

Proyecto: Estudio Geofísico en el Embarcadero de Zacapa, Delegación Xochimilco, CDMX

Grupo de Exploración Geofísica Somera (GEGS-UNAM)

Dr. René E. Chávez Segura (Responsable)*
Dr. Andrés Tejero Andrade**
M.C. Gerardo Cifuentes Nava*
M.C. Esteban Hernández Quintero*
Ing. Alejandro García Serrano**

Marco Geológico

M. en C. David Zamudio Ángeles*

***Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México,
Cd. Universitaria, Circuito Exterior, 04510 CdMx.**

****División de Ciencias de la Tierra, Fac. de Ingeniería, UNAM.
Circuito Escolar, Cd. Universitaria, 04510 CdMx.**

**Informe Presentado para la Dirección General de Emergencias Mayores de la
Secretaría de Protección Civil de la Ciudad de México
Diciembre de 2017**



INDICE

RESUMEN.....3

Introducción.....4

Marco Geológico.....5

Método TRE-2D.....11

Adquisición de Datos.....12

Fase I13

Fase II14

Interpretación y análisis integral de la Información.....15

Perfil 7-8.....15

Perfil 1-2.....17

Perfil 5-6.....19

Perfil 3-4.....20

Conclusiones.....23

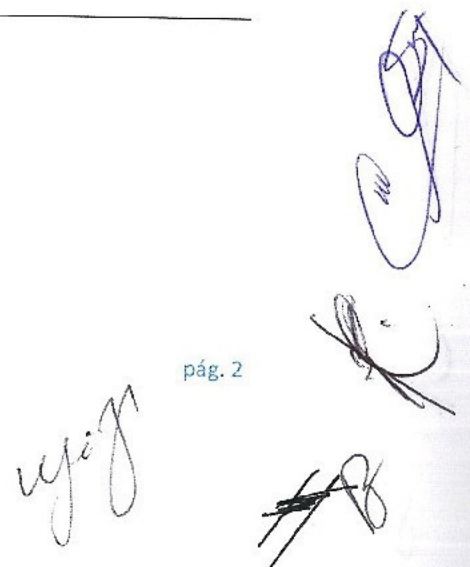
Recomendaciones.....24

Referencias.....25

Anexo CD.

Archivos de los datos originales y procesados

Memoria fotográfica del desarrollo del proyecto



RESUMEN

Se presentan los resultados del estudio de Tomografía de Resistividad Eléctrica en dos dimensiones (TRE2-D) para la caracterización del subsuelo en las zonas circunvecinas del embarcadero Zacapa, que se localiza hacia el sur de la Delegación de Xochimilco.

La adquisición de la información geofísica se llevó a cabo en 4 perfiles de TRE-2D, de tal manera de obtener una descripción a profundidad de las condiciones del subsuelo que provocaron la aparición de un socavón en el canal sur del mencionado embarcadero.

Los resultados muestran un subsuelo complejo y muy saturado de agua. Destaca la aparición de una anomalía de alta resistividad (~5000 Ohm-m) en dos perfiles (1-2 y 7-8) de una forma paralelos hacia el sur del canal (y que aparentemente se dirigen hacia el socavón (que pueden asociarse a una posible cavidad provocada por un flujo de agua subterránea proveniente de las partes altas de la Sierra de Chichinautzin). De manera similar, se observaron en los perfiles medidos hacia la porción oriental del canal (4-3 en la calle Manantiales y 5-6 en la calle Moctezuma), un par de anomalías resistivas (~250 Ohm-m), que pueden asociarse a cavidades parcialmente rellenas o a material de relleno, además de una anomalía de baja resistividad (<5 Ohm-m) localizada al sur del perfil de la calle Manantiales, que se interpreta como zonas altamente saturadas. En ambos casos, estos rasgos representan un riesgo potencial para la zona urbana que se encuentra en la superficie. Es posible observar también un alto grado de deformación en los estratos a profundidad incluyendo fracturamientos menores, algunos de ellos se han manifestado en superficie, afectando de manera importante las casas-habitación en áreas aledañas.



Introducción

El 24 de Enero del 2017 ocurrió un fenómeno inusual en el área del embarcadero Zacapa, Delegación de Xochimilco, se produjo un socavón en el fondo del canal, que produjo que el nivel del agua bajara en esa zona a razón de 0.3 m en aproximadamente 12 horas. Este hecho causó gran inquietud entre la gente del lugar, debido a que este punto es un atractivo turístico que representa un importante ingreso para la población. Por este motivo, el grupo de Exploración de Geofísica Somera de la Universidad Nacional Autónoma de México atendió el llamado de la Secretaría de Protección Civil de la Ciudad de México, para proponer algún tipo de estudio que pudiera explicar este fenómeno.

Miembros del grupo realizaron una visita técnica al lugar, en donde se llevó a cabo una revisión visual de la cavidad formada, la cual empezaba a ser rellenada con concreto lanzado (**Figura 1A**), dado que era necesario realizar la remediación del sitio lo más rápido posible, para que la zona recuperara sus actividades normales. Se pudo ver que la profundidad en la cavidad formada era muy grande (**Figura 1B**), con un diámetro de casi 1.5 m por donde escurrieron las aguas del canal. Se hizo también un recorrido por el área circundante pudiéndose observar diversas fracturas en las calles principales, bardas y afectaciones en casas habitación.

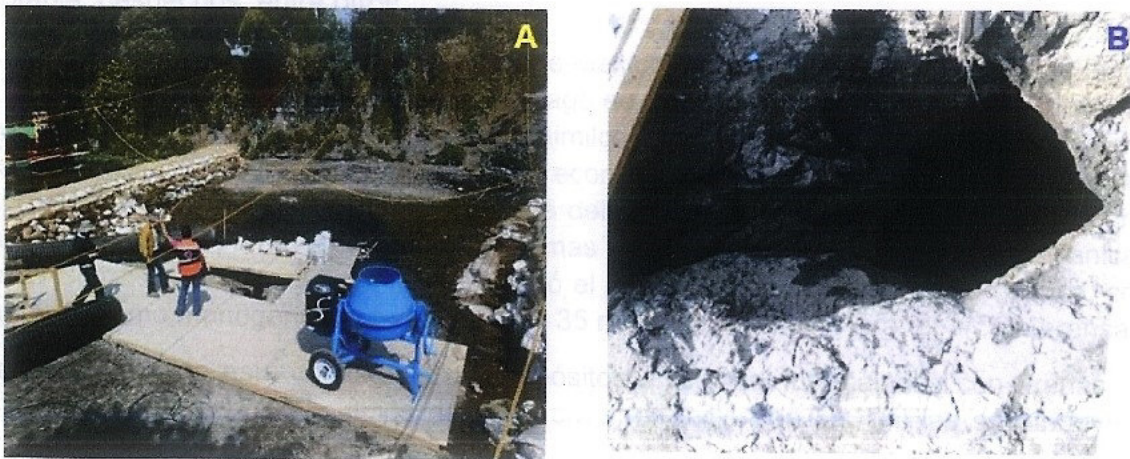


Figura 1. Embarcadero Zacapa mostrando algunos aspectos de la remediación efectuada en la zona crítica del día 1 de Febrero de 2017 (**A**), durante la primera visita técnica. Se observa el tamaño de la cavidad (**B**) por donde escurrió el agua del canal.

Posteriormente, se presentó ante las autoridades de la Secretaría de Protección Civil de llevar a cabo la caracterización del subsuelo mediante la técnica denominada: Tomografía de Resistividad Eléctrica en dos dimensiones (TRE-2D) para conocer las características estructurales y poder así, contar con elementos y determinar las posibles causas de generación de dicho socavón.

Es importante mencionar, que después del terremoto del 19 de Septiembre, que afectó de manera importante la porción sur de la Cuenca de México, los problemas de

[Handwritten signatures and initials in the bottom right corner, including a large signature and the letter 'B']

fracturamiento detectados en la visita técnica se agravaron, e incluso fue necesario cerrar parte de la carretera que va hacia Milpa Alta debido al deslizamiento que sufrió dicha infraestructura.

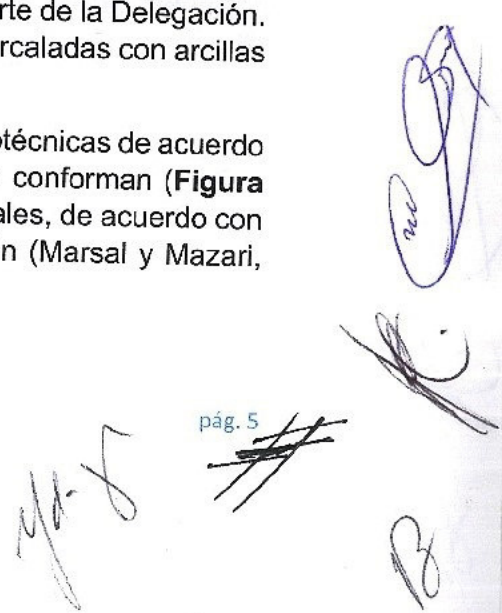
Marco Geológico

La Ciudad de México se encuentra asentada sobre una cuenca lacustre, delimitada por estructuras volcánicas, donde existe una alta demanda de agua por el crecimiento urbano que se ha generado en los últimos 50 años. Esto ha ocasionado que, en las zonas de infiltración en el valle de México, el proceso de recarga llegue hasta dos veces menos agua de la que se extrae, provocando que los sedimentos arcillosos pierdan volumen, creando espacios y propiciando la compactación. Este fenómeno se ve reflejado en el hundimiento de la cuenca y agrietamientos del terreno que dependen de la cantidad que se extrae de agua o las mismas condiciones del terreno (Hernández, *et al.*, 2016). Así mismo, es también fuertemente influenciado por factores naturales como son aspectos tectónicos, respuesta sísmica, y la relación agua meteórica-material saturado, mismos que activan las extensiones de fallas o fracturas y la consolidación del suelo (Ángeles-Serrano, *et al.* 2008), Además, estos materiales saturados son alimentados por fenómenos de tipo antropogénico, como son, fugas en tuberías de drenaje y/o de agua potable, desechos, entre otros.

Como es sabido, gran parte de la Ciudad de México está construida sobre antiguos lagos y se identifican dos áreas importantes, el Lago de Texcoco que incluye al centro histórico de la Ciudad de México, y el Lago de Xochimilco-Chalco al SE de la cuenca. Esta última es de gran importancia en la vida económica de esta región (**Figura 2A**). Aproximadamente el 30% del terreno de la delegación Xochimilco corresponde al lecho lacustre y el resto pertenece a la zona de lomas conformado por las estructuras volcánicas de la Sierra de Chichinautzin, la cual, cerró el drenaje de la parte sur de la cuenca, con su vulcanismo monogenético más joven de 35 mil años (Jaimes-Viera, *et al.* En prensa).

La zona del lago está constituida por depósitos arcillosos, intercalados con arenas de grano fino soportados por flujos de lava, cuya formación de las arcillas se atribuye a procesos de alteración física y química de material aluvial, de cenizas volcánicas depositadas sobre un ambiente lacustre, y por flujos lávicos debido a los procesos volcánicos de la Sierra de Chichinautzin (Acosta *et al.* 1993). Esta zona presenta además basaltos fracturados de gran permeabilidad localizados al centro y norte de la Delegación. La zona de transición está compuesta de grava y arenas gruesas intercaladas con arcillas y coladas de materiales volcánicos.

La Cuenca de México se ha dividido en varias zonas geológicas y geotécnicas de acuerdo a su composición, características y calidad de los materiales que la conforman (**Figura 2B**). Estos pueden ser clasificados en tres zonas geotécnicas principales, de acuerdo con la composición y la resistencia de la roca para fines de construcción (Marsal y Mazari, 1969). Se distinguen tres zonas tomando en cuenta el tipo de suelo:



Zona I: Firme o de lomas, que está localizada en las partes más altas de la Cuenca, está formada por rocas de alta resistencia y poco compresibles, como grava, arenas, bloques, y basaltos.

Zona II: Transición, que presenta características intermedias entre la zonas I y II, como arcilla, arena y grava. Se cree que esta zona fue parte del área costera del lago.

Zona III: Sedimentos Lacustres, que consiste en depósitos lacustres muy blandos y compresibles con altos contenidos de agua, lo que favorece la amplificación de las ondas sísmicas. Se caracteriza por grandes espesores de arcillas blandas de alta compresibilidad, que subyacen a una costra endurecida superficial de espesor variable, depende del espesor inicial y la consolidación inducida en cada sitio, como tobas, limos, arcillas y arenas finas.

El embarcadero Zacapa se encuentra hacia la porción sur de la Delegación de Xochimilco, en un área densamente poblada en la **Figura 2A** se presenta una imagen de la localidad y en la Figura 2B, la localidad en la zonificación geotécnica de la geotécnica de parte de la Cuenca de México. El círculo azul muestra la posición en donde se produjo el socavón en el canal sur del embarcadero, y el área se encuentra entre la Zona II y Zona IIIa (+), que corresponde a una región intermedia, donde se encuentran depósitos de caída, arenas y material arcilloso.

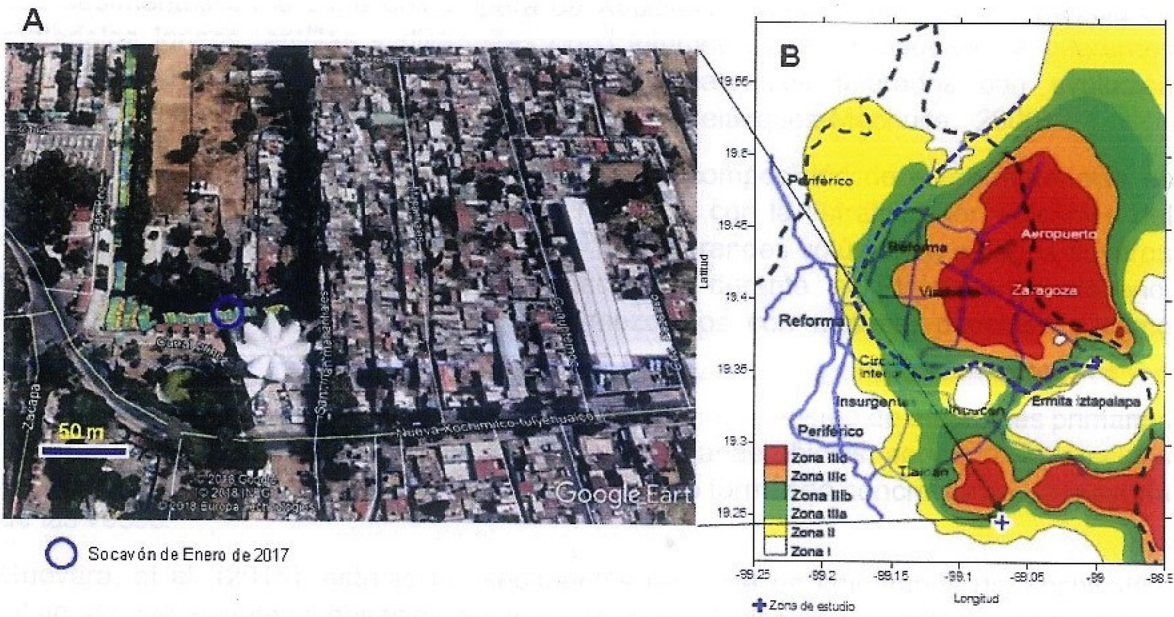


Figura 2. La imagen de Google-Earth (2017), muestra la zona de estudio. El círculo azul muestra el punto donde se formó el socavón de Enero del 2017 (A). Se muestra la zonificación de la Cd de México (Marzal y Mazarí, 1969) (B). El área de estudio se encuentra en una zona de transición (II y III) formada por depósitos de caída, arenas y arcillas (+).

Handwritten signatures and scribbles:
 - A large signature on the right side of the page.
 - A signature at the bottom left.
 - A signature at the bottom center.
 - A signature at the bottom right.

Hidrología

Xochimilco pertenece a la región del Pánuco, dentro de la cuenca hidrológica del Río Moctezuma y la subcuenca Lago Texcoco-Zumpango. Entre los canales más importantes se encuentran: Cuemanco, Nacional, Chalco, Del Bordo, Apatlaco, San Sebastián, Ampampilco, Texhuilo, Zacapa, Caltongo, Santa Cruz y Japón. Las lagunas principales son Caltongo, Del Toro y el lago de Conservación de acuacultura de San Gregorio Atlapulco. Actualmente, los canales y lagunas son alimentados artificialmente con agua tratada de las plantas del Cerro de la Estrella. Existen otras fuentes de abastecimiento como los escurrimientos superficiales originados por los ríos Santiago o Parres, San Lucas y San Gregorio, que se forman en las estribaciones de la Sierra Ajusco-Cuautzin. El río Parres baja desde las laderas occidentales del Cuautzin a la presa de San Lucas Xochimanca.

Suelo

Suelos profundos y discontinuos, debido a que se originaron como pequeños islotes rodeados de agua, algunos autores clasifican estos suelos como antrosoles por el proceso de formación de las chinampas.

Composición del subsuelo de Xochimilco

Los sedimentos en la zona chinampera de Xochimilco corresponden a una mezcla de materiales ígneos, arcillas y diatomitas poco intemperizadas, productos de diferentes procesos de deposición que corresponden a materiales alterados con evolución hidromórfica de carácter gleico. (Ortega-Escobar y Velázquez-Machuca, 2000).

Análisis fisicoquímicos del suelo sugieren que la composición de estos materiales es similar a sedimentos aluviales y lacustres recientes con la estratificación volcánica del Cuaternario, de acuerdo con Mooser (1956, 1975), grandes volúmenes de agua fluyeron en los periodos de glaciación e interglaciación durante el Pleistoceno-Holoceno, transportando sedimentos intemperizados mezclados con material piroclástico como ceniza, y material basáltico alcalino.

Reacciones de hidrólisis probablemente provocaron intemperismo de materiales primarios como anfíboles y piroxenos que en condiciones de anaerobiosis, se vieron favorecidas reacciones redox de las sales de hierro y manganeso formando concreciones, la mayoría de las veces.

Guevara, et al. (2015), estudió los sedimentos del área de chinampas de Xochimilco, infiriendo que el material basáltico alcalino y tobas evolucionaron en halogenuros como la halita, y la albita y plagioclasa como minerales secundarios derivados de feldespatos. Posteriormente, la actividad agrícola favoreció el desarrollo de una capa orgánica de aproximadamente 50 cm de espesor, compuesto principalmente por antrosol sálico térrico con textura arcillosa, parda, con grumos de carbonato de calcio y restos de material vegetal en proceso de humificación. La proporción de arena aumenta de 0.50 m a 1.10 m de profundidad, conformando una clase textural migajón-arenosa, indicativo de transporte




y acumulación de material aluvial con poca energía, mezclado con material pumítico migajón arcillo arenoso, gris claro y poco compacto. Los materiales que se encuentran entre 1.10 m a 3 m de profundidad, se reportan como arcillas bentoníticas con carbonato de calcio, diatomeas, ceniza y arenas pumíticas. El origen de estos depósitos está relacionado con la obstrucción definitiva del desagüe de la Cuenca de México, causado por la intensa actividad volcánica que formó la Sierra Chichinautzin.

Ángeles-Serrano, et al. (2008), estudió aspectos del impacto ambiental por la extracción de agua subterránea en Xochimilco, donde correlaciona estratigráficamente pozos de extracción, y muestra la interpretación de una sección de correlación estratigráfica A-A', en ella, se observa hacia la porción sur, derrames de basaltos y hacia la cuenca los depósitos lacustres, arcillas, limos y arenas hasta una profundidad aproximada de los 25 m, interpolando los datos al área de estudio Zacapa a una distancia de aproximadamente cuatro kilómetros (Figura 3).

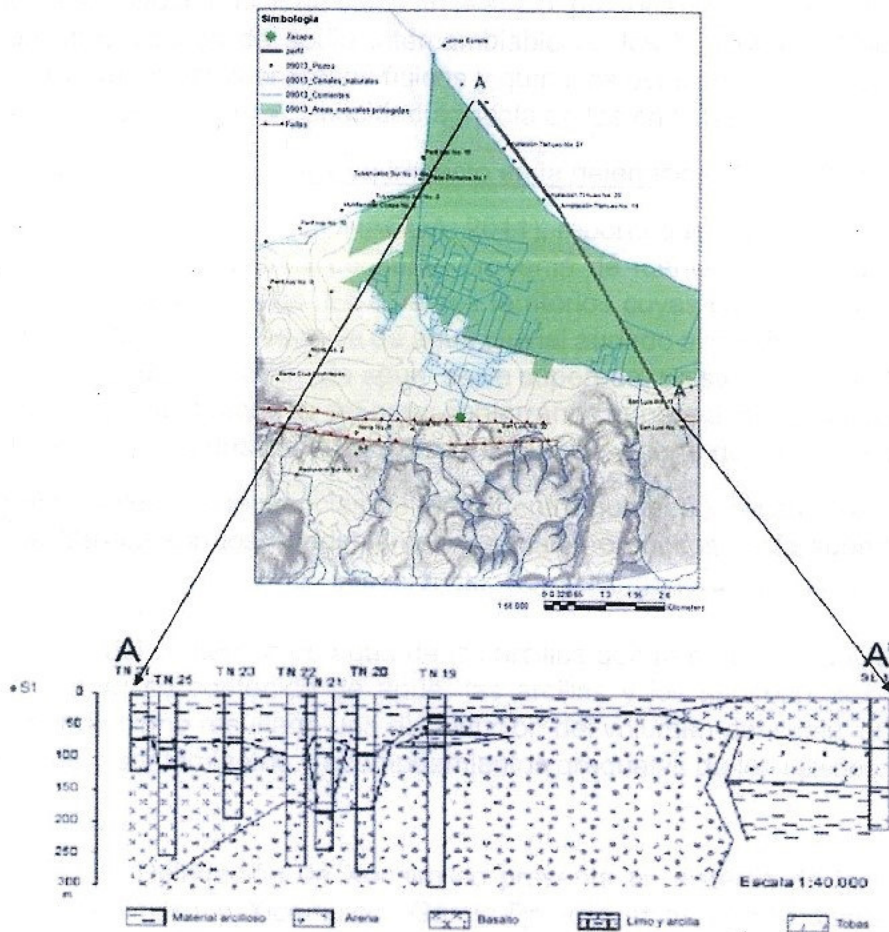


Figura 3. Se muestra la sección A-A', la secuencia litológica inferida a partir de pozos de extracción que limitan al Área Natural Protegida Xochimilco y al suroeste el área de estudio de Zacapa (Modificado de Ángeles-Serrano, et al.,2008). Se señala la posición del embarcadero Zacapa (círculo verde).

Yajaj pág. 8

[Handwritten signatures and initials]

Degradación de los humedales

La pérdida y degradación de los humedales han sido provocadas principalmente por el manejo inadecuado del acuífero, el desarrollo de infraestructura, la extracción de agua, la eutrofización, contaminación, producción agropecuaria excesiva y la pérdida de salud fitosanitaria del arbolado de la zona. Esto provoca hundimientos diferenciales en la zona, desnivel de los canales e inundación de los terrenos. Además, el confinamiento de los manantiales que alimentan el sistema y el aporte actual de aguas residuales tratadas ocasionaron la pérdida de la calidad del agua y la degradación física y química del suelo.

En general, los canales de Xochimilco y Tláhuac presentan eutrofización, con alto contenido de sales; respecto a los metales pesados, en la zona lacustre se han reportado concentraciones mayores a las permisibles de cadmio y zinc, también de bicarbonato, níquel, cobre y arsénico.

El aumento de la concentración de sales en el suelo, provoca que la fracción orgánica se disperse en altos valores de sodio intercambiable en los horizontes. Actualmente, la salinidad resultante de estos procesos físicos y químicos ocasiona estrés fisiológico para las plantas, lo que disminuye la capacidad agrícola de las chinampas.

Problemática general de la CDMX y su impacto en la delegación Xochimilco

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2011), reporta que hasta el 2009 el 63% del agua utilizada en el país para su consumo provenía de fuentes superficiales y el 37% restante de fuentes subterráneas. En diversos territorios cuyas características climáticas y geomorfológicas limitan la presencia de agua pluvial aunado al crecimiento demográfico, la capacidad natural de suministro de agua se ve superada. Existen diversos ejemplos en México donde el aprovechamiento del agua subterránea supera al del agua superficial, en especial en áreas localizadas en la porción central norte y norte del territorio nacional.

Una de las principales consecuencias del déficit entre bombeo y recarga del acuífero de la Cuenca de México son los hundimientos graduales o súbitos de la superficie, a este fenómeno se le conoce como subsidencia, lo que genera hundimientos locales diferenciales. Al bombear, se presenta un abatimiento del nivel freático, lo cual se refleja en la disminución del contenido de agua de las arcillas que formaban el antiguo lecho de los lagos, al perder su contenido de agua, las arcillas y los sedimentos orgánicos se compactan, dando como resultado una disminución del volumen del suelo, la generación de hundimientos, asentamientos y acomodamientos graduales de los rellenos.

Bosquejo estructural

Estructuralmente la Delegación de Xochimilco presenta un sistema de fallas normales denominadas Xochimilco y Xicomulco (García-Palomo *et al.*, 2008; Jaimes-Viera, en prensa), que tienen una dirección prácticamente oriente-poniente, colocando el bloque hundido hacia la cuenca. **(Figura 3).**

En el área de Zacapa, se han manifestado superficialmente dos fracturas y/o fallas con diferentes componentes que se pueden apreciar en líneas punteadas en rojo en la imagen de la **Figura 4**. La primera se extiende desde la Casa de Bombas (que ha presentado desde años atrás serias afectaciones en su estructura), con una dirección NE-SO hasta perderse por debajo del canal occidental, mostrándose sobre el embarcadero, movimiento de los muros y pisos. La segunda es apreciada desde la 2ª Cerrada de Cuauhtémoc con una dirección NO-SE, hacia el embarcadero y que cruza por debajo de una zona urbana, área en donde son claramente visibles una serie de hundimientos, fracturas en muros y desplazamientos en bardas, los cuales se acentuaron después de los sismos del pasado mes de septiembre de este año.



Figura 4. Imagen de Google-Earth (2017). Se observan dos alineamientos estructurales que corresponden a un sistema de fallas superficiales. La falla 1 ha afectado severamente la Casa de Bombas hacia el sur. La falla 2 atraviesa la zona urbana y se dirige directamente al embarcadero. Actualmente se pueden observar daños muy severos a casas habitación e infraestructura urbana debido a este rasgo geológico.

Handwritten signatures and initials in blue ink, including a large signature on the right and initials 'yaif' and 'B' at the bottom.

Método TRE-2D

El método de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) se utiliza para conocer la distribución de la resistividad en el subsuelo mediante imágenes en secciones 2D o un volumen para el caso 3D. La resistividad es una medida de la oposición que tiene un medio de conducir corriente eléctrica y varía de acuerdo con algunas propiedades como son litología, porosidad y saturación de agua.

Se utiliza una fuente puntual localizada en superficie conocido como electrodo, mediante los cuales se inyecta una corriente al subsuelo que fluye radialmente. Dos electrodos (A y B) inyectan corriente mientras que con otros dos (M y N) miden la diferencia de potencial (Figura 5). El subsuelo de esta forma puede ser estudiado por secciones (líneas de electrodos paralelas) y cada una de estas se interpreta para una mejor comprensión de la distribución de las resistividades del subsuelo mediante un proceso numérico.

El desarrollo en el campo de este método consiste en expandir una línea de electrodos con una separación entre ellos a una distancia "a" constante. La profundidad de investigación se incrementa al hacer la distancia entre electrodos mayor como un múltiplo de "a" (N x a). Cada valor de N representa un nivel de investigación y cada uno de ellos corresponde a una profundidad mayor. Cada uno de los electrodos puede ser de fuente (donde se inyecta la corriente) o de recepción (donde se lee la caída de potencial). Al tener lecturas de corriente (I amperes) y caída de potencial (ΔV volts) y al emplear un arreglo tetrapolar (cuadripolo) se define a través de un arreglo específico la resistividad aparente.

Con los valores de resistividad se construye la sección de isorresistividades aparentes que muestran, en una primera aproximación, los cambios de resistividad presentes en el subsuelo (Figura 5).

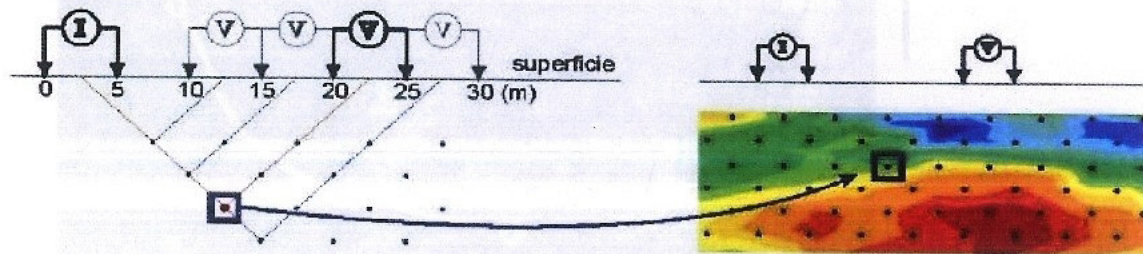


Figura 5. Metodología de adquisición de datos.

El proceso de interpretación consiste en obtener la distribución real de las resistividades del subsuelo con la ayuda de un programa de inversión 2D o 3D. El resultado final es lo que se conoce como Tomografía o Imagen Eléctrica, la cual presenta en falso color la distribución real de las resistividades a profundidad, de tal manera que permite un mejor análisis en la identificación de las estructuras de interés.

La corriente eléctrica empleada es de tipo DC o de baja frecuencia. Los datos que se obtienen son medidas de resistividad aparentes (son la suma de efectos circundantes y

[Handwritten signatures and marks on the right side of the page, including a large signature at the top, a scribble in the middle, and the letters 'B' at the bottom.]

no de una sola estructura) a las cuales se les aplica un algoritmo de inversión que nos dará como resultado un modelo de resistividades reales del subsuelo.

Adquisición de Datos

Para la adquisición de datos se utilizó un resistivímetro SySCAL-Pro de 48 canales (IRIS, Francia), con 6 carretes de 110 m y conexiones de 10 m cada uno. La información espacial, geográfica y fotográfica adquirida durante la visita técnica realizada en el mes de Febrero de 2017, permitió establecer la estrategia para valorar la situación del subsuelo cercana en los alrededores de la zona crítica. Se realizaron las pruebas de la instrumentación; revisión de carga; recopilación de los electrodos especiales (de 1.5 m de longitud); así como la parte logística y de operación (vehículos, seguros, personal participante especializado, cronograma y horarios de trabajo).

Como resultado del proyecto propuesto, se diseñó la primera versión del mapa de localización de las líneas de TRE-2D propuestas, el cual establece las longitudes y las posiciones de los perfiles de Tomografía de Resistividad Eléctrica que debían obtenerse (Figura 6). Éstas se localizaron hacia la parte sur del socavón que apareció en el canal Zacapa. El objetivo de estas líneas fue el determinar posibles alineaciones o fracturamientos a profundidad que pudieran relacionarse con la ya mencionada oquedad.

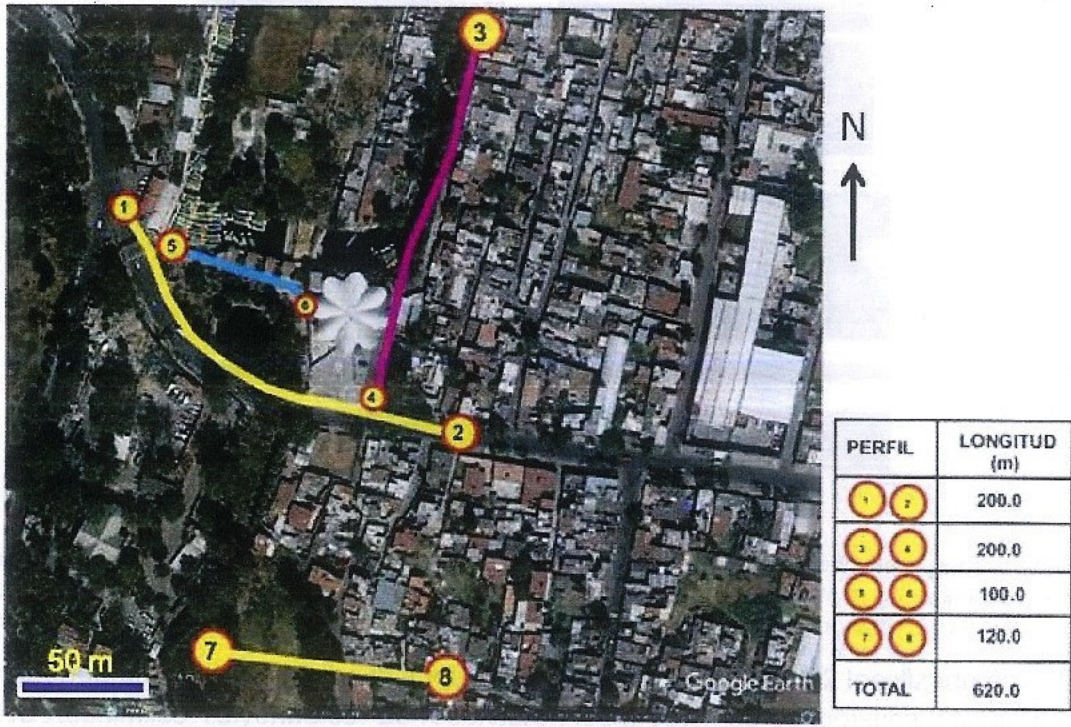


Figura 6. Imagen obtenida de Google-Earth (2017) donde se muestran las líneas de TRE-2D planteadas inicialmente durante la Fase I del trabajo de campo. A la derecha, la tabla muestra los nombres y las longitudes de cada línea.

[Handwritten signatures and marks on the right side of the page, including a large signature and the text 'pág. 12' with a scribble.]

Fase I

Inicialmente se midió la Línea 7-8, se instalaron 40 electrodos de 1.5 m de altura, con una separación de 3 metros y una longitud total del perfil de 120 metros. Gracias al apoyo brindado por el personal de la Secretaría de Protección Civil al grupo de trabajo, se logró realizar el levantamiento satisfactoriamente. Se muestra de manera gráfica los diferentes pasos que conforman el levantamiento de campo. La barrenación de los puntos en donde se instalaron los electrodos (A), la conexión de éstos con los cables (B) y conexión con el equipo de medición (C y D). En algunos puntos en las calles con circulación de autos, se colocaron topes especiales para proteger el cableado y no entorpecer el tráfico normal en esas calles (Figura 7).

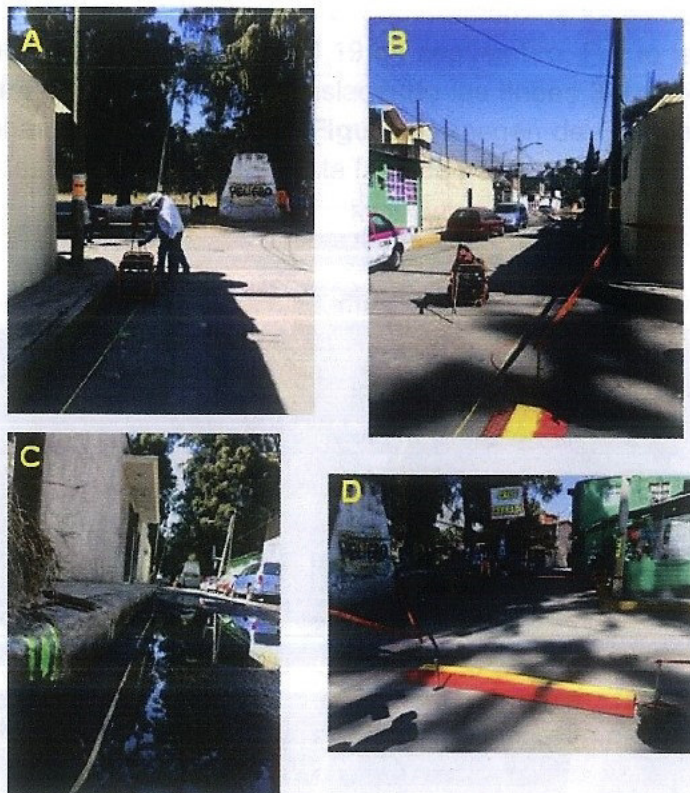


Figura 7. Escenas de trabajo en la calle 2ª Cerrada de Cuauhtémoc correspondiente al perfil 7-8 del croquis de trabajo. Se muestra el proceso de taladrado (A), protección y cierre de circulación local (B), así como marcado de posición de electrodos (1.5 m de longitud) mediante gos portatil (C y D).

Posteriormente, se llevó a cabo la adquisición de datos del perfil 1-2 localizado en la Calle Nueva Xochimilco-Tulyehualco. Se resolvieron los problemas de logística y seguridad en este tramo de la calle; se instalaron 68 electrodos de 1.5 m de longitud, con una separación de 3 metros y una longitud total de 200 metros. En esta fase se midieron dos perfiles.

(Handwritten signatures and marks)

Fase II

Después de analizar los primeros resultados, las dos líneas (1-2 y 7-8), donde se muestran anomalías correlacionables, se decidió relocalizar los perfiles 3-4 y 5-6 en otra zona del área de estudio, en donde la información obtenida fuera de mayor utilidad; además, que la línea 5-6 paralela al canal del socavón, se dificultaría la toma de datos porque habría que haber atravesado una losa de concreto bastante gruesa; y la línea 3-4, perpendicular al canal del socavón, en algunos puntos debido a la cercanía del canal no se pudieron colocar los electrodos por la complejidad de desniveles del terreno. Por lo que se localizaron las líneas manteniendo la longitud y características de cada perfil mencionadas en la propuesta original; para ello, se tomó en cuenta la información proporcionada por los vecinos, así como, la situación relacionada con el grado de daño estructural de las viviendas y adoquines; y el gran número de fugas de agua potable que no se habían atendido desde el sismo del 19 de septiembre. Por lo tanto la localización original de la **Figura 6** fue modificada, trasladando las líneas 3-4 y 5-6 hacia la porción nororiental del embarcadero Zacapa. La **Figura 8**, imagen de Google Earth, muestra la nueva posición de los dos perfiles, para esta fase de trabajo.



Figura 8. Imagen de Google-Earth (2017). Posición de las líneas 3-4 y 5-6. La longitud de cada perfil es la misma que la mostrada en la Figura 6. El círculo amarillo muestra el punto del socavón en el canal. Los puntos rojos indican la posición de los electrodos

[Handwritten signatures and marks]

El proceso de despliegue de estas líneas fue el mismo que se describió para la Fase I. Como en la fase anterior de trabajo, se contó con el apoyo de personal de la SPC en las labores de seguridad y protección del personal y equipo de medición.

Interpretación y análisis integral de la Información

Los resultados obtenidos muestran un subsuelo complejo con evidencias de zonas altamente saturadas. La profundidad de investigación alcanzada fue variable, pero se alcanzaron profundidades de investigación entre 20 m y 50 m de profundidad, lo que permite tener una visión general del comportamiento del subsuelo en esta zona de la Delegación Xochimilco. La metodología utilizada consiste en combinar una serie de arreglos que se logra mediante la programación anticipada de secuencias de medición que se calculan mediante el programa *Electre-pro* (Iris, 2009). Este programa toma en cuenta los respectivos puntos de atribución a profundidad de la observación realizada, en función de la posición de cada cuadripolo (un dipolo de corriente y un dipolo de potencial). Las mencionadas secuencias se programan previamente en la computadora del resistivímetro (SySCAL-Pro), de tal manera que el sistema mide automáticamente en el campo. Posteriormente los datos observados se procesan en el programa comercial EarthImager3D (AGI, 2009), para obtener un modelo 2D de la distribución de las resistividades a profundidad.

Perfil 7-8

El perfil 7-8 (**Figura 9**) posee una longitud de 120 m en el eje horizontal, el eje vertical representa la profundidad alcanzada en el levantamiento, en este caso se obtuvo una profundidad de investigación de 22.3 metros. La distribución de resistividades en esta zona se muestra en falso color que oscila entre el azul (resistividades bajas, cercanas a 1 ohm-m) y el rojo (con un máximo de 5000 ohm-m). El horizonte resistivo en color azul claro (30 Ohm-m a 40 Ohm-m) puede asociarse a material arcilloso con menor porcentaje de agua.



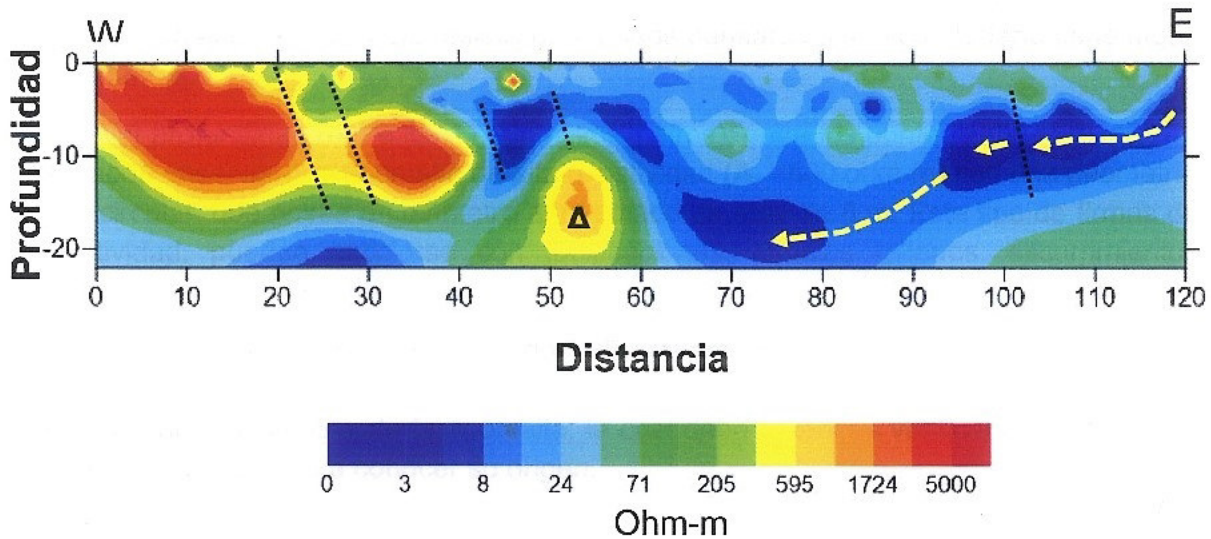


Figura 9. Inversión de datos de la Tomografía de Resistividad Eléctrica bidimensional realizada en el perfil 7-8 correspondiente a la calle 2ª Cerrada de Cuauhtémoc.

Es importante mencionar, que en el lugar en donde se midió esta línea se observó un gran número de viviendas afectadas por la presencia de fracturas desde antes de los sismos de septiembre del 2017, ubicadas en la calle prolongación 2ª cerrada de Cuauhtémoc y que después de ellos, las fracturas se agudizaron, presentándose además diversos hundimientos diferenciales, en varias casas de la cerrada, mostrando varios grados de afectación.

Hacia el final de este perfil, se detectó una fuga de agua potable en una tubería a no más de tres metros de profundidad (x=120 m). Esta se refleja claramente hacia la porción este, el final de este perfil. Esta concentración del material saturado (~2 Ohm-m, en color azul), se extiende hasta casi los 10 m de profundidad, con una extensión de más de 15 m (x=73 m). Las flechas en línea discontinua muestran la posible dirección del flujo de agua. Estas fugas en las tuberías reblandecen aún más el subsuelo, produciendo efectos de hundimiento diferencial en la superficie, afectando gravemente la estructura de las casas habitación de los alrededores. Las fracturas inferidas se muestran en línea discontinua.

En el extremo oeste (x=0 m hasta x=50-58 m), se observa una anomalía de alta resistividad (~1700 Ohm-m) que puede relacionarse con una zona de relleno pero, además, este horizonte no es continuo (posibles fracturas en líneas punteadas). Esta zona de alta resistividad se encuentra bajo el parque, aledaño a la zona urbanizada. Se sabe que en el pasado esta sección fue parte de un canal que se relleno posteriormente. En x=85 m que corresponde con la intersección entre las calles 2ª Cerrada de

[Handwritten signatures and scribbles in blue ink]

Cauhtémoc y Manantiales, se observa un área de baja resistividad en los primeros 10 m de profundidad, que marcaría la posición de una tubería de drenaje. Por la geometría que guarda esta anomalía de baja resistividad, puede pensarse que dicha tubería tiene fugas importantes.

A mayor profundidad (entre los 11 y los 22.3 metros), entre los puntos $x=50$ m y $x=58$ m, se puede observar una anomalía de alta resistividad (**A**, >600 ohm-m) con una geometría muy circular, que posee un diámetro aproximado de más de 8 m. Este tipo de firmas de resistividad, pueden asociarse con *tubificaciones*, canales rellenos, escurrimientos subterráneos, o incluso cavernas.

Es importante mencionar que el método TRE proporciona la respuesta del subsuelo de la distribución de las resistividades; la ventaja es que puede dar información de la posición, profundidad y geometría de la anomalía; la cual debe entonces verificarse mediante un barreno de prueba para conocer su origen.

Perfil 1-2

Este perfil se obtuvo a lo largo de la calle principal que atraviesa la zona (*Camino a Nativitas*) y pasa justo frente al embarcadero Zacapa y a poca distancia en donde se abrió el socavón. Se presenta en la **Figura 10**, la Línea L1-2 como una proyección bidimensional siguiendo la geometría del camino.

El perfil tiene una longitud de 200 m (eje horizontal); la profundidad alcanzada en este levantamiento es de 56 metros. Se observa un patrón de resistividades similar al encontrado en el perfil anterior; es decir, el régimen hidráulico entre la zona de alta resistividad (en rojo) y en azul está íntimamente relacionado con una saturación en casi toda el área. Es de esperarse debido a la historia hidráulica superficial en la zona.

Las áreas de alta resistividad en los primeros 15 metros de profundidad para $x=63$ m y $x=147$ m, son rasgos asociados con las instalaciones sanitarias de drenaje, agua potable, entre otras. Este horizonte de alta resistividad no es continuo, debido principalmente a las fugas de las tuberías de drenaje, desagüe y otras.

El rasgo principal y más preocupante está dado por la anomalía de alta resistividad (~ 5000 Ohm-m) que se encuentra a partir de los 15 metros de profundidad (**A**, entre $x=100$ m y $x=125$ m), y presenta una geometría aproximadamente circular, con un diámetro de casi 25 m. Al igual que la anomalía observada en el perfil anterior, puede tener varios orígenes; sin embargo, es posible establecer como hipótesis que existe una correlación entre ambas. Así mismo, la definición de fracturas o fallas a lo largo de esta línea se aprecian en la figura 10, en líneas punteadas. De las cuales, las dos extremas coinciden con las que se definen en superficie.



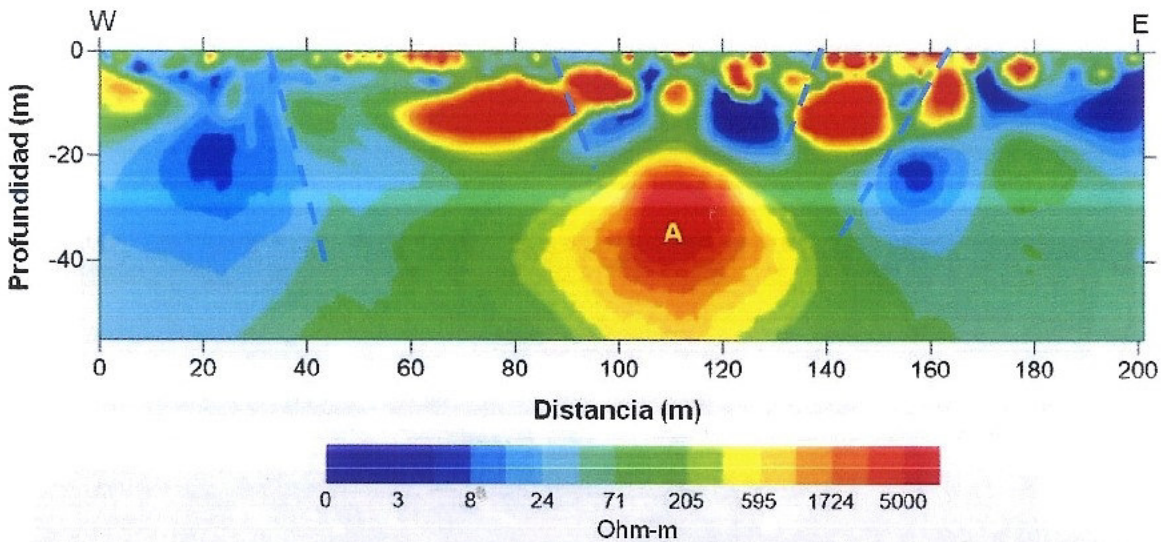


Figura 10. Inversión de datos de la Tomografía de Resistividad Eléctrica bidimensional realizada en el perfil 1-2 correspondiente a la Calle Nueva Xochimilco-Tulyehuelco . La anomalía de alta resistividad (A) puede asociarse a un posible escurrimiento de agua proveniente de las zonas altas en la Sierra de Chichinautzin.

Esta anomalía de alta resistividad tiene una gran similitud con la encontrada en el perfil 7-8, el cual se encuentra hacia el sur del área de trabajo y topográficamente arriba del nivel de los canales. Si estas anomalías están formadas por escurrimientos que provienen de la parte sur, que corresponde ya a la zona de lomas (Marssal y Mazari, 1969), implicaría que el agua de lluvia, lixiviados provenientes de las urbanizaciones que se encuentran en las zonas altas, han formado un pasaje o río subterráneo que desemboca en los canales del embarcadero Zacapa. Esto erosionará con el tiempo el subsuelo produciendo lo que actualmente se observa en la superficie; entre otros, deslizamientos en las partes medias, formación de socavones como el del embarcadero Zacapa o bien los formados en vialidades.

La **Figura 11** correlaciona los resultados encontrados en la interpretación de los perfiles L1-2 y el L7-8. Se puede observar en esta imagen, que las posiciones de los cuerpos de alta resistividad pueden continuarse a profundidad, hasta el lugar en donde ocurrió el socavón. La flecha en color amarillo indica la dirección del flujo subterráneo. Así mismo, las fracturas y/o fallas que se definen superficialmente, coinciden con las interpretadas en la línea.

Es muy importante que las autoridades corroboren esta anomalía resistiva encontrada, mediante un barrenado de prueba, colectando los núcleos para su análisis en el laboratorio. El proceso de formación de una cavidad de esta naturaleza puede continuar en el tiempo. Esto quiere decir, que la mencionada anomalía (A) podría migrar hacia la superficie, de tal manera que el material que exista entre la superficie y la parte superior de la estructura pierda resistencia y colapse, de manera similar al fenómeno ocurrido en el canal sur del embarcadero Zacapa.

[Handwritten signatures and marks in blue ink, including a large signature at the top right and several smaller ones below it.]



Figura 11. Conexión hipotética entre la posición de las anomalías de resistividad encontradas en los perfiles procesados; las características de profundidad y geometría soportan esta hipótesis.

Si este fenómeno de hundimiento se presenta en la zona urbana que atraviesa el perfil L7-8, existe la posibilidad de mayores desastres que afecten la infraestructura y la propia seguridad de los pobladores de esta zona, tal y como ha ocurrido en las zonas minadas de la región poniente de la Cuenca de México (Tejero et al., 2002).

Perfil 5-6

La línea 5-6 de TRE-2D se localiza sobre la calle Moctezuma (Figura 12), hacia el oriente del embarcadero Zacapa, donde existe una alta densidad de población. Posee una longitud de 102 m, donde los electrodos están separados 3 m y corre en la dirección O-E,

Handwritten signatures and initials in blue and black ink, including a large signature at the top right and several smaller ones below it.

alcanzando una profundidad de 30 m. Este perfil se obtuvo durante el levantamiento de la segunda campaña de campo.

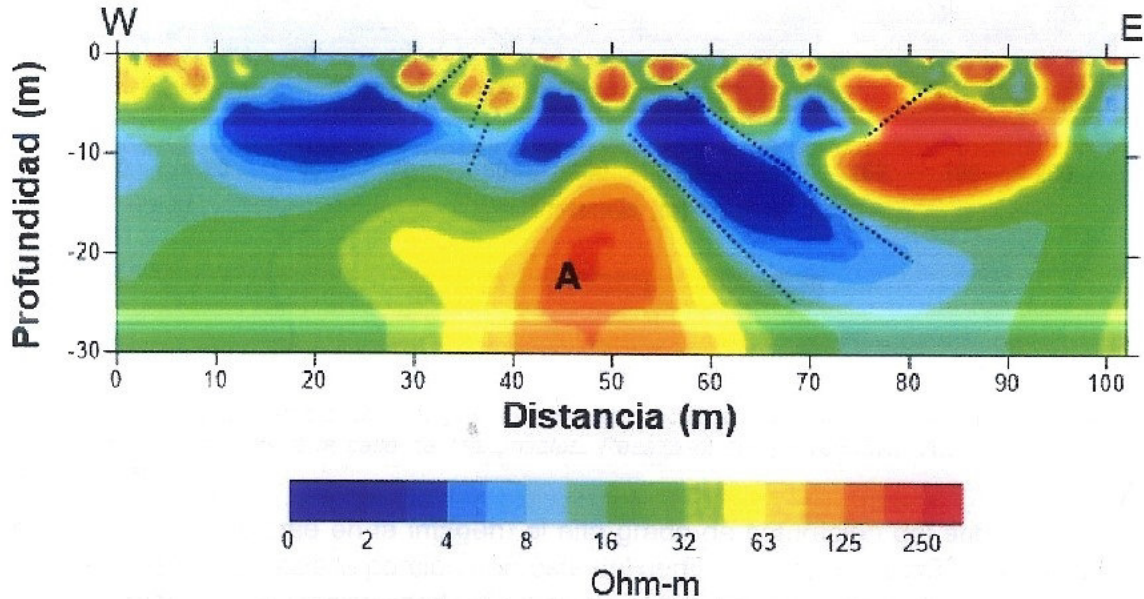


Figura 12. Inversión de datos de la Tomografía de Resistividad Eléctrica bidimensional realizada en el perfil 5-6 correspondiente a la calle Moctezuma. Resalta el cuerpo resistivo (A), que puede deberse a material de relleno o una posible cavidad.

Esta imagen muestra un subsuelo complejo. Se observa en la porción superficial cuerpos de alta resistividad (~250 Ohm-m), que pueden asociarse a materiales de relleno realizados para construir y sustentar la zona urbana. Sin embargo, estos muestran importantes discontinuidades. Por debajo de ellos, se observa un horizonte de muy baja resistividad (1 Ohm-m – 8 Ohm-m), que indican un material muy saturado por agua. Existe la posibilidad de que dicho cuerpo sea alimentado por fugas en las tuberías. Finalmente, hacia la porción central del perfil (x=48 m) se observa una anomalía resistiva cuya parte media se encuentra a casi 20 m de profundidad. Posee un diámetro aproximado de poco más de 10 m. Pudiera asociarse este cuerpo, como en los casos anteriores a una cavidad, o escurrimientos. Es imperativo que en esta zona se realice un barrenos exploratorio para conocer con precisión el origen de esta espectacular anomalía.

Se han inferido una serie de fracturamientos a lo largo del perfil (línea discontinua) que se asocian en torno a las zonas de debilidad de ese horizonte resistivo. En general, los materiales encontrados bajo este perfil, están saturados de agua, debido principalmente a su cercanía con los canales, los que se encuentran hacia el oeste.

Perfil 3-4

El perfil de la línea 3-4 es perpendicular al perfil 5-6 y corre en la dirección NE-SW. La distancia entre electrodos es de 3 m y la longitud total de este perfil es de 220 m y una profundidad de 30 m. (Figura 13) a lo largo de la calle Manantiales.

[Handwritten signatures and scribbles in the bottom right corner of the page.]

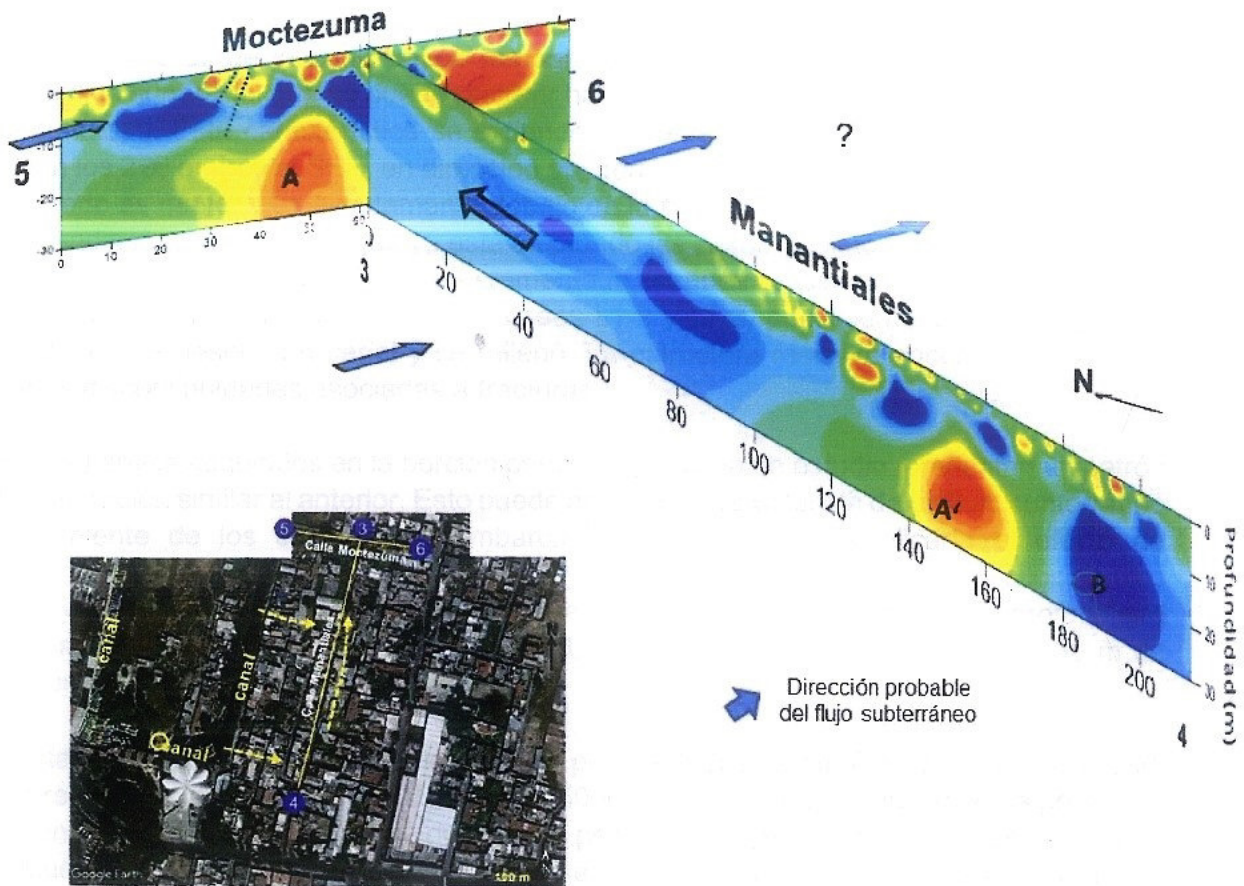


Figura 14. Correlación entre la posición de las anomalías de resistividad encontradas en los perfiles 5-6 y 3-4. Los horizontes con una alta saturación (~2 Ohm-m) parecen provenir de los canales aledaños (Imagen). Las flechas (azul y amarillo) indican la dirección del flujo subterráneo inferida. Es muy importante verificar las características de los cuerpos A de la línea 5-6 y A' y B de la línea 3-4, que pueden representar un peligro para los habitantes de la zona.

El horizonte saturado de baja resistividad que se observa en ambos perfiles se debe a un posible flujo de agua subterránea proveniente de los ya citados canales. Este horizonte se encuentra a 10 m de profundidad, aproximadamente; sobre el que se encuentra una capa de arcilla más superficial y con menor saturación (~30 Ohm-m). El grosor de este horizonte va desde los 6 m (L5-6) hasta más allá de los 20 m (L3-4).

Es muy importante que las autoridades respectivas verifiquen las características de anomalías encontradas, pues éstas, pudiesen estar relacionadas con cavidades o

[Handwritten signatures and initials]

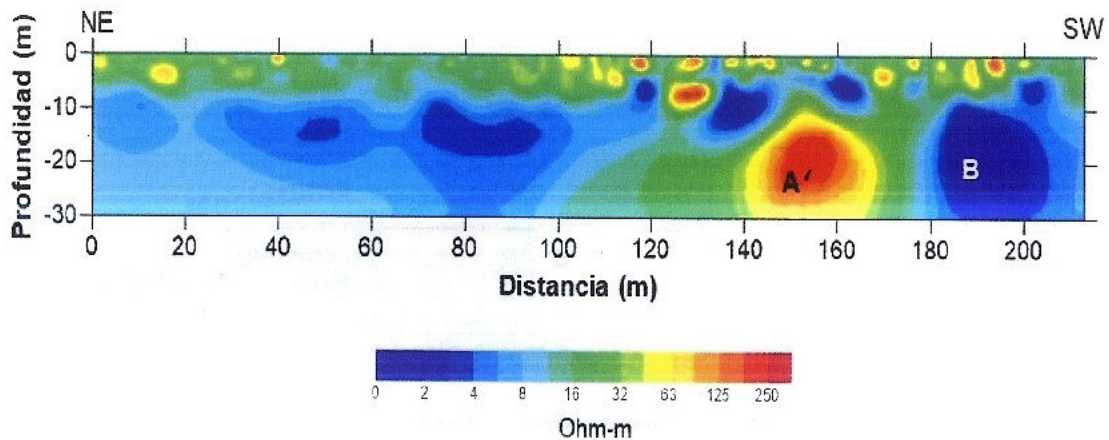


Figura 13. Inversión de datos de la Tomografía de Resistividad Eléctrica bidimensional realizada en el perfil 3-4 correspondiente a la calle de Manantiales. Resalta el cuerpo resistivo (A), y el de baja resistividad (B).

Como puede observarse en la imagen, el alto grado de saturación del subsuelo es evidente, sobretodo hacia la porción noroeste del perfil. Se presenta ($x=30$ m a $x=100$ m) un horizonte de baja resistividad (~ 5 Ohm-m), el cual tiene una muy alta saturación. Este efecto puede deberse a la cercanía con los canales del embarcadero Zacapa, que se encuentran hacia el oeste de esta línea. Este resultado es congruente al encontrado en el perfil 5-6, en donde el subsuelo de la zona urbana esta fuertemente afectado por el agua que se infiltra desde los canales.

Destacan de manera importante la aparición de dos cuerpos, el primero de alta resistividad (A, ~ 270 Ohm-m) y el segundo de baja resistividad (B, < 4 Ohm-m). Ambos pudieran asociarse a cavidades (Tejero et al., 2002), sin embargo, el cuerpo de mayor resistividad representaría a una estructura que estaría parcialmente rellena en su interior o pudiera tratarse de material de relleno. El segundo podría ser la firma de una cavidad llena de agua o con extrema humedad.

Finalmente, la **Figura 14** intenta resumir los resultados obtenidos en la porción oriental del área investigada. Ambos perfiles se correlacionan de manera adecuada. Los canales del embarcadero Zacapa se encuentran hacia el poniente de estos perfiles. Destacan, como se mencionó arriba los cuerpos de alta resistividad (A, A' ~ 270 Ohm-m) y uno de baja resistividad (B). Los dos primeros pueden asociarse a material de relleno o a cavidades que están total o parcialmente rellenas. No es posible afirmar si estos cuerpos resistivos (A y A') tienen alguna relación. Sin embargo, se puede suponer que tanto el cuerpo (A') como el (B) representan zonas de infiltración del agua de los canales del embarcadero Zacapa.

(Handwritten signatures and scribbles)

tubificaciones, las que a corto o mediano plazo pueden representar un riesgo para los habitantes de esta zona.

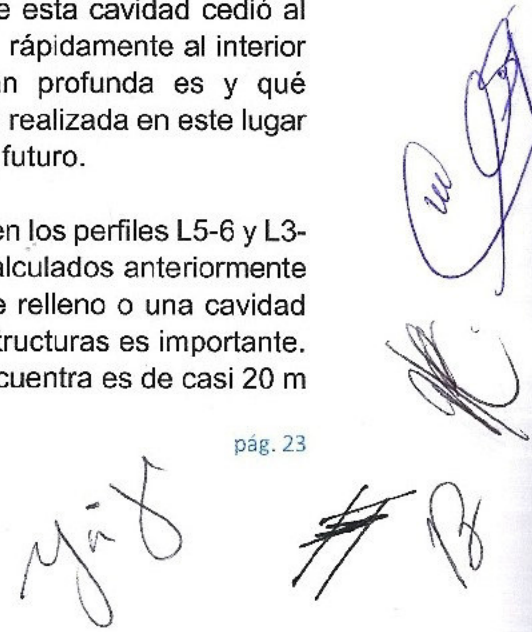
Conclusiones

Los alrededores de la zona crítica (embarcadero), presentan un patrón de saturación hidráulica superficial que se puede rastrear hacia el subsuelo, hasta los 10 a 15 metros de profundidad. Esta característica se extiende desde la zona donde apareció el socavón hasta los 220 metros al SSE, en dirección del perfil L7-8. En este último perfil, el horizonte saturado es mayor y está justamente debajo de la zona urbana. Esto provoca un proceso de hundimiento importante que ya está afectando las casas-habitación que se encuentran a lo largo de este perfil y que se ha incrementado después del sismo del 19 de septiembre. Se observan algunas fracturas en las líneas L1-2 y L7-8, principalmente en la segunda, en donde se desecó un canal y se rellenó. La estructura resistiva encontrada presenta varias discontinuidades asociadas a fracturas.

En los perfiles adquiridos en la porción oriental de la zona de estudio, presentan un patrón de saturación similar al anterior. Esto puede deberse a la existencia de un flujo subterráneo proveniente de los canales del embarcadero Zacapa. Esto explicaría el efecto de subsidencia que sufre la infraestructura vial y las casas-habitación a lo largo de los perfiles L3-4 y L5-6. Los horizontes eléctricos de baja resistividad se encuentran a una profundidad media de 10 m.; sin embargo, en el perfil L3-4 poseen un grosor mayor a los 30 m de profundidad.

Destacan en los cuatro perfiles de TRE-2D prospectados, anomalías de alta resistividad, sobre todo en las líneas L1-2 y L7-8 (1700-5000 Ohm-m) que podrían indicar la presencia de una cavidad, que se extiende de manera perpendicular en dirección norte en donde se encuentra el socavón ocurrido el pasado mes de enero del 2017. Para la primera línea, dicho cuerpo se encuentra a una profundidad media de 14 m, y con un diámetro aproximado de 6 m. En la segunda línea, dicha estructura se observa a casi 30 m y con un diámetro de casi 20 m. Este tipo de estructuras responden a las condiciones hidráulicas del subsuelo. Esta estructura pasa aparentemente por debajo del canal en donde se formó el socavón, implicando que el material que estaba por encima de esta cavidad cedió al peso y rompió el techo de ésta, fluyendo el agua de los canales rápidamente al interior de esta estructura. Por lo tanto, es necesario saber qué tan profunda es y qué características posee la mencionada cavidad, pues la remediación realizada en este lugar puede no garantizar que este fenómeno no vuelva a ocurrir en un futuro.

Llaman la atención también las anomalías resistivas encontradas en los perfiles L5-6 y L3-4. En este caso, los valores de resistividad son inferiores a los calculados anteriormente (~270 Ohm-m). Esto puede indicar la presencia de materiales de relleno o una cavidad parcial o totalmente llena. Sin embargo, la dimensión de estas estructuras es importante. Para el caso de la línea L5-6, la profundidad media a la que se encuentra es de casi 20 m



con un diámetro de 10 m, aproximadamente. Para la línea L3-4, la anomalía resistiva tiene una profundidad media de poco menos de 20 m con un diámetro de casi 10 m. La situación en esta zona es más grave, pues se encuentra en un área densamente poblada, por lo que este tipo de rasgos pueden ser un riesgo potencial para los habitantes. En particular, a lo largo de los perfiles adquiridos, se observan ya daños estructurales en un gran porcentaje de las casas que se encuentran en este sitio.

Recomendaciones:

Acciones a seguir a mediano y largo plazo.

Es imperativo realizar una serie de barrenos exploratorios (diámetro pequeño: 2 a 3 pulgadas) para diagnosticar la naturaleza de las anomalías encontradas. Si se tratara de cavidades se deberán tomar acciones para su adecuada remediación, si esto es posible.

Repetir los perfiles en época de lluvia para evaluar el nivel de cambio del patrón hidráulico subterráneo presente bajo dos condiciones extremas: estiaje y lluvia. Sin embargo, se sugiere llevar a cabo un estudio geohidrológico en toda la zona para saber con precisión las características del flujo subterráneo en el área.

Con estos resultados es posible plantear la posibilidad de llevar a cabo nuevos estudios geofísicos, considerando que el patrón de este tipo de anomalías puede ser radial a partir de la zona crítica (socavón). Estos nuevos perfiles pueden aportar información importante relacionada con el patrón de escurrimiento del agua a una escala más regional.

Monitorear el hundimiento de la zona mediante estaciones totales de GPS.

Es recomendable realizar un estudio geofísico del subsuelo de los canales para identificar áreas de peligro de socavamiento.

Realizar un levantamiento topográfico de detalle para delimitar las áreas de mayor hundimiento.

Estimación del riesgo potencial en la zona

Las casas cercanas a la anomalía encontrada y de comprobarse esta estructura, deberían de ser abandonadas y sus habitantes reubicados. En el caso del alineamiento encontrado frente al embarcadero Zacapa, las casas-habitación que se encuentran cerca y sobre esta cavidad deben de ser igualmente reubicados y mantener un radio de al menos 50 m libre de construcciones, para evitar posibles hundimientos que afecten a la población.

Situación del subsuelo

Es evidente la afectación que tiene el subsuelo de la zona del embarcadero Zacapa, tan solo con su expresión superficial, con fracturas, fallas y hundimientos, que se



intensificaron más después de los sismos. Los estudios geofísicos evidencian fracturas y/o fallas a profundidad y oquedades, que desde luego, pueden poner en riesgo a la población

Agradecimientos

El Grupo de Exploración Geofísica (Instituto de Geofísica-Facultad de Ingeniería UNAM), agradece el apoyo de las autoridades tanto del gobierno de la CDMX, como de la delegación Xochimilco por el apoyo en la ejecución de la parte operativa de campo. De igual manera al apoyo de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Geofísica y del Posgrado en Ciencias de la Tierra que nos apoyaron durante el trabajo de campo en ambos periodos del proyecto.

Referencias.

- Acosta, J., Huerta, C., Mendoza, L., Reyes, A. 1993. Modelado de la respuesta sísmica en el subsuelo de la ciudad de México, con registros a profundidad. Centro de investigación científica y educación superior de ensenada B.C México.
- AGI, 2009. Instruction Manual for EarthImager-2D y -3D v.1.5, Resistivity Inversion Software. Austin, Texas.
- Aguayo, C.J.E., y Marín S.C. 1989. Evolución geológica de la Cuenca de México: Ed. Sociedad Geológica de México: Simposio sobre tópicos geológicos de la Cuenca del Valle de México.
- Ángeles-Serrano, G., Perevochtchikova, J. M., Carrillo-Rivera, J. 2008. Posibles Controles Hidrogeológicos de Impacto Ambiental por la Extracción de Agua Subterránea en Xochimilco, México. Journal of Latin American Geography, 7 (1).
- CONAGUA. 2011.
http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo_3.pdf.
- Guevara, O.B, K., Ortega Escobar, H.M., Gómez-Ríos. R., Solano E., Vanegas Rico, J.M. 2015. *Morfología y geoquímica de suelos de Xochimilco*. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México. Versión On-line ISSN 2395-8030.
- García-Palomo, A., Zamorano, J.J., López-Miguel, C., Galván-García, A., Carlos-Valerio, V., Ortega, R., Macías, J.L. 2008. El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 25 (1), 158–178.
- Hernández, G.B, García, A. Carlos, V., López, C., Galván, A. 2016. Análisis de riesgo por Hundimiento y agrietamiento en el noreste de la Delegación Tláhuac. Instituto de Geología. UNAM
- IRIS, 2009. ElectrePro, Visualizing Software, France.
- Jaimes-Viera M.C., Martin Del Pozzo, A.L., Layer P.W., Benowitz J.A., Nieto-Torres, A. Journal of Volcanology and Geothermal Research (En prensa).

- Marsal, R. J. y Mazari M. 1969. El subsuelo de la Ciudad de México. Facultad de Ingeniería, UNAM, 377 pp.
- Mooser, F. 1975. Historia geológica de la cuenca de México. Depto. del Distrito Federal (ed.). Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal. México, D. F.
- Mooser, F. 1956. *Bosquejo geológico del extremo sur de la cuenca de México*. 20, *Congreso Geológico Internacional*. UNAM. México. D. F.
- Ortega-Escobar, H. y M. Velázquez-Machuca. 2000. Caracterización de los suelos y aguas de la zona de chinampas de Xochimilco, D. F. México, D. F.
- Tejero, A., Chávez, R. E., Urbieto, J., y Flores-Márquez, E. L. 2002. Cavity detection in the south-western hilly portion of Mexico City by resistivity imaging: *Journal of Engineering and Environmental Geophysics*, 7-3, 130-139.
- Tejero-Andrade, A., Cifuentes G., Chávez R.E. López A.E., Delgado-Solórzano C. 2015. L- and CORNER-arrays for 3D Electric Resistivity Tomography: An alternative for geophysical surveys in urban zones: *Near Surface Geophysics*, 13-4, 355-367.
- Tejero-Andrade, A., Cifuentes, G., Chávez, R.E., López-González, A., and Delgado-Solorzano, C. 2014, "L" and "Corner" arrays for 3D electrical resistivity tomography: An alternative for urban zones: *Near Surface Geophysics*, en prensa.
- Vázquez-Sánchez, E., Jaimes-Palomera, R. 1989. Geología de la Cuenca de México. *Geofísica Internacional*, 28: 133-190.

Atentamente**Dr. René E. Chávez Segura****Dr. Andrés Tejero Andrade****M.C. Gerardo Cifuentes Nava****M.C. Esteban Hernández Quintero****Ing. Alejandro García Serrano****M. en C. David Zamudio Ángeles**

The image shows six horizontal lines, each with a handwritten signature in blue ink. The signatures are: 1. A stylized signature with a circular element at the top. 2. A signature that appears to be 'Andrés Tejero Andrade'. 3. A signature that appears to be 'Gerardo Cifuentes Nava'. 4. A signature that appears to be 'Esteban Hernández Quintero'. 5. A signature that appears to be 'Alejandro García Serrano'. 6. A signature that appears to be 'David Zamudio Ángeles'.