

# Contenido

---

Introducción.....	1
Antecedentes.....	1
Objetivo general.....	1
Objetivos específicos.....	1
Definición del problema geológico.....	1
Metodología de trabajo.....	2
Desarrollo del proyecto.....	3
Descripción del marco de referencia .....	3
Localización .....	3
Fundamentos del Método Geofísico .....	4
Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) .....	4
Determinación de la zona de la TRE .....	6
Descripción del equipo .....	7
Pruebas de calibración .....	7
Diseño del levantamiento de la TRE .....	8
Ubicación de los electrodos .....	11
Justificación del tipo de arreglo de la TRE .....	12
Procesamiento de datos .....	12
Correcciones topográficas .....	13
Inversión de datos .....	14
Interpretación de datos (Modelo geoelectrico 2D) .....	15
Abreviaturas y símbolos utilizados .....	24
Bibliografía.....	25
Bibliografía para el glosario de términos .....	24

# Introducción

---

El objetivo Principal de Protección Civil, es la salvaguardia de la persona y la sociedad, así como sus bienes y entorno ante la eventualidad de un desastre por esto, es necesario la coordinación permanente, la solidaridad y la ayuda mutua, no solamente al ocurrir una situación crítica; sino también, para establecer los mecanismos de prevención y preparación adecuados que permitan mitigar en lo posible los efectos de cualquier fenómeno destructivo.

Definimos un sitio con riesgo como aquel en donde se conoce el peligro (fenómeno perturbador), la vulnerabilidad física y social (viviendas y personas expuestas), por lo que se esperan daños o pérdidas económicas, físicas y sociales. Por ello existen estudios de métodos indirectos como la Geofísica que nos permiten conocer las condiciones del subsuelo, de manera concreta para este sitio con riesgo se aplicó el estudio de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE).

## Antecedentes

---

Este estudio se realizó a petición de la Dirección de Protección Civil de la Delegación Xochimilco, quien encargo a la empresa 3GSIG S.A DE C.V que ejecutara el estudio de una tomografía de resistividad eléctrica en el Pueblo de Santa María Tepepan ya que presenta peligro por fracturamiento derivados de procesos de remoción en masa (deslizamiento) reportada en el atlas de peligros y/o riesgos de la Delegación Xochimilco ,2015.

## Objetivo general

---

Conocer las características y condiciones en que se encuentran los materiales en el subsuelo del sitio de estudio.

## Objetivos específicos

---

- Visualizar de forma regional y local la zona de riesgo por hundimiento local en correlación con los asentamientos humanos.
- Llevar a cabo una Tomografía de Resistividad eléctrica que nos permita conocer la disposición de los estratos que conforman el terreno a una mayor profundidad.

## Definición del problema geológico

---

**Remoción en masa:** Los procesos de remoción en masa se definen como el movimiento descendente de un volumen de material constituido por roca, suelo o por ambos.

# Metodología de trabajo

---

Una vez identificados los fenómenos que se manifiestan en el sitio de estudio en el Pueblo Santa María Tepepan, para el desarrollo del proyecto se siguió la siguiente metodología:

**Descripción del marco de referencia y geología de la zona.** Se realizó una descripción del marco de referencia y geología de la zona, con el fin de conocer la ubicación y acceso al sitio, e indagar las condiciones geológicas que generan o favorecen los fenómenos que se manifiestan en el sitio de estudio.

**Fundamentos del Método Geofísico.** En esta etapa se abordaron los principios físicos y matemáticos que sustentan el método utilizado en la prospección.

**Determinación de la zona de la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE).** Con base a información de antecedentes se identificó el sitio ideal para realizar la TRE, el cual cumplió las condiciones ideales para el desarrollo e identificación de las condiciones en las que se encuentran los materiales en el subsuelo. Una vez que se seleccionó la zona para la TRE se describió el equipo a utilizar para el levantamiento.

**Diseño del levantamiento o secuencia de la TRE.** En esta etapa se ingresaron en el equipo los datos del sitio, longitud y separación entre electrodos. Una vez aprobado el diseño de la TRE, se verificaron las condiciones de los electrodos y cables para proceder a transmitir la corriente y levantar el registro.

**Procesamiento de datos.** Se descargaron los datos de la memoria del equipo hacia la computadora, y se inició el procesamiento de los datos con los programas adecuados para obtener un modelo geoelectrico en 2D.

**Interpretación de datos (modelo geoelectrico 2D).** En esta etapa se relacionaron las propiedades resistivas de los materiales geológicos del modelo 2D.

# Desarrollo del proyecto

## Descripción del marco de referencia

### Localización

El sitio de estudio se encuentra ubicado en el Este de la delegación Xochimilco, dentro del Pueblo de Santa María Tepepán con coordenadas  $19^{\circ}16'29.66''N$ ;  $99^{\circ} 8'7.91''W$  (Figura 1), Y la línea de la TRE se llevó a cabo sobre la calle la joya (Figura 2).

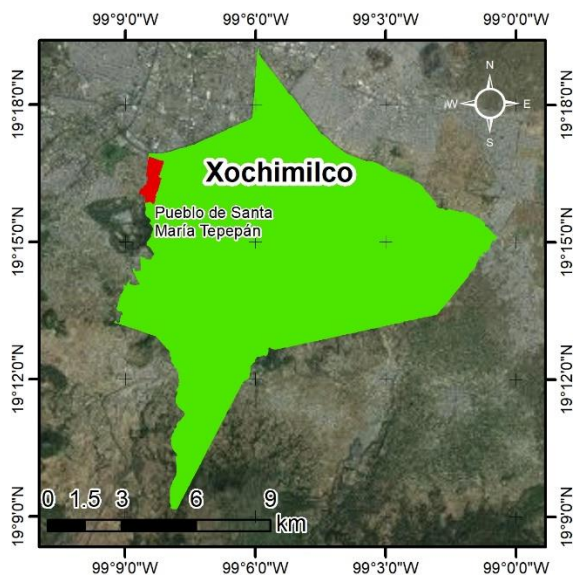


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

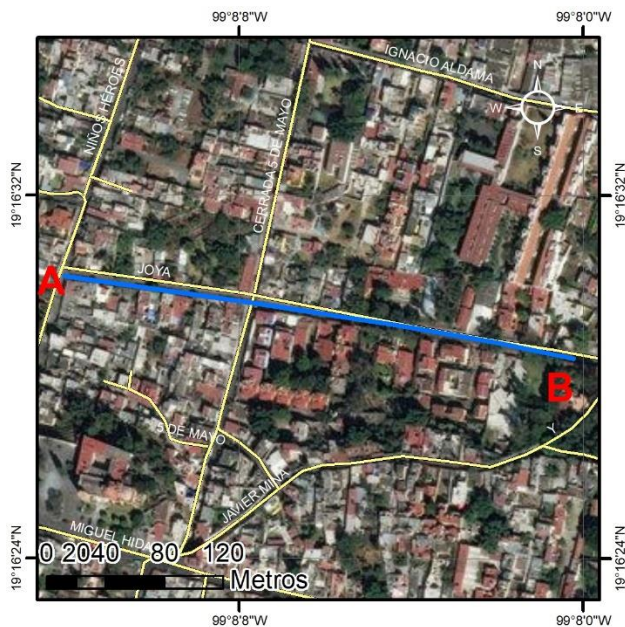


Figura 2. Croquis de localización de la Tomografía de Resistividad Eléctrica, la línea en color azul.

## Fundamentos del Método Geofísico

Los métodos geofísicos exploran de manera indirecta las propiedades físicas existentes en los materiales que componen el subsuelo. Entre las propiedades estudiadas se encuentran la resistividad eléctrica, es decir, la oposición que presentan los materiales al flujo de una corriente eléctrica a través de ellos. La resistividad varía en función del contenido de agua (la salinidad y la distribución de ambas en los poros) de la presión y de la temperatura (Serrano, 2009).

Las rocas presentan minerales semiconductores y entre sus poros pueden existir fluidos, los cuales pueden contener electrolitos que hacen que se comporten como conductores iónicos de resistividad muy variable. Llamamos resistividad ( $\rho$ ) a la resistencia específica de cada material y en nuestro caso está dada por la siguiente fórmula (Auge, 2008):

$$\rho = k * (\Delta v/I)$$

Donde:

$\Delta v$ , es la diferencia de potencial y se mide en volts.

$I$ , es la corriente eléctrica y se mide en amperes.

$k$ , es la constante geométrica.

De acuerdo a la disposición de los electrodos la constante geométrica  $K$  se obtendrá con diferentes formulas

Para obtener  $k$  en el arreglo Wenner usamos la siguiente fórmula:

$$k = 2\pi a$$

Donde:

$\pi$ , es la constante matemática con valor de 3.141592...

$a$ , es la separación que existe entre electrodos y es constante, (Denotado en el esquema con la letra  $D$ ; Figura 5).

$n$ , es el número de niveles en el cual se profundiza.

El arreglo Schlumberger utiliza la siguiente fórmula:

$$k = \pi \frac{L^2}{2l}$$

Donde:

$\pi$ , es la constante matemática con valor de 3.141592...

$L$ , es la mitad de la separación que existe entre electrodos de Corriente ( $C_A$  y  $C_B$ ) (Denotado en el esquema con la letra  $D$ ).

$l$ , es la mitad de la separación que existe entre electrodos de potencial ( $P_M$  y  $P_N$ ) (Denotado en el esquema con la letra  $D$ ).

## Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE)

La Tomografía de Resistividad Eléctrica es un método de resistividad multielectródico, basado en la modelación 2D de la resistividad del terreno mediante el empleo de técnicas numéricas (elementos finitos o diferencias finitas) para generar imágenes denominadas pseudosecciones (Serrano 2003). Por el número de datos obtenidos, éste es un método geofísico de alta resolución (Constantino, 2011).

Para la realización de la TRE se usó el siguiente arreglo:

**Arreglo Wenner-Schlumberger.** Es un híbrido entre el método Schlumberger y el método Wenner; en un principio los electrodos de corriente ( $C_A$  y  $C_B$ ) y los electrodos de potencial ( $P_M$  y  $P_N$ ) se acomodan como si se tratara de un método Wenner; es decir, la distancia entre ellos es igual (Figura 3). (Orellana, 1972; *ELECTRE Pro software Help*, Iris Instruments, 2012).

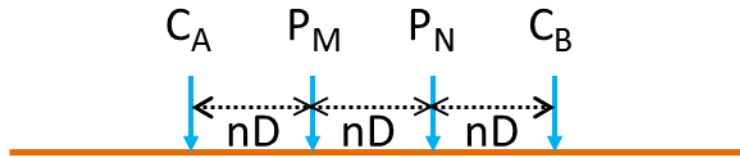


Figura 3. Colocación inicial de los electrodos para el arreglo Wenner-Schlumberger; el cual es similar a un arreglo Wenner. (*ELECTRE Pro software Help*, Iris instruments).

Posteriormente la separación se aproximará al modelo propuesto por Schlumberger, y cuando la distancia entre  $C_A$  y  $C_B$  sea 5 veces la distancia de  $P_M$  y  $P_N$ , la separación entre estos últimos  $P_M$  y  $P_N$  cambiará (Figura 4)

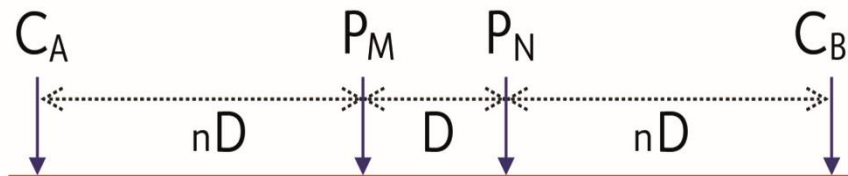


Figura 4. Muestra la disposición de los electrodos a partir del segundo espaciado. (*ELECTRE Pro software Help*, Iris instruments).

Para determinar la profundidad del punto de atribución o cuadrípulo, que es un valor de  $\rho_a$  que se obtiene con un dispositivo dipolar, suele atribuirse a un punto de intersección de dos semirrectas que parten desde los centros de cada dipolo con un ángulo de  $45^\circ$  (Perdomo, 2009); Figura 5.

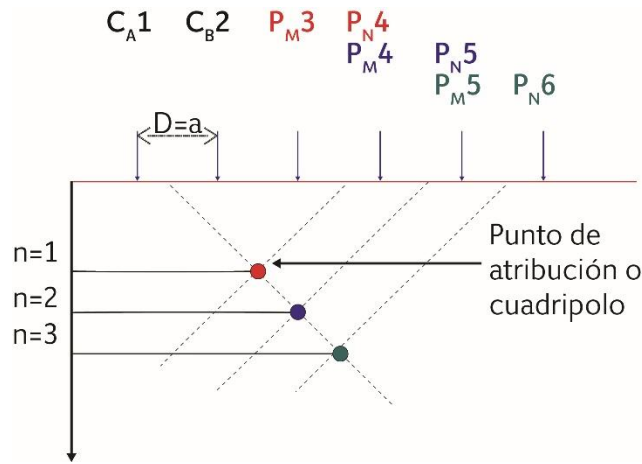


Figura 5. Muestra la secuencia de ocupación de los electrodos de potencial durante se desarrollan las mediciones (ELECTRE Pro software Help, Iris Instruments, 2012).

El electrodo de corriente  $C_A$  se moverá extendiendo su separación con el electrodo  $C_B$  al doble de la distancia inicial ( $D=2^a$ ) (Figura 6).

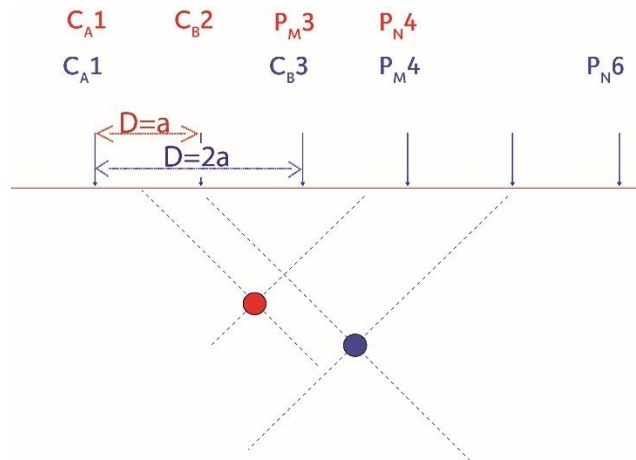


Figura 6. Secuencia del movimiento de los electrodos de corriente; los 4 electrodos ( $C_A1$ ,  $C_B2$ ,  $P_{M3}$ ,  $P_{N4}$ ) para obtener el punto de atribución rojo se denotan en el mismo color; y de la igual manera para el cuadrupolo azul ( $C_A1$ ,  $C_B3$ ,  $P_{M4}$ ,  $P_{N6}$ ) (ELECTRE Pro software Help, Iris Instruments, 2012).

## Determinación de la zona de la TRE

Con base en la cartografía del Sitio de estudio y los antecedentes, se determinó que la calle La Joya es la indicada para realizar el levantamiento, ya que cumple con las siguientes características:

- Tiene una longitud que permite hacer un tendido largo, con el fin de profundizar la prospección en el terreno.
- Se encuentra en la parte media o central de la masa que se está desplazando.
- Factible bloquear el tránsito vehicular (con la finalidad que la inyección de corriente y la recolección de datos sean continuos).
- La calle es recta y permite una buena adquisición de datos.

## Descripción del equipo

El equipo utilizado para el estudio geofísico (TRE) es el siguiente:

Resistivímetro automático multielectrodo *Syscal Pro*, el cual es un sistema de resistividad y polarización inducida (IP) para estudios eléctricos y perfiles de 10 canales. Combina un transmisor, un receptor (sus características se describen en la Tabla 1) y una unidad de conmutación en una sola carcasa.

Transmisión		Recepción	
Potencia	250 W	Impedancia de entrada	100 M $\Omega$
Voltaje	800–1,000 V	Voltaje máxima por canal	1 : 15V
Corriente	2.5 A	Tipo de precisión	0,2 %
Conversión de potencia	DC/CD ext	Resolución	1 microV ( $\mu$ V)

Tabla 1. Características del equipo *Syscal Pro*.

Accesorios:

- Fuente: batería externa de 12 V
- 36 electrodos impolarizables
- 3 carretes de cables de superficie de 12 conexiones cada una con espaciamentos de 10 m
- Computadora portátil que cuente con los programas de *ELECTRE Pro* y *Prosys II*, *ZONDRES2D*, *Surfer 9* y *ComsysPro*
- Navegador GPS
- Rotomartillo
- Conos de señalamientos
- Cronómetro
- Cinta métrica
- Marro
- Lápiz
- Libreta

## Pruebas de calibración

De acuerdo a Sepúlveda (2009) existen dos formas de diseño de equipos para medir resistividad:

- 1) Equipos que entregan un voltaje o una corriente invariable en el tiempo (CD) a la salida de sus terminales (A y B).
- 2) Equipos que obtienen un voltaje o una corriente alterna con forma de onda cuadrada a la salida de sus terminales A y B. El problema con estos equipos es que se necesita contar con un medidor de potencial y de corriente que pueda medir señales cuadradas de pequeñas frecuencias, proceso llamado *prueba de calibración*.



El equipo *Syscal Pro* corresponde al primer grupo. De acuerdo a las instrucciones del manual de uso del fabricante la opción de calibración de los canales del equipo se debe realizar después de la actualización de *firmware*, también si se tiene una duda sobre los niveles de voltaje recibidos (*Syscal Pro User's Manual*, 2012).

## Diseño del levantamiento de la TRE

Una vez determinada las zonas donde se realizarán las TRE, se diseña el levantamiento (también llamado secuencia), que incluye establecer la separación entre electrodos, el número de electrodos usados, la continuidad y la alineación de los mismos (Figura 7).

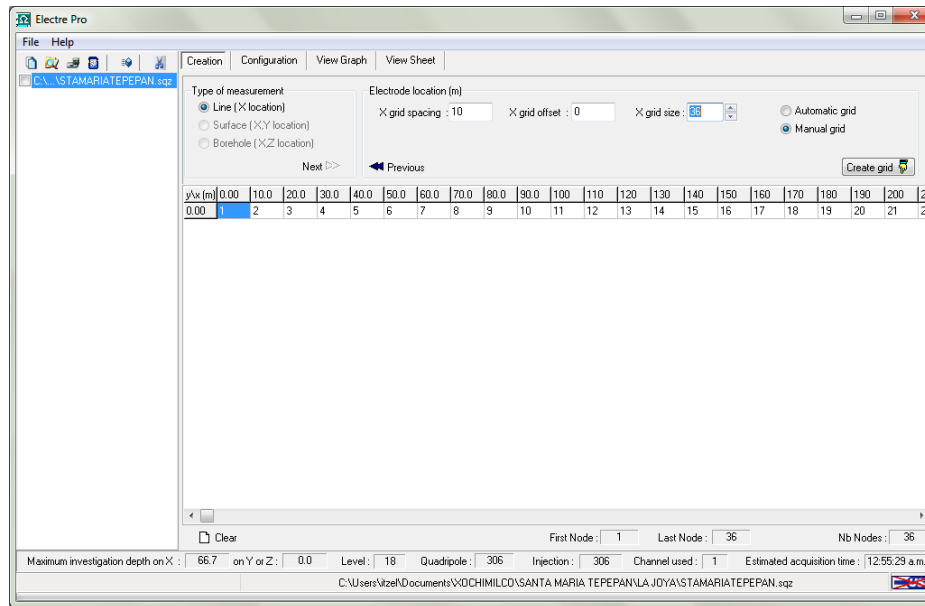


Figura 7. Ventana de asignación de separación entre electrodos para el levantamiento (Software ELECTRE Pro, Iris Instruments, 2012).

### Configuración del levantamiento con el software ELECTRE Pro.

En este paso se determina el tipo de arreglo a usarse, el voltaje inyectado, número de mediciones y el factor de calidad (Figura 8).

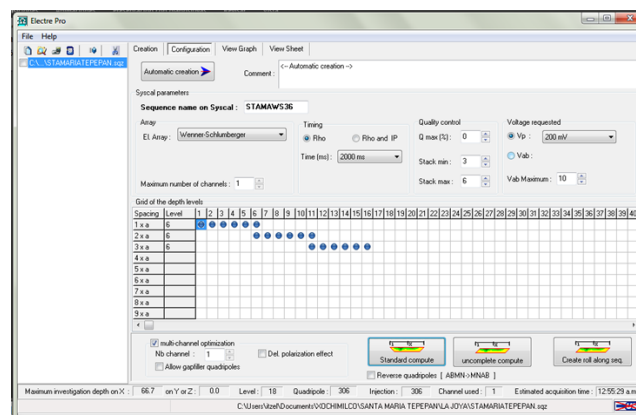


Figura 8. Ventana de configuración a la izquierda el levantamiento, en ella se introducen los parámetros de inyección de voltaje, el tipo de arreglo, el nombre, entre otros (ELECTRE Pro software, Iris Instruments, 2012).

### Obtención de gráfica preliminar.

Con los parámetros determinados por el usuario, el software *ELECTRE Pro* construye una gráfica preliminar, que permite verificar si el diseño del levantamiento es el adecuado (Figura 9).

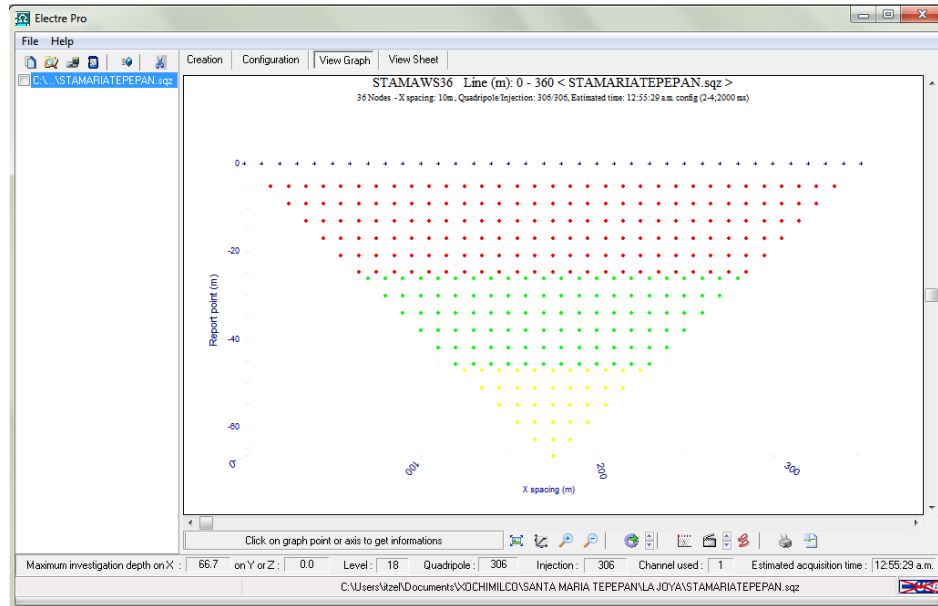


Figura 9. Ventanas que muestran las gráficas preliminares del levantamiento; en la parte superior se puede observar el nombre del levantamiento y el número de electrodos a utilizarse, el espaciado entre ellos; en la parte media se encuentra una representación de los cuadripolos; en la parte inferior (de izquierda a derecha): el nivel máximo de investigación, niveles, total de cuadripolos, canales utilizados y el tiempo estimado (ELECTRE Pro software, Iris Instruments, 2012).

Una vez verificado que el diseño del levantamiento sea el adecuado, se introduce al equipo. Las características del levantamiento o secuencia fueron las siguientes (Tabla 2):

<b>Longitud del levantamiento</b>	350 m
<b>Número de electrodos utilizados</b>	360
<b>Separación entre electrodos</b>	10 m
<b>Profundidad máxima de investigación</b>	65 m
<b>Total de puntos de atribución</b>	306
<b>Puntos de inyección</b>	306

Tabla 2. Datos del levantamiento (Fuentes: Datos obtenidos en campo y PROSYS II).

Durante el levantamiento en campo de la TRE, se aplicó la siguiente metodología:

1. Ubicación y medición de las líneas de tomografía.
2. Perforación en cada uno de los puntos donde se ubicaron los electrodos.
3. Colocación de electrodos a 10 m de distancia entre cada uno.
4. Verificación de que cada electrodo que hicieran contacto con el material del subsuelo

5. Instalación de los conectores del cable principal hacia los electrodos. Se verificó que el cable no estuviera enrollado o doblado a fin de que el flujo de electricidad no sufriera interrupción.
6. Colocación el equipo *Syscal Pro* entre los electrodos 24 y 25. Se utilizó una batería de 12 V como fuente externa.
7. Comprobación preliminar del paso de corriente en cada uno de los electrodos y medición preliminar de la resistencia de la puesta a tierra de los dipolos.
8. Recopilación de datos con el equipo, durante la cual se observó que el cableado no fuese movido o el flujo de corriente pudiese haber sufrido interrupción por causas externas.
9. Verificación del correcto guardado de los datos en la memoria del equipo concluido el tiempo de levantamiento (Figura 10).



*Figura 10. Fotografías donde se observan electrodos colocados en contacto con el terreno (19.274733° N, 99.134417° W. Calle: La Joya).*

## Ubicación de los electrodos

Durante el levantamiento se obtuvo la ubicación de los electrodos, el cual se muestra a continuación en la Tabla 3.

N° de Electrodo	X	Y	Distancia (m)
1	485637.57	2131268.9 6	0
5	485678.00	2131263.0 0	40
10	485728.00	2131255.0 0	90
15	485776.00	2131246.0 0	140
20	485827.00	2131240.0 0	190
25	485876.00	2131232.0 0	240
30	485926.00	2131255.0 0	290
36	485983.77	2131210.7 0	350

Tabla 3. Ubicación de algunos electrodos en coordenadas UTM (fuente: datos de campo).

## Justificación del tipo de arreglo de la TRE

El arreglo Wenner-Schlumberger, es híbrido de los arreglos Schlumberger y Wenner, permite una profundidad de investigación de aproximadamente 30% de la longitud total del tendido, la señal presenta una buena intensidad, muestra gran sensibilidad a cambios horizontales y verticales, ligeramente mejor cobertura horizontal que el arreglo Wenner (figura 11).

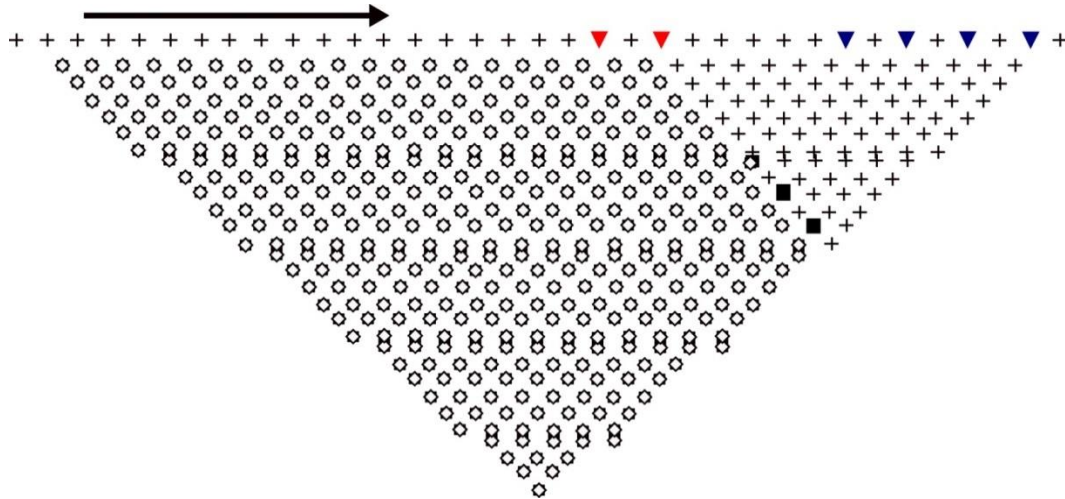


Figura 11. Modelo de puntos de atribución. Triángulos rojos, electrodos de inyección de corriente; triángulos azules, electrodos de potencial; cuadros huecos, puntos de atribución ya medidos; y cuadros negros, puntos de atribución en los que se está realizando la medición en ese momento. Las cruces son los puntos de atribución que aún no han sido medidos (Iris instruments, Software ELECTRE Pro, 2012).

## Procesamiento de datos

Los datos del levantamiento o datos de campo se extraen del equipo con el software *Prosys II*, en un archivo (.txt). La obtención de datos de manera manual con el equipo *Syscal Pro* no es posible, dada la rapidez de ejecución del equipo durante el levantamiento.

El software *Prosys II*, nos muestra una ventana que contiene los siguientes apartados: número, tipo de arreglo, Spa 1 (electrodo CA), Spa 2 (electrodo CB), Spa 3 (electrodo PN), Spa 4 (electrodo PM), Rho, Dev, Sp (potencial espontáneo), Stack (número de apilamiento), Rs-Check (resistividad aparente superficial) y fecha (Figura 12).

#	Element	Spa 1	Spa 2	Spa 3	Spa 4	Rho	Dev	Sp	No	Typ	In	Stack	Rs-Check	Name	Date
202	Schwa VES	230.00	270.00	240.00	260.00	77.38	2.56	260.17	67.940	254.279	2	201	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:11
203	Schwa VES	230.00	270.00	240.00	260.00	42.76	1.45	771.19	282.54	288.367	2	126	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:12
204	Schwa VES	230.00	270.00	240.00	260.00	89.76	6.70	407.80	96.138	906.103	2	195	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:13
205	Schwa VES	230.00	270.00	240.00	260.00	162.26	6.71	25.70	162.584	462.584	2	158	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:14
206	Schwa VES	230.00	270.00	240.00	260.00	38.62	1.60	31.29	15.448	527.720	2	207	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:15
207	Schwa VES	230.00	270.00	240.00	260.00	64.87	6.21	41.89	214.274	207.749	2	140	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:16
208	Schwa VES	230.00	270.00	240.00	260.00	47.43	1.15	302.97	25.746	152.219	4	188	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:17
209	Schwa VES	230.00	270.00	240.00	260.00	87.88	1.65	426.88	6.777	118.622	2	208	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:18
210	Schwa VES	230.00	270.00	240.00	260.00	85.17	1.19	557.32	61.463	453.433	2	166	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:19
211	Schwa VES	230.00	270.00	240.00	260.00	47.88	1.65	426.88	6.777	118.622	2	209	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:20
212	Schwa VES	240.00	270.00	250.00	260.00	84.29	6.08	12.12	211.889	197.511	2	133	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:21
213	Schwa VES	240.00	270.00	250.00	260.00	81.89	11.15	586.44	25.884	76.540	4	226	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:22
214	Schwa VES	240.00	270.00	250.00	260.00	85.14	6.90	900.34	104.932	398.088	2	167	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:23
215	Schwa VES	240.00	270.00	250.00	260.00	49.79	2.06	273.63	36.302	389.744	2	201	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:24
216	Schwa VES	240.00	270.00	250.00	260.00	26.45	6.33	724.38	11.802	423.768	2	313	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:25
217	Schwa VES	240.00	270.00	250.00	260.00	91.39	6.28	108.16	218.748	269.792	2	189	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:26
218	Schwa VES	250.00	300.00	270.00	280.00	104.78	2.69	196.29	106.723	119.802	2	230	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:27
219	Schwa VES	250.00	300.00	270.00	280.00	48.82	1.41	873.83	66.207	627.796	2	239	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:28
220	Schwa VES	250.00	300.00	270.00	280.00	35.42	4.98	815.83	7.937	146.814	4	318	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:29
221	Schwa VES	250.00	300.00	270.00	280.00	44.88	6.18	939	203.07	176.796	2	153	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:30
222	Schwa VES	260.00	300.00	280.00	290.00	44.42	38.51	56.43	16.536	76.064	4	380	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:31
223	Schwa VES	260.00	300.00	280.00	290.00	27.26	1.32	262.38	36.037	388.666	2	289	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:32
224	Schwa VES	260.00	300.00	280.00	290.00	40.49	1.89	752.89	27.837	428.268	2	144	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:33
225	Schwa VES	270.00	360.00	300.00	310.00	29.46	6.22	106.34	224.463	267.260	2	237	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:34
226	Schwa VES	270.00	300.00	290.00	300.00	33.50	15.60	688.81	15.860	81.243	4	400	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:35
227	Schwa VES	270.00	360.00	300.00	310.00	56.78	6.91	285.03	16.786	136.038	2	144	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:36
228	Schwa VES	280.00	350.00	300.00	310.00	44.26	6.23	462.24	271.483	386.462	2	186	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:37
229	Schwa VES	280.00	350.00	300.00	310.00	55.77	9.31	34.96	31.241	108.367	4	182	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:38
230	Schwa VES	280.00	350.00	300.00	310.00	43.27	6.10	103.62	61.633	103.198	2	140	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:39
231	Schwa VES	290.00	350.00	300.00	310.00	37.86	6.26	116.47	176.688	292.495	2	132	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:40
232	Schwa VES	290.00	350.00	300.00	310.00	43.27	46.89	254.45	6.222	22.748	2	140	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:41
233	Schwa VES	300.00	350.00	310.00	320.00	36.50	6.17	127.78	223.663	286.819	2	115	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:42
234	Schwa VES	300.00	350.00	310.00	320.00	36.26	21.17	382.78	16.287	101.828	4	233	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:43
235	Schwa VES	310.00	360.00	320.00	330.00	31.82	6.36	1122.66	76.332	139.703	2	132	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:44
236	Schwa VES	320.00	350.00	330.00	340.00	32.76	26.73	107.66	26.382	76.323	4	500	STAMAVES	1	08/11/2017 04:27:45

Figura 12. Ventanas que muestran secciones de datos del levantamientos (software Prosys II, Iris Instruments, 2012).

El software *Prosys* nos genera, a partir de los datos de levantamiento, una gráfica preliminar que corresponde a la resistividad aparente  $\rho_a$ , que puede contener datos anómalos (Figura 13).

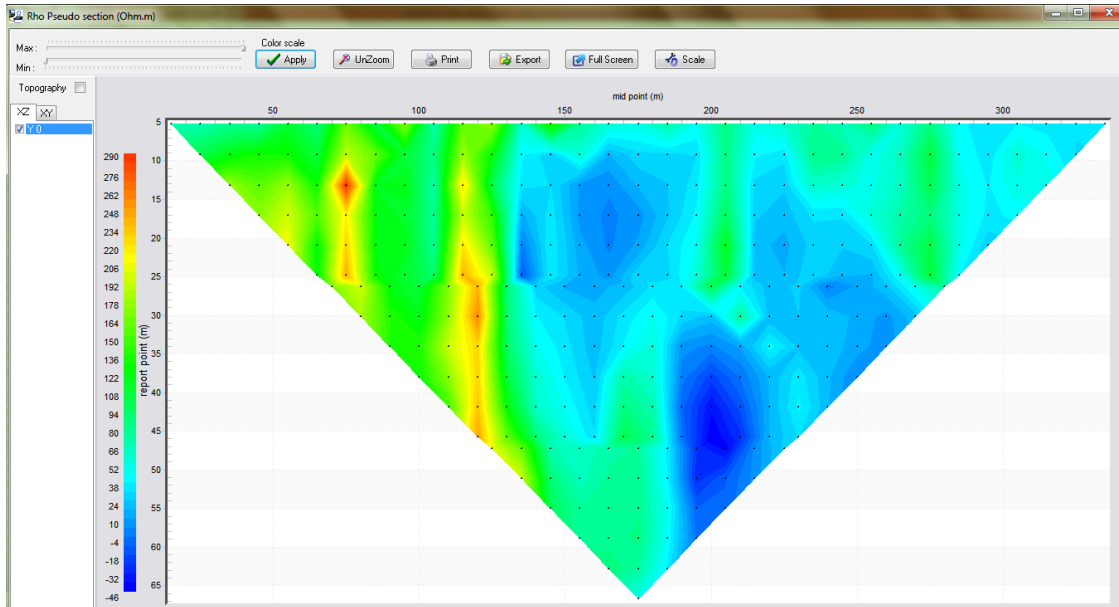


Figura 13. Gráfica de resistividad aparente sin proceso de inversión de datos (software *Prosys II*, Iris Instruments, 2012).

## Correcciones topográficas

Una vez obtenida la ubicación espacial de los electrodos, se obtienen datos de altimetría. Los cuales se integran a un archivo (.txt) que se ingresa al programa *ZONDRES2*, con el fin de que el modelo que se obtiene después de la inversión se adapte a las condiciones topográficas reales del terreno (Figura 14); solo se realizaron estas correcciones para el Levantamiento.

#	cable pos, m	Altitude
1	0	0
2	10	1
3	20	1
4	30	1
5	40	2
6	50	2
7	60	3
8	70	4
9	80	5
10	90	6
11	100	6
12	110	6
13	120	6
14	130	6
15	140	6
16	150	6

Fixed X

OK

Figura 14. Archivo de topografía que se ingresa al programa *ZONDRES2* durante el proceso de inversión de datos.

## Inversión de datos

Con los datos del archivo (.txt) obtenidos con el software *Prosys II*, se crea un archivo de datos de resistividad, (.dat), el cual será modelado en el programa *ZONDRES2*.

El modelado (también llamado proceso de inversión) sirve para la interpretación de los datos obtenidos en campo, debido a que ninguna ecuación se relaciona con mediciones múltiples (como las realizadas en este estudio) y no pueden resolverse con una respuesta única. Se recurre a esta técnica porque es una forma matemática de estimar una respuesta, verificarla en función de las observaciones y modificarla hasta que sea aceptable (Barclay, 2008).

El proceso de inversión de datos comienza con la propuesta de un modelo directo, que parte de las propiedades del suelo. En la Tabla 4 se muestran los parámetros que constituyen el modelo directo propuesto para este estudio.

Voltaje mínimo.	0.1
Resistividad aparente mínima.	1.0
Resistividad aparente máxima.	10000
Error de repetición máximo.	10
Error de repetición recíproco.	0.1
Filtro	Own

Tabla 4. Parámetros para construir el modelo directo del proceso de inversión de datos (fuente: software *ZONDRES2*, 2016).

En la gráfica logarítmica de distribución de *resistencia observada vs resistividad calculada*, en el eje de las abscisas se encuentran los datos de resistividad observada y en el eje de las ordenadas la resistividad calculada. Podemos estimar que nuestro modelado alcanzó parámetros adecuados, y por ello los resultados son aceptables (Figura 15).

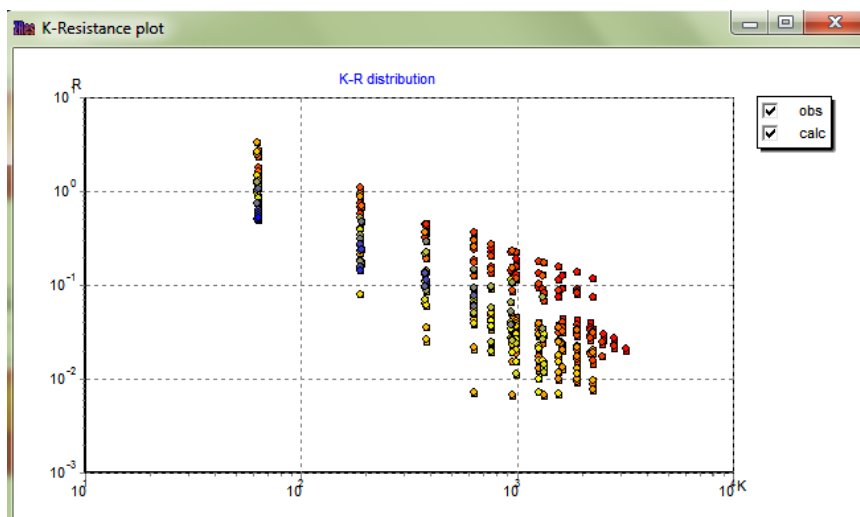


Figura 15. Gráfica logarítmica de distribución de resistividad medida vs resistividad calculada. (software *ZONDRES2*, 2016).

## Interpretación de datos (Modelo geoelectrico 2D)

Con los resultados de la TRE se procedió a identificar las diferentes capas resistivas, espesores y profundidad de acuerdo a la gráfica de valores de resistividad mediante la relación entre la geología y los valores de resistividad propuestos para diferentes rocas y minerales (Tabla 5).

ROCAS, MINERAL, MASAS	RESISTIVIDAD (OHM.M)
<b>Sedimentos</b>	
Caliza	50-150
Arcilla	1-100
Gravas	100-5000
Limos	50-10 <sup>7</sup>
Marga	1-100
Cuarzo	10-10 <sup>8</sup>
Lutita	10-1000
Arena	500-5000
Arenisca	1-10 <sup>8</sup>
<b>Rocas ígneas y metamórficas</b>	
Basalto	10-10 <sup>7</sup>
Gabro	1000-10 <sup>6</sup>
Granito	100-10 <sup>6</sup>
Mármol	100-10 <sup>8</sup>
Esquisto	10-10 <sup>4</sup>
Pizarra	100-10 <sup>7</sup>
<b>Minerales y masas</b>	
Plata	1.6*10 <sup>-8</sup>
Grafito, Mineral Masivo	10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-3</sup>
Galena	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-2</sup>
Mineral de Magnetita	1 - 10 <sup>5</sup>
Esfalerita	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>6</sup>
Pirita	1*100
Calcopirirta	1*10 <sup>-5</sup> - 0.3
Cuarzo	10 <sup>10</sup> - 2*10 <sup>14</sup>
Halita	10 - 10 <sup>13</sup>
<b>Agua y efectos del agua y las sales contenidos</b>	
Agua Pura	1*10 <sup>6</sup>
Agua Subterránea	1- 10 <sup>3</sup>
Agua de Mar	0.2
20% Sal	5*10 <sup>-2</sup>
Granito. 0% agua	10 <sup>10</sup>
Granito. 0.19% agua	1*10 <sup>10</sup>
Granito. 0.31% agua	4*10 <sup>10</sup>

Tabla 5. Rango de variaciones de la resistividad eléctrica en rocas y minerales en  $\Omega m$  (Musset, 2000)



En la TRE que resulto del Levantamiento se observan tres tipos de materiales divididos en cuatro capas: 1, 2, 3 y 4(Figura 16).

### Capa 1

La capa 1 está compuesta por materiales de relleno con resistividades que varían entre 70 y 180 ohm m. Estos materiales descansan sobre la capa 2.

### Capa 2 y 4

Las capas 2 y 4 presentan el registro de resistividad más alto de esta tomografía 430 ohms m que se identifican con un color rojo. Estas dos capas se encuentran en la parte superficial (capa 2) y en la parte más profunda de la zona de estudio (capa 4). No presentan contenido en agua, lo que indica que son materiales impermeables y compactos, rocas o gravas muy compactas. Separa a estas dos capas, la capa 3 cuyos materiales son más permeables y con mayor saturación de agua.

### Capa 3

La capa 3 está compuesta por materiales que registraron resistividades que varían de 18 hasta 180 ohms m (colores verde y amarillo). Esta capa aflora en superficie y llega hasta una profundidad e 60m. Está compuesta limos y arcillas. Dentro de esta capa se identificó la zona A, la cual es una zona de acumulación de agua (color azul), lo cual se puede asociar a un lente de arenas sobresaturadas, un canal interno con flujo de agua y cubierto por los materiales de la capa 2.

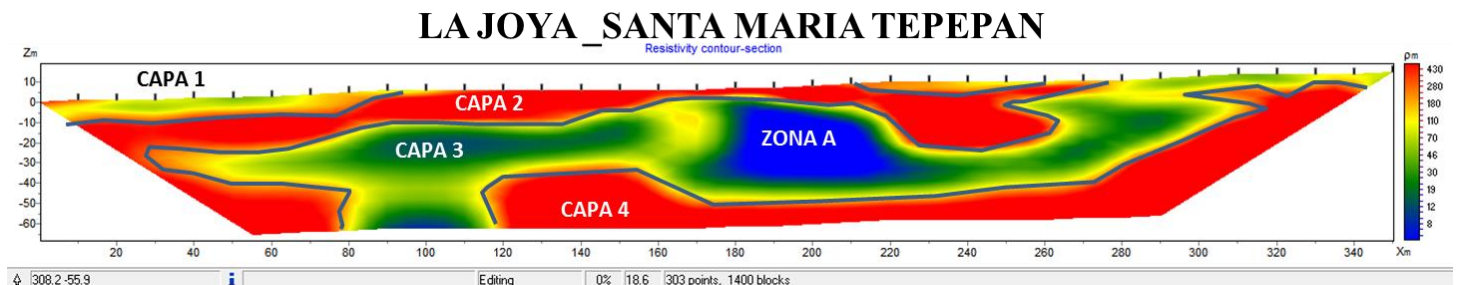
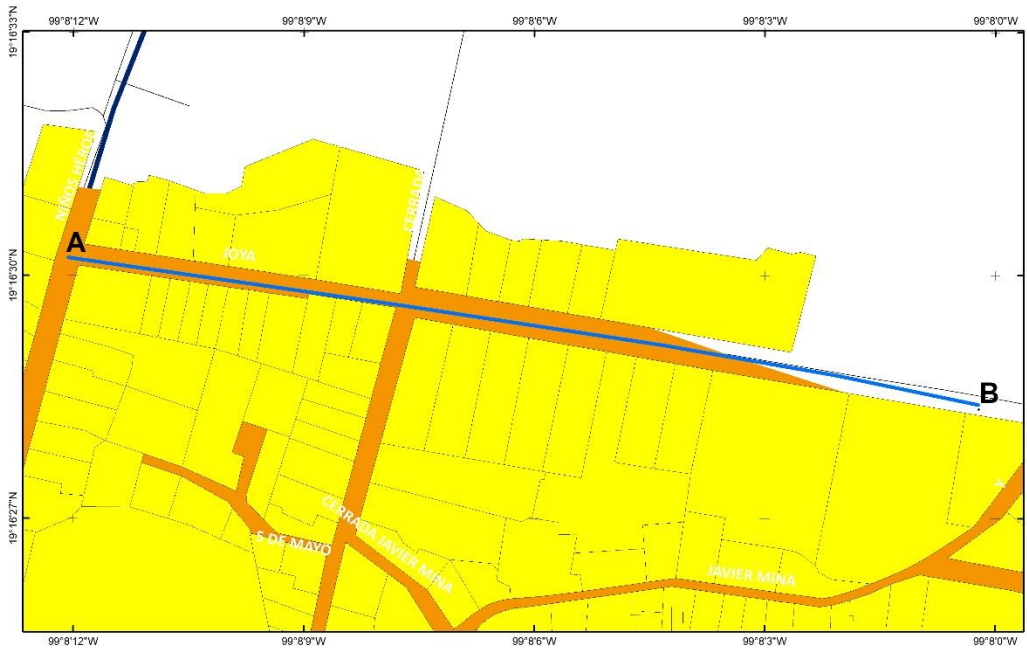


Figura 16. Imagen Resistiva del Levantamiento N°1.



Estudio de Geofísica en Santa María Tepepan

Estudio de geofísica

— Linea de estudio TRE

Peligro por remoción en masa      Vulnerabilidad

**Intensidad**

Medio      Media

Límites políticos

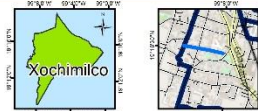
Manzanas

Colonias

Vías de comunicación y Sitios de interés

Eje vial

Carreteras



Año de elaboración: 2017  
 Datum: WGS84  
 Coordenadas geográficas:  
 Graculada: 09° 06' 5"  
 Unidades: grados

Escala: 1:1,267

0 5 10 20 30 metros

Responsable Técnico:  
 Dr. Juan Carlos Mora Chaparro  
 Elaboró:  
 Ing. Lucía Avila Martínez, Ing. Karen Michel Gál Frazzato  
 Ing. Verónica López Hernández

Fuentes:  
 Atlas de peligros y Riesgos de Xochimilco 2010  
 Socio, S.A. de C.V.  
 National Geographic World Map.

Estudio de Tomografía de Resistividad Eléctrica  
 Santa María Tepepan ( Calle la Joya)



## Glosario de términos

**Alteración:** Sinónimo de intemperismo. Proceso de transformación y destrucción de los minerales y las rocas en la superficie de la Tierra a poca profundidad, bajo la acción de agentes físicos químicos y orgánicos. (...) Como resultado de esta actividad se forma la corteza de intemperismo, misma que representa la porción menos consolidada del material poroso consistente en detritos de rocas y minerales nuevos, resistentes en condiciones de temperaturas y bajas presiones: con frecuencia es una formación arcillosa [1].

**Aluvión:** Depósitos sedimentarios formados por corrientes fluviales en el cauce y llanura de inundación de los valles. La composición granulométrica y mineralógica, así como características estructural-texturales varían ampliamente en función del régimen de los ríos, de la resistencia de las rocas a la erosión, de la cuenca hidrográfica y de las condiciones geomorfológicas generales [1].

**Andesita:** Roca ígnea efusiva de composición intermedia, color oscuro, compuesta de cristales de plagioclasa intermedia, minerales máficos y frecuentemente vidrio volcánico, común en las montañas de los Andes. Junto con el basalto forma las masas principales de rocas efusivas en las regiones de volcanismo joven y actual. Se presenta en general, en las zonas de subducción correspondientes a la margen de los continentes y los arcos insulares. Origina una amplia variedad de formas del relieve volcánico y al transformarse por la erosión es común que se formen valles y laderas empinadas y una red fluvial de tipo dendrítico [1].

**Arcillas lacustres:** Suelo constituido por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de minerales de aluminio. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm [12].

**Asfalto:** Es una mezcla sólida y compacta de hidrocarburos y de minerales que mayormente es empleada para construir el pavimento de las calzadas [4].

**Avalancha de escombros:** Proceso gravitacional que puede originarse de dos maneras. La primera por la caída o deslizamiento de un cuerpo rocoso con movimiento progresivo y pérdida de cohesión que lo convierte en derrubios y se transforma en un flujo de tipo avalancha. La segunda, por el movimiento de un depósito de derrubios que se transforma en avalancha [1].

**Barranco:** Forma lineal negativa del relieve, estrecha, con laderas abruptas, con frecuencia se ramifica hacia la cabecera. En longitud llega a alcanzar algunos kilómetros, y en anchura y profundidad, algunas decenas de metros. Los barrancos se forman generalmente en rocas incoherentes o fácilmente erosionables, como los loess, depósitos piroclásticos y conglomerados, por escurrimiento de temporada de las aguas pluviales y nivales [1].

**Basalto:** Roca ígnea efusiva de composición básica y color oscuro, consistente principalmente en plagioclasas básicas, augita y con frecuencia olivino. Generalmente es una roca compacta y porosa. Presenta estructuras de derrame; forma mesas de lava de cientos o miles de kilómetros cuadrados. Entre las formas de relieve características están los volcanes de lava y sus derrames asociados, del tipo de Hawái e Islandia. Cubre también extensiones gigantescas del fondo oceánico, mismo que incluye la planicie abisal, montañas submarinas y las dorsales [1].

**Basamento:** Conjunto de rocas que subyacen con discordancia a la cobertura de rocas sedimentarias; posee un estilo tectónico definido y han sido afectadas por metamorfismo y deformaciones, aunque éstas pueden estar ausentes [1].

**Biotita:** f. Silicato de hierro y magnesio de color negro, marrón o verde oscuro, del que se extraen láminas delgadas [4].

**Brecha volcánica:** Roca consistente en detritos angulosos mal clasificados debido a que sufrieron un transporte reducido. Constituida de ceniza y lapilli, y de clastos volcánicos. Se puede formar directamente a causa de una erupción explosiva, por remoción posterior del material volcánico o por un hundimiento superficial [1].

**Calizas:** Roca sedimentaria consistente en calcita o residuos calcáreos de organismos, raras veces de aragonita. Con frecuencia contiene minerales de dolomita, partículas arcillosas y arenosas [1].

**Caolinitas:** Arcillas minerales cuya composición es de óxido de aluminio hidratado, formado generalmente a partir de la hidrólisis de feldespato potásico y otros minerales aluminosilicatados [2].

**Carbonatación:** Reacción química del ácido carbónico del agua de lluvia, agua del suelo y agua subterráneas con los minerales, afecta intensamente a los minerales y rocas carbonatas, como la caliza o el mármol; es una actividad de la meteorización química [2].

**Cauce:** Porción inferior de un valle fluvial ocupada por la corriente. Se caracteriza por la anchura, la profundidad y la superficie del agua, factores que varían de manera continua [1].

**Ceniza:** Partículas de roca volcánica, cristales o vidrio volcánico, generado durante las erupciones (diámetro menor a 2 mm) [3].

**Colada de lava:** Forma en que fluye y se dispone la lava en la superficie terrestre. Sus dimensiones dependen de la viscosidad, del volumen y velocidad de salida del magma a la superficie, y de la pendiente del terreno. Los de tipo ácido son generalmente cortos (1-10 km) y de fuerte grosor (más de 25 m). Los derrames de lava o coladas de lava basálticos, especialmente los de estructura ondulada, son muy largos, de decenas de kilómetros. La mayor velocidad que se conoce para el escurrimiento de lavas fluidas es de 70 km / h [1].

**Coluviión:** Detritos rocosos producto del intemperismo, desplazados ladera abajo por la acción de la fuerza de gravedad. Se depositan en las laderas con aspecto de capas delgadas y al pie de ellas. El tamaño de los detritos es muy variable, son angulosos y sin clasificación, es sinónimo de derrubios [1].

**Conglomerado:** Roca sedimentaria compuesta de granos redondeados del tamaño de la grava [3].

**Conglomerado:** Roca sedimentaria compuesta de cantos rodados, cementados en una matriz fina (arena, limo, arcilla), algunas veces la matriz puede ser calcárea o silicosa y en ocasiones en que el conglomerado ha sido sometido a fuertes presiones y temperaturas la matriz puede hallarse fundida. Los conglomerados se forman en las cuencas aluviales, fluvio-glaciales, grandes conos aluviales, áreas próximas a los litorales y en las márgenes de los ríos [4].

**Cono volcánico:** Forma de relieve que se origina por la acumulación del material volcánico alrededor de la chimenea; su forma depende de la proporción de lavas y material no consolidado que lo constituye; generalmente posee un cráter en la cima. El cono se forma por el depósito gradual de material piroclástico y escoria cerca de la chimenea, adquiriendo una pendiente fuerte en sus laderas, de 30° a 35° cuando es material fino, y 40° y más cuando el material es grueso, depositado cerca del cráter; con el tiempo, el perfil de las laderas evoluciona por la acción de los procesos exógenos [1].

**Corrosión:** Es la pérdida o deterioro de las propiedades físicas y/o químicas de un metal, sobre todo el hierro, al interactuar con su medio. Sucede naturalmente, transformándose el metal en un óxido, (reacción anódica, donde ocurre la disolución del metal) que es un

compuesto más estable, por el cual el metal vuelve a su estado anterior u original, que es el que tenía antes del proceso metalúrgico.

**Cuarzo:** Mineral compuesto por dióxido de silicio, constituyente esencial de las rocas ígneas félsicas y uno de los principales componentes de la arena y arenisca [2].

**Cuenca:** Depresión de la superficie terrestre, de forma y origen diversos. Puede ser exorreica (con un desagüe que permite que las aguas circulen y sean expulsadas de la cuenca y endorreica (sin desagüe). Independientemente de sus dimensiones y profundidad, puede estar ocupada por el agua (lagos, mares). Es una porción de la tierra firme con un sistema centrípeto de laderas y corrientes fluviales. Se denomina con más precisión cuenca fluvial o hidrográfica. Está delimitada por divisorias desde las cuales escurren aguas superficiales o subterráneas hacia un río principal. La cabecera de una cuenca fluvial montañosa presenta un canal con pequeños afluentes [1].

**Dacitas:** Roca ígnea ácida de grano fino, compuesta de microlitos de plagioclasa, vidrio, cuarzo y, con menor frecuencia, hornblenda, biotita, piroxeno y otros minerales. Su equivalente en roca intrusiva es la granodiorita. Las formas de relieve de la dacita son derrames de lava de corta extensión, debido a la viscosidad del magma, de grosor considerable y con bordes escarpados; también originan agujas de lava [1].

**Degradación:** A nivel ecológico y natural, la degradación significa que un producto u objeto ya completo y fabricado comienza a ser degradado por la naturaleza para poder absorberlo, acción para la cual necesita simplificarlo y alterarlo físicamente [5].

**Depósitos de caída:** Fragmentos piroclásticos que han caído de una nube eruptiva [3].

**Discordancia:** Superficie de contacto entre dos grupos de estratos que por su edad y estructura refleja que hubo un tiempo prolongado (puede ser superior a una era geológica) en la formación de las capas que separan la discordancia [1].

**Domo volcánico:** Lava con forma de cúpula que crece en el fondo del cráter o en la cumbre de un volcán. Es propiamente el cono que se forma por la acumulación de material expulsado a través del cráter y la forma es determinada por las proporciones de lava y elementos piroclásticos en el material de su composición [3].

**Drenaje:** La red de drenaje de una cuenca está integrada por un cauce principal y una serie de tributarios cuyas ramificaciones se extienden hacia las partes más altas de las cuencas [3].

**Electrodo:** Cuerpo conductor en contacto con un medio del que se recibe o al que transmite una corriente eléctrica [4].

**Escarpe:** Ladera abrupta o a desplome, de altura variable, que puede formarse por distintas causas: tectónicas, procesos exógenos, principalmente gravitacionales [1].

**Escurrimiento:** Es el agua proveniente de la precipitación, circula sobre o bajo la superficie terrestre y llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca [3].

**Esfena:** También denominada titanita, puede ser un mineral primario o secundario en rocas ígneas. En el segundo caso puede formarse a partir de otros minerales ricos en titanio, como la ilmenita o durante la cloritización de micas ferromagnesianas ricas en titanios. Suele ser un accesorio frecuente en rocas alcalinas. Se caracteriza por su relieve alto, color variable de incoloro a marrón y birrefringencia intensa, muchas veces enmascaradas por los colores propios del mineral. Las secciones con terminaciones en forma de cuña son muy características, especialmente las de forma de diamante [17].

**Erosión:** Es el desgaste que se produce en la superficie de un cuerpo por la acción de agentes externos (pueden ser el viento, las corrientes de agua, los cambios de temperatura o hasta la acción de seres vivos) o por la fricción continua de otros cuerpos [7].

**Falla:** Desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante a éste o de ambos bloques, a través de un plano denominado «plano de falla». Las fallas son producto de esfuerzos tectónicos, producto de la epirogenesis, orogenia, diastrofismo, tectónica de placas o cualquier otro tipo de desplazamiento de parte de la corteza. Una falla ocasiona discontinuidad de las estructuras geológicas. Los esfuerzos pueden ser: tensionales, compresionales, verticales (en ambos sentidos) o inclinados, dando lugar a diversos tipos de fallas. Los elementos de una falla son: plano de falla, bloque superior o techo, bloque inferior o piso, desplazamiento de la falla o rechazo, espejo de falla, etc. El reconocimiento de las fallas se hace más fácilmente en las rocas sedimentarias y en las metamórficas de origen sedimentario debido a la discontinuidad de las capas o estratos. En las rocas ígneas la identificación es más difícil y solo es posible su reconocimiento observando detenidamente los espejos de falla o planos de fricción, o cuando existen diques o filones que señalan su desplazamiento a través del plano de falla. El estudio de las fallas es de suma importancia para la definición de la geología estructural o de la tectónica de la región. Del punto de vista práctico es de suma utilidad en geología minera para definir la posición o desplazamiento de las vetas mineralizadas o de los cuerpos mineralizados. También es de suma importancia para el estudio de los yacimientos petrolíferos. Tipos de fallas: Oblicua, cruzada, longitudinal, transversal, paralela al plano de estratificación, etc. [11].

**Flujo de lodo.** Mezcla de materiales sólidos de diferentes tamaños y agua que se desplazan por efecto de las pendientes del terreno [6].

**Flujos piroclásticos:** Mezclas de materiales volcánicos fragmentados y gases a altas temperaturas (de 300 a 1200 °C), que generalmente se producen por colapso de la columna eruptiva que emerge de los cráteres durante un episodio de actividad volcánica. Las velocidades de los flujos piroclásticos han sido estimadas en un espectro quinético de entre 10 y 200 m/s, siendo la velocidad más comúnmente registrada, aquella que fluctúa alrededor de los 20 m/s. La extensión de las áreas que suele afectar este tipo de flujos, puede ser muy variable, y asciende desde unos 70 hasta varios cientos de kilómetros cuadrados [5].

**Fosa Tectónica:** Zona de hundimiento tectónico delimitado por fallas paralelas, de longitud considerablemente mayor que la anchura. Las dimensiones de una fosa tectónica son muy variables. Puede ser simétrica o asimétrica, consistente en una depresión alargada y delimitada a ambos lados por elevaciones (el pilar u horst). La erosión se produce transversal a las laderas, formando barrancos y por acumulación, abanicos aluviales en la desembocadura, en la planicie de la fosa tectónica [1].

**Fractura:** Ruptura de las rocas sin desplazamiento de los bloques que separa. Se usa también como sinónimo de falla [14].

**Geofísica:** Ciencia que destina su estudio e investigación a estudiar el planeta Tierra desde un ángulo físico justamente. Aborda cuestiones como ser la estructura, las condiciones físicas y la evolución de la tierra [5].

**Hidratación:** Proceso del intemperismo químico que consiste en la adsorción y absorción del agua por los coloides en los canales de la red cristalina de los minerales; un mineral se transforma en otro por influencia del agua [1].

**Hipersteno:** Mineral presente en rocas volcánicas o metamórficas. Se presenta exclusivamente en masas laminares o trozos de exfoliación de color verde oscuro a negro, con brillo vítreo y una iridiscencia o reflejos de color cobrizo [16].

**Hornblenda:** Mineral de la clase de los silicatos. Contiene silicio, oxígeno, calcio, sodio, potasio, magnesio, hierro, aluminio y flúor. Algunas hornblendas de rocas volcánicas pueden contener también titanio. Desde el punto de vista estructural pertenece al sistema monoclinico. Se presenta en cristales incompletos o alargados que en ocasiones aparecen con secciones casi hexagonales y con caras terminadas en formas que parecen romboedros. Brillo vítreo con dureza considerable y bastante pesada [16].

**Hundimiento:** Dislocación de la corteza terrestre que da lugar a la remoción en sentido vertical de fragmentos de la misma [13].

**Hundimiento regional y agrietamiento:** Fenómenos de naturaleza geológica cuya presencia se debe a los suelos blandos, en los cuales se producen pérdidas de volumen como consecuencia de la extracción de agua del subsuelo [13].

**Interestratificación:** Intercalación de unidades dentro de la estructura de los silicatos, ya sean laminares o en láminas de unidades distintas en otro mineral [11].

**Lahar:** Palabra indonesia con la cual se denomina a una especie de flujo de lodo formado por una mezcla de agua (meteórica o cratérica) y ceniza que baja por las pendientes de un volcán arrastrando otras rocas y formando avalanchas de gran poder destructivo. Puede producirse no sólo durante las erupciones volcánicas, sino también muchos meses después, debido a las lluvias y a la liberación de agua del cráter [6].

**Limo:** Partículas de 0.002 a 0.02 mm de diámetro. Son mayores que las arcillas y menores que las arenas [1].

**Máfico:** Adjetivo referente a la composición de un magma o una orca caracterizada por un alto contenido de magnesio y hierro. Las rocas de la corteza oceánica tienden a tener una composición máfica [7].

**Magnetita:** Mineral óxido de hierro, muy pesado, de color negro, que atrae el hierro y otros metales; imán. [4].

**Mampostería:** Sistema de construcción que consiste en levantar muros a base de bloques que pueden ser de arcilla cocinada, piedra o concreto entre otros. Actualmente se unen utilizando un mortero de cemento y arena con un poco de agua, en las proporciones adecuadas [6].

**Mapa Geomorfológico:** Representa el relieve terrestre con base en la morfología y la génesis del mismo, además de otros parámetros, como geomorfometría, litología y edad [1].

**Mioceno:** Término debido a Lyell (1832) para designar la época posterior al Oligoceno y anterior al Plioceno, del periodo Neógeno (Terciario tardío) [1].

**Montmorillonita:** Mineral arcilloso derivado por alteración química de los minerales silíceos de diversas rocas ígneas; se expande fuertemente cuando absorbe agua [2].

**Oxidación:** Uno de los procesos del intemperismo químico que incluye reacciones de combinación con oxígeno, especialmente con minerales de hierro en presencia de agua. El estado ferroso pasa a férrico, con formación de películas y cortezas de color amarillo a pardo que se disgregan fácilmente. Un ejemplo es la transformación de pirita en limonita [1].

**Piroclastos:** Fragmentos de magma arrojados durante las erupciones volcánicas de tipo explosivo. De acuerdo con su tamaño se clasifican en cenizas (menor a 2 mm), lapilli (2 a 64 mm) y mayor a 64 mm son bombas (de forma ovoide) y bloques (angulosos) [1].

**Piroxeno:** Los piroxenos son una familia de los silicatos de composición variable, y a la vez muy compleja; teniendo en cuenta el sistema de cristalización, se pueden distinguir de los rómbicos, denominados ortopiroxenos, y los monoclinicos, o clinopiroxenos. Estos últimos

se dividen a su vez en aluminíferos y no aluminíferos según contengan o no aluminio en sustitución de silicio en los tetraedros. [16]

**Plagioclasa:** Feldespato de la serie calco-sódica que presenta solución sólida de los términos extremos albita y anortita. Los términos ricos en sodio son más frecuentes en rocas ácidas, mientras que los más cálcicos lo son en rocas básicas. Sus características distintivas más relevantes son la extinción oblicua, el desarrollo de un maclado polisintético con múltiples individuos, colores de birrefringencia grises y frecuente alteración a un agregado microcristalino rico en micas [16].

**Plioceno:** Es la segunda época del Neógeno, el quinto periodo del Terciario, posterior al Mioceno. La duración del Plioceno se calcula en unos 5 Ma, y debe haber terminado hace aproximadamente 2 Ma. En este lapso tuvo un desarrollo gran parte del relieve actual de la Tierra, en especial de regiones jóvenes como México y Centroamérica [1].

**Procesos exógenos:** Procesos geológicos producidos por fuerzas externas de la Tierra, se originan en la superficie de ella y en las capas superiores de la litosfera. Están condicionados principalmente por la energía de la radiación solar, la fuerza de la gravedad y actividad de los organismos [1].

**Procesos fluviales:** Procesos que modifican la superficie terrestre por medio del agua de escurrimiento lineal (temporal y permanente) y en manto. Crean formas de relieve fluvial de erosión y acumulación [1].

**Puntales:** Término que se emplea a un elemento que se coloca por lo general en manera de plano inclinado para apuntalar un elemento constructivo que corre el riesgo de fallar [7].

**Red de Drenaje:** Todos los sistemas de drenaje están compuestos por una red interconectada de corrientes que, juntas, forman modelos concretos. Estos modelos de drenaje responden a los tipos de rocas o modelos estructurales de fallas y pliegues presentes. Los tipos de modelos de drenaje son dendríticos, rectangulares, enrejados o radiales [3].

**Reducción:** Reacción química en la que un átomo o ión, toma uno o más electrones, o acrecienta su densidad electrónica por desplazamiento de los mismos [1].

**Resistividad eléctrica:** Resistencia que se obtiene en un centímetro cúbico de una sustancia, tomado en forma de cubo, a la corriente eléctrica dirigida perpendicularmente en una de las aristas de ese cubo. Se mide en Ohm metro u ohm centímetro [9].

**Resistivímetro:** Es un instrumento de resistividad diseñado para trabajos de resistividad como comprobación eléctrica de tierra-cuadrícula, prueba de resistividad del subsuelo utilizando el método Wenner de electrodos [8].

**Subsuelo:** Término aplicado al horizonte B de un perfil de suelo. [3]

**Surges:** Son mezclas de ceniza fina, gases volcánicos y aire caliente, que forman una nube densa que puede viajar fácilmente sobre los flancos del volcán a más de 100 km/h. Estas nubes alcanzan temperaturas de 200 °C y pueden carbonizar fácilmente cualquier material orgánico que encuentren a su paso. Las oleadas piroclásticas se crean también durante erupciones freatomagmáticas, cuando éstas tienden a ser menos calientes pero igualmente destructivas. Mientras estos flujos se mueven, van depositando los fragmentos más grandes, sin perder mucho calor. En un momento dado, se vuelven más ligeros que el aire y se elevan para formar una nube muy alta, conocida como «Nube fénix» que puede transportar ceniza a enormes distancias [10].

**Tectónica de placas.** Teoría que explica la dinámica de grandes porciones de la litósfera y su relación con la ocurrencia de sismos, volcanes y deformaciones corticales [8].

**Textura microlítica (Hipocristalina):** Cuando la roca está compuesta en parte por vidrio y en parte por cristales, sin que ninguno de los dos términos supere el 90% en volumen. Esta



textura refleja dos ritmos de enfriamiento diferentes, uno más lento para formar los cristales y otro mucho más rápido que conlleva la formación de vidrio por solidificación del fundido sin tiempo a que los componentes químicos se ordenen en una estructura cristalina simétrica [17].

**Voltaje:** Es la cantidad de voltios que actúan en un aparato o en un sistema eléctrico. La presión que una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz ejerce sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado. De esta forma, se establece el flujo de una corriente eléctrica [7].

## Abreviaturas y símbolos utilizados

### Abreviatura      Significado

CD/DC	Corriente Directa / Direct Current (Por sus siglas en inglés.)
Dev.	Desviación Estándar.
E	Este.
<i>et al.</i>	(Del latín <i>et. alia</i> ) y otros.
ext	Externo.
GPS	Sistema de Posicionamiento Global (por sus siglas en inglés Global Positioning System).
N	Norte.
• Oeste.	
<i>óp. cit.</i>	(Del latín <i>operare citato</i> ) En la obra citada.
RMS	Raíz Cuadrada Media (Por sus siglas en inglés Root Mean Square).
Rho	Resistividad.
S	Sur.
Sp	Potencial Espontáneo (Por sus siglas en inglés spontaneous potential).
TRE	Tomografía de Resistividad Eléctrica.
.txt	Extensión de un archivo de texto.
UTM	Por sus siglas en inglés Universal Transversal de Mercator.
.urf	Extensión de un archivo de resistividad universal (Por sus siglas en inglés Universal Resistivity File).

### Símbolo      Significado

$\pi$	Constante matemática con valor de 3.141592...
• Grados.	
°C	Grados Celsius.
• Mayor que.	
<	Menor que.
$\mu\text{V}$	Micro volt.

2D	Modelación en dos dimensiones.
$\Omega$ -m	Ohms metros.
%	Porcentaje.
$\rho_a$	Resistividad Aparente.
[ ]	Referencias Bibliográficas.
$\Omega$	Rho, letra del alfabeto griego usada para designar a la Resistividad Eléctrica.
cm	Centímetros.
km	Kilómetros.
km/h	Kilómetros sobre horas.
m	Metros.
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados.
msnm	Metros sobre el nivel del mar.
m/s	Metros sobre segundo.
mm	Milímetros.
Ma	Millones de años.
M	Mega.
s	Segundo.
W	Watts.
V	Voltios.

## Bibliografía

---

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

Barklay, F. *Inversión sísmica: Lectura entre líneas*. Oilfield Review: 44-66. Verano 2008.

CEPAL (2005). El impacto de los desastres naturales en el desarrollo: documento metodológico básico para estudios nacionales de caso. México: CEPAL.

Constantino R., L. D. (2011). *Método de tomografía eléctrica para determinar estructuras volcánicas, México*. (Tesis inédita de Licenciatura). UNAM. México, D. F.

Iakubovskii, I. V. y Liajov, L. L. (1980). *Exploración Eléctrica*. Reverte: Moscú.

Iris Intruments, *ELECTRE Pro software Help* (CD-ROM). Francia: (2012).

Iris Intruments, *Prosyst Help* (CD-ROM). Francia: (2012).

Iris Intruments. (2012). *Syscal Pro, User's Manual*. Francia.

Lugo, H. (2011). *Diccionario geomorfológico*. Instituto de Geografía. México; UNAM.

Mapa de Zonificación Geotécnica, Servicio Geológico Metropolitano. Escala 1:1000000.  
México: UNAM-DGPCDF.

Marsal, R.J. y Mazari, M. (1959). The Subsoil of Mexico City. Contribution to the First Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation. Engineering, Ciudad de México. México.

Musset, A. y Khan, M. (2000). *Looking into the earth. An introduction to Geological Geophysics*. Cambridge. United States of America.

Orellana, E. (1972). Prospección geoeléctrica en corriente continua. España: Paraninfo.

Ortega G. F., et al. (1992). Carta Geológica de la República Mexicana escala 1:2,000,000: México, UNAM, COREMIN.

Oviedo de León, A. (1970). El Conglomerado Texcoco y el posible origen de la Cuenca de México: *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, 2: 5-20.

Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para la Delegación Gustavo A. Madero del Distrito Federal, 2010.

Perdomo, S. (2009) *Tomografía eléctrica en apoyo de la investigación arqueológica*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de la Plata. Argentina.

Sepúlveda E, L. (2009). Diseño de un Resistivímetro de corriente directa para realizar estudios de geoeléctricos en los Valles Centrales. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca, México.

Serrano O., J. (2003). *Caracterización geofísica de filtraciones de agua en el subsuelo*. (Tesina). Universidad Politécnica de Cataluña. España.

Strahler, A.N. (1988). *Geografía Física*. Barcelona: Ediciones Omega, S.A.

Tarback, L. (2008). Ciencias de la Tierra. Una Introducción a la Geología Física. Madrid: Ed. Pearson-Prentice Hall.

## Bibliografía para el glosario de términos

- [1] Lugo H, J. I. (2008). *Diccionario Geomorfológico*. Instituto de Geografía. México: UNAM.
- [2] Strahler, A. y Strahler, A. (1989). *Geografía Física*. Barcelona: Ediciones Omega. S.A.
- [3] Tarbuck y Lutdgens. (2005). *Ciencias de la Tierra. Introducción a la Geología Física*, Madrid: Ed. Pearson-Prentice Hall.
- [9] Iakubovskii, I. V. y Liajov, L. L. (1980). *Exploración Eléctrica*. Moscú: Reverte.
- [10] Glosario CENAPRED 2010 (consulta en línea). Consultado el 10 de julio 2014.
- [11] Dávila B., J. (2011). *Diccionario geológico*. Perú: INGEMMET.
- [13] Protección Civil, Secretaría de Gobernación (consulta en línea). <http://www.proteccioncivil.gob.mx>, consultado el día 10 de julio 2014.
- [14] Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano. (2014). Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo. SEDATU: México.
- [17] Andrés P. y R. Rodríguez. (2008). *Evaluación y Prevención de Riesgos Ambientales en Centroamérica*. Editorial Documenta Universitaria. España.