	2	142.126	0.2	28.425
10	20	2	311.018	0.12	37.322
11	28	2	612.611	0.08	49.009
12	40	2	1253.495	0.042	52.647
13	40	10	235.619	0.196	46.181
14	60	10	549.779	0.077	42.333
15	85	10	1119.192	0.028	31.337
16	125	10	2438.661	0.007	17.071
17	180	10	5073.672	0.0034	17.250
18	180	40	1209.513	0.014	16.933
19	260	40	2591.814	0.0031	8.035
20	380	40	5607.743	0.0037	20.749
21	500	40	9754.645	0.012	117.056



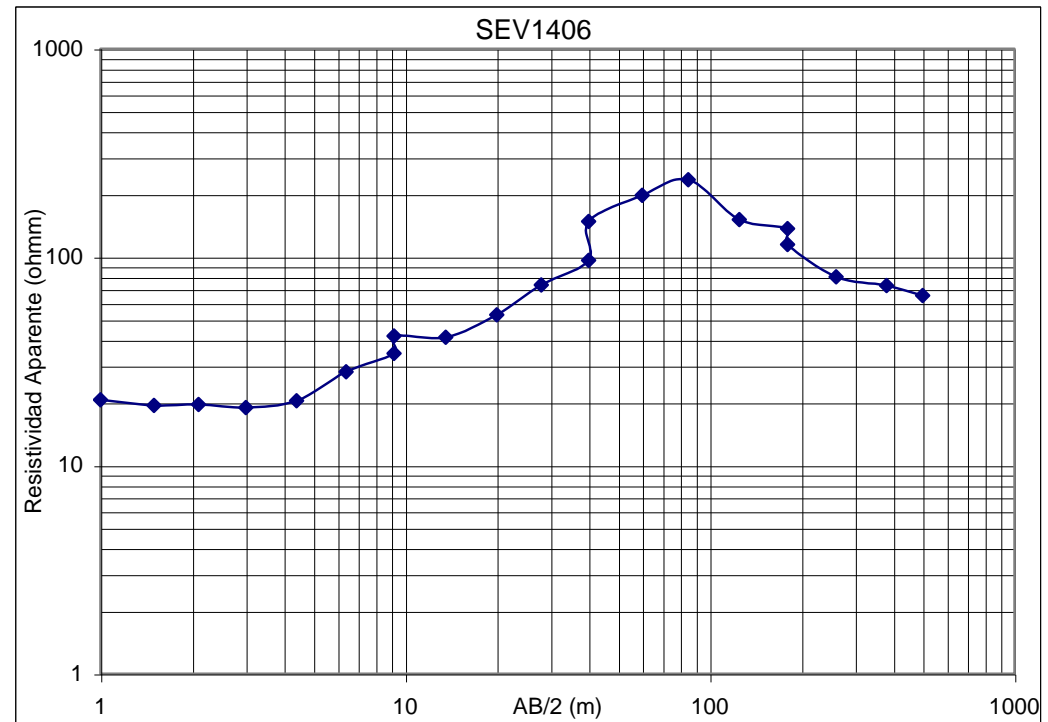
Fecha de Realización		08/02/2006		Código de Sondeo		SEV1306			
Ubicación		Calle		Orientación del Sondeo					
Proyecto				Coordenadas		N:	13°49'56,5"	W:	89°14'33,6"
Responsable				Elevación		Z:			
				Condiciones de terreno		Terreno Seco			

SEV1306					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (Ω)	ρ-a (Ω/m)
1	1	0.5	2.356	13.1	30.866
2	1.5	0.5	6.283	4.9	30.788
3	2.1	0.5	13.069	2.51	32.803
4	3	0.5	27.489	1.29	35.461
5	4.4	0.5	60.036	0.61	36.622
6	6.4	0.5	127.894	0.32	40.926
7	9.2	0.5	265.119	0.18	47.721
8	9.2	2	63.335	0.73	46.234
9	13.6	2	142.126	0.41	58.272
10	20	2	311.018	0.23	71.534
11	28	2	612.611	0.12	73.513
12	40	2	1253.495	0.057	71.449
13	40	10	235.619	0.37	87.179
14	60	10	549.779	0.17	93.462
15	85	10	1119.192	0.098	109.681
16	125	10	2438.661	0.041	99.985
17	180	10	5073.672	0.027	136.989
18	180	40	1209.513	0.094	113.694
19	260	40	2591.814	0.044	114.040
20	380	40	5607.743	0.0045	25.235
21	500	40	9754.645	0.0056	54.626



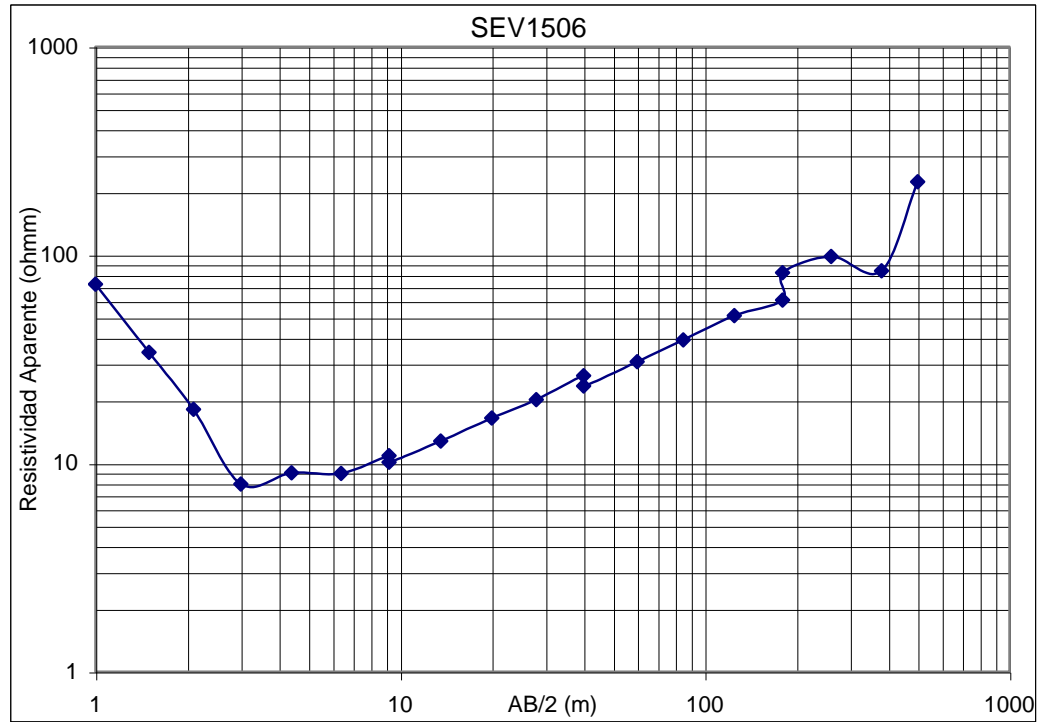
Fecha de Realización		09/02/2006		Código de Sondeo		SEV1406	
Ubicación		Cerro La Tabla		Orientación del Sondeo			
Proyecto				Coordenadas		N: 13°52'13,4"	W: 89°13'50,6"
Responsable				Elevación		Z:	
				Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV1406					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (□)	ρ-a (□m)
1	1	0.5	2.356	8.77	20.664
2	1.5	0.5	6.283	3.09	19.415
3	2.1	0.5	13.069	1.5	19.604
4	3	0.5	27.489	0.69	18.967
5	4.4	0.5	60.036	0.34	20.412
6	6.4	0.5	127.894	0.22	28.137
7	9.2	0.5	265.119	0.13	34.465
8	9.2	2	63.335	0.66	41.801
9	13.6	2	142.126	0.29	41.216
10	20	2	311.018	0.17	52.873
11	28	2	612.611	0.12	73.513
12	40	2	1253.495	0.077	96.519
13	40	10	235.619	0.63	148.440
14	60	10	549.779	0.36	197.920
15	85	10	1119.192	0.21	235.030
16	125	10	2438.661	0.062	151.197
17	180	10	5073.672	0.027	136.989
18	180	40	1209.513	0.095	114.904
19	260	40	2591.814	0.031	80.346
20	380	40	5607.743	0.013	72.901
21	500	40	9754.645	0.0067	65.356



Código de Sondeo		SEV1506			
Fecha de Realización		09/02/2006			
Orientación del Sondeo					
Ubicación		Cerro Ojo de Agua		Coordenadas	
		N:	13°51'5,8"	W:	89°13'22,5"
Proyecto		Elevación		Z:	
Responsable		Condiciones de terreno			
		Terreno Seco			

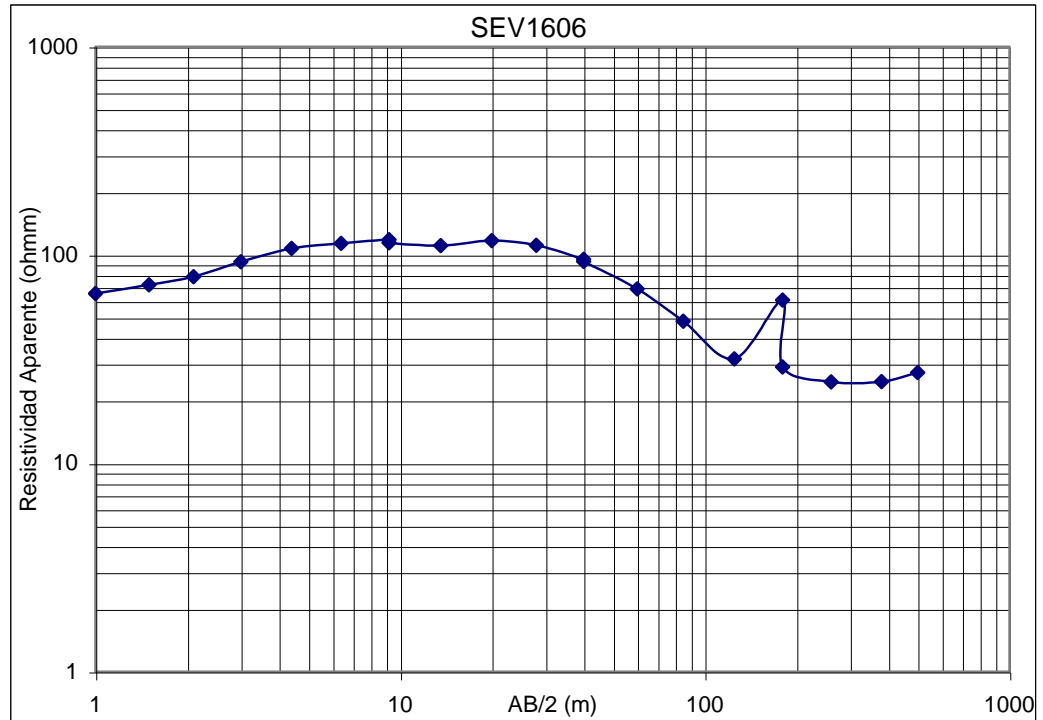
SEV1506					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (Ω)	ρ-a (Ω/m)
1	1	0.5	2.356	30.79	72.547
2	1.5	0.5	6.283	5.43	34.118
3	2.1	0.5	13.069	1.39	18.166
4	3	0.5	27.489	0.29	7.972
5	4.4	0.5	60.036	0.15	9.005
6	6.4	0.5	127.894	0.07	8.953
7	9.2	0.5	265.119	0.041	10.870
8	9.2	2	63.335	0.16	10.134
9	13.6	2	142.126	0.09	12.791
10	20	2	311.018	0.053	16.484
11	28	2	612.611	0.033	20.216
12	40	2	1253.495	0.021	26.323
13	40	10	235.619	0.1	23.562
14	60	10	549.779	0.056	30.788
15	85	10	1119.192	0.035	39.172
16	125	10	2438.661	0.021	51.212
17	180	10	5073.672	0.012	60.884
18	180	40	1209.513	0.068	82.247
19	260	40	2591.814	0.038	98.489
20	380	40	5607.743	0.015	84.116
21	500	40	9754.645	0.023	224.357





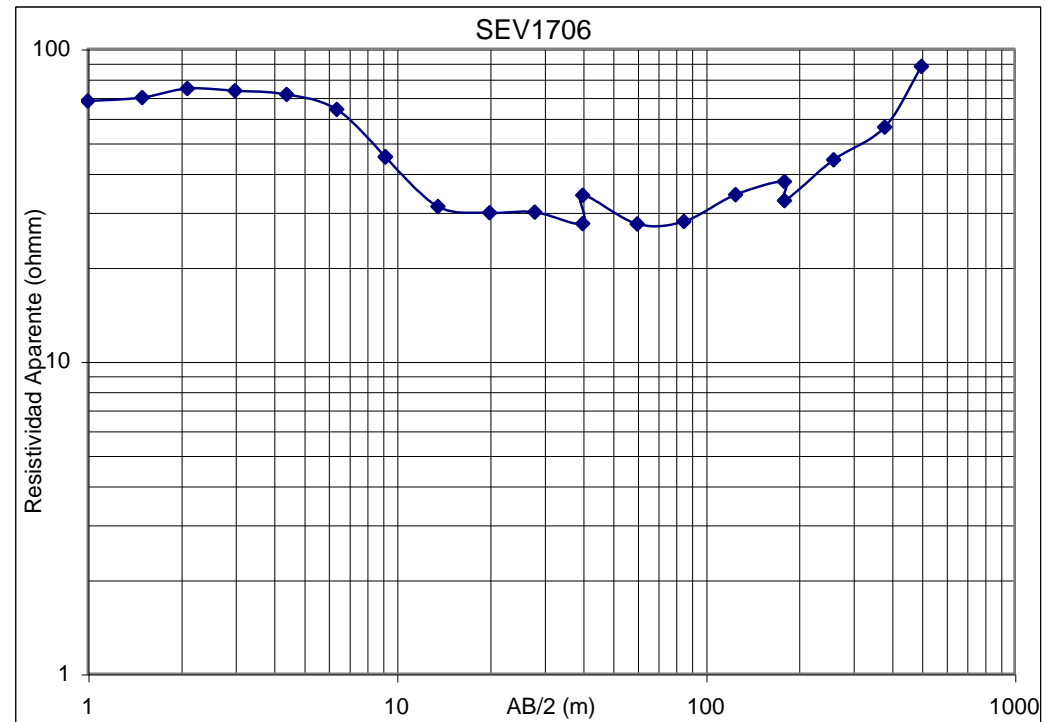
Fecha de Realización		13/02/2006	Código de Sondeo		SEV1606
Ubicación		Las Vegas, Nejapa	Orientación del Sondeo		
Proyecto			Coordenadas		N: 13°51'15.5" W: 89°12'22,7"
Responsable			Elevación		Z:
			Condiciones de terreno		Terreno Seco

SEV1606					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (□)	$\rho$ -a (□m)
1	1	0.5	2.356	27.77	65.432
2	1.5	0.5	6.283	11.45	71.942
3	2.1	0.5	13.069	6.03	78.806
4	3	0.5	27.489	3.38	92.913
5	4.4	0.5	60.036	1.79	107.464
6	6.4	0.5	127.894	0.89	113.826
7	9.2	0.5	265.119	0.447	118.508
8	9.2	2	63.335	1.81	114.635
9	13.6	2	142.126	0.78	110.858
10	20	2	311.018	0.377	117.254
11	28	2	612.611	0.182	111.495
12	40	2	1253.495	0.076	95.266
13	40	10	235.619	0.395	93.070
14	60	10	549.779	0.125	68.722
15	85	10	1119.192	0.043	48.125
16	125	10	2438.661	0.013	31.703
17	180	10	5073.672	0.012	60.884
18	180	40	1209.513	0.024	29.028
19	260	40	2591.814	0.0095	24.622
20	380	40	5607.743	0.0044	24.674
21	500	40	9754.645	0.0028	27.313



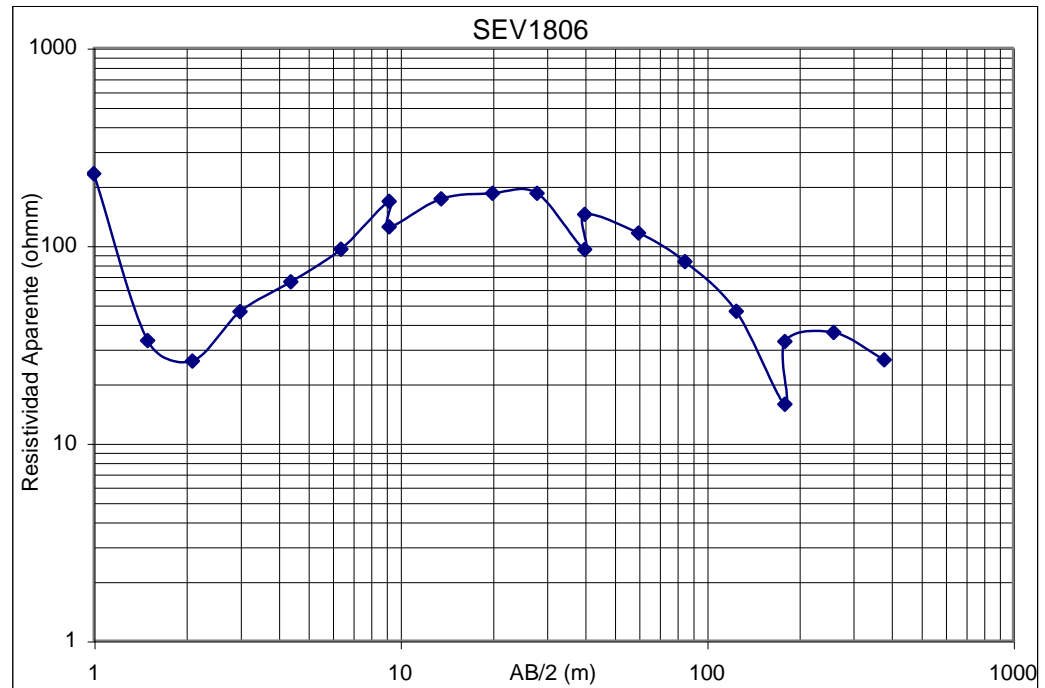
Fecha de Realización		13/02/2006		Código de Sondeo		SEV1706			
Ubicación		Barba Rubia, Nejapa		Orientación del Sondeo					
Proyecto				Coordenadas		N:	13°50'03.1"	W:	89°12'41.2"
Responsable				Elevación		Z:			
				Condiciones de terreno		Terreno Seco			

SEV1706					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (°)	$\rho\text{-a}$ (Ωm)
1	1	0.5	2.356	28.9	68.094
2	1.5	0.5	6.283	11.1	69.743
3	2.1	0.5	13.069	5.7	74.493
4	3	0.5	27.489	2.67	73.395
5	4.4	0.5	60.036	1.19	71.443
6	6.4	0.5	127.894	0.5	63.947
7	9.2	0.5	265.119	0.17	45.070
8	9.2	2	63.335	0.71	44.968
9	13.6	2	142.126	0.22	31.268
10	20	2	311.018	0.096	29.858
11	28	2	612.611	0.049	30.018
12	40	2	1253.495	0.022	27.577
13	40	10	235.619	0.144	33.929
14	60	10	549.779	0.05	27.489
15	85	10	1119.192	0.025	27.980
16	125	10	2438.661	0.014	34.141
17	180	10	5073.672	0.0074	37.545
18	180	40	1209.513	0.027	32.657
19	260	40	2591.814	0.017	44.061
20	380	40	5607.743	0.01	56.077
21	500	40	9754.645	0.009	87.792



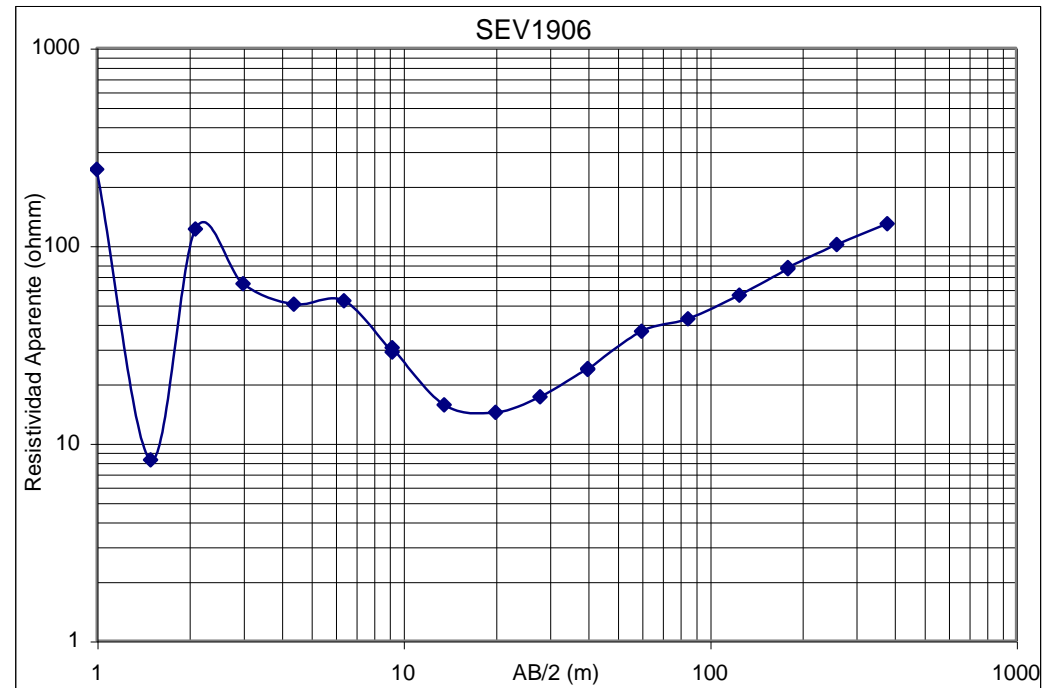
Fecha de Realización		14/02/2006		Código de Sondeo		SEV1806	
Ubicación		Cerro La Tabla 2		Orientación del Sondeo			
Proyecto				Coordenadas		N:	13°51'7.3"
Responsable				Elevación		Z:	
				Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV1806					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (□)	ρ-a (□m)
1	1	0.5	2.356	98.01	230.931
2	1.5	0.5	6.283	5.25	32.987
3	2.1	0.5	13.069	1.99	26.007
4	3	0.5	27.489	1.68	46.181
5	4.4	0.5	60.036	1.09	65.439
6	6.4	0.5	127.894	0.75	95.921
7	9.2	0.5	265.119	0.63	167.025
8	9.2	2	63.335	1.96	124.136
9	13.6	2	142.126	1.21	171.972
10	20	2	311.018	0.59	183.500
11	28	2	612.611	0.3	183.783
12	40	2	1253.495	0.076	95.266
13	40	10	235.619	0.61	143.728
14	60	10	549.779	0.21	115.454
15	85	10	1119.192	0.074	82.820
16	125	10	2438.661	0.019	46.335
17	180	10	5073.672	0.0031	15.728
18	180	40	1209.513	0.027	32.657
19	260	40	2591.814	0.014	36.285
20	380	40	5607.743	0.0047	26.356



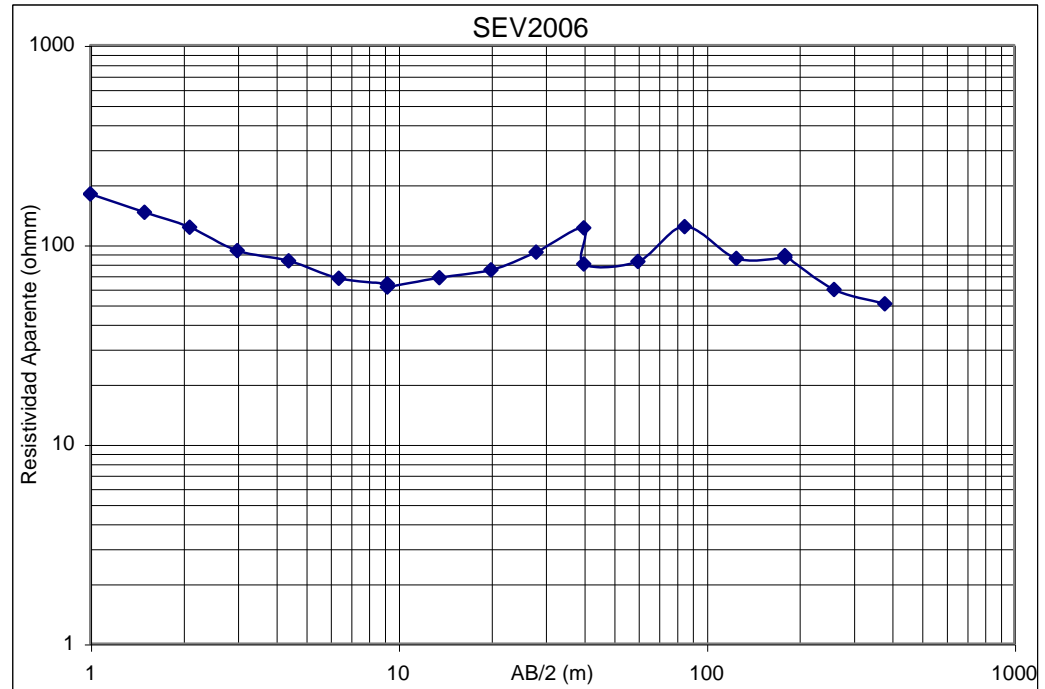
Fecha de Realización		14/02/2006		Código de Sondeo		SEV1906	
Ubicación		Joya Galana		Orientación del Sondeo			
Proyecto				Coordenadas		N:	13°51'48"
Responsable				Elevación		Z:	
				Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV1906					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (°)	$\rho\text{-a}$ (Ωm)
1	1	0.5	2.356	102.88	242.405
2	1.5	0.5	6.283	1.31	8.231
3	2.1	0.5	13.069	9.28	121.281
4	3	0.5	27.489	2.33	64.049
5	4.4	0.5	60.036	0.84	50.430
6	6.4	0.5	127.894	0.41	52.437
7	9.2	0.5	265.119	0.109	28.898
8	9.2	2	63.335	0.48	30.401
9	13.6	2	142.126	0.11	15.634
10	20	2	311.018	0.046	14.307
11	28	2	612.611	0.028	17.153
12	40	2	1253.495	0.019	23.816
13	40	10	235.619	0.1	23.562
14	60	10	549.779	0.067	36.835
15	85	10	1119.192	0.038	42.529
16	125	10	2438.661	0.023	56.089
17	180	10	5073.672	0.015	76.105
18	180	40	1209.513	0.064	77.409
19	260	40	2591.814	0.039	101.081
20	380	40	5607.743	0.023	128.978



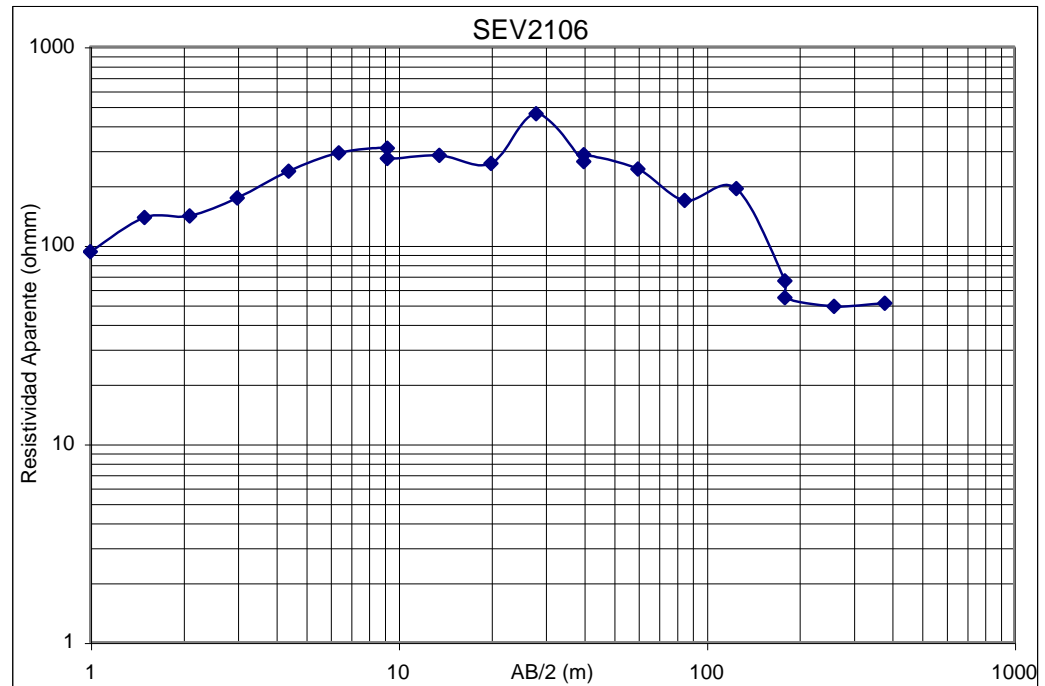
Fecha de Realización		15/02/2006		Código de Sondeo		SEV2006	
Ubicación		Linea Ferrea		Orientación del Sondeo			
Proyecto				Coordenadas		N: 13°49'6.1"	W: 89°15'2.1"
Responsable				Elevación		Z:	
				Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV2006					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (□)	ρ-a (□m)
1	1	0.5	2.356	76.12	179.354
2	1.5	0.5	6.283	23.14	145.393
3	2.1	0.5	13.069	9.37	122.457
4	3	0.5	27.489	3.4	93.462
5	4.4	0.5	60.036	1.38	82.849
6	6.4	0.5	127.894	0.53	67.784
7	9.2	0.5	265.119	0.24	63.629
8	9.2	2	63.335	0.97	61.434
9	13.6	2	142.126	0.48	68.220
10	20	2	311.018	0.24	74.644
11	28	2	612.611	0.15	91.892
12	40	2	1253.495	0.097	121.589
13	40	10	235.619	0.34	80.111
14	60	10	549.779	0.15	82.467
15	85	10	1119.192	0.11	123.111
16	125	10	2438.661	0.035	85.353
17	180	10	5073.672	0.017	86.252
18	180	40	1209.513	0.073	88.294
19	260	40	2591.814	0.023	59.612
20	380	40	5607.743	0.009	50.470
21	500	40	9754.645	0.0079	77.062



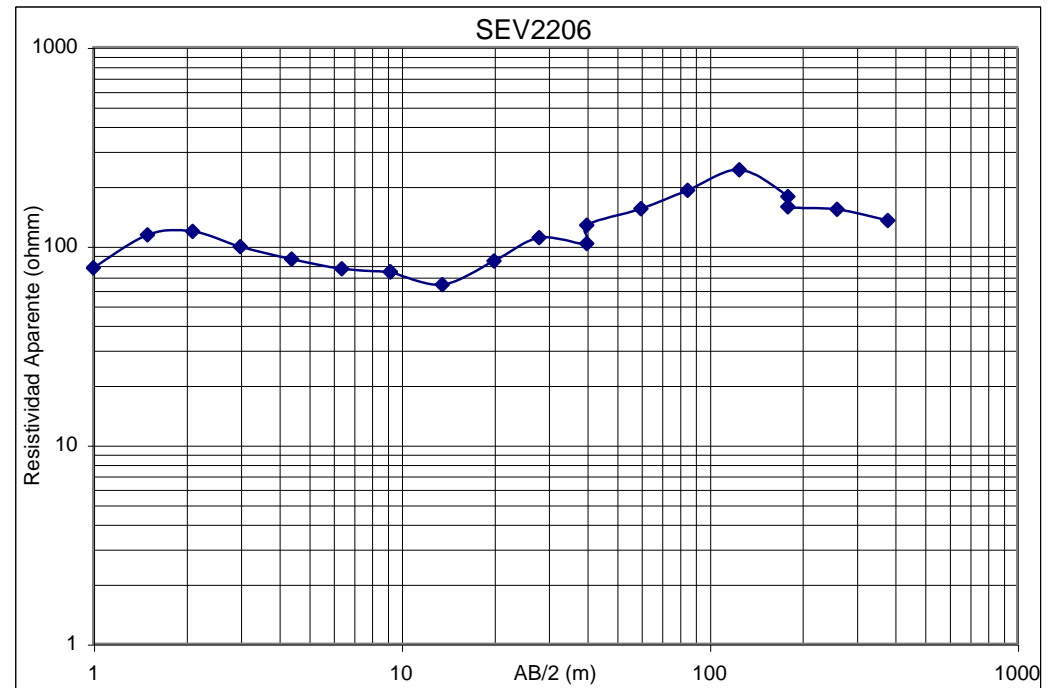
Fecha de Realización		15/02/2006		Código de Sondeo		SEV2106	
Ubicación				Costado Oriente del Relleno			
Proyecto		Elevación		Orientación del Sondeo			
Responsable		Condiciones de terreno		N:		13°51'33.6"	
				W:		89°13'6.5"	
				Z:			
				Terreno Seco			

SEV2106					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (°)	$\rho\text{-a}$ (/m)
1	1	0.5	2.356	39.4	92.834
2	1.5	0.5	6.283	21.9	137.602
3	2.1	0.5	13.069	10.75	140.492
4	3	0.5	27.489	6.29	172.905
5	4.4	0.5	60.036	3.93	235.941
6	6.4	0.5	127.894	2.28	291.599
7	9.2	0.5	265.119	1.16	307.538
8	9.2	2	63.335	4.319	273.542
9	13.6	2	142.126	1.99	282.830
10	20	2	311.018	0.83	258.145
11	28	2	612.611	0.75	459.458
12	40	2	1253.495	0.21	263.234
13	40	10	235.619	1.21	285.100
14	60	10	549.779	0.44	241.903
15	85	10	1119.192	0.15	167.879
16	125	10	2438.661	0.079	192.654
17	180	10	5073.672	0.013	65.958
18	180	40	1209.513	0.045	54.428
19	260	40	2591.814	0.019	49.244
20	380	40	5607.743	0.0091	51.030



Fecha de Realización		15/02/2006		Código de Sondeo		SEV2106	
Ubicación		Linea Ferrea		Orientación del Sondeo			
Proyecto				Coordenadas		N:	13°48'28"
Responsable				Elevación		Z:	
				Condiciones de terreno		Terreno Seco	

SEV2206					
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R (Ω)	ρ-a (Ω/m)
1	1	0.5	2.356	33	77.754
2	1.5	0.5	6.283	18.11	113.788
3	2.1	0.5	13.069	9.05	118.275
4	3	0.5	27.489	3.61	99.235
5	4.4	0.5	60.036	1.43	85.851
6	6.4	0.5	127.894	0.6	76.737
7	9.2	0.5	265.119	0.28	74.233
8	9.2	2	63.335	1.17	74.101
9	13.6	2	142.126	0.45	63.957
10	20	2	311.018	0.27	83.975
11	28	2	612.611	0.18	110.270
12	40	2	1253.495	0.082	102.787
13	40	10	235.619	0.54	127.235
14	60	10	549.779	0.28	153.938
15	85	10	1119.192	0.17	190.263
16	125	10	2438.661	0.099	241.427
17	180	10	5073.672	0.035	177.579
18	180	40	1209.513	0.13	157.237
19	260	40	2591.814	0.059	152.917
20	380	40	5607.743	0.024	134.586
21	500	40	9754.645	0.012	117.056

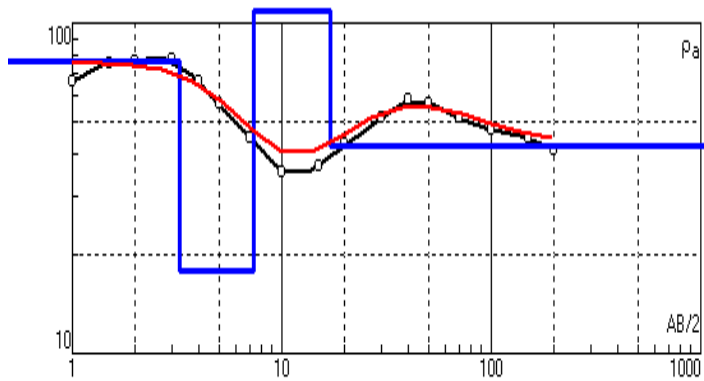


Anexo 9. Modelos de interpretación de 34 sondeos eléctricos verticales con el arreglo Schlumberger realizados en la zona de Quezaltepeque-Nejapa en el periodo de 12 de mayo de 2006 al 12 de julio de 2006.

Sev01-06

error 7.32%

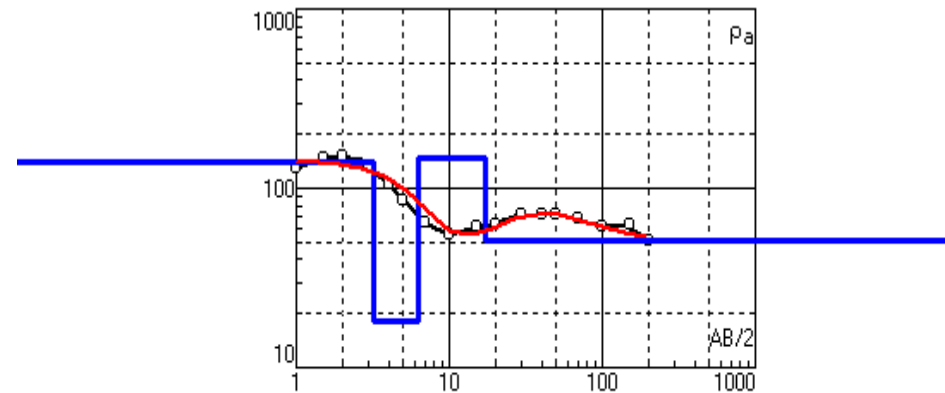
N	$\rho$	h	d	Alt
1	76.6	3.24	3.24	-3.24
2	17.9	4.08	7.32	-7.32
3	121	9.75	17.1	-17.07
4	42.7	50	67.1	-67.07
5	42.7			



Sev02-06

error 8.11%

N	$\rho$	h	d	Alt
1	140	3.24	3.24	-3.24
2	17.9	3.03	6.27	-6.27
3	146	10.8	17.1	-17.07
4	50.8	50	67.1	-67.07
5	50.8			





Sev04-06

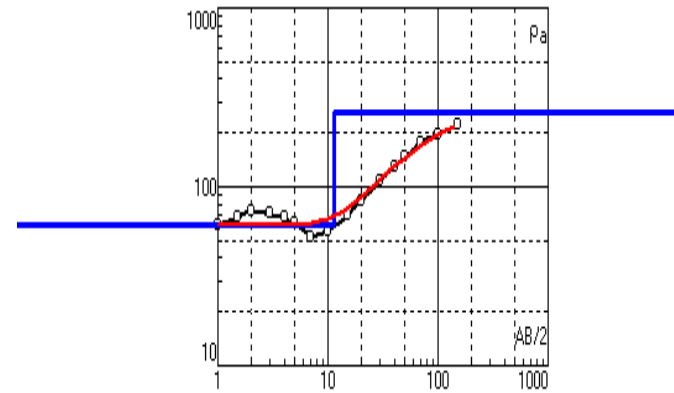
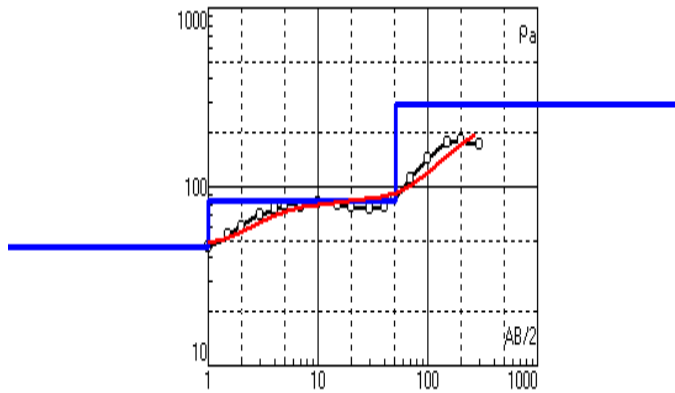
error 9.81%

N	$\rho$	h	d	Alt
1	46	1.01	1.01	-1.01
2	84.4	50.5	51.5	-51.51
3	288	50	102	-101.5
4	288			

Sev05-06

error 9.94%

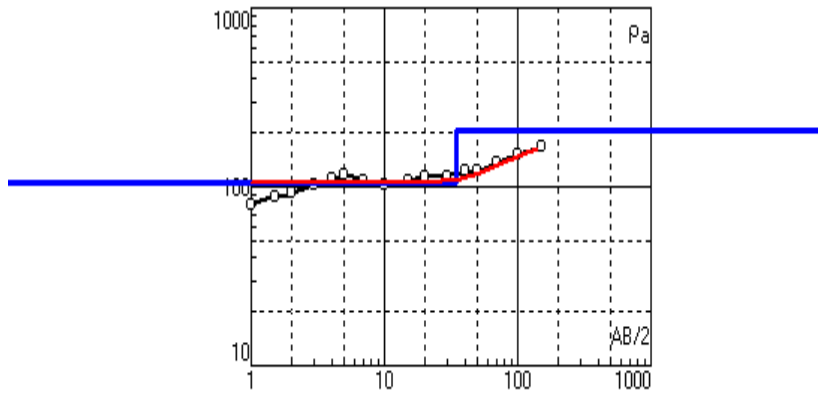
N	$\rho$	h	d	Alt
1	61	11.4	11.4	-11.4
2	261	40	51.4	-51.4
3	261			



Sev06-06

error 9.81%

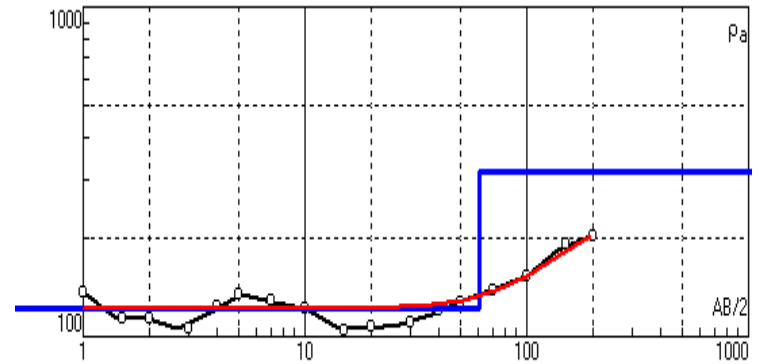
N	$\rho$	h	d	Alt
1	104	34.7	34.7	-34.7
2	208	8.79	43.5	-43.49
3	208			



Sev07-06

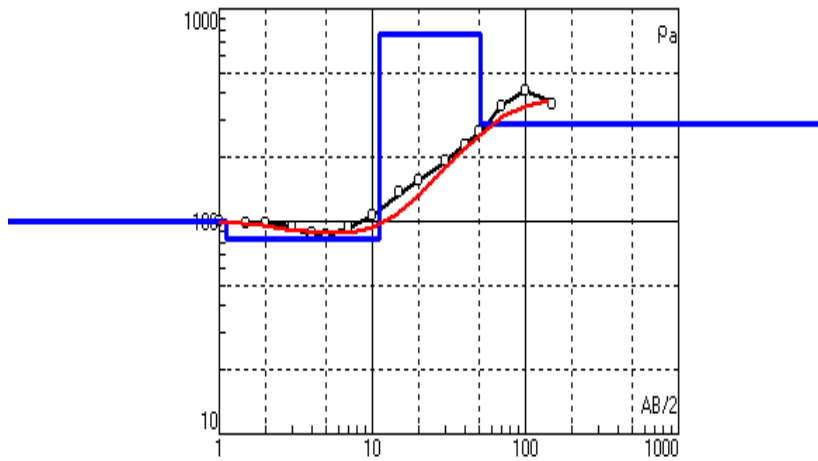
error 8.08%

N	$\rho$	h	d	Alt
1	122	61.4	61.4	-61.4
2	318			



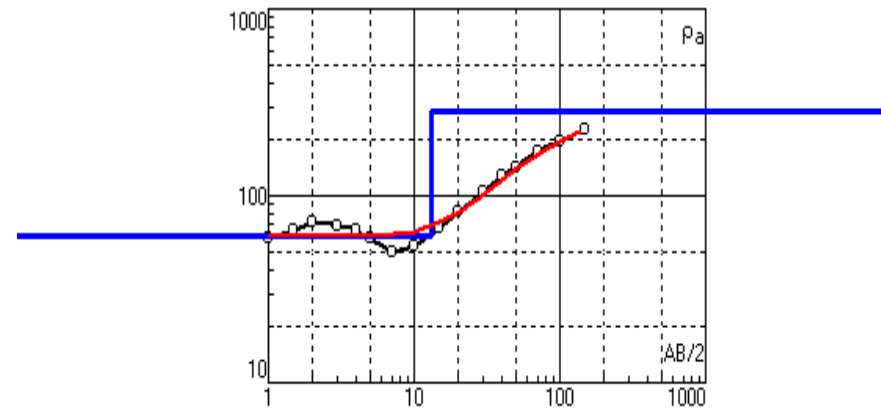
Sev08-06 error 9.25%

N	$\rho$	h	d	Alt
1	101	1.12	1.12	-1.12
2	82.1	10	11.1	-11.12
3	754	39.6	50.7	-50.72
4	288	50	101	-100.7
5	288			



Sev10-06 error 10.1%

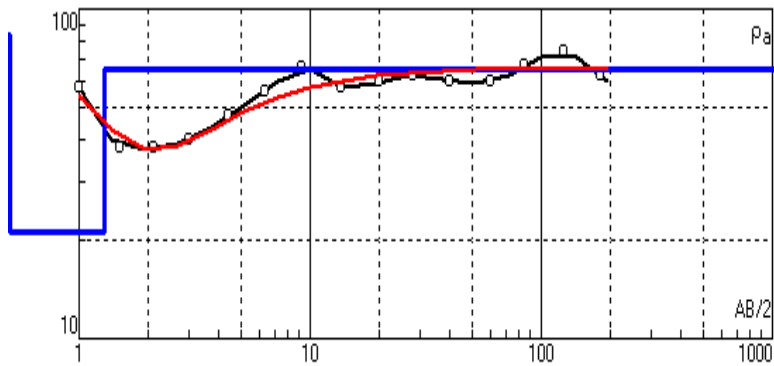
N	$\rho$	h	d	Alt
1	60.7	13.1	13.1	-13.09
2	281	38.1	51.2	-51.2
3	281			



Sev11-06

error 7.14%

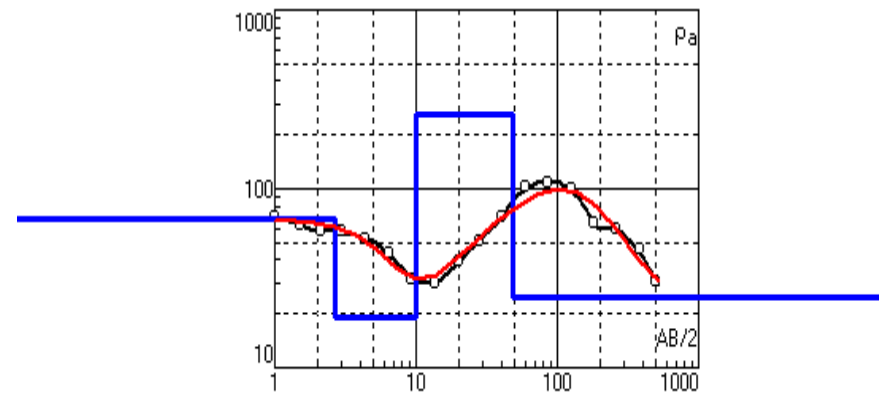
N	$\rho$	h	d	Alt
1	83.1	0.5	0.5	-0.5
2	20.9	0.782	1.28	-1.282
3	65.7	60	61.3	-61.28
4	65.7			



Sev13-06

error 9.69%

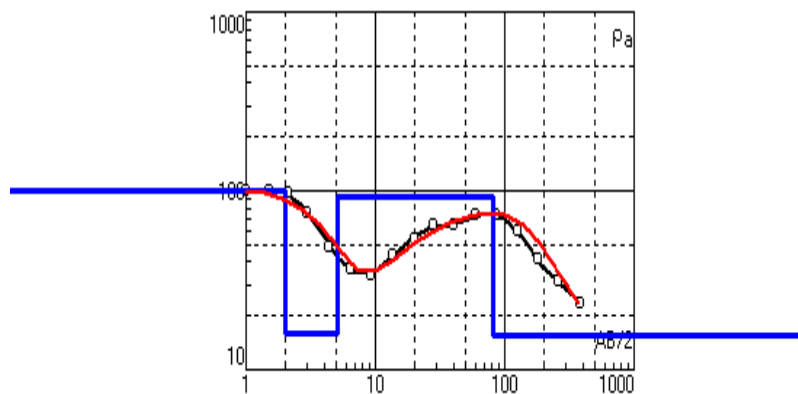
N	$\rho$	h	d	Alt
1	67.3	2.65	2.65	-2.65
2	19.1	7.35	10	-10
3	261	38.7	48.7	-48.7
4	24.5	125	174	-173.7
5	24.5			



Sev14-06

error 9.06%

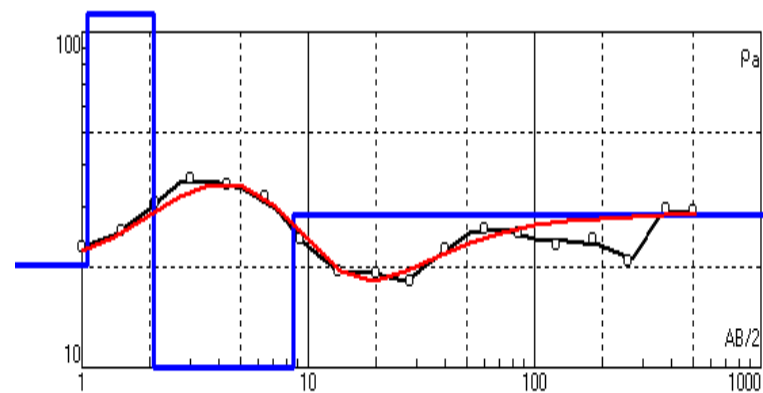
N	$\rho$	h	d	Alt
1	101	2.03	2.03	-2.03
2	15.9	3.12	5.15	-5.15
3	91.9	76.9	82.1	-82.05
4	15.7			



Sev15-06

error 9.31%

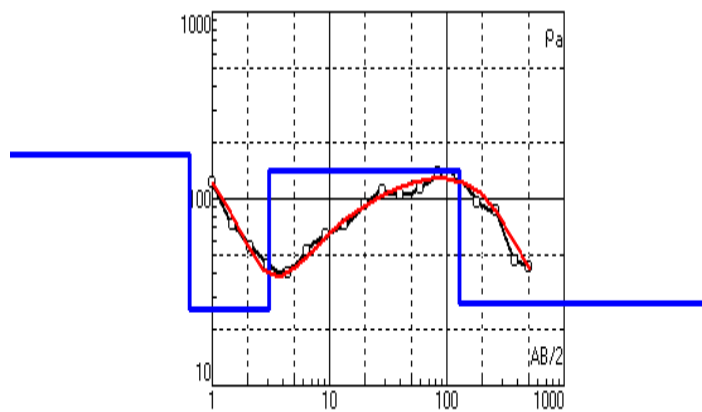
N	$\rho$	h	d	Alt
1	20.1	1.06	1.06	-1.06
2	121	1.01	2.07	-2.07
3	10	6.52	8.59	-8.59
4	28.6	160	169	-168.6
5	28.6			



Sev16-06

error 8.84%

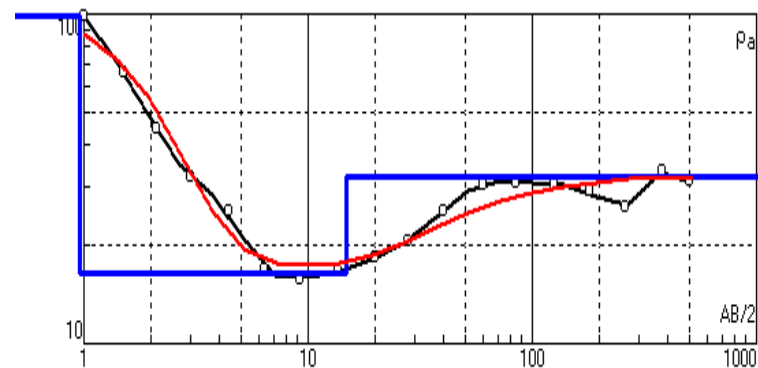
N	$\rho$	h	d	Alt
1	171	0.645	0.645	-0.645
2	25.9	2.4	3.05	-3.045
3	140	126	129	-129
4	27.3			



Sev17-06

error 9.31%

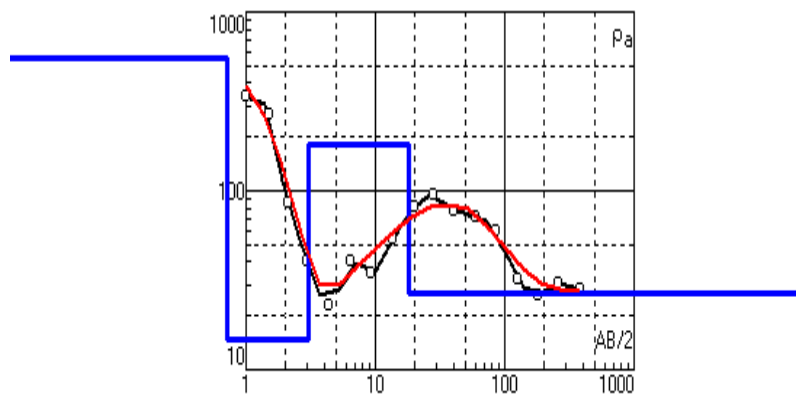
N	$\rho$	h	d	Alt
1	99	0.963	0.963	-0.963
2	16.3	13.8	14.8	-14.76
3	32.1	160	175	-174.8
4	32.1			



Sev18-06

error 13.4%

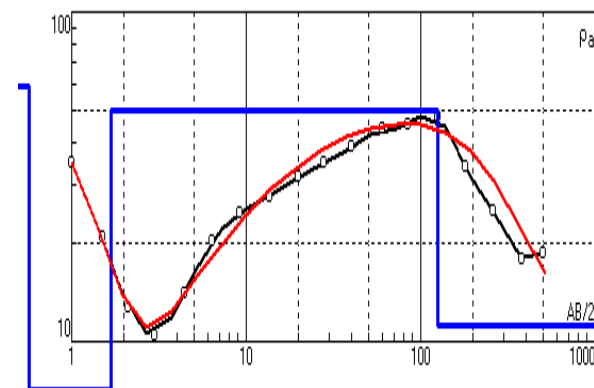
N	$\rho$	h	d	Alt
1	554	0.71	0.71	-0.71
2	14.9	2.34	3.05	-3.05
3	181	15.3	18.4	-18.35
4	26.9	85	103	-103.3
5	26.9			



Sev19-06

error 10%

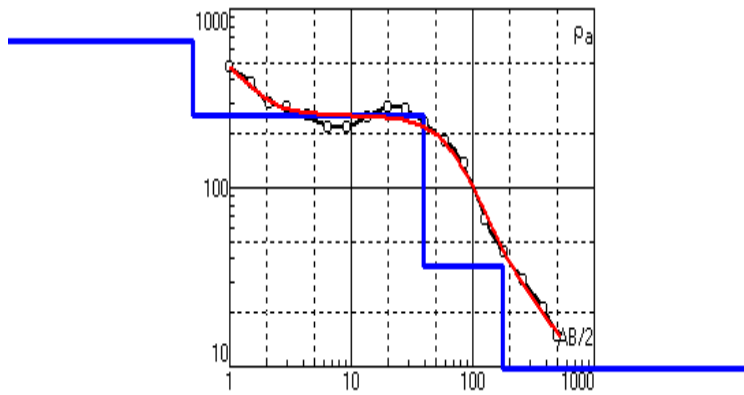
N	$\rho$	h	d	Alt
1	59.2	0.57	0.57	-0.57
2	4.67	1.1	1.67	-1.67
3	50	123	125	-124.7
4	11.2			



Sev20-06

error 7.59%

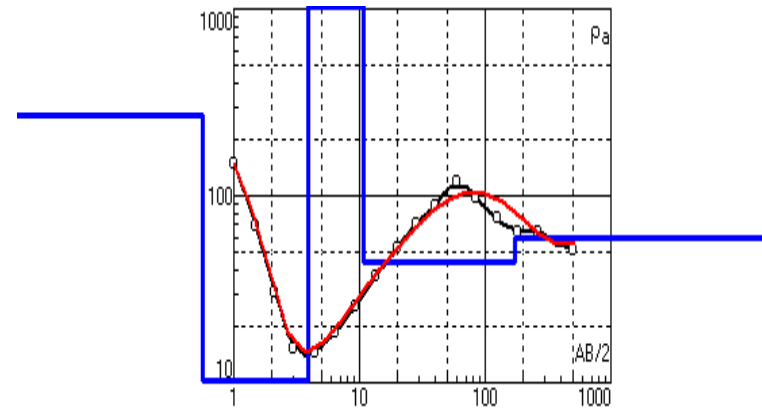
N	$\rho$	h	d	Alt
1	669	0.5	0.5	-0.5
2	251	39.4	39.9	-39.9
3	36.7	136	176	-175.9
4	9.72			



Sev21-06

error 9.29%

N	$\rho$	h	d	Alt
1	272	0.56	0.56	-0.56
2	10.3	3.38	3.94	-3.94
3	1014	6.76	10.7	-10.7
4	44.1	160	171	-170.7
5	60.1			

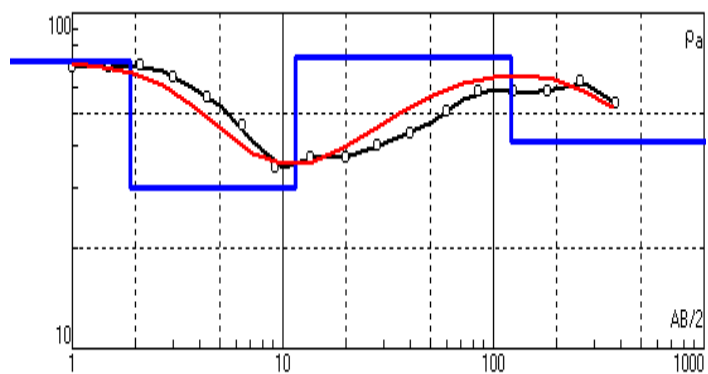




Sev22-06

error 9.57%

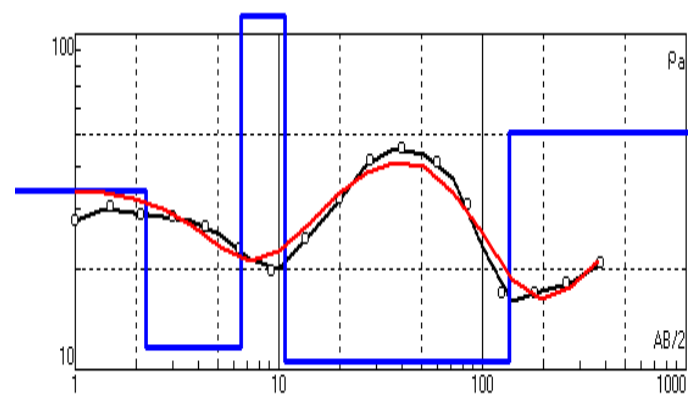
N	$\rho$	h	d	Alt
1	71.5	1.88	1.88	-1.88
2	30	9.57	11.4	-11.45
3	73.7	110	121	-121.4
4	41.1			



Sev23-06

error 9.29%

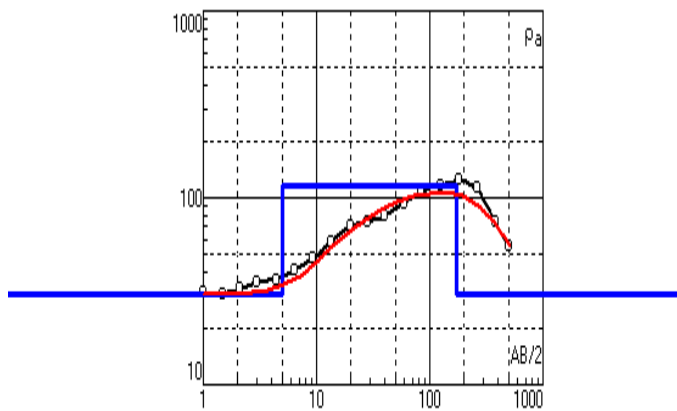
N	$\rho$	h	d	Alt
1	34.3	2.22	2.22	-2.22
2	11.6	4.26	6.48	-6.48
3	364	4.2	10.7	-10.68
4	10.5	124	135	-134.7
5	51.2			



Sev24-06

error 9.83%

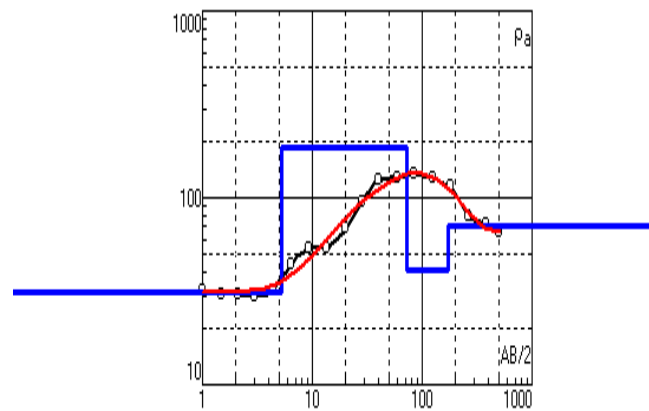
N	$\rho$	h	d	Alt
1	30.3	4.97	4.97	-4.97
2	117	169	174	-174
3	30.3			



Sev25-06

error 7.46%

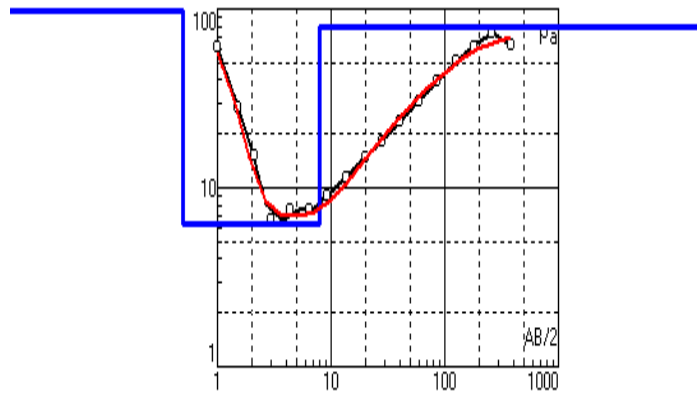
N	$\rho$	h	d	Alt
1	31.3	5.28	5.28	-5.28
2	184	68.1	73.4	-73.38
3	41.1	99.6	173	-173
4	70.4			



Sev26-06

error 7.95%

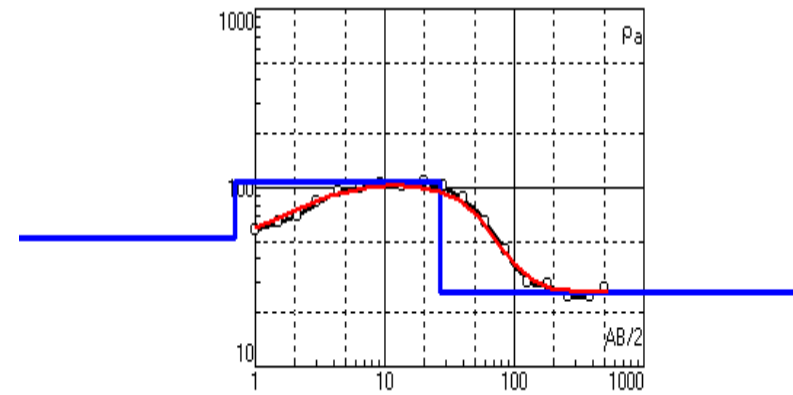
N	$\rho$	h	d	Alt
1	120	0.5	0.5	-0.5
2	6.28	7.47	7.97	-7.97
3	79.3	160	168	-168
4	79.3			



Sev27-06

error 5.23%

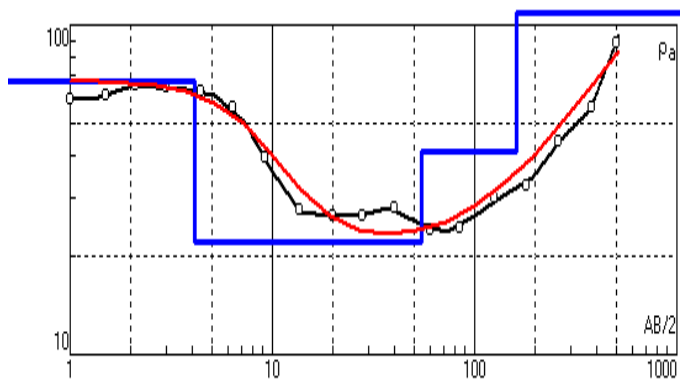
N	$\rho$	h	d	Alt
1	52	0.7	0.7	-0.7
2	107	25.7	26.4	-26.4
3	25.9	162	188	-188.4
4	25.9			



Sev28-06

error 9.82%

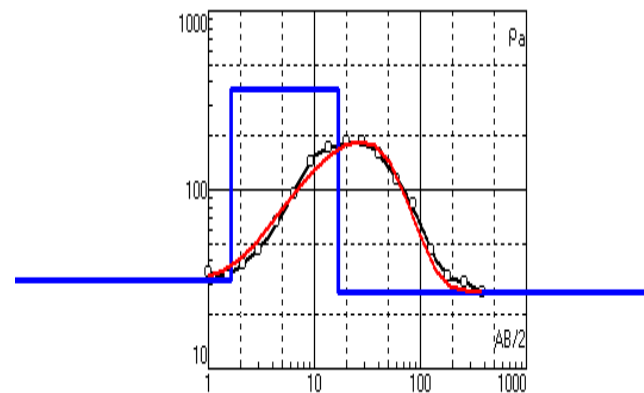
N	$\rho$	h	d	Alt
1	67.6	4.15	4.15	-4.15
2	21.9	50.6	54.7	-54.75
3	41.1	106	161	-160.8
4	346			



Sev29-06

error 9.17%

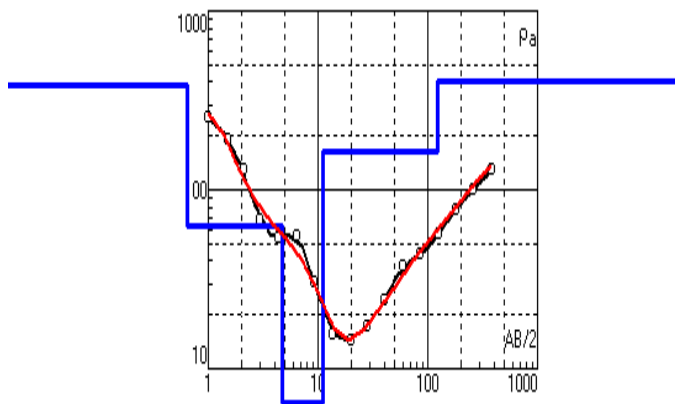
N	$\rho$	h	d	Alt
1	31.4	1.62	1.62	-1.62
2	362	15	16.6	-16.62
3	26.5	110	127	-126.6
4	26.5			



Sev30-06

error 7.86%

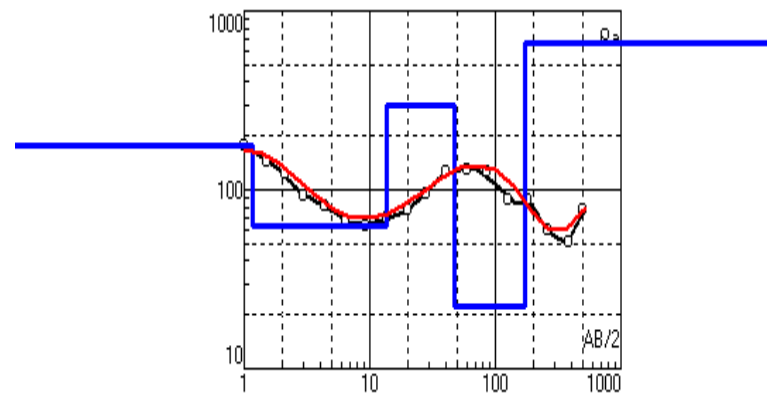
N	$\rho$	h	d	Alt
1	381	0.646	0.646	-0.646
2	62.2	4.12	4.77	-4.766
3	4.5	6.25	11	-11.02
4	164	112	123	-123
5	405			



Sev31-06

error 9.9%

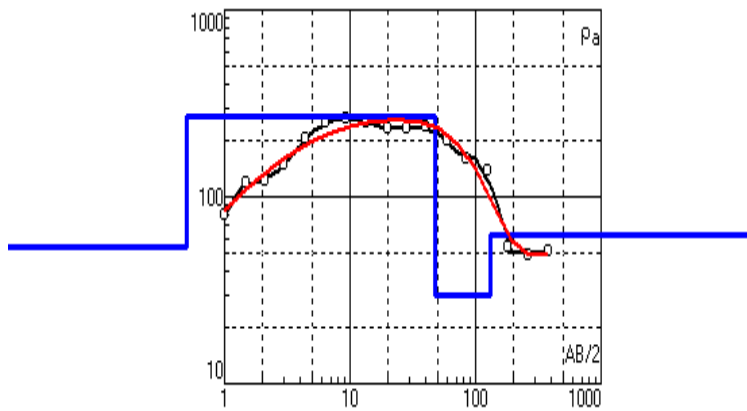
N	$\rho$	h	d	Alt
1	178	1.18	1.18	-1.18
2	62.8	12.5	13.7	-13.68
3	300	33	46.7	-46.68
4	22.3	126	173	-172.7
5	655			



Sev32-06

error 9.79%

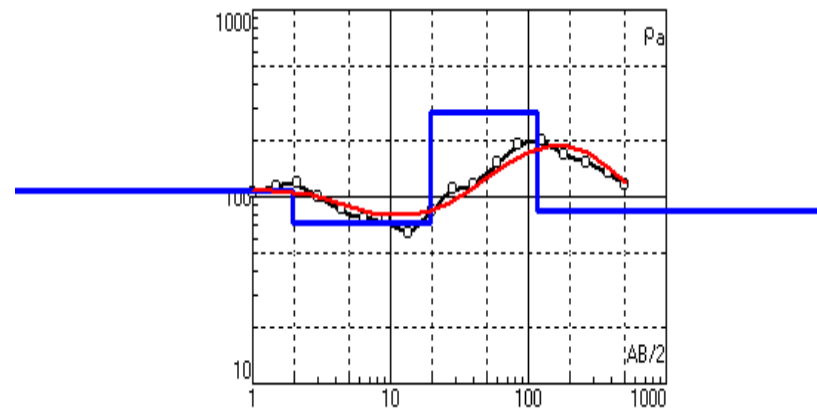
N	$\rho$	h	d	Alt
1	53.5	0.5	0.5	-0.5
2	270	46.8	47.3	-47.3
3	29.7	85.4	133	-132.7
4	61.9			



Sev33-06

error 9.93%

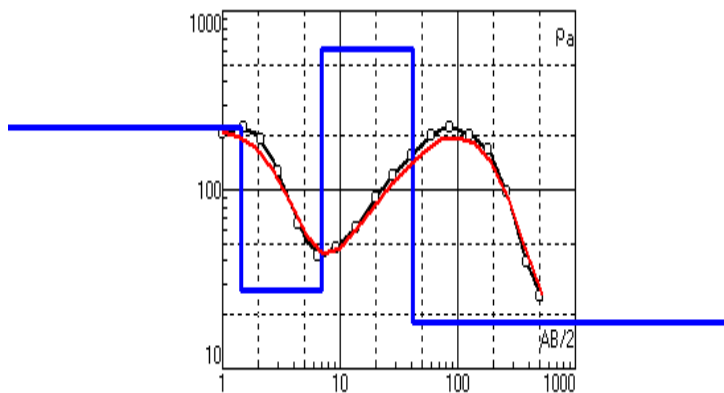
N	$\rho$	h	d	Alt
1	109	1.94	1.94	-1.94
2	73.3	17.5	19.4	-19.44
3	280	95.8	115	-115.2
4	84.4	60	175	-175.2
5	84.4			



Sev07-01

error 9.25%

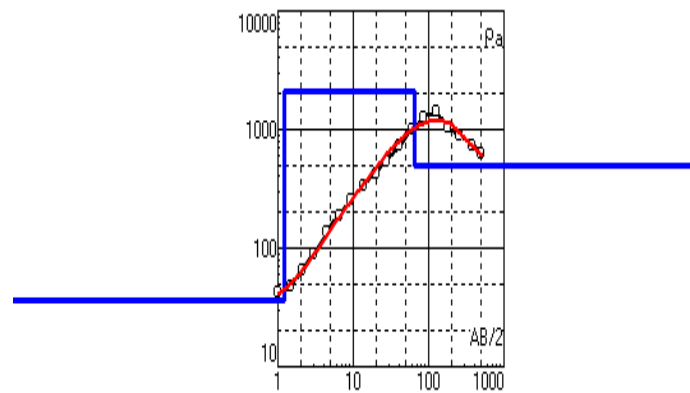
N	$\rho$	h	d	Alt
1	224	1.44	1.44	-1.44
2	27.3	5.56	7	-7
3	619	34.7	41.7	-41.7
4	18.1			



Sev07-04

error 7.05%

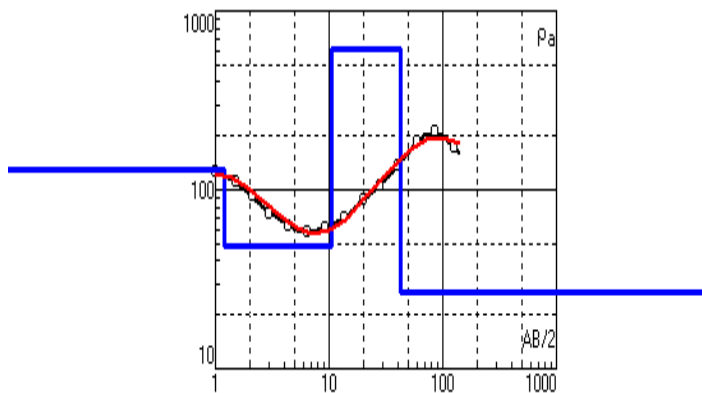
N	$\rho$	h	d	Alt
1	36.2	1.2	1.2	-1.2
2	2080	63.9	65.1	-65.1
3	498	97.7	163	-162.8
4	498			



Sev10-01

error 5.7%

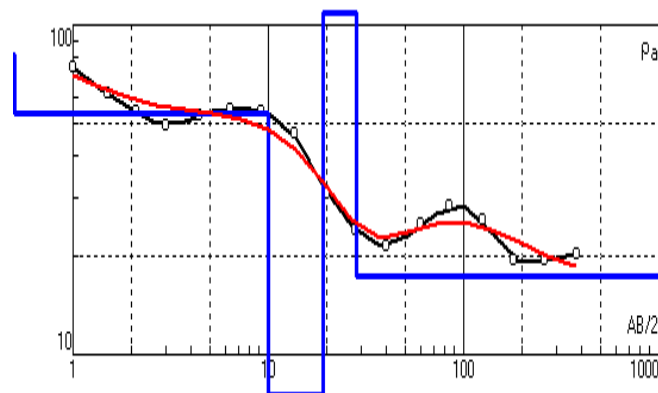
N	$\rho$	h	d	Alt
1	129	1.21	1.21	-1.21
2	48.8	9.45	10.7	-10.66
3	615	32.3	43	-42.96
4	26.4			



Sev02-04

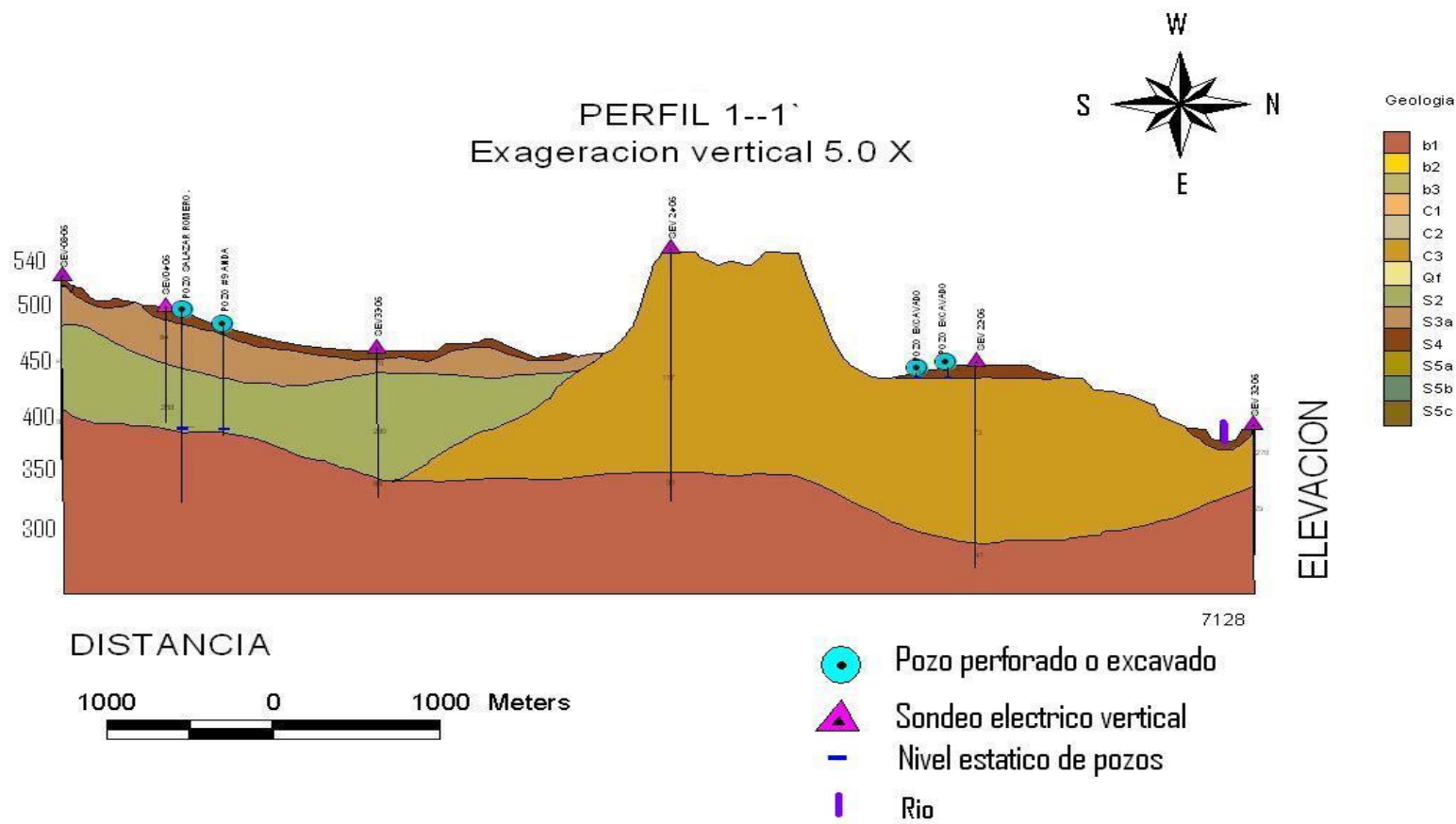
error

N	$\rho$	h	d	Alt
1	80.8	0.5	0.5	-0.5
2	54.1	9.44	9.94	-9.941
3	7.58	9.1	19	-19.04
4	123	9.31	28.3	-28.35
5	17.3			

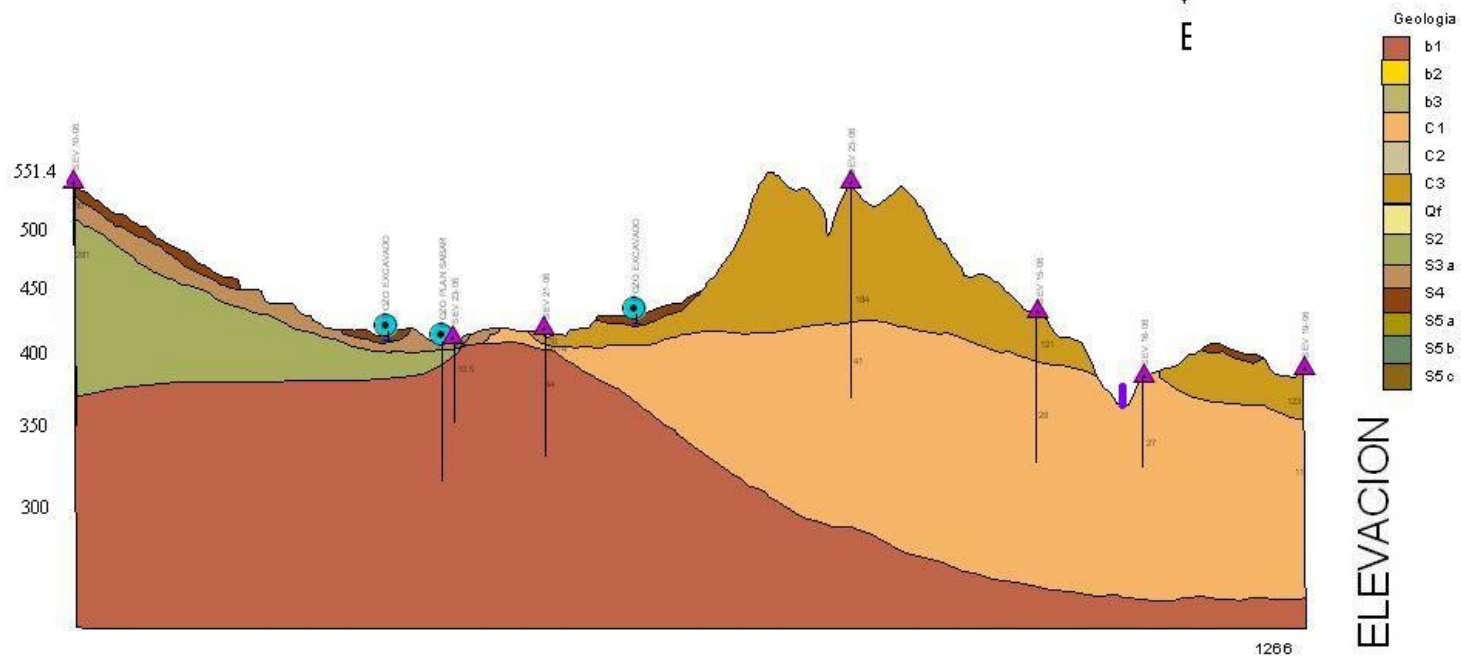
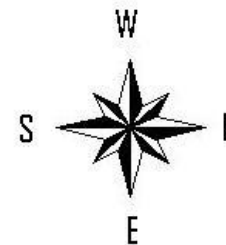




Anexo 10. Perfiles geoelectricos realizados con la información geológica, estratigráfica y geofísica.



PERFIL 2-2`  
Exageracion Vertical 5.0 X



- Pozo perforado o excavado
- Sondeo electrico vertical
- Nivel estatico de pozos
- Rio

