



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Condiciones geológicas y riesgo
asociado por inestabilidad en el
subsuelo de la Primera Sección
del Bosque de Chapultepec**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A:

CUEVAS LEAL JUAN DE DIOS

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Martín Carlos Vidal García



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

Dedicatoria

La familia es en núcleo donde toda persona forja su carácter y donde las bases de la moral y la ética se establecen. La familia es el motor que nos impulsa a alcanzar metas que algún día fueron sueños. La familia siempre ha estado y estará a nuestro lado en tiempos buenos y en tiempos difíciles. La familia no nos aprecia por lo que hemos logrado en el ámbito profesional, nos aprecia por lo que hemos logrado como persona. Por todo lo anterior, dedico esta tesis a mi familia, el mejor regalo que Dios me pudo dar.

Agradecimientos

*Antes que nada, le agradezco a Dios por estar siempre a mi lado y por brindarme...
a mi padre Juan de Dios, hombre justo y recto que supo educarme con el ejemplo,
a mi madre Consuelo, mujer integra que siempre ha visto la bondad en toda persona,
a mi hermana Sara, excelente persona y madre de dos niñas hermosas,
a mi hermano José, inteligente e ingenioso, muchas veces superior a mí,
a mi esposa Vicky, una mujer virtuosa, compañera ideal y llena de sueños,
a mi hijo Isaac, quien con su sonrisa, día a día, me llena de vida,
Todos juntos hacen mi familia: personas inigualables y con grandes valores que
siempre me han apoyado en todo y más allá de lo necesario.*

Un agradecimiento especial al proyecto

FOMIX CONACyT – GDF No. 188908

La presente tesis forma parte del trabajo de investigación del **Proyecto denominado “Estudios Geofísicos y Geológicos para Detectar y Caracterizar Inestabilidades en el Subsuelo de la 1ª Sección del Bosque de Chapultepec”** derivado del convenio de colaboración, celebrado entre la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, y el fondo mixto entre el Consejo Nacional de Tecnología (CONACyT) y el Gobierno del Distrito Federal (GDF); con el Número de Proyecto 188908.

El objetivo del Proyecto es detectar y caracterizar inestabilidades en el subsuelo, en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec. El proyecto es complemento de investigaciones realizadas en la Segunda y Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, cuyo objetivo fue la detección de minas antiguas e identificación de inestabilidades en el subsuelo.

*El hombre encuentra a Dios
detrás de cada puerta que la ciencia logra abrir.*

Albert Einstein (1879-1955)
Científico alemán.

Condiciones geológicas y riesgo asociado por inestabilidad en el subsuelo de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec

Índice.	6
Índice de figuras.	9
Índice de fotografías.	12
Índice de tablas.	12
Resumen.	13
Abstract.	15
1. Introducción.	17
1.1. Antecedentes.	17
1.2. Objetivos.	19
1.3. Metodología de trabajo.	20
2. Generalidades.	21
2.1. Cuenca de México.	21
2.1.1. Localización, población y vías de comunicación.	21
2.1.2. Geomorfología.	22
2.1.3. Clima y vegetación.	23
2.1.4. Hidrología.	24
2.2. Zona poniente de la Ciudad de México.	25
2.2.1. Localización y vías de comunicación.	25
2.2.2. Geomorfología.	26
2.2.3. Hidrología.	27
2.3. Delegación Miguel Hidalgo.	30
2.4. Bosque de Chapultepec.	31
3. Geología de la Cuenca de México	35
3.1. Geología Regional y origen de la Cuenca de México.	56
3.2. Estratigrafía de la Cuenca de México.	40

3.3.	Geología Estructural de la Cuenca de México.	42
4.	Geología de la Zona Poniente de la Ciudad de México.	46
4.1.	Marco geológico de la Zona Poniente de la Ciudad de México.	46
4.2.	Geología del subsuelo de la Zona Poniente de la Ciudad de México.	48
4.3.	Formación Tarango.	50
4.4.	Secciones geológicas de la Zona Poniente de la Ciudad de México.	54
4.5.	Análisis estructural de la Zona Poniente de la Ciudad de México.	69
5.	Geología de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.	71
5.1.	Marco geológico de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.	71
5.2.	Geología del subsuelo y análisis de riesgo asociado por inestabilidad del subsuelo de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.	74
6.	Conclusiones.	87
7.	Recomendaciones.	91
8.	Bibliografía.	92
9.	Anexos.	
9.1.	Anexo 1. Comprobación y actualización de datos de pozos utilizados para las secciones geológicas A y B.	97
9.2.	Anexo 2. Formatos de verificación de pozos.	98
9.3.	Anexo 3. Compendio de fracturas y hundimientos diferenciales de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.	107
9.4.	Anexo 4. Sección A-A´ con descripción estratigráfica (orientación NW-SE) elaborada a partir de los datos de	

	perforación de los pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H.	110
9.5.	Anexo 5. Sección A-A´ con descripción de formaciones estratigráficas (orientación NW-SE) elaborada a partir de los datos de perforación de los pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H.	111
9.6.	Anexo 6. Sección B-B´ con descripción estratigráfica (orientación SW-NE) elaborada a partir de los datos de perforación de los pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H´.	112
9.7.	Anexo 7. Sección B-B´ con descripción estratigráfica y granulométrica (orientación SW-NE) elaborada a partir de los datos de perforación de los pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H.	113
9.8.	Anexo 8. Memoria fotográfica de fracturas y hundimientos diferenciales de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.	114

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación de la Cuenca de México (modificada de Santoyo, 2005).	22
Figura 2. Ubicación de la Zona Poniente de la Ciudad de México.	26
Figura 3. Mapa altimétrico de la Ciudad de México (González Claudia, 2014).	27
Figura 4. Distribución de ríos de la zona poniente de la Ciudad de México (tomado de González Claudia, 2014).	29
Figura 5. Límites de la delegación Miguel Hidalgo (tomada de www.eleconomista.com y modificada por Cuevas, Juan de Dios).	31
Figura 6. Castillo de Chapultepec. (tomada de www.mnh.inah.gob.mx).	34
Figura 7. Elementos de la Cuenca de México (modificado de Santoyo et al., 2005).	37
Figura 8. Desarrollo volcánico de la Cuenca del Valle de México. (tomada de “El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del Valle de México”, 1978).	38
Figura 9. Erupciones volcánicas en los depósitos lacustres (Santoyo et al., 2005).	42
Figura 10. Correlación Estratigráfica para la Cuenca de México. (tomado de Aguayo y Marín, 1989).	43
Figura 11. Sección geológica A de la Cuenca (Mooser, 1986).	45
Figura 12. Esquema geológico general del Valle de México (tomado de Mooser, 1986).	45
Figura 13. Sección geológica B de la Cuenca (Mooser, 2005).	46

Figura 14. Columna estratigráfica de la formación Tarango en la Ciudad de México (tomado de Lugo-Hubp et al, 1995).	53
Figura 15. Sección geológica de la Cuenca dirección W-E. Secuencia pleistocénica de la Ciudad (tomado de Santoyo et al., 2005).	54
Figura 16. Vista de mapa trabajado en CAD (realizado en Autodesk AutoCAD versión 2015).	56
Figura 17. Ubicación de la Sección A (en color rojo) y la Sección B-B' (en color azul) en mapa con topografía.	58
Figura 18. Sección A-A' con descripción estratigráfica (orientación NW-SE) elaborada a partir de los datos de perforación de los pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H., 2015).	61
Figura 19. Sección A-A' con descripción de formaciones estratigráficas (orientación NW-SE) elaborada a partir de los datos de perforación de los pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H., 2015).	62
Figura 20. Sección B-B' con descripción estratigráfica (orientación SW-NE) elaborada a partir de los datos de perforación de los pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H., 2015).	65
Figura 21. Sección B-B' con descripción de granulometría (orientación SW-NE) elaborada a partir de los datos de perforación de los pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H., 2015).	66
Figura 22. Columna estratigráfica correspondiente a la sección A-A'.	67
Figura 23. Columna estratigráfica correspondiente a la sección B-B'.	67
Figura 24. Carta de lineamientos de la zona poniente de la Ciudad de México, Escala 1:50 000 (González Escamilla, 2014).	69
Figura 25. Imagen hipsométrica de Chapultepec (tomado de Velázquez Omar, 2013).	71
Figura 26. Mapa morfogenético del área del Bosque de Chapultepec (Enrique Santillán, 2012).	74

Figura 27. Mapa de las secciones del Bosque de Chapultepec.	75
Figura 28. Esquema de zona de transición abrupta	76
Figura 29. Fracturas de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.	77
Figura 30. Fracturas Avenida Juventud Heroica, Primera Sección del Bosque de Chapultepec	78
Figura 31. Levantamiento de fracturas en Avenida Juventud Heroica, Primera Sección del Bosque de Chapultepec (Facultad de Ingeniería UNAM, 2013).	79
Figura 32. Fracturas lado sureste del Altar a la Patria, Primera Sección del Bosque de Chapultepec.	79
Figura 33. Familia de fracturas Museo de Arte Moderno y Altar a la Patria, Primera Sección del Bosque de Chapultepec.	80
Figura 34. Fracturas y hundimientos diferenciales en la Quinta Colorada y los Baños de Moctezuma, Primera Sección del Bosque de Chapultepec.	82
Figura 35. Fracturas relevantes localizadas alrededor del lago de Chapultepec, Primera Sección del Bosque de Chapultepec.	83
Figura 36. Familia de fracturas localizadas en el lago de Chapultepec, Primera Sección del Bosque de Chapultepec.	84
Figura 37. Componentes de una fractura geológica.	86

Índice de fotografías

 Fotografía 1. Muro dañado debido a asentamientos diferenciales del subsuelo (Levantamiento de rasgos superficiales (Facultad de Ingeniería UNAM, 2014).	76
 Fotografía 2. Levantamiento de fractura en avenida Juventud Heroica (Facultad de Ingeniería UNAM, 2013).	78
 Fotografía 3. Daños a muros de la Quinta Colorada, Primera Sección del Bosque de Chapultepec (Facultad de Ingeniería UNAM, 2014).	81
 Fotografía 4. Fracturas paralelas en patio frontal del monumento al Escuadrón 201, Primera Sección del Bosque de Chapultepec (Facultad de Ingeniería UNAM, 2013).	84

Índice de tablas

 Tabla 1. Localización de los pozos de agua potable seleccionados. SACMEX. (año de elaboración: 2015).	57
---	----

Resumen

La Primera Sección del Bosque de Chapultepec se localiza en la delegación Miguel Hidalgo en la Ciudad de México. Debido a la gran afluencia de visitantes a este sitio histórico, la presente tesis se centra en la investigación de las condiciones geológicas en el subsuelo la Primera Sección del Bosque de Chapultepec, con la finalidad de determinar la presencia de inestabilidades, para garantizar el óptimo funcionamiento de la infraestructura instalada.

Para la determinación de las condiciones del subsuelo de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec, fue necesario el análisis y elaboración de secciones estratigráficas en la delegación Miguel Hidalgo, utilizando la estratigrafía de pozos de agua potable realizada por la extinta Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G.C.O.H.). Posteriormente, la investigación se enfocó en realizar un levantamiento de los rasgos superficiales, identificando el fracturamiento, creando rosetas de fracturas y localizando sitios que presentan subsidencias en la superficie, con el objetivo de determinar su comportamiento e incidencia en monumentos históricos, fuentes ornamentales y edificios del Gobierno de la Ciudad de México, localizados en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.

Existen diferentes factores que propician la aparición del fracturamiento y, por ende, el daño a estructuras civiles. El factor más relevante se debe a que la Primera Sección del Bosque de Chapultepec se encuentra localizado en una zona de transición, entre los depósitos lacustres y los depósitos aluviales de la Sierra de las Cruces (capa superior de la formación Tarango, la cual está constituida por una secuencia vulcano clástica de tobas y pómez); por tal motivo, los primeros metros del subsuelo están compuesto por materiales mixtos no clasificados y en su mayoría no consolidados.

Otro factor de relevancia a considerar es la saturación de agua en el subsuelo, lo que propicia que la estabilidad y el comportamiento de los diferentes estratos en los

depósitos lacustres sean afectados por la explotación del acuífero. El comportamiento inestable se presenta en puentes, monumentos históricos, edificios y fuentes, que están construidos en los estratos de origen lacustre y no cuentan con pilotes apoyados sobre una capa dura en el subsuelo.

Abstract

The First Section of the Chapultepec Forest is located in the delegación Miguel Hidalgo in Mexico City. Due to the great influx of visitors to this historic site, geological conditions were investigated in the subsoil in order to determine the presence of instabilities and voids in it to ensure the optimal functioning of the installed infrastructure.

For the determination of the geological conditions of the First Section of the Chapultepec Forest, the analysis and elaboration of stratigraphic sections of the subsoil in the municipality of Miguel Hidalgo were needed. using stratigraphy of drinking water wells made by the extinct Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH). Subsequently, a survey of the surface features was carried out, identifying the fracturing, and locating sites that have undergone subsidence, with the objective of determining their behavior and incidence on historic monuments, ornamental fountains and buildings of the Government of Mexico City, located in The First Section of the Chapultepec Forest.

There are different factors that lead to the appearance of fracturing and, consequently, damage civilian structures. The most relevant factor is that the First Section of the Chapultepec Forest is located in a transition geotechnical zone, between the lacustrine deposits and the alluvial deposits of the Sierra de las Cruces (upper layer of the Tarango formation composed by a volcanic clastic sequence of tuffs and pumice); for this reason, the first meters of the subsoil are made up of unclassified and mostly unconsolidated mixed materials.

Another factor of importance to consider is the saturation of water in the subsoil, which produce that the stability and the behavior of the different strata in the lacustrine deposits are affected by the exploitation of the aquifer, the unstable behavior occurs in bridges, historical monuments, buildings and fountains, which are built in strata of

lacustrine origin and do not have piles supported on the hard layer in the subsurface of Mexico City.

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El Bosque de Chapultepec se localiza al poniente de la Ciudad de México en la zona de transición, entre los depósitos lacustres y los depósitos aluviales de la sierra de las Cruces.

Debido a que en el año 2006 ocurrió un colapso en la cimentación del Lago Mayor, el Gobierno de la Ciudad de México a través de la Dirección del Bosque de Chapultepec y de la convocatoria del Fondo Mixto de CONACYT-GDF, se propusieron una serie de actividades para determinar inestabilidades en el subsuelo del Bosque de Chapultepec.

El proyecto denominado “Estudios Geofísicos y Geológicos para Detectar y Caracterizar Inestabilidades en el Subsuelo de la 1ª Sección del Bosque de Chapultepec” que se desprende del Convenio de Colaboración, celebrado entre la Facultad de Ingeniería de la UNAM, FOMIX CONACyT-GDF No. 188908, tiene el objetivo de detectar y caracterizar inestabilidades en el subsuelo, en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec. El proyecto es complemento de investigaciones realizadas en la Segunda y Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, cuyo objetivo fue la detección de minas antiguas e identificación de inestabilidades en el subsuelo.

La zona en estudio se encuentra al NW del Cerro de Chapultepec. En el subsuelo de esta área se localiza la zona de transición entre los depósitos lacustres y aluviales. El proyecto pretende identificar zonas de inestabilidad en el subsuelo, con la finalidad de proponer actividades para la prevención o restauración de daños a la infraestructura civil localizada en la Primera Sección del Bosque Chapultepec.

La Primera Sección del Bosque es la más antigua y en ella se ubican las fuentes y monumentos más importantes como las fuentes de Netzahualcóyotl, de las Ranas, del Quijote, de la Templanza, monumentos como Los Niños Héroes, al Escuadrón 201, el

Ahuehete y los Baños de Moctezuma. También encontramos el Museo Nacional de Historia, la Casa del Lago de la UNAM, el Centro Cultural del Bosque, el Museo Nacional de Antropología, el Museo Rufino Tamayo y el de Arte Moderno. Además, cuenta con espacios como el Zoológico, el Jardín de la Tercera Edad y el Audiorama.

1.2 Objetivos

- Determinar las condiciones geológicas debido a la presencia de fracturas y hundimientos diferenciales en el subsuelo y su incidencia de riesgo en las obras civiles de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.
- Determinar la correlación estratigráfica y caracterizar del subsuelo del Bosque de Chapultepec, mediante la creación de secciones estratigráficas al poniente de la Ciudad de México.

1.3 Metodología de trabajo

La metodología de la presente tesis se divide en tres etapas diferentes.

Las actividades realizadas en la primera etapa consistieron en investigar las características geológicas e hidrológicas de la Cuenca de México, Ciudad de México y el Bosque de Chapultepec. En la tesis, se plantea una dinámica de investigación basada en la geología regional para posteriormente definir la geología local del sitio de interés. Para llevar a cabo la investigación se consultaron libros, tesis, estudios, compendios gubernamentales, descripción de proyectos y manuales localizados en diferentes bibliotecas de la Ciudad de México y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

La segunda etapa consistió en diversos levantamientos geológicos con la finalidad de caracterizar la superficie de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec. En esta etapa, se levantaron y cartografiaron los diferentes rasgos geológicos y civiles localizados y, posteriormente, con ayuda de software especializado (Autodesk AutoCAD 2015), se digitalizaron. Cabe mencionar que durante esta etapa, se investigaron datos a detalle de diferentes pozos de agua potable; estos datos fueron utilizados para la realización de secciones geológicas orientadas N-S y E-W. Se realizó la visita a cada uno de los pozos de agua potable y el análisis estratigráfico basado en las secciones obtenidas de las perforaciones de los mismos.

La tercera etapa se concretó en el análisis e interpretación de los datos investigados y obtenidos en las dos primeras etapas, En esta etapa se realizaron visitas a las áreas de interés para la comprobación y afinación de datos en el sitio.

En las tres etapas, con la información obtenida en el área de estudio y los análisis realizados, nos permitieron realizar la caracterización geológica en el subsuelo de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.

2. Generalidades

2.1 Cuenca de México

2.1.1 Localización, Población y vías de comunicación

La zona de estudio se localiza dentro de la Cuenca de México, en la delegación Miguel Hidalgo, al poniente de la Ciudad de México. La cuenca de México se localiza al centro del territorio nacional y comprende un área de 16 420 km² cubriendo varias decenas de municipios del Estado de México, Tlaxcala e Hidalgo, y el total de 16 delegaciones de la Ciudad de México. La región de la Cuenca representa el 0.8% de la superficie nacional y según el INEGI hay una población de 20 millones de habitantes; esto quiere decir que la región de la cuenca, menor del 1% de la superficie nacional, habita uno de cada 5 mexicanos y se produce 1 de cada 3 pesos de la actividad económica nacional. (Consejo de Cuenca del Valle de México. Fecha de Consulta: 16 junio 2014).

La Cuenca alberga a la zona metropolitana, la cual está integrada principalmente por la Ciudad de México, parte del Estado de Hidalgo, una porción del Estado de México y la porción occidental del estado de Tlaxcala.

Debido a la dimensión de la Cuenca de México, las vías de acceso son varias y es posible ingresar a esta zona desde los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Estado de México.

La Ciudad de México se localiza a una altitud promedio de 2240 metros sobre el nivel del mar.

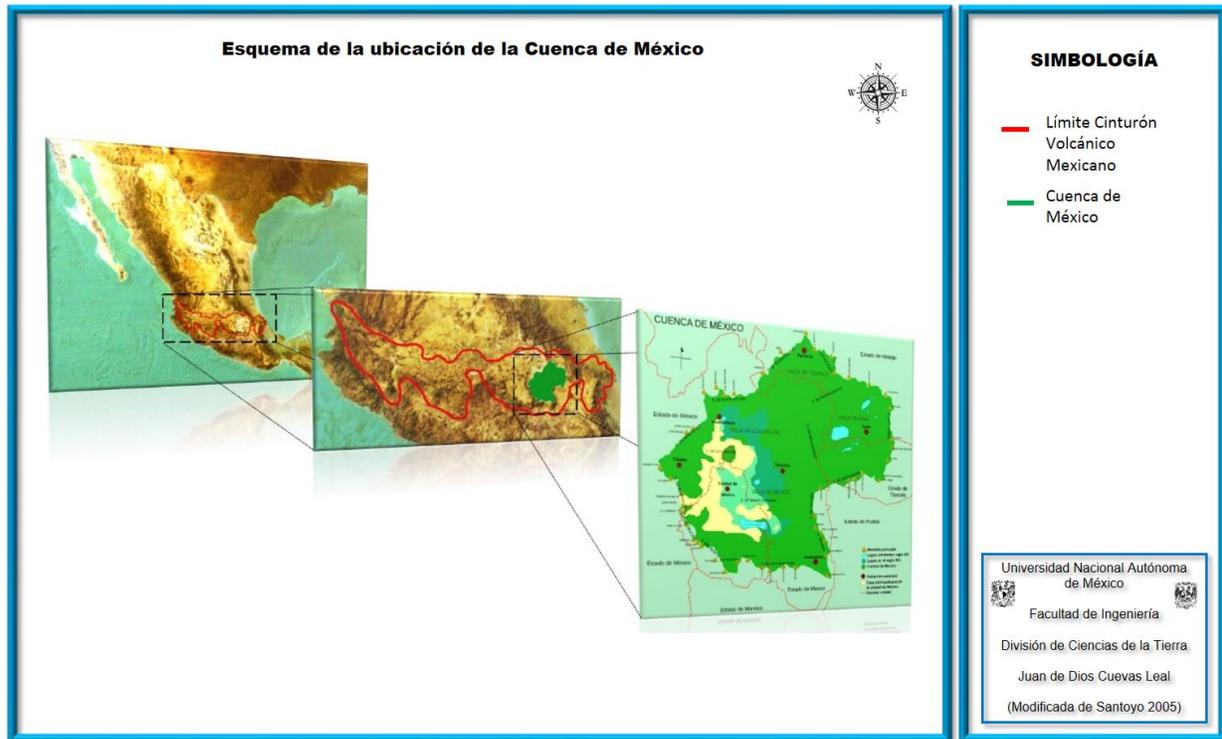


Figura 1. Ubicación de la Cuenca de México (modificada de Santoyo, 2005)

2.1.2 Geomorfología

La mayor parte del territorio mexicano se localiza en la placa tectónica norteamericana y una pequeña porción se localiza sobre la placa de Cocos y la placa del Caribe.

El relieve se caracteriza por ser muy variado y accidentado; las dos sierras más importantes, por su extensión, son la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental. El Eje Volcánico atraviesa el territorio de Oeste a Este y en él se localizan los picos más elevados del país, entre los cuales podemos mencionar al volcán Pico de Orizaba (5610 m), el volcán Popocatepetl (5462 m) y el Iztaccíhuatl (5286 m).

La cuenca del Valle de México se localiza en la parte central de Eje Volcánico. La distancia que abarca en dirección norte-sur es de aproximadamente 90 km y perpendicularmente, en la parte norte mide aproximadamente 100 km y en la parte sur

llega a los 50 km. Tiene un área de 9 600 km². La elevación de su planicie es de 2390 m en la parte norte y de 2240 m en la parte sur; lo que quiere decir que la zona con mayor altitud se localiza al norte. La Cuenca cubre la Ciudad de México, partes del Estado de México, Hidalgo y Tlaxcala (Santoyo et al., 2005). La Cuenca de México limita al sur con la Sierra de Chichinautzin, al Poniente con la Sierra de Las Cruces, al norte con la Sierra de Pachuca y al oriente con la Sierra Nevada (De la Torre, 2003).

2.1.3 Clima y vegetación

En la Cuenca de México, debido a su altura sobre el nivel medio del mar, presenta varios tipos de climas, desde el templado, húmedo, frío y tundra (en algunas zonas altas de los volcanes). La zona metropolitana se caracteriza por un clima variado; sin embargo, predomina el clima templado. El promedio de temperaturas de la Cuenca de México varía entre los 22° y 26° C (INEGI, 2014).

La vegetación de la Cuenca de México consta principalmente de una gran variedad de cactáceas, árboles de encino, de oyamel, cedros, romerillos, pinos, enebros y pastizales (Biblioteca digital Ilce, año de consulta 2016). Dicha vegetación predomina en la Cuenca de México, sin embargo, la biodiversidad de la Ciudad de México presenta la misma vegetación pero solo existe en los diferentes parques, bosques y reservas naturales como por ejemplo:

- Desierto de los Leones. Predominan los oyameles, fresnos y árboles de encinos. Abarca a las delegaciones de Cuajimalpa y Álvaro Obregón. Comprende un área de 1529 hectáreas (Desierto de los Leones, 2016).
- Bosque de Tlalpan. Cuenta con un área de 252.86 hectáreas y predominan los encinos y matorrales (Fundación Lince, 2016).
- Parque ecológico Los Dinamos. En ésta área podemos encontrar árboles caducifolios, leguminosas, cactáceas, fresnos, sauces y ahuehetes (Colegio de Ciencias y Humanidades, 2012).

- Parque Nacional Cumbres del Ajusco. Se localiza en la delegación de Tlalpan y mide 920 hectáreas. La flora está compuesta principalmente por árboles de pino, de abeto, encino y junípero. Algunas zonas planas se encuentran cubiertas por pastizales que son propios de las altas montañas (Granados, et. Al, 2004).
- Bosque de Chapultepec. Se localiza al poniente de la Ciudad de México, entre las Avenidas Reforma, Constituyentes, Circuito Interior y Periférico. Se clasifica como bosque templado y su fauna está comprendida principalmente de árboles ahuehuetes, pinos, eucaliptos, cedros, álamos, encinos, madroños, gingkos (árboles traídos de Oriente), jacarandas, colorines, sicómoros, tepozanes y jarillas. (Bosque de Chapultepec, 2016).

2.1.4 Hidrología

La Cuenca de México es una cuenca endorreica que se encuentra asentada sobre una planicie aluvial en diferentes tipos de suelos. Para describir la hidrografía de la Cuenca de México, empezamos por la descripción de los ríos y lagos de la Ciudad de México. Antiguamente una parte considerable del territorio que ahora ocupa la Ciudad de México fue ocupado por el sistema de lagos de la Cuenca de México. Esta cuenca tuvo su desagüe natural al río Balsas; sin embargo, la actividad geológica cerró la cuenca por el sur y surgieron los lagos que conocemos. Los principales ríos que circulan por la Ciudad son el río de los Remedios, río Consulado, río de la Piedad y el río Churubusco. En menor jerarquía, considerando el caudal, encontramos los ríos de San Joaquín, Tecamachalco, Tacubaya, Becerra, Mixcoac, Barranca del Muerto, San Jerónimo, Magdalena, Eslava, en el poniente de la Ciudad, al oriente se localiza el río Amecameca, los Humedales de Tláhuac y las Chinamperas de Xochimilco, Tláhuac y Mixquic. Entre los lagos principales de la Ciudad de México tenemos al Lago de Tláhuac, Lago de Chalco, Lago de Texcoco y el Lago de Xochimilco (Biblioteca digital Ilce, 2016).

Como parte de la hidrografía del Estado de México existen dos cuerpos de agua principales, la Laguna de Zumpango, al norte de la Cuenca de México y al oriente el lago de Texcoco.

2.2 Zona Poniente de la Ciudad de México

2.2.1 Localización y vías de comunicación

La zona poniente de la Ciudad de México es considerada la zona con mayor plusvalía de la Ciudad por albergar a los mayores centros corporativos como Santa Fe, Lomas de Chapultepec y Polanco (Reis Lifestyle, 2014). Los principales accesos a esta zona son por el lado oriental, en las colindancias con las delegaciones Gustavo A. Madero, Cuauhtémoc, Benito Juárez, Coyoacán y Tlalpan. La zona poniente está comprendida por las delegaciones Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Álvaro Obregón, Cuajimalpa y Magdalena Contreras. Hacia el occidente, se localiza el Estado de México, con sus municipios de Tlalnepantla, Naucalpan y Huixquilucan (ver Figura 2).

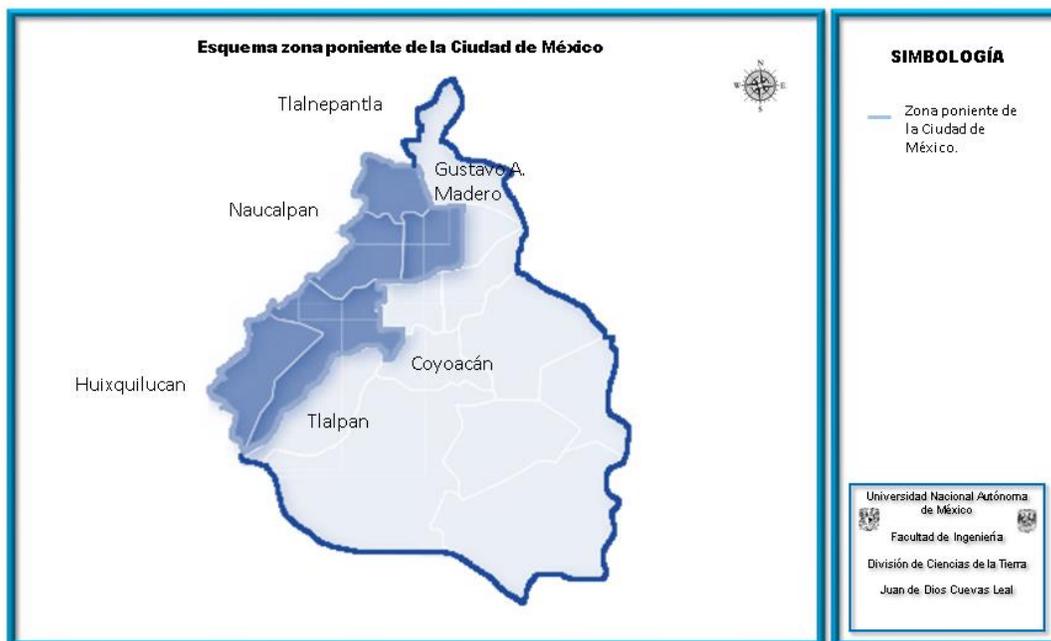


Figura 2. Ubicación de la Zona Poniente de la Ciudad de México.

2.2.2 Geomorfología

El relieve de la zona poniente de la Ciudad de México es plano hacia el oriente y el poniente es caracterizado por cañadas y barrancas, las cuales funcionan como vías naturales de desagüe hacia la Cuenca.

La zona relativamente plana debe su origen al antiguo lago; el cual cubría gran parte de la ciudad. Hacia el centro y oriente de la Ciudad de México se localizan las zonas más profundas del lago y hacia el occidente se localiza la Sierra de las Cruces. Intercalándose entre la Sierra de las Cruces y la zona lacustre, se localiza la zona de transición, compuesta en su mayoría por la formación Tarango y los depósitos arenos-arcillosos del antiguo lago. Esta situación le provee ciertas características a gran parte de la zona poniente de la ciudad, por ejemplo: las construcciones civiles ubicadas en la zona de barrancas, requiere de una cimentación con pilotes o columnas con el fin de evitar lo abrupto de la orografía. La zona de transición es una de las zonas con mayores problemas, debido a que en esta zona las construcciones civiles que no cuentan con pilotes hasta alguna capa dura, sufren de asentamientos diferenciales, formación de grietas, y daños en construcciones debido a la inestabilidad del suelo y a la sobresaturación de agua en el subsuelo. Es sobre la zona de transición donde se localiza la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.

En la Figura 3 siguiente se distinguen tres zonas clasificadas por su altitud. De color rojo encontramos las áreas con una altitud que supera los 3900 m y que corresponde a la Sierra de las Cruces. El color amarillo representa la zona de las Lomas, mientras que el color verde corresponde a las zonas más bajas (lacustres).

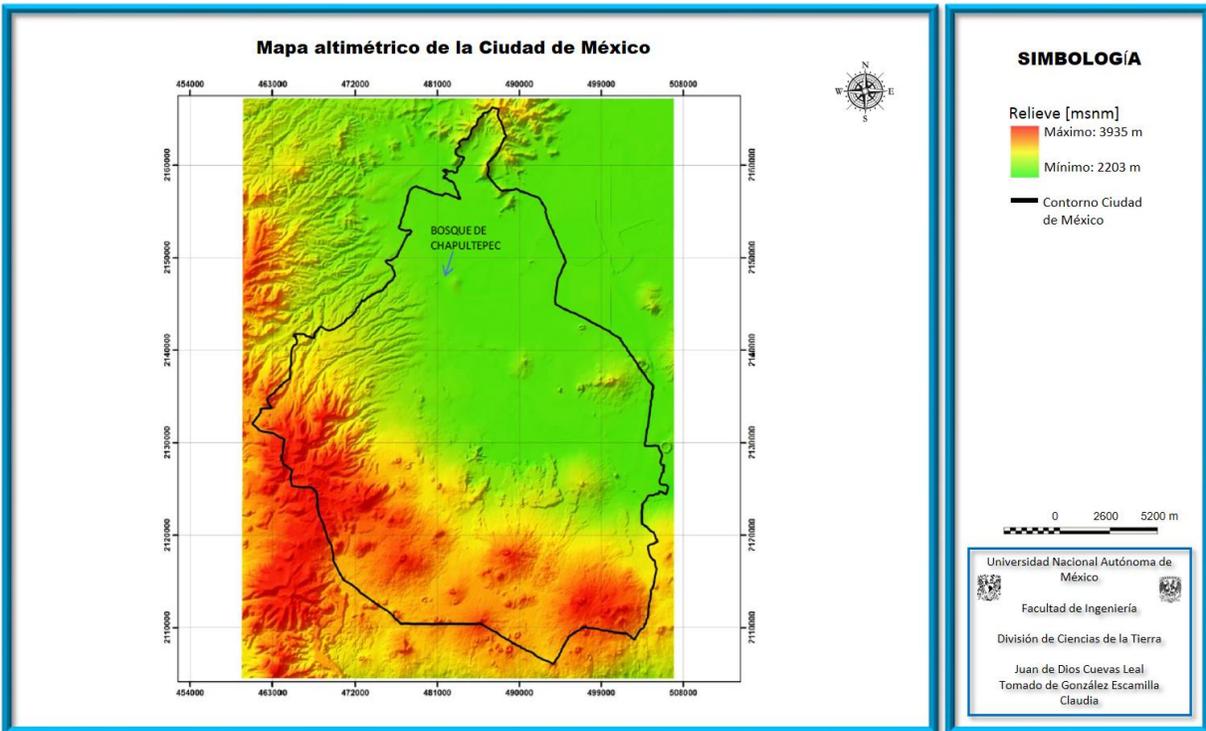


Figura 3. Mapa altimétrico de la Ciudad de México (González Claudia, 2014).

2.2.3 Hidrología

Las corrientes de agua forman ocho subcuencas pluviales: ríos de Tacubaya, Becerra, Mixcoac, Tarango, Tequilazco, Telepan, Texcaltlaco y Magdalena (Fuentes-Menes, 2011).

El río Tacubaya, tiene su origen en las laderas del cerro Cuajimalpa, su dirección es al noroeste hasta unirse al río Becerra para después, más adelante, formar el río de la Piedad. Su principal fuente de agua son los manantiales de Santa Fe, a lo largo del río está construida una presa que lleva el mismo nombre. La cuenca de este río esta accidentada por lo que se originan grandes escurrimientos (Fuentes-Menes, 2011).

El río Becerra, al igual que el río Tacubaya, nace en el cerro Cuajimalpa. Forma parte del río La Piedad y cruza la ciudad desembocando en el lago de Texcoco. Tiene una

cuenca muy impermeable y sobre él se construyó la presa Becerra I y Becerra II, de las cuales las principales fuentes abastecedoras son las barrancas de las Palmas, Tecolocalco, Ojalapa y Tecolote (Fuentes-Menes, 2011).

El río Mixcoac, se ubica en la parte central de la delegación Álvaro Obregón. Tiene una extensión de 7 km y una superficie de 37 km². Nace en los límites con el Estado de México, en las laderas del Cerro San Miguel. Limita al Oeste con la cuenca río Borracho y la barranca de Becerra, al este con las barrancas de Guadalupe y Tarango. Continúa hacia al norte casi hasta llegar al convento del Desierto de los Leones en donde cambia de dirección hacia el noroeste. Se alimenta por varios manantiales y su fuente principal es la Barranca del Muerto. Se une al río Magdalena para juntos formar el río Churubusco, aquí se construyó la represa Mixcoac.

El río Tarango nace a la altura del pueblo de San Jerónimo Lídice, su desplazamiento es en dos cauces paralelos, uno se ubica en puente colorado y el segundo en Puerta Grande, que finalmente desembocan en la presa Tarango, de donde se deriva al colector del río Churubusco (Fuentes-Menes, 2011). Tiene extensión aproximada de 2 km (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C., 2004).

El río Tequilazco nace en las laderas del cerro Pahuexiotl. Sus límites están al noroeste con la cuenca del río Mixcoac y al este con el río Texcalatlaco; su cauce va por el noroeste hasta unirse al río Magdalena, a la altura de Viveros Coyoacán. A lo largo de su cauce, capta algunos manantiales como los de San Bartolo Ameyalco y los escurrimientos provenientes de Lomas de Axomiatla, Lomas de Guadalupe y las Águilas. Tiene una longitud de 15 km y sobre este se construyeron las presas Tequilazco y La Mina donde se conecta el colector del río San Ángel. (Fuentes-Menes, 2011). Ver Figura 4.

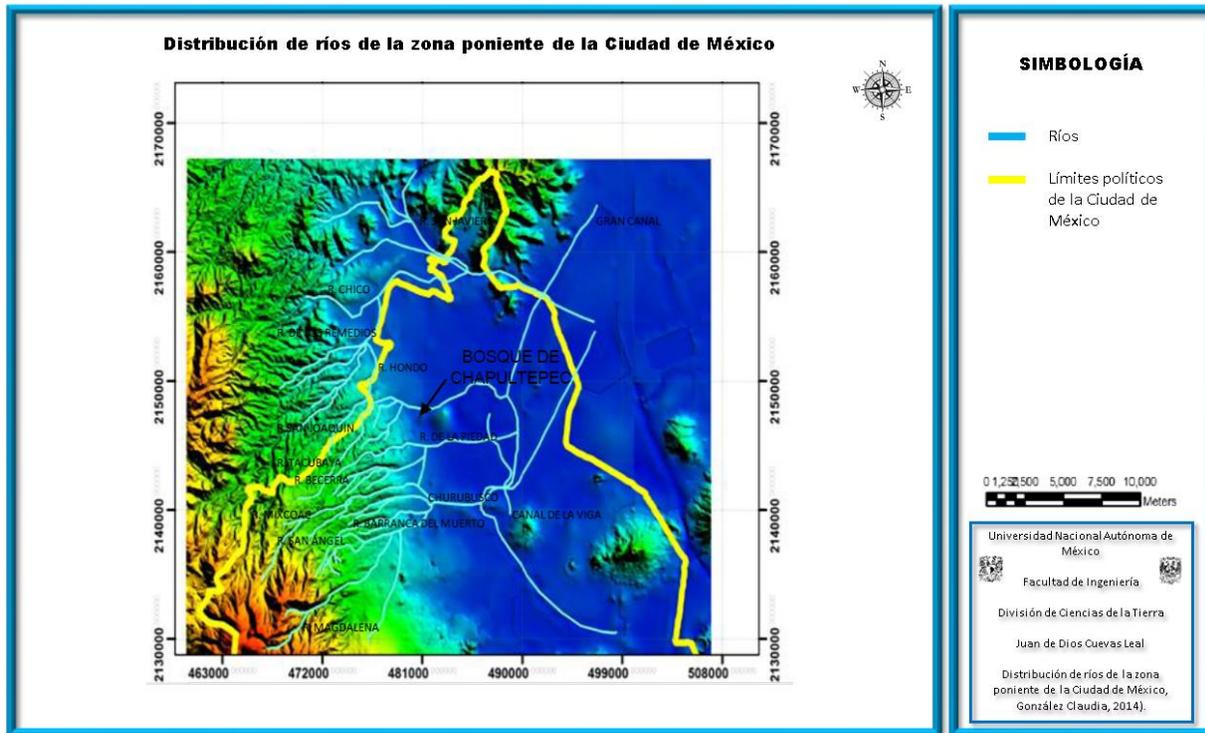


Figura 4. Distribución de ríos de la Zona Poniente de la Ciudad de México (tomado de González, Claudia, 2014).

El río Texcaltlaco nace en la unión de las calzadas del Desierto de los Leones y Olivar de los Padres, capta los escurrimientos de Texcaltlaco en donde se construyó la presa Olivar. El río Texcaltlaco tiene su origen en las laderas del cerro Campamentos y se encuentra limitado al sureste por las barrancas de Anzaldo, al norte y oeste por las barrancas Guadalupe y Texcaltlaco. Su cauce va hacia el noroeste hasta unirse al río Magdalena; en este río se construyó la presa Texcaltlaco (Fuentes-Menes, 2011).

El río Magdalena nace en la base del cerro Palma y se encuentra limitado al noreste por la cuenca del río Eslava y al noroeste por las cabeceras de los ríos Mixcoac, Barranca de Guadalupe y San Ángel con una longitud de 22 km. Se une el río Mixcoac para formar el río Churubusco el cual desagua en el lago de Texcoco. Este río es alimentado por varios manantiales como el Hueyatla, Ventanas, La Rosa y Pericos. A lo largo de su cauce se construyó la presa de Anzaldo y a lo largo de éste corre el lindero entre las delegaciones Álvaro Obregón y Magdalena Contreras (Fuentes-Menes, 2011).

2.3 Delegación Miguel Hidalgo

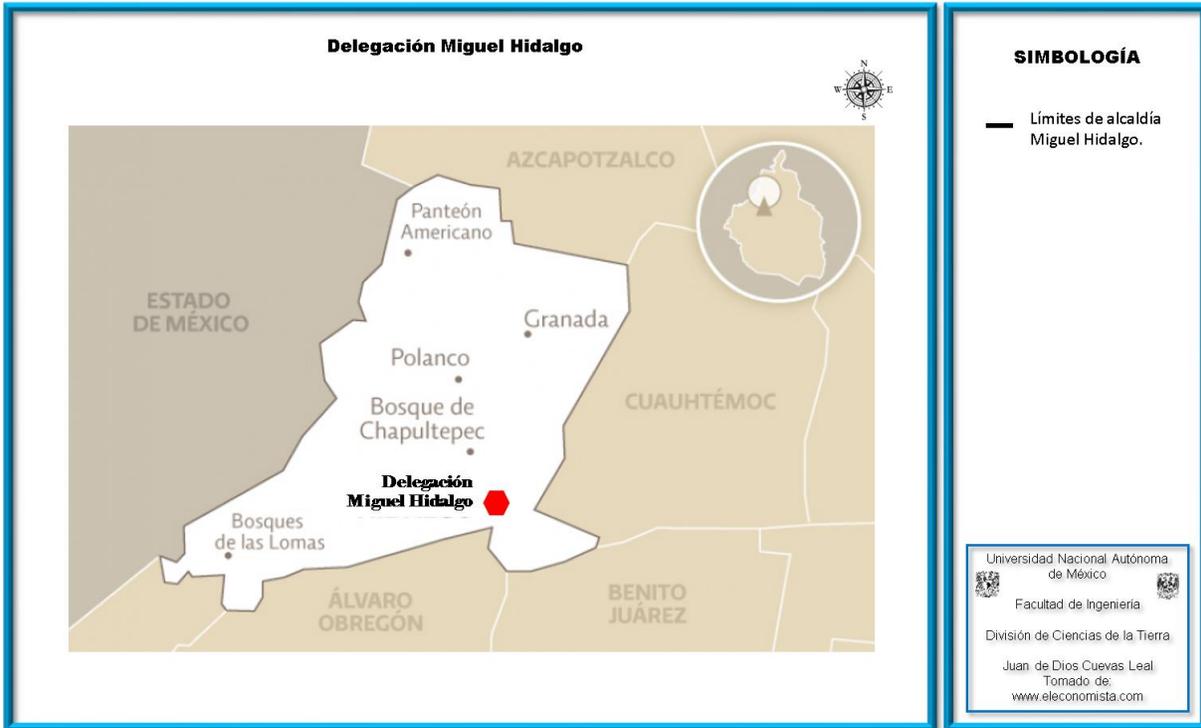


Figura 5. Límites de la delegación Miguel Hidalgo (tomada de www.eleconomista.com. Adaptada por Cuevas, 2016.)

La delegación Miguel Hidalgo se sitúa al poniente de la Ciudad de México y es una de las 16 delegaciones que la conforman. Las delegaciones colindantes son las siguientes: al norte con Azcapotzalco, al oriente con Cuauhtémoc, al sur oriente con Benito Juárez, al sur con Álvaro Obregón y al poniente con Cuajimalpa, y con los municipios de Naucalpan y Huixquilucan del Estado de México, como se muestra en la Figura 5.

Presenta un clima templado, con lluvias en verano. Se caracteriza por mantener un clima de baja temperatura por las noches y las mañanas. La precipitación promedio anual varía entre los 700 y 800 mm. La temperatura media anual es de 15°C. En temporada invernal es de 8°C en promedio y en los meses más cálidos la temperatura

promedio es de 19°C. La delegación Miguel Hidalgo, en general tiene un relieve plano hacia el norte y con cañadas (barrancas) y lomas al poniente. La zona poniente de la delegación se localiza en las elevaciones de la Sierra de las Cruces (ubicada al poniente de la Ciudad de México) y tiene un relieve más accidentado que el resto de la delegación. El cerro más importante es el de Chapultepec, con 2260 msnm (Clima de la Ciudad de México, 2007).

En cuanto a corrientes superficiales (hidrografía), tiene los ríos Consulado y La Piedad. Ambos ríos se encuentran entubados y sobre ellos se construyeron vialidades que llevan sus mismos nombres. En la actualidad son canales entubados para el desecho de aguas residuales (INAFED, 2016).

La delegación Miguel Hidalgo cuenta con una población aproximada de 353,000 habitantes. Tiene una densidad de 7412 habitantes por kilómetro cuadrado, más de 5500 habitantes hablan una lengua indígena como náhuatl y otomí. La población económicamente activa es de 183,838 habitantes, lo que representa un 52% de la población total (INEGI, 2016).

2.4 Bosque de Chapultepec

El Bosque de Chapultepec es el bosque urbano más grande de Latinoamérica con un total de 686 hectáreas y se localiza en la zona centro-sur de la delegación Miguel Hidalgo. Es el bosque más antiguo del continente americano y constituye cerca de la mitad de las áreas verdes de la zona metropolitana. Chapultepec significa *Cerro del Chapulín* (Fideicomiso Probosque Chapultepec, 2014).

El Bosque de Chapultepec se encuentra dividido en tres secciones. La primera sección es la más antigua y en ella se localizan los monumentos más importantes como la fuente de Nezahualcóyotl, la fuente de las Ranas, la fuente del Quijote, la fuente de la Templanza, el monumento a los Niños Héroes, el monumento al Escuadrón 201, el Ahuehuate y los históricos Baños de Moctezuma. Entre los principales edificios que se

localizan en el área tenemos el Museo Nacional de Historia (dentro del Castillo de Chapultepec), la Casa del Lago (de la Universidad Nacional Autónoma de México), el Auditorio Nacional, el Centro Cultural del Bosque, el Museo Nacional de Antropología e Historia, el Museo Rufino Tamayo y el Museo de Arte Moderno. La primera sección también contiene al zoológico Alfonso L. Herrera, el jardín de la Tercera Edad y el Audiorama.

La segunda sección del bosque se ubica sobre terrenos que antiguamente se utilizaban para el cultivo (González, 2014). Actualmente encontramos en esta sección el Papalote Museo del Niño, el Museo Tecnológico de CFE, el Museo de Historia Natural, la Feria de Chapultepec y una variedad de restaurantes y tiendas. Cabe mencionar que dentro de la segunda sección se localiza el Lago Mayor, en el cual encontramos la fuente monumental más grande de Latinoamérica.

La tercera sección es un área de reserva natural dedicada a la preservación de especies de flora y fauna.

La historia del bosque nos remonta a los toltecas. En el año de 1122 d. C. descubrieron el peñón de Chapultepec. Los primeros asentamientos humanos fueron por los aztecas en 1242 d. C. En ese entonces, Chapultepec era considerado “La Esmeralda de Anáhuac” en donde lo visitaban los reyes y poetas. Según restos encontrados, los primeros asentamientos datan del 2300 a. C. a 100 d. C. y pudo haber estado habitado por teotihuacanos; posteriormente, en el posclásico (100 a 850 d. C.) por toltecas, tepanecas y finalmente por mexicas (Guerrero, 2005).

Chapultepec era considerado como lugar sagrado y área recreacional para los reyes aztecas. Nezahualcóyotl, rey de Texcoco, fue el primero en residir en este lugar y se encargó de construir el primer acueducto de “Tlaxpana” (también conocido como de Santa Fe o de La Verónica). Este acueducto tenía más de mil arcos. Un segundo acueducto se concluyó en mayo de 1779 durante el virreinato de Antonio María de Bucareli y Usúa, constaba de 904 arcos; de esta obra hidráulica aún se conservan 20

arcos en pie sobre la avenida Chapultepec y fue nombrado arcos de Belem (Guerrero, 2005).



Figura 6. Castillo de Chapultepec (tomada de www.mnh.inah.gob.mx).

En el siglo XIX se ordenó la demolición del acueducto arcos de Belem. Esto trajo como consecuencia que las albercas y los cinco lagos que se encontraban fuera del bosque se secaran y cambiaran las condiciones de humedad del bosque desapareciendo así la altura de los árboles que caracterizaban al bosque. Además, fue testigo de dos eventos históricos: la intervención francesa y la estadounidense (Guerrero, 2005).

El segundo Virrey que fungió como primer gobernante del Bosque de Chapultepec fue Luis de Velasco, de quien se dice, dedicó el Bosque al emperador Carlos V. En 1818, el bosque fue cercado por los virreyes con el pretexto de protección para los manantiales que abastecen a la Ciudad de México y además para prohibir la caza evitando el acceso a los cazadores (Salomón, 2012).

Parte de las acciones que tuvo el gobierno de Guadalupe Victoria fue la creación del jardín botánico, solo que no se concluyó por su alto costo. Este lo ubicaron en donde ahora se encuentra el museo de Arte Moderno. Para 1886, Porfirio Díaz, cambio su residencia a Chapultepec. Al darse cuenta del descuido que había del bosque, asignó a Carmelita Romero de Díaz que interviniera en la reconstrucción de los inmuebles y de los jardines. Para realizar este trabajo mandaron a traer a expertos jardineros belgas con el propósito de que lo transformara de manera parecida en el bosque de Bolonia en París (Campos, 1992).

Para finales del siglo XIX se adquirieron nuevos terrenos para ampliar el bosque que llegó a medir 300 hectáreas, se mandaron a renovar los caminos y calzadas con estatuas francesas, suizas y belgas, facilitando el tránsito de los carruajes de distinguidas personas que usaban estos caminos. Para entonces las tareas de reconstrucción ya estaban a cargo de la Comisión de Embellecimiento y Cuidado del Bosque de Chapultepec. De esta época provienen La Calzada de los Poetas, lugar de reunión para los paseantes constituido por grandes jardines y caminos adornados con fuentes y esculturas. Además, se llevó a cabo la construcción de la Casa del Lago que fungió como casa de hospedaje de los visitantes y después como sede del Club del Automóvil; y la construcción del lago artificial de Chapultepec. Cerca de aquí, se instaló el zoológico y el jardín botánico alumbrado (Salomón, 2012).

Posteriormente, el presidente Venustiano Carranza, hizo cambios en la distribución del Castillo, demolió el Anexo del Colegio Militar, delimito jardines y avenidas con palmeras, fuentes, arroyos y cascadas; finalmente, se construyó el pórtico decorado con dos leones de bronce que marca el acceso al bosque (Campos, 1992).

En las décadas de los 60's y 70's se anexaron la segunda y tercera sección al bosque, sin embargo, el deterioro se incrementó de manera evidente como la pérdida de la vegetación característica de la zona y que fue sagrada en su momento por los aztecas y de la contaminación y agotamiento de los suelos (Guerrero, 2005).

3 Geología de la Cuenca de México

3.1 Geología Regional y origen de la Cuenca de México

La Cuenca de México tiene una superficie aproximada de 9600 km² y se localiza sobre la placa tectónica norteamericana, dentro de la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana. Dicha faja está constituida por rocas ígneas volcánicas de varios tipos, acumuladas en diferentes eventos sucesivos que datan desde el inicio del Oligoceno Temprano (hace unos 35 millones de años) hasta el reciente (De la Llata, 2011).

La Cuenca de México está limitada por las sierras de Pachuca, Tepetzotlán, Guadalupe, Patlachique y Tepozán hacia el Norte, formadas a fines del Mioceno. Durante el Plioceno Inferior se crearon las sierras de Las Cruces y Nevada, al oeste y este respectivamente, caracterizadas por una enorme actividad de la que es testigo la formación Tarango constituida por piroclásticos depositados al pie de estas sierras. Los eventos cuaternarios entre el Popocatepetl y la Sierra de Zempoala, transforman el Valle en una cuenca cerrada. Por esta razón se almacenó el agua en varios lagos, y los ríos que descendían de las sierras circundantes depositaron en potentes conos de inyección materiales muy diversos al fluir a dichos lagos (Murillo, 2004).

En la Figura 7, se observan los elementos morfológicos más importantes de la cuenca que se cerró en el Cuaternario Superior, al formarse la Sierra de Chichinautzin, hace aproximadamente 600,000 años, al inicio de la glaciación conocida como Kansas. (Santoyo et al., 2005).

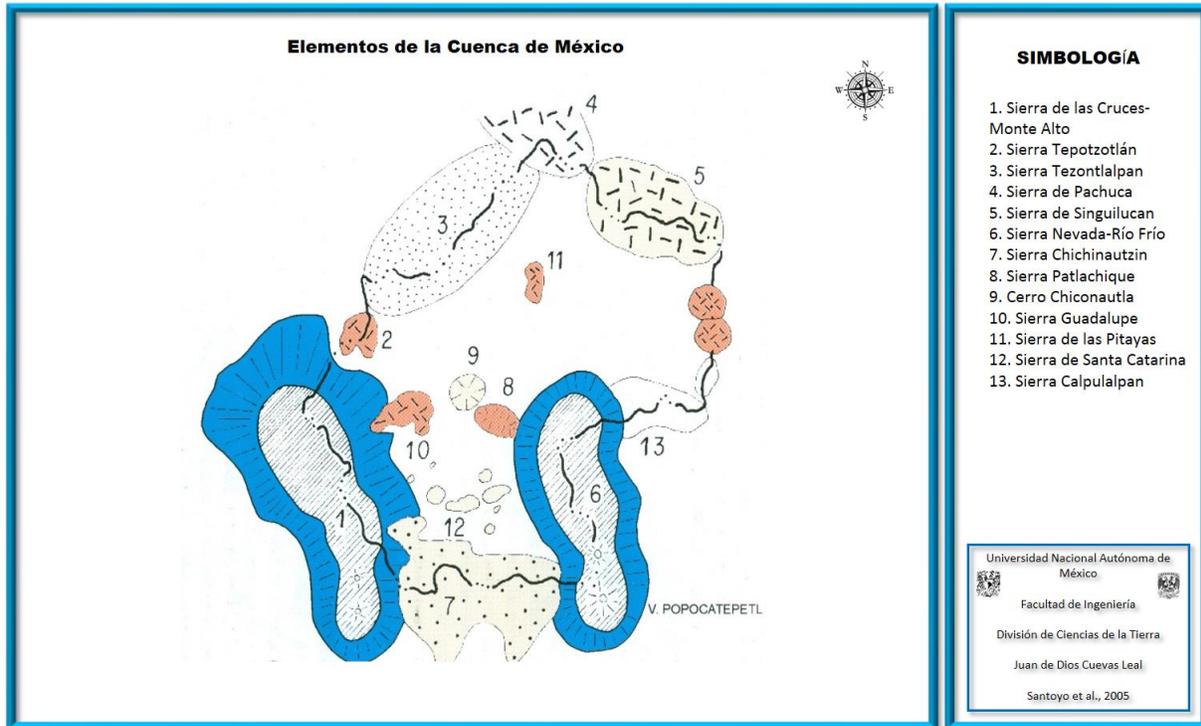


Figura 7. Elementos de la Cuenca de México (modificado de Santoyo et al., 2005).

La Cuenca del Valle de México se formó después de una época de intensa actividad volcánica, en la cual fueron apareciendo las sierras que se muestran en la figura 8 (Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C., 1978).

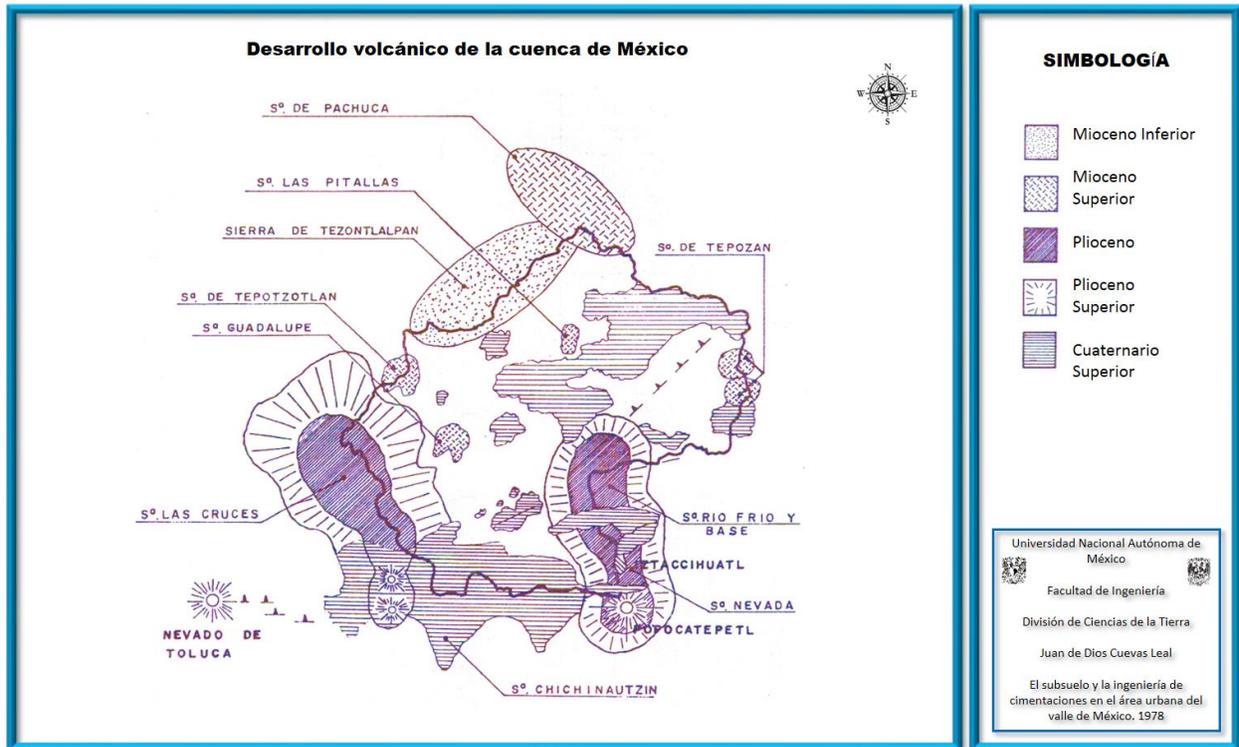


Figura 8. Desarrollo volcánico de la Cuenca del Valle de México. (tomada de: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C., 1978).

Considerando que la corteza terrestre en el sur de México es diferente a la otra porción del continente, se infiere una antigua geosutura que separa a ambas regiones, consecutivamente, en el Jurásico se desarrolla un vulcanismo extenso que afecta el centro y poniente de México (representado por la formación Taxco Viejo). Posteriormente, también durante el Jurásico, se abre el Golfo de México ejerciendo esfuerzos de cuña sobre el suroeste del golfo. A este proceso de tensión e hinchamiento con hundimiento central con dirección al suroeste, se le adjudica la creación de fracturas profundas paralelas ligadas al mismo proceso, que posteriormente formo un proto-eje volcánico. Todo indica que la apertura del Golfo también fracturo el centro del país. (Santoyo et al., 2005).

A raíz de los esfuerzos tectónicos que se ejercieron desde principios del Terciario, se abrieron grietas por las que fluyeron lavas y se formaron grandes aparatos volcánicos. El contenido petrográfico de los materiales desplazados hacia la superficie es muy variado, encontrándose andesitas basálticas, dacitas y latitas. La sierra de Xochitepec, ubicada al oeste de Xochimilco y al pie del Ajusco se compone enteramente de depósitos típicos del Terciario Medio. Parece que la actividad volcánica decreció a finales del Mioceno y fue seguida por un periodo de erosión intensa que regularizó el relieve abrupto del terreno, a juzgar por la superficie final que se destaca en la Sierra de las Cruces, a una altura de 1000 m sobre el fondo del Valle (Marsal et al, 1959).

Hacia el Plioceno Superior, en que predominaba un clima semiárido, lluvias torrenciales erosionaron el relieve abrupto, depositando en los flancos poniente y oriente de la cuenca extensos abanicos aluviales integrados por fragmentos andesíticos angulosos, arenas y limos, producto de la destrucción de los complejos volcánicos del Terciario Medio y Superior. Ésta es la formación que Bryan denominó Tarango (1948), cuya característica sobresaliente es la ausencia de lavas; en consecuencia, se le considera posterior al volcanismo del Plioceno. Probablemente siguieron desarrollándose abanicos aluviales hasta el Pleistoceno Inferior; en ellos no se han descubierto fósiles. Cabe mencionar que Bryan describió la formación Tarango que aflora al pie de las estructuras volcánicas del sur de la cuenca. Describió tirantes o espesores de 300 a 400 m de toba, aglomerado, grava volcánica y capas de pómez (Marsal, et al, 1959).

Nuevos impulsos tectónicos ocurridos en el Pleistoceno, iniciaron un último ciclo de vulcanismo, cuyas manifestaciones aún permanecen en nuestros días. El clima húmedo y frío de este periodo y la formación de grandes glaciares en el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl, causaron la destrucción de gran parte de los depósitos de la formación Tarango, labrando profundas barrancas y los dos valles principales que desaguan por el sur, en el río Amacuzac. Posteriormente sobrevinieron las potentes efusiones lávicas del Chichinautzin, de unos 2000 m de espesor, que cerraron el drenaje hacia el sur transformando el Valle de México en cuenca cerrada. A consecuencia de esta

obstrucción, los depósitos fluviales se acumularon en las barrancas y regularizaron rápidamente la topografía abrupta que se había generado por erosión. Las últimas manifestaciones de vulcanismo son las del Xitle, al pie del Ajusco, que apareció hace 2400 años aproximadamente, y la erupción del Popocatepetl en 1920 (Marsal et al, 1959).

Principales eventos geológicos en la Cuenca de México

- Depósito de aproximadamente 2,000 m de calizas, areniscas y lutitas en un ambiente marino durante el Cretácico.
- Plegamiento y fallamiento normal de las rocas marinas durante el Terciario Temprano, dando origen a un sistema tectónico regional de graben centrado en la cuenca.
- Depósito de sedimentos volcánicos, fluviales y lacustres en el graben durante el Plioceno-Eoceno.
- Depósito de flujos de lava y materiales piroclásticos durante el Oligoceno, Mioceno y Pleistoceno.
- Depósito de abanicos aluviales en las regiones del Este y Oeste, durante el Plioceno Superior y el Pleistoceno (Arellano, 1953).
- Erupciones volcánicas de basalto y pómez durante el Pleistoceno, en la parte central y sur de la cuenca. Las más importantes efusiones del Cinturón volcánico del Chichinautzin, lo que causó el cierre de la cuenca (Mooser, 1963).
- Desarrollo del ambiente lacustre como una consecuencia del cierre de la cuenca (de Cserna et al., 1988).

- Desarrollo de un conjunto de fallas NE-SW, a través del piso de la cuenca, bajo los depósitos lacustres (De Cserna et al., 1988); (Aguayo-Camargo, 1989). (Días-Rodríguez, 2005).

3.2 Estratigrafía de la Cuenca de México

El subsuelo de la Cuenca de México se puede describir como un complejo cúmulo de sucesivas formaciones volcánicas que alcanzan más de 2000 m de espesor, el cual descansa sobre un basamento de rocas sedimentarias marinas. La interpretación de las edades de las formaciones volcánicas ha permitido inferir que la Cuenca de México originalmente drenaba hacia el Océano Pacífico y que la erupción basáltica de la Sierra de Chichinautzin la cerró hace aproximadamente 600,000 años. (Santoyo et al., 2005).

La secuencia estratigráfica de la cuenca consiste de rocas volcánicas, depósitos aluviales, fluviales y lacustres del Terciario y del Cuaternario, que subyacen discordantemente a rocas calcáreas del Cretácico. (Enciso, 1992).

Por debajo de la planicie lacustre existe una red de valles sepultados (Mooser et al, 1991) que drenaban al sur. Estos valles existieron antes de la formación de la Sierra del Chichinautzin y fueron formados por erosión en los abanicos volcánicos antiguos de las sierras, en el relleno clástico del Tepozteco, así como en depósitos aluviales antiguos. Dicha red de valles conforma dos sistemas, como se mencionó anteriormente, uno menor que desemboca al área de Cuautla y el otro al de Cuernavaca (Enciso, 1992).

La Figura 9, se muestra la columna estratigráfica de mayor detalle de la Ciudad; incluyendo cenizas volcánicas y capas de pómez producidas por los volcanes. En general, la secuencia está formada por depósitos lacustres arcillosos y arcillo-arenosos, originados en el lago formado a partir del cierre de la cuenca. Se puede deducir que en la parte superior cada metro de sedimentos corresponde a un intervalo de 4000 años

aproximadamente. Los suelos blandos son la consecuencia de la depositación y de alteración fisicoquímica (Santoyo et al., 2005).

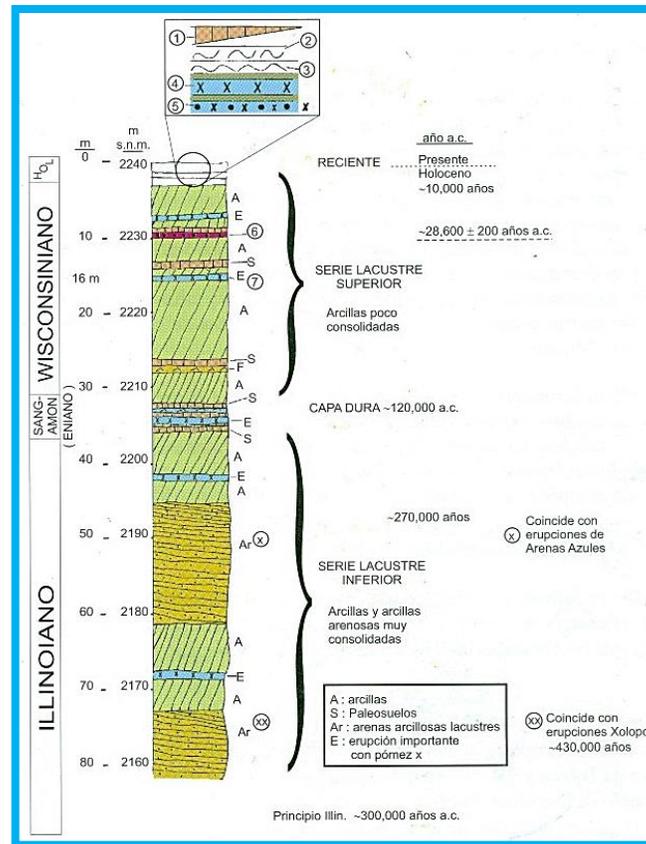


Figura 9. Erupciones volcánicas en los depósitos lacustres (tomado de Santoyo et al., 2005).

1. Suelos del Holoceno superior
2. Arcillas negras del Holoceno
3. Caliche: ~9000 años
4. Pómez del Nevado de Toluca ~11000 a.C.
5. Pómez con andesita del Popocatepetl ~15000 a.C.
6. Ceniza "Negra Durazo" del V. Santa Catarina ~28600 a.C.
7. Dos erupciones de pómez (~30 cm); edad determinada por P. Schaf (2003) ~60000 a.C ±5000

En la columna estratigráfica, se aprecia que la capa superior corresponde a los suelos del Holoceno superior a la cual le subyacen las arcillas negras del Holoceno. Debajo de estas arcillas encontramos el caliche de aproximadamente 9,000 años. La primera capa de pómez que encontramos es la del nevado de Toluca de hace aproximadamente

11,000 años y más abajo se localiza la pómez con andesita del Popocatepetl. A una profundidad de 10 m se localiza la ceniza “Negra Durazo” proveniente del volcán Santa Catarina de hace unos 28,000 años.

Los suelos de la planicie lacustre del Valle de México se formaron durante los períodos Pleistoceno y Holoceno.

La condición actual del relleno Cuaternario de la Cuenca de México es el resultado de procesos geológicos, volcánicos y tectónicos que se inicia en el Terciario Medio, a mediados del Oligoceno.

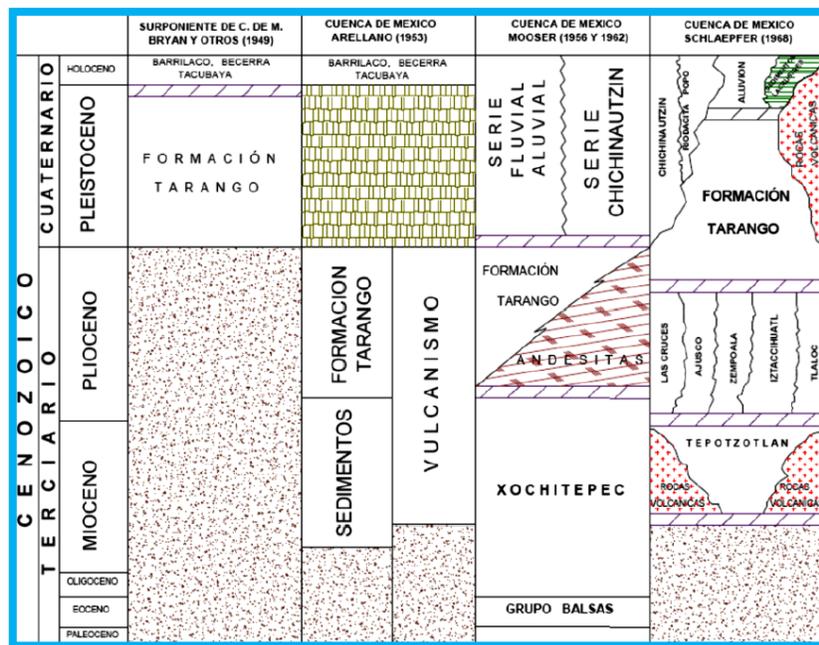


Figura 10. Correlación Estratigráfica para la Cuenca de México (tomado de Aguayo y Marín, 1989).

3.3 Geología Estructural de la Cuenca de México

La Cuenca tiene una corteza fracturada debido a su localización en el centro del Eje Volcánico y por estar sometida a compresiones desde la fosa de Acapulco, a tensiones

por calentamiento y ascenso de magmas, y, a cizalleos de derecha a izquierda y viceversa (Demant, 1978).

La Cuenca de México debe su formación a la interacción de dos fajas de fracturamiento profundo, en el norte la Faja Chapala-Acambay y en el sur la Faja Humboldt. Debido a estos fracturamientos corticales surgieron lavas básicas, intermedias y ácidas. Las emanaciones basálticas cuaternarias en el sur obstruyeron dos importantes sistemas fluviales pliocénicos que drenaban al sur, creándose así una cuenca cerrada y lacustre (Demant, 1978).

Según Mooser (1990), la Cuenca de México constituye una gran presa azolvada. Antes del Plioceno el valle drenaba al sur, hacia el Amacuzac, por dos profundas cañadas que pasaban por Cuautla y Cuernavaca. A finales del Plioceno se producen fracturas orientadas predominantemente en dirección N-E, en la zona de Puebla y al sur de Toluca, por las que tuvieron acceso grandes efusiones de basalto que construyeron la Sierra de Chichinautzin en el Cuaternario.

En el lado poniente, en los límites de las cuencas de Toluca y México, se desarrollan fallas curvas que se adaptan en el norte al tectonismo dirigido al noreste y en el sur al Arco Chichinautzin, dirigido al oeste-suroeste. Tales fallas son características desde el norte de la Sierra de las Cruces hasta la región al norte del Cerro de Jocotitlán (Santoyo et al., 2005).

En la parte sur de la cuenca, se puede describir estructuralmente un arreglo geológico con orientación norte-sur. Comenzando desde la falla Chapultepec-Peñón en el norte y avanzando al sur incrementa el hundimiento tectónico. Posteriormente se localiza la falla de Santa Catarina y enseguida la de Xilotepec (Santoyo et al., 2005).

Las sierras de las Cruces y Nevada son estructuras con grandes volcanes cuyo comportamiento se da en dirección noroeste, y se encuentran asociadas a fosas (Fosa Salazar). Representan hundimientos de menor profundidad en la corteza, por lo que los

magmas que aquí surgieron son de composición intermedia a ácida, ligados a cámaras magmáticas relativamente superficiales.

En las Figuras 11 y 12 se muestran dos secciones geológicas de la Cuenca de México.

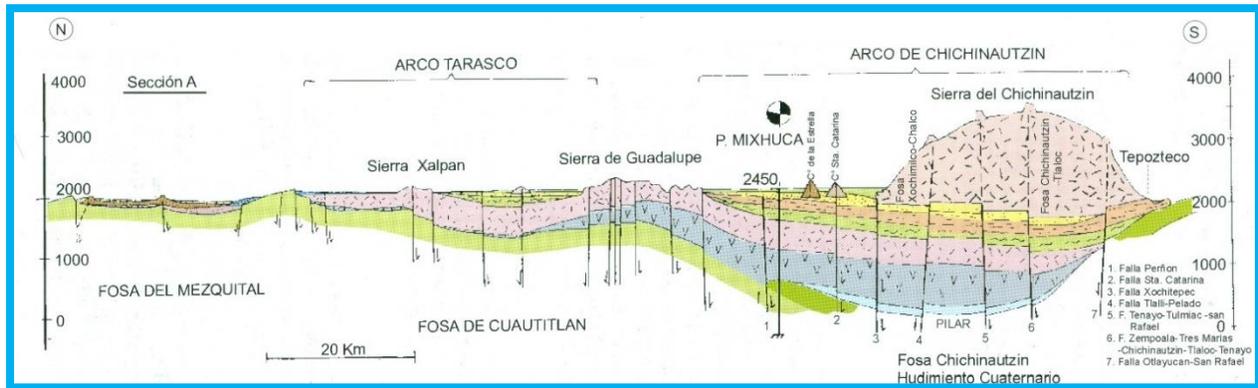


Figura 11. Sección geológica A de la Cuenca. (tomado de Mooser, 1986).

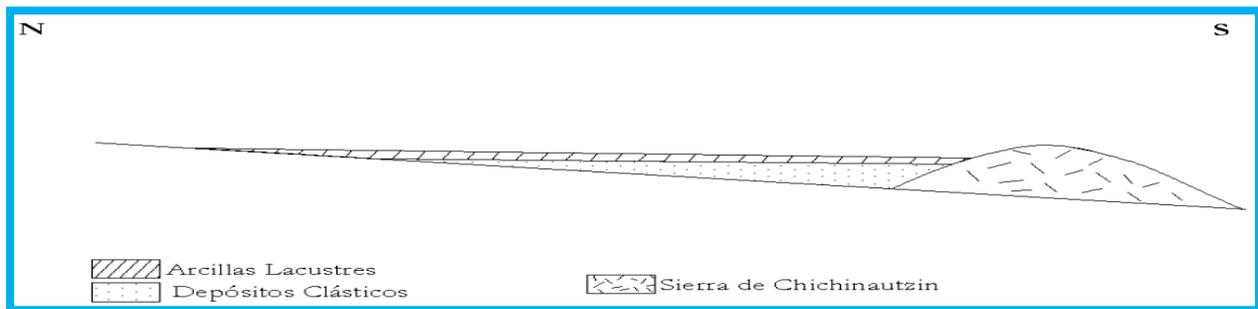


Figura 12. Esquema geológico general del Valle de México (tomado de Mooser, 1986).

En la Figura 11 se observa que en el norte de la cuenca domina la tectónica del Arco Tarasco y en el sur domina la del Arco Chichinautzin, la cual se caracteriza por los hundimientos más pronunciados. Ambos arcos separados por la Sierra de Guadalupe, que, junto con la Sierra de Patlachique, aparentan ser el resto de un arco volcánico antiguo del Mioceno a Plioceno.

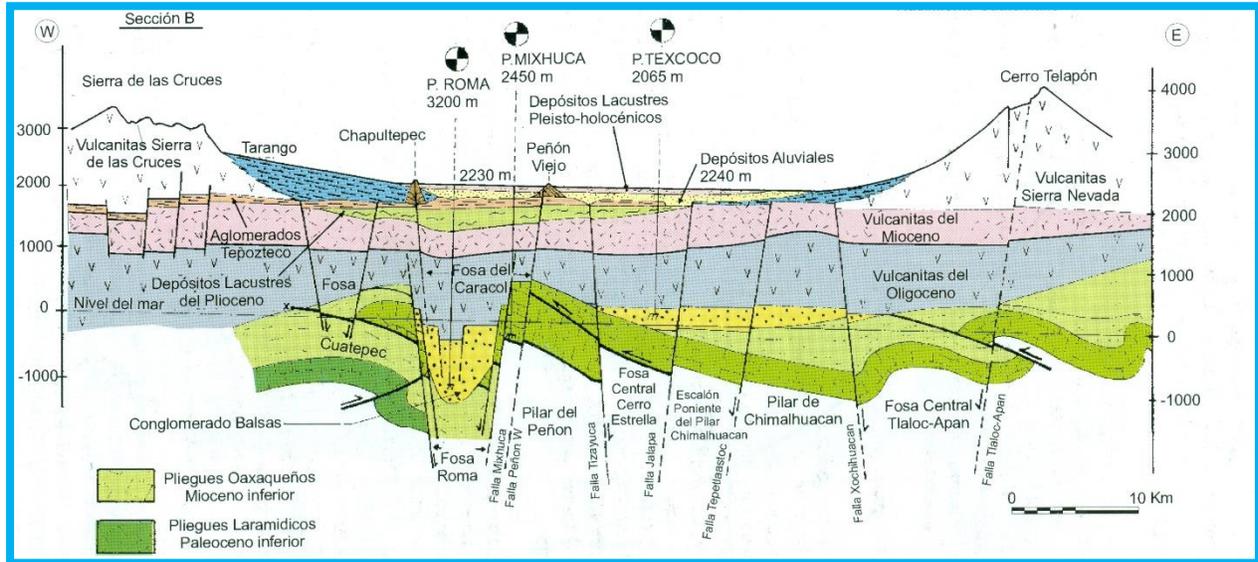


Figura 13. Sección geológica B de la Cuenca. (tomado de Mooser, 2005).

En la Figura 13 que pertenece a la Sección B, orientada poniente-oriente, se detallan las fracturas profundas dirigidas al noreste, así como la fosa Roma del Oligoceno, que se extiende desde la Sierra de Guadalupe por debajo del Chichinautzin hasta el Amacuzac. Se observa que el fracturamiento tectónico es intenso, pero en realidad resultaría más intenso si se contemplaran las fracturas del Arco Chichinautzin. En un estudio realizado por García-Palomo (et. al. 2008) se concluyó que las fracturas tienen el mismo origen tectónico del Pleistoceno, el basamento está formado por pilares, fosas tectónicas y bloques basculados.

4 Geología de la Zona Poniente de la Ciudad de México

4.1. Marco geológico de la Zona Poniente de la Ciudad de México.

La geología de la Zona Poniente de la Ciudad de México está constituida principalmente por los abanicos aluviales de la Sierra de las Cruces; dichos abanicos son el resultado de la acumulación de materiales piroclásticos depositados a los pies de la Sierra durante la actividad volcánica desarrollada durante el Plioceno y Pleistoceno (ver Figura 13). En esta zona predominan los materiales de la formación Tarango, la cual fue nombrada en honor al pueblo que lleva el mismo nombre, ubicado al SW de la cuenca (González, 2014).

En 1995, Lugo-Hubp realizaron un estudio en la delegación Álvaro Obregón con la finalidad de describir e identificar las zonas de riesgo y se reconocieron las siguientes unidades litológicas de la formación Tarango:

- Piroclástos finos: principalmente ceniza color amarillo-pardo y rosa. Este depósito tiene la distribución más amplia y su espesor varia de 50 cm a 5 m. Se pueden identificar en ciertas localidades como la ladera del río Becerra y la confluencia de los ríos Puerta Grande y Puente Colorado en la Presa Tarango.
- Ceniza con clastos angulosos mal clasificados y con tamaño de hasta 70 cm. Es un material andesítico de color rojo y gris y su espesor va de los 50 cm a 2 m. Se encuentra en la margen del río San Ángel y a un costado de la calzada Las Águilas.
- Ceniza con pómez de color blanco con fragmentos de tamaño que varía de los 50 mm a los 5 cm; presente de forma transicional en medio de dos unidades diferentes en contacto normal. Tiene un espesor que va de los 50 cm a 1.5 m. Se reconoce en la ribera del río Tacubaya, en el río Puente Colorado y aun lado de la Avenida Toluca en los límites con la delegación Magdalena Contreras.
- Pómez: unidad muy abundante que se observa de forma continua, principalmente en el subsuelo a poca profundidad, yace bajo el depósito que

originó un derrame piroclástico. Se han reportado tres capas de pómez (Fuentes-Menes, 2011) que están separadas por otros depósitos volcánicos como ceniza, ceniza con pómez y depósitos de derrame piroclástico.

Los tres tipos de pómez encontradas son:

- En capas casi horizontales, muy abundante y con espesor que va de los 50 cm a los 50 m, de color amarillo claro.
- Pómez de tamaño fino menos abundante en la zona, de color blanco que contiene pequeños fragmentos que van de los 3 a los 5 mm y representa en lentes de 10 a 15 cm de espesor.
- Pómez color rosa que se presenta en estratos de 1 a 3 m de espesor con fragmentos que varían de los 1 a los 15 cm de diámetro.
- Depósitos de derrames piroclásticos. Son divididos en tres:
 - Con clastos mal clasificados, angulosos con tamaño que varía de los 2 a 5 cm y algunos llegan alcanzar los 15 cm. Presenta un color gris azulado y en algunas partes es rosa o pardo rojizo y está poco consolidado, se observa en capas de 5 m de espesor y apoyados generalmente en tobas o pómez.
 - Capa delgada con clastos angulosos bien clasificados, de tamaños variantes de 1 a 5 cm, bien cementados, está capa descansa de manera concordante sobre la pómez y su espesor va de los 60 cm a los 2 m.
 - Sedimentos volcánicos de color gris azulado con clastos angulosos bien clasificados de tamaño máximo de 3 cm, poco consolidados y dispuestos de manera masiva.
- Depósitos de lahares o derrames piroclásticos con bloques de andesitas de hasta 1.5 m de diámetro presentes de manera angulosa y muy mal clasificados, se encuentra cementado con piroclastos finos de pómez. Su espesor aproximado es de 35 m.
- Depósitos de derrame de lodo con bloques angulosos y sub redondeados con clasificación regular, su tamaño aproximado es de 1 m de diámetro. Está

presente en capas de poco tamaño y son depósitos característicos de desembocadura de arroyos montañosos.

- Conglomerados presentes principalmente en la base de las barrancas. Está constituida por cantos bien clasificados, redondeados de tamaño que varía de 2 a 5 m.
- Lavas expulsadas del volcán Xitle de edad de 2200 años aproximadamente que cubrieron con varios metros las capas de pómez que se describieron anteriormente (Fuentes-Menes, 2011).

Cabe aclarar que los depósitos más recientes de la formación Tarango (fin de esta etapa de vulcanismo) se ubican en el Bosque de Chapultepec y en la zona de Santa Fe de la Ciudad de México; se incluyen los depósitos piroclásticos del volcán escudo San Miguel con un espesor aproximado de 250 m. En 1992, Mooser y colaboradores definieron las siguientes unidades litológicas en el pie de monte de la Sierra de las Cruces: 1) derrames piroclásticos, arenas azules de 270,000 años; 2) erupciones piroclásticas Xolopo de 430,000 años; 3) tres erupciones plinianas de pómez; 4) derrames piroclásticos Cuquita; 5) erupciones de nubes ardientes menores de polvo fino de menos de 600,000 años.

4.2. Geología del subsuelo de la Zona Poniente de la Ciudad de México

En el Poniente de la Ciudad se localiza el cerro de San Miguel, el cual es de importancia para el análisis del subsuelo de Chapultepec; está representado por los eventos volcánicos de esta estructura. Se aprecian fallas curvas con longitudes grandes que surcan a las lomas del poniente de la Ciudad (Santoyo et al., 2015).

Parte de la Ciudad de México está asentada en las faldas de la serranía de Las Cruces, formadas por terrenos compactos, areno-limosos con alto contenido de grava y tobas pumíticas bien cementadas; al sur, la urbe invade el derrame basáltico de El Pedregal.

Esta zona que por su altitud relativa se denominará Las Lomas, presenta generalmente condiciones favorables para cimentar estructuras ya que la competitividad del terreno es buena. Sin embargo, debido a la explotación de minas de arena y grava, muchas construcciones civiles están cruzadas por galerías, a diferentes profundidades, las cuales suelen tener un desarrollo muy caprichoso debido a la explotación no planeada.

La Sierra de las Cruces está formada por toba limosa y arcillosa impermeable cuya pendiente hacia la zona lacustre es relativamente suave en comparación con la pendiente de los Peñones y el Cerro del Tepeyac. La presencia de los ríos del Poniente corrobora lo anterior. En estas condiciones los depósitos aluviales se sedimentan suavemente sobre la arcilla del lago de la Ciudad de México generando estratigrafías como la siguiente: capas superficiales de suelos arcillosos o limosos con contenido de agua bajo, en estado suelto o de consistencia blanda. Bajo estos suelos y hacia la zona del lago principia a encontrarse una capa de arcilla lacustre de alta compresibilidad, cuyo espesor aumenta hacia el centro del lago. Finalmente, a continuación de estos suelos se tiene la toba característica de la zona de las lomas (zona pétreo). Esto ocurre en todo el límite Poniente del lago, desde Chapultepec hasta unos kilómetros al Sur del río Churubusco. Esta situación se refleja en el comportamiento de las cimentaciones graduando las variaciones estratigráficas y haciendo relativamente benignos los problemas de cimentación en esta zona que es la conocida tradicionalmente como Zona de Transición (Castillo, 2012).

Las formaciones de la zona de las lomas son de origen fluvial y volcánico y se encuentran dispuestas según una secuencia ordenada de acuerdo a su edad. En la superficie se presentan los suelos Totolsingo, que en general son de espesor reducido de 1 a 2 m, enseguida se presentan los suelos Becerra y Tacubaya; sobreyacen boleos y gravas de forma redondeada a subredondeada, embebidos en una matriz arenosa, comúnmente denominada Serie Clástica Fluvial y Aluvial del Pleistoceno, por último aparecen las tobas y depósitos piroclásticos de la formación Tarango, intercalados con capas de pómez, producto de erupciones violentas, con distintos grados de

intemperismo. Las lluvias intensas del Cuaternario, erosionaron en forma notable los suelos superiores (Tacubaya y Becerra) y la serie Clástica Fluvial y aluvial, llegando incluso a su total eliminación en amplias áreas (Pérez-Ortiz, 2004).

4.3 Formación Tarango

En la zona poniente los depósitos clásticos aluviales de la formación Tarango penetran con una pronunciada pendiente hacia el centro de la ciudad. Estos restos de los abanicos aluviales están cubiertos por las gravas y arenas del Pleistoceno Superior y los estratos compresibles constituidos por las cenizas volcánicas sedimentadas en agua tranquila, cuyo espesor aumenta apreciablemente hacia el oriente del valle. Tanto al norte como al sur del área urbana, los mantos de arcilla blanda (de gran plasticidad) se reducen de espesor, descubriéndose en la zona de El Pedregal los depósitos arenosos del Pleistoceno Superior y los derrames de lava basáltica que arrojó el Xitle, 500 años a. C. (Marsal et al, 1959).

En 1948, Bryan le llamo formación Tarango a los depósitos volcánicos expuestos a unos 4 km al sureste del pueblo de Mixcoac. El espesor de la formación varía conforme a su posición respecto a la sierra más cercana, en algunas partes se aprecian espesores de hasta 400 m. Se reconoce esta formación en los alrededores de Mixcoac, en la región de Tula- Ixmiquilpan y al norte del Valle del Mezquital, Hidalgo; así como en el área del Tajo de Nochistongo, Estado de México. En las faldas de las sierras que circundan a la Cuenca de México se depositaron abanicos aluviales y lahares, intercalados con capas de pómez, ceniza, suelo, grava y arena de origen fluvial; a todo este complejo volcano-sedimentario se le conoce como formación Tarango. (Juárez-Arriaga, 2006).

Debido a que las capas inferiores de la formación Tarango sobreyacen y, en algunas partes, están intercalados con los derrames de la secuencia volcánica de la Sierra de las Cruces, se le asigna una edad del Plioceno Superior. Además, las cenizas de esta

formación están en contacto con las primeras emisiones volcánicas de la Sierra de Chichinautzin, por tanto, la secuencia superior de la formación Tarango es del Plioceno-Pleistoceno. Los depósitos sobreyacen discordantemente a rocas carbonatadas del Cretácico, y también a rocas volcánicas del Paleógeno- Neógeno (Cervantes-Medel y Armienta, 2004).

Los eventos que dieron origen a la composición de la formación Tarango se describe a continuación:

Los depósitos más antiguos corresponden a una secuencia superior de tobas amarillas que se encuentran separadas por paleosuelos con contenido de ceniza pumítica producto de avalanchas de nubes ardientes que rodean el domo del Cerro del Judío apareciendo de nuevo hacia el norte de Toluca. Sobre esta secuencia hay un importante flujo Piroclástico que se caracteriza por tener abundante pómez arrancada de la chimenea volcánica (Cuquita), producto de una violenta erupción que rodeó a los cerros de Chapultepec, Zocaltepetl y Zacayucan. (Remigio, 2013).

Posteriormente, se presentaron explosiones plinianas que se compone de tres capas de pómez que se encuentran separadas por paleosuelos lo que comprueba su separación en tiempo. Un nuevo ciclo de erupciones violentas de flujos piroclásticos riodacíticos (Flujos Xolopo) constituido por clastos micro pumíticos, estos afloran en una loma del norte de la carretera de Toluca (Remigio, 2013).

Finalmente, un último ciclo eruptivo hace 300 mil años, de flujos piroclásticos dacíticos que se extienden en parte al río Hondo, Tacubaya, Mixcoac y San Ángel, formaron parte de las erupciones con la destrucción del cono superior en la cima del escudo-volcán San Miguel. Durante el curso de la actividad surgieron erupciones de cenizas de color azul oscuro, después de cenizas color rosa en apariencia fumarolizadas, a éstas se nombraron “Arenas Azules” que son altamente solicitadas en la industria de la construcción (Remigio, 2013).

Considerando la compleja morfología del Poniente de la Ciudad y la composición de la formación Tarango se infiere una superposición de diferentes abanicos volcánicos. Debido a esta condición se dividió a la formación Tarango en dos: Tarango Inferior que es la que representa la acumulación de piroclastos cineríticos y pumíticos con contenido de lahares con fragmentos andesíticos ligada a la formación de una gran caldera donde se produjeron erupciones de pómez y piroclastos de andesita azul, que representan un periodo prolongado de tectonismo y erosión cortada en barrancas profundas dirigidas al NE. Tarango Superior, constituida por las capas de pómez que cubrieron la topografía a grandes distancias; los piroclastos rellenaron las barrancas profundas, principalmente en Santa Fe, con lahares potentes que constituyen las minas de Arenas Azules (Remigio, 2013).

La formación Tarango se compone de la superposición de varios abanicos volcánicos, que alcanzan espesores de 300 a 400 m. Por lo general, cada abanico corresponde a la vida activa de un volcán (Pérez-Ortiz, 2004). En la Figura 14, se presenta la columna estratigráfica de la formación Tarango.

	ESPESOR PROMEDIO [m]	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
S U P E R I O R	VARIABLE	S-To	Suelos Tototzingo, color oscuro con alto contenido de materia orgánica
	VARIABLE	S-Ta	Suelos Tacubaya, color pardo claro con bandas de Caliche.
	0.50	Ap-G-Ar	Arena Pumítica de grano grueso muy arcillosa e intemperizada.
	VARIABLE	S-Ta	Estos suelos son residuales de Tobas areno arcillosas.
	2.50- 10.00	Lh	Lahares compuestos por aglomerados bien compactados de clastos andesíticos principalmente, subredondeados a subangulosos, emplazados en una matriz muy escasa, sin embargo en las inmediaciones de los aparatos volcánicos estos depósitos presentan una matriz arenosa, su color es gris oscuro mal clasificado, presentando arena gruesa, boleos y bloques.
	10.00	Ag-D	Agglomerados de clastos generalmente subangulosos de composición dacítica, emplazados en una matriz areno-limosa de la misma composición.
	0.70	A±D	Toba arcillo-limosa color pardo oscuro, compacta con clastos dacíticos.
	1.50	Ap-G	Arena Pumítica de grano grueso color pardo claro muy disgregable de compactad baja y solo en su base presenta matriz arcillosa.
	1.50	Ar-P	Toba arcillo-limosa color pardo oscuro, bien compacta con clastos pumíticos y fósiles.
	2.50	Ap-M	Arena Pumítica de grano medio bien clasificada y disgregable con lineaciones de arcilla, sin matriz y un espesor muy constante. <u>Horizonte Explotable</u> .
I N F E R I O R	1.50	IU	Toba areno-limosa mal clasificada color pardo claro, compacta con clastos de pumitas.
	1.30	Ap-Ar	Arena Pumítica ligeramente compacta con matriz arcillosa, regularmente clasificada de grano medio y grueso.
	15.00	To	Toba areno-limosa mal clasificada con clastos de Andesitas, pumitas, dacitas, la composición de la matriz es ácida, color rosáceo (arenas rosas).
	1.00	Ap-Inf	Arena pumítica mal clasificada, contaminada de arcilla con intercalaciones de tobas rosadas.
	20.00	Ag-V	Agglomerados volcánicos mal clasificados con clastos subangulosos y subredondeados de composición volcánica variable y bien compactados.

Figura 14. Columna estratigráfica de la formación Tarango en la Ciudad de México (tomado de Lugo-Hub et al, 1995).

Los depósitos de la formación Tarango se generaron en el Plioceno, donde el clima era árido, lo que explica la ausencia de flora fósil. Por otra parte, este clima se puede confirmar debido a la escasez de depósitos fluviales en su conjunto estratigráfico.

Hacia fines del Plioceno se formaron en las barrancas de las lomas, gruesos depósitos fluviales correlacionables con la formación Clástica Aluvial del relleno de la Cuenca de México (Pérez-Ortiz, 2004).

4.4 Secciones geológicas de la Zona Poniente de la Ciudad de México

En la Figura 15 se puede apreciar una sección de la ciudad de México orientado este-oeste. A grandes rasgos se observa la geometría y posición de las arcillas superiores poco consolidadas, una capa dura, las arcillas inferiores consolidadas, los depósitos profundos de la cuenca y debajo la formación Tarango.

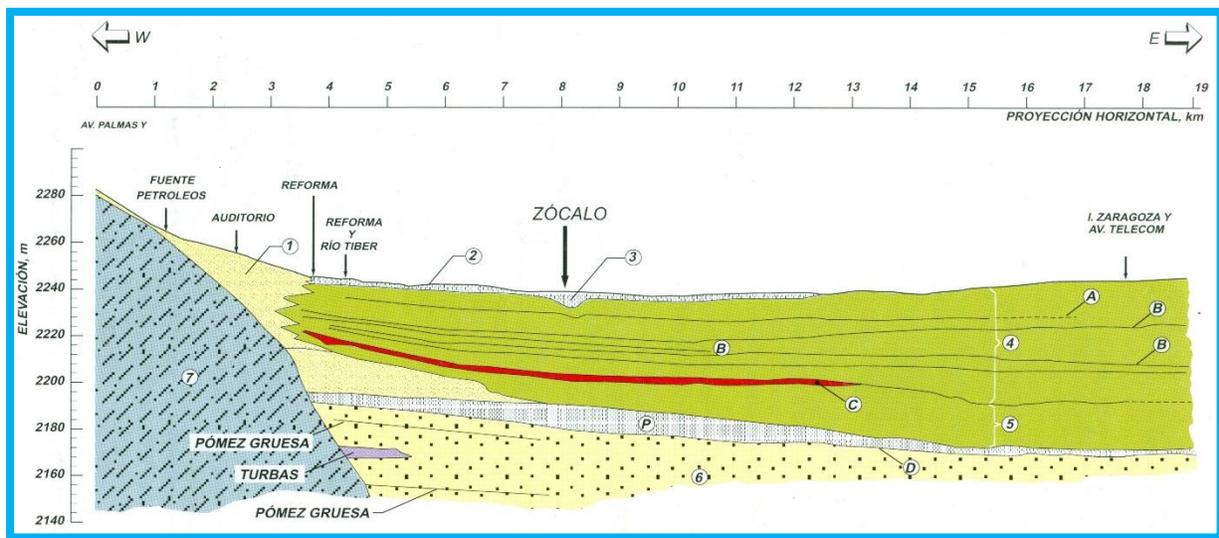


Figura 15. Sección geológica de la Cuenca dirección W-E. Secuencia pleistocénica de la Ciudad (tomado de Santoyo et al., 2005).

1. SUELOS DE PRADERA (Qa1)
2. Costra superficial y relleno.
3. Hundimiento bajo el Templo Mayor y Catedral.
4. Serie lacustre superior: Arcillas blandas.
5. Seria lacustre inferior: Arcillas consolidadas.
6. Depósitos profundos.
7. Formación Tarango.
 - a. Ceniza negra a 10 m
 - b. Cenizas volcánicas
 - c. Capa Dura
 - d. Depósitos profundos

Al Poniente se observa la formación Tarango en color azul; dicha formación la podemos encontrar aproximadamente a los 20 m de profundidad en la zona de estudio (Chapultepec). La inestabilidad de los suelos en el área de Chapultepec debe principalmente a la litología, como se aprecia en la Figura 15. Chapultepec se localiza sobre la zona de transición entre los depósitos lacustres y la formación Tarango y, por lo tanto, los depósitos en la zona de transición tienen una consolidación pobre debido a la variedad litológica que la compone. Siguiendo la sección hacia el centro de la ciudad (Avenida Reforma) se intercalan diferentes series lacustres que se prolongan y se engrosan hacia el Oriente. Aproximadamente, desde la Avenida Reforma y hasta Economía (salida al aeropuerto) se localiza una de las capas duras a una profundidad promedio de 40 m y a una altitud de 2200 msnm. Por debajo de la serie lacustre inferior a unos 2000 msnm encontramos los depósitos profundos.

La sección anterior nos permite apreciar a grandes rasgos la estratigrafía del subsuelo de la Ciudad de México en una orientación Oeste-Este; sin embargo, el nivel de detalle no es lo suficiente para conocer con claridad la estructura del subsuelo del Bosque de Chapultepec. Con la finalidad de realizar un análisis más a detalle, se proyectó la realización de dos secciones geológicas tomando de base la perforación de pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H., hoy llamado Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX). La realización de las dos secciones requirió de la visita a los pozos de agua, análisis de la estratigrafía y comprobación de los datos reportados.

Los pozos de agua utilizados para la elaboración de las dos secciones geológicas presentan la siguiente nomenclatura: 11, 33, 34, 37, 56, 76, 77, 79, 93 y 253 (números asignados por el SACMEX).

Mediante una investigación a detalle, se consultaron diferentes estudios y compendios para obtener información acerca de los pozos de agua, con el fin de identificar la ubicación de cada uno y sus principales características. La investigación se llevó a cabo revisando y analizando estudios relacionados con la piezometría y el censo de los

pozos de agua potable en la Zona Poniente de la Ciudad de México; de otra forma, resultaría casi imposible obtener la información debido a la urbanización de la zona.

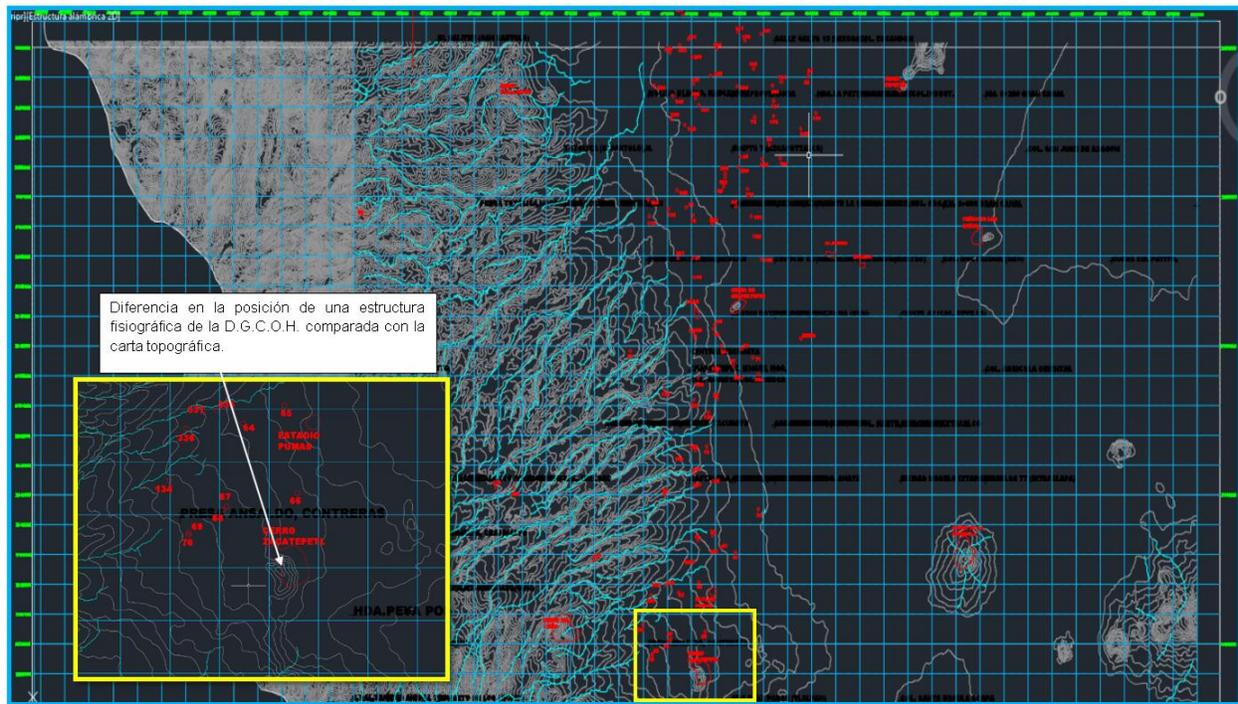


Figura 16. Vista de mapa trabajado en CAD (realizado en Autodesk AutoCAD versión 2015).

Cada uno de los pozos fueron ubicados en un archivo CAD (Autodesk AutoCAD versión 2015), tomando como base una sección de la carta topográfica del área. Posteriormente, se observó que existía una diferencia entre la información investigada en la D.G.C.O.H. y la localización de los pozos de interés. Al momento de realizar la superposición en capas sobre la base topográfica de algunas estructuras fisiográficas de los mapas de la D.G.C.O.H., se aprecia una marcada diferencia en la posición geográfica. Debido a esto (una posición inexacta), se procedió a verificar la ubicación real de los pozos de interés.

Los datos de la comprobación de la ubicación de cada pozo se detallan en el anexo 1. Cabe aclarar que del pozo 93 fue imposible comprobar su localización exacta, debido a que se ubica dentro de la zona de Los Pinos. Las coordenadas empleadas para el pozo

93 son las determinadas por medio de los datos obtenidos de las cartas de la D.G.C.O.H. y el software de Google Earth.

La siguiente tabla muestra una síntesis de los datos obtenidos en campo.

POZO	NOMBRE	DELEGACIÓN	Coordenadas geográficas		Coordenadas UTM		Altitud	Coordenadas UTM verificadas		
			LAT	LONG						
11	ALAMEDA TACUBAYA	MIGUEL HIDALGO	19°24'4.46"N	99°11'6.19"O	14 Q 480570	2145235	2265	-----	-----	-----
33	CAMPOS ELÍSEOS	MIGUEL HIDALGO	19°25'42.00"N	99°12'2.36"O	14 Q 478936	2148235	2259,258	14 Q 0479001	2148034	2260
34	CASA AMARILLA	MIGUEL HIDALGO	19°24'26.83"N	99°11'23.48"O	14 Q 480067	2145923	2260,088	14 Q 0480080	2145604	2260
37	CEDROS Y MOLIERE	MIGUEL HIDALGO	19°26'4.06"N	99°12'6.05"O	14 Q 478829	2148913	2259,461	14 Q 0478879	2148708	2259
56	HORMIGA	MIGUEL HIDALGO	19°24'57.46"N	99°11'35.32"O	14 Q 479723	2146865	S/R	14 Q 0480114	2146897	-----
76	PIRULERA	MIGUEL HIDALGO	19°26'51.30"N	99°12'5.10"O	14 Q 478858	2150365	S/R	14 Q 0478903	2150169	2265
77	LEGARÍA	MIGUEL HIDALGO	19°26'59.19"N	99°12'14.88"O	14 Q 478573	2150608	2271,387	14 Q 0478622	2150413	2271
79	LOMAS DE CHAPULTEPEC	MIGUEL HIDALGO	19°24'20.71"N	99°13'36.15"O	14 Q 476197	2145740	2278,667	14 Q 0476213	2145736	2401
93	MOLINO DEL REY	MIGUEL HIDALGO	19°24'58.89"N	99°11'36.50"O	14 Q 479688	2146909	2270,851	IMPOSIBLE CONFIRMAR	IMPOSIBLE CONFIRMAR	-----
253	TOTOLAPA	CUAJIMALPA	19°21'52.43"N	99°16'30.29"O	14Q471111	2141189	S/R	14 Q 0471497	2141526	2643

Tabla 1. Localización de los pozos de agua potable seleccionados. SACMEX (año de elaboración: 2015).

La elaboración de las secciones geológicas A-A' y B-B', se basó en la investigación y análisis a detalle de la información estratigráfica de los pozos de agua potable a cargo del SACMEX.

En el mapa topográfico local se aprecia la localización de las dos secciones geológicas elaboradas (ver Figura 17).

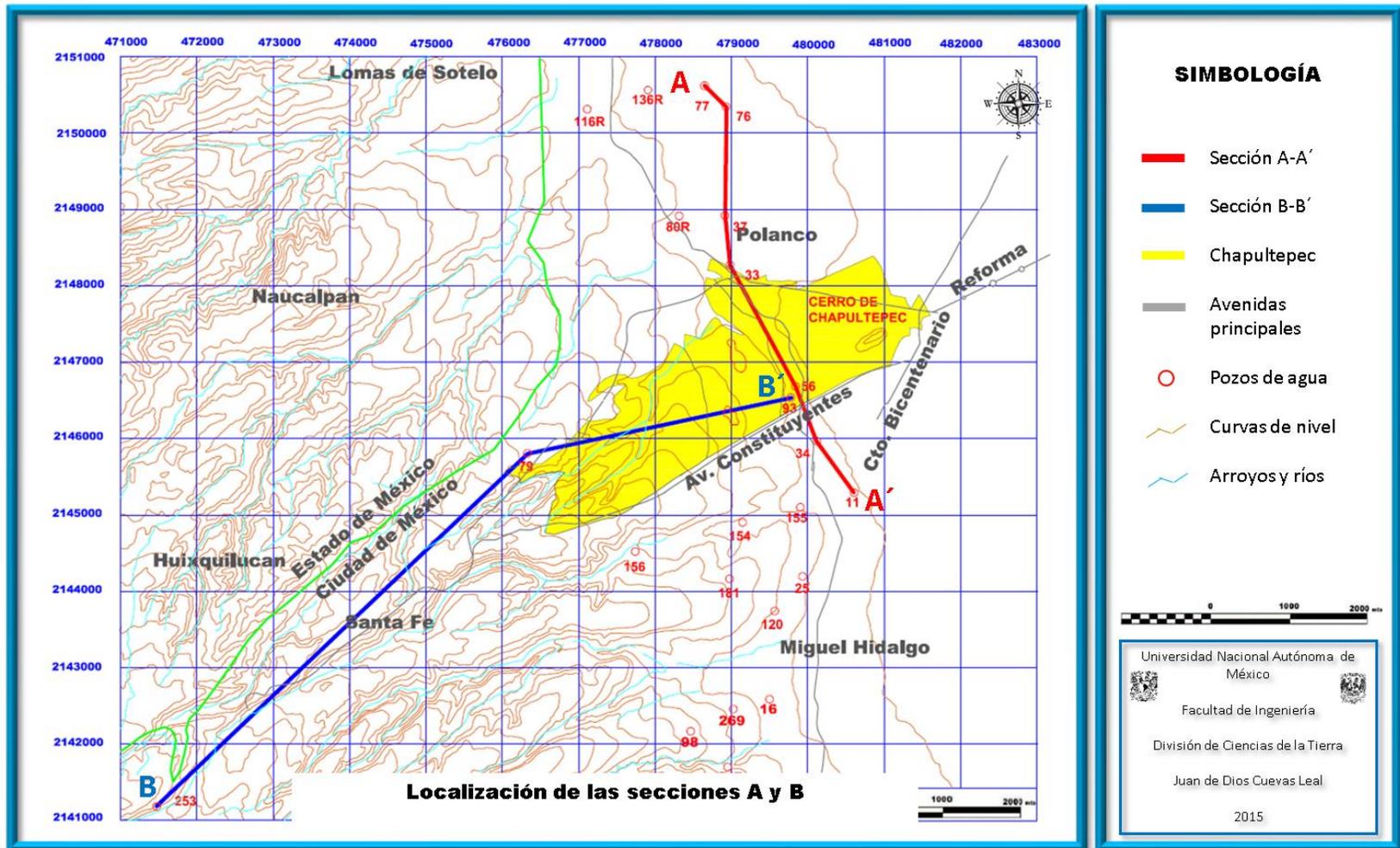


Figura 17. Ubicación de la Sección A (en color rojo) y la Sección B-B' (en color azul) en mapa con topografía.

La sección A-A' sigue una trayectoria semejante a los límites de la zona de transición entre los depósitos lacustres y la formación Tarango, mientras que la Sección B-B' sigue la trayectoria general de la formación Tarango.

En la sección A-A' se identificaron capas de arcillas lacustres, con un espesor promedio es de 10 m y conforme nos dirigimos hacia el centro de la ciudad, la capa de arcilla incrementa su espesor hasta un 50% (como lo comprueba el pozo 77); esto se debe a que nos alejamos de los límites de la Sierra de las Cruces y nos empezamos a adentrar a la zona del antiguo lago que cubría la mayor parte de la Ciudad de México (Figura 18). En la periferia del lago se acumulan los materiales de granulometría del tamaño de arenas y gravas, mientras que hacia el centro del lago se acumulan los depósitos más finos como limos y arcillas. Los ríos que descendían de las sierras circundantes depositaron materiales muy diversos al confluir en el lago. La parte central de la cuenca se fue llenando con acarreos limo-arenosos, limo-arcillosos y emisiones de cenizas y pómez provenientes de los volcanes del sur. Al pie de las sierras y por el brusco cambio de pendiente de los ríos, se localizan grandes depósitos aluviales de composición muy variable y estratificación cruzada o lenticular, evidencia de una dinámica erosiva debido a periodos de lluvia intensa. (Días-Rodríguez, 1992). En la sección geológica de la Cuenca (dirección W-E) realizada por Santoyo y colaboradores (Figura. 15) apreciamos que los depósitos lacustres se intercalan con los aluviales en la zona de la Avenida Reforma a la altura del Bosque de Chapultepec; en esta área encontramos los materiales con granulometría mayor, mientras que los materiales con granulometría menor, como limos y arcillas, se concentran en mayor volumen hacia el centro del antiguo lago (hacia el oriente de la Ciudad de México). Lo anterior se comprueba con el análisis de la sección A-A' (ver Figura 18 y 19) donde se muestran intercalaciones de diferentes litologías y cambios bruscos en la composición y granulometría en pocos metros, por lo que la cimentación de obras civiles es todo un reto. La concentración de arcillas no es homogénea y en las partes altas de la sección geológica A-A' observamos que disminuye el espesor de la capa dura e incluso desaparece hacia el poniente.

Los depósitos aluviales se componen principalmente de arena de tamaño medio-fino con arcillas (resultado de la erosión de las rocas volcánicas de la Sierra de las Cruces

principalmente). También encontramos grandes lentes de arena con grava a partir de los 12 m de profundidad, situación que llamó la atención de los habitantes de esta zona para explotar minas de arena sin una planeación y que en la actualidad representa un problema serio para las construcciones civiles.

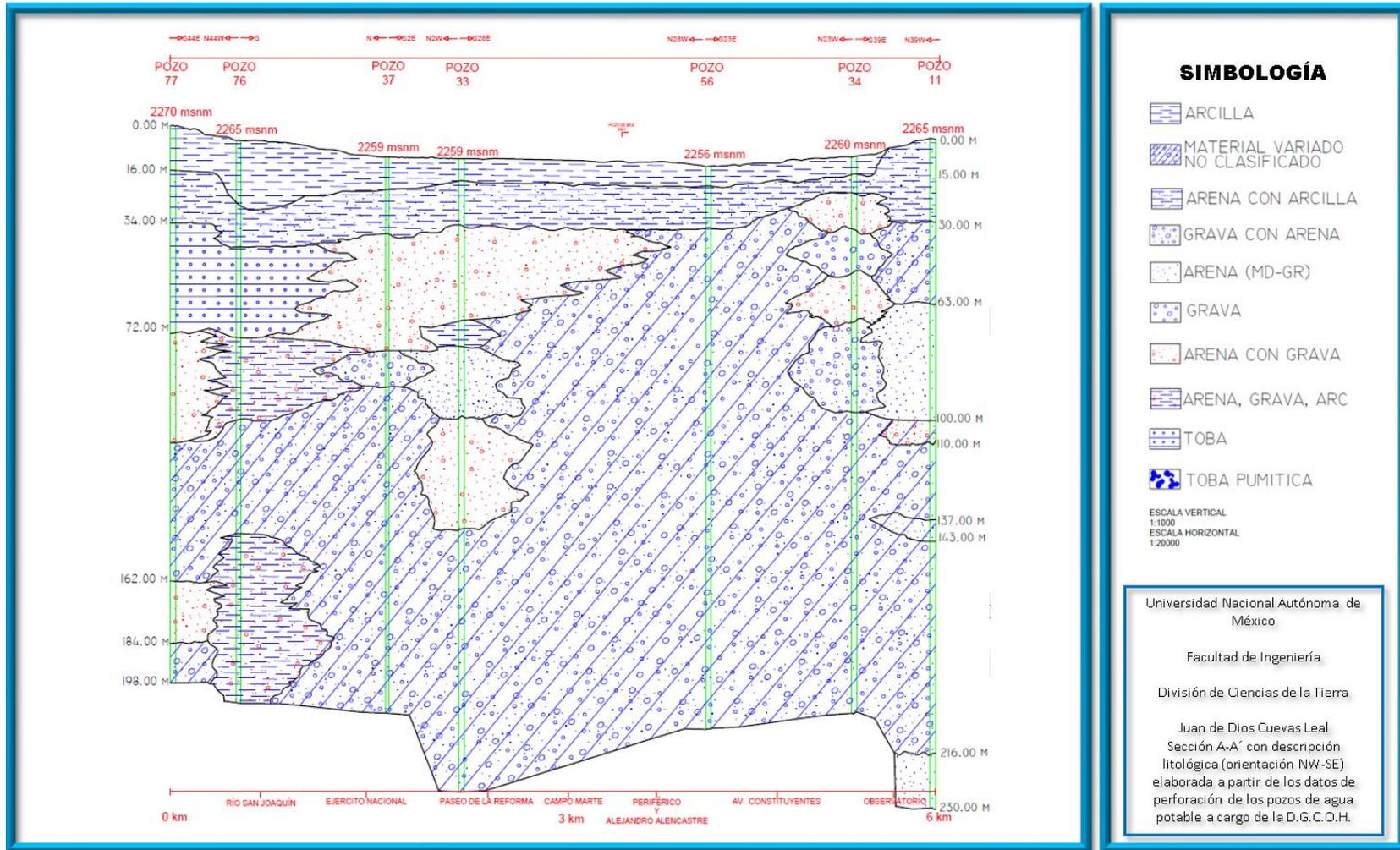


Figura 18. Sección A-A' con descripción estratigráfica (orientación NW-SE). Elaborada a partir de los datos de perforación de los pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H., 2015.

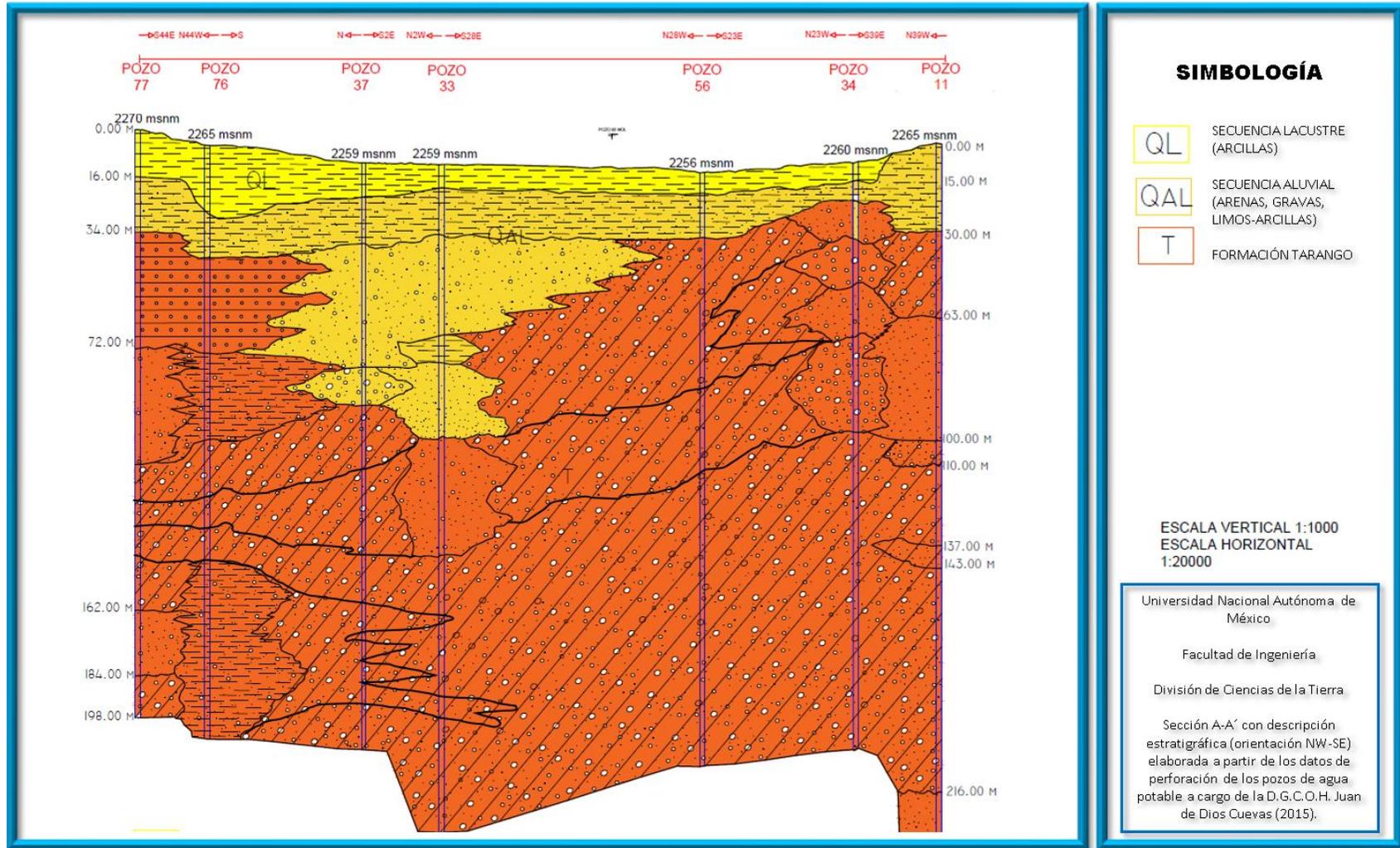


Figura 19. Sección A-A' con descripción de formaciones estratigráficas (orientación NW-SE) elaborada a partir de los datos de perforación de los pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H., 2015.

La sección geológica A-A´ nos permite apreciar la intercalación entre los depósitos aluviales y los lacustres. Existen zonas, como muestra el Pozo 37 (a la altura de Cedros y Moliere, Miguel Hidalgo) en donde a una profundidad de 80 m aproximadamente, aún encontramos evidencia de los depósitos aluviales (posible barranca antigua) en donde se aprecia un relleno mixto de arena, arena con grava, grava con arena, lentes de arcillas y posibles lentes limo-arcillosos; todo lo anterior consecuencia de una fuerte erosión de zona de las Lomas. Por debajo de los depósitos aluviales se localiza la formación Tarango en la cual podemos apreciar la gran cantidad de piroclásticos y su variada composición estratigráfica. La formación Tarango muestra en la parte superior, grandes capas de arena, arena con arcilla y grava con arena, situación que se aprovechó para la explotación de materiales para construcción. Como se aprecia en la Figura 19, en la formación Tarango predomina un material granular no clasificado con intercalaciones importantes de arena con arcilla. El pozo 76 indica que a los 150 m de profundidad aproximadamente, se localiza un lente de arena con arcilla que se extiende 1 km aproximadamente y profundiza pasando los 200 m (ver Figura 19).

Los pozos de la sección A-A´ presentan evidencia de la interacción entre los depósitos lacustres, la formación Tarango (material mixto no clasificado con lentes de arena-grava) y los depósitos aluviales. Al avanzar hacia el sur (de la sección A-A´) los estratos de los depósitos aluviales cambian de espesor e incluso se presentan en forma de lentes o capas delgadas (adecuándose al relieve de la zona) mientras que el espesor de los estratos que conforman la formación Tarango incrementa.

Conforme avanzamos hacia el Poniente y considerando la sección geológica B-B´ observamos que hay capas de arena con grava, cuyo espesor varía de algunos centímetros hasta 25 m. Por debajo de esta capa, encontramos capas de gran espesor de material mixto no clasificado intercalado con capas de arena, arena con grava y tobas. En la Figura 20, se muestra que en el Pozo 79 (Lomas de Chapultepec) encontramos una capa de arcillas que afloran a lo largo de 2 km aproximadamente, esta capa se debe probablemente a una depresión.

El corte estratigráfico de la sección geológica B-B´ en su extremo poniente (Pozo 253 Totolapa) presenta estratos de material mixto no clasificado y tobas uniformes con

delgadas capas de arena, pero al aproximarnos hacia el Oriente, observamos que comienzan a intercalarse con materiales variados en composición y granulometría; por ejemplo, los estratos de conglomerados cuyo espesor es alto (entre 80 y 100 m) se van acuñaando, conforme se aproximan al Pozo 93 (Molino del Rey) y se empiezan a intercalar con capas de arena, arena con grava y toba pumítica, indicio de que nos estamos acercando a la zona de transición, donde los materiales encontrados presentan evidencias de la interacción entre los depósitos lacustres y aluviales.

Con la estratigrafía a detalle de las secciones geológicas A-A' y B-B', se realizó la columna estratigráfica de la zona de estudio que se muestra en las Figuras 20 y 21.

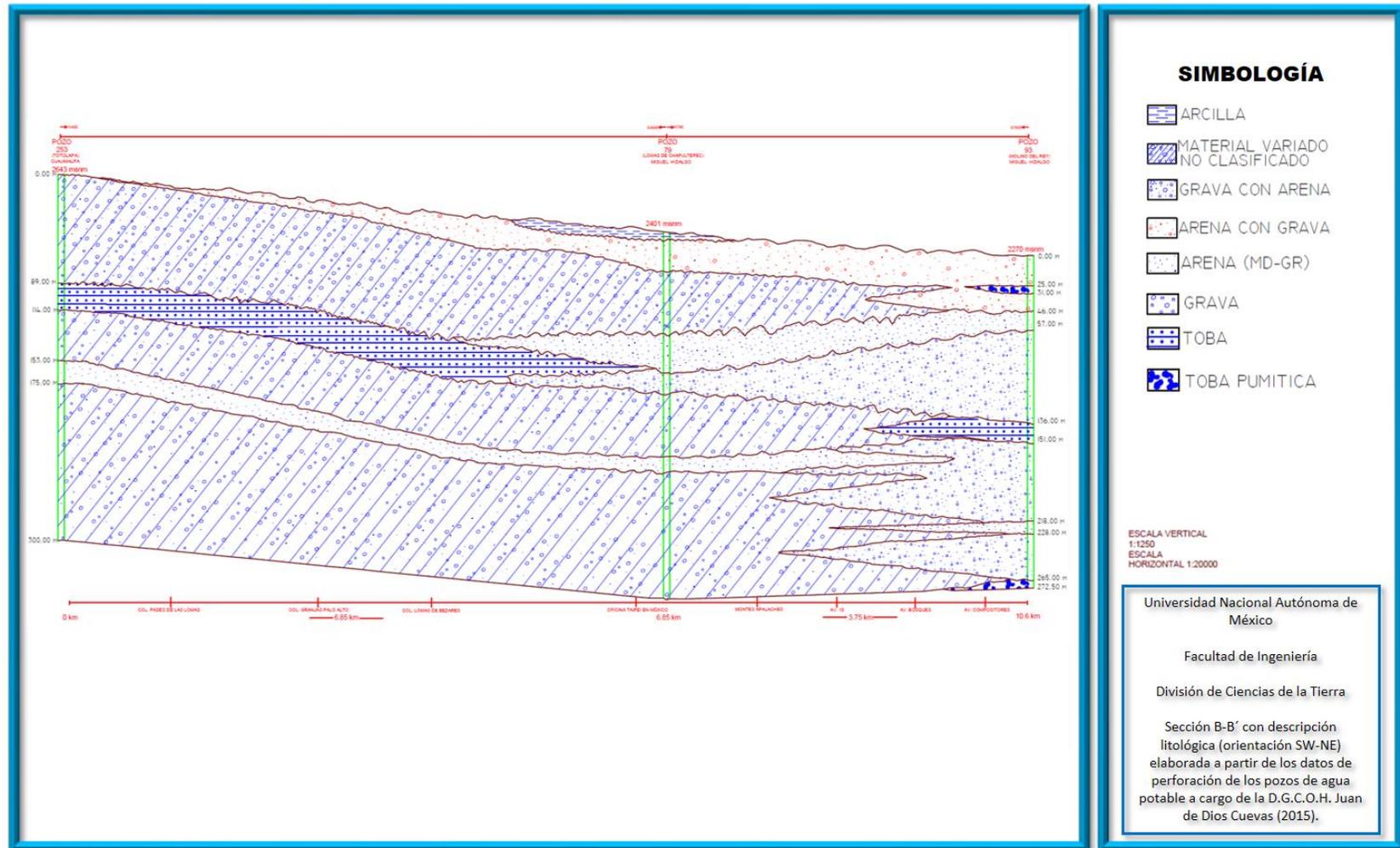


Figura 20. Sección B-B' con descripción estratigráfica (orientación SW-NE) elaborada a partir de los datos de perforación de los pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H.. 2015.

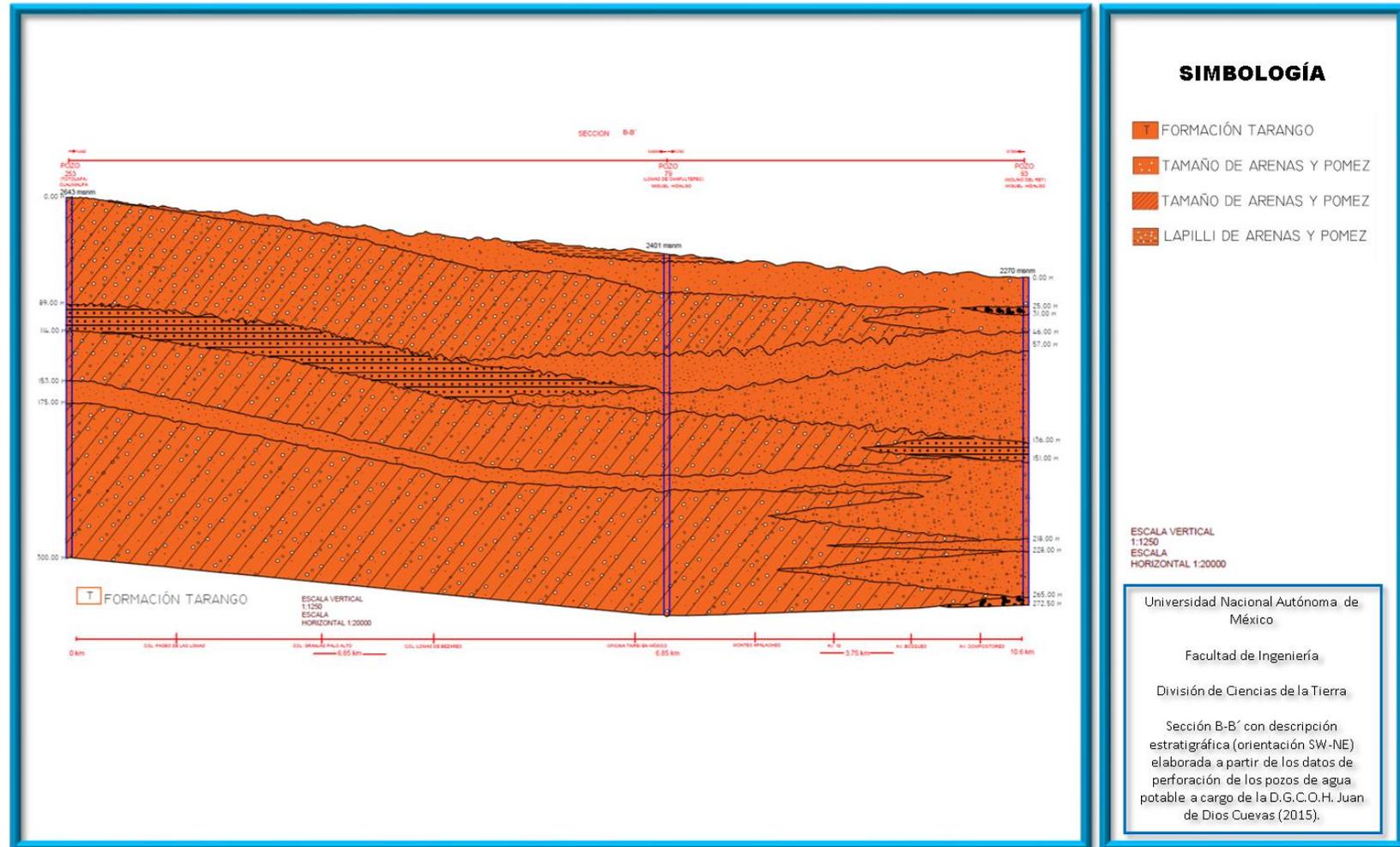


Figura 21. Sección B-B' con descripción de granulometría (orientación SW-NE) elaborada a partir de los datos de perforación de los pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H., 2015.

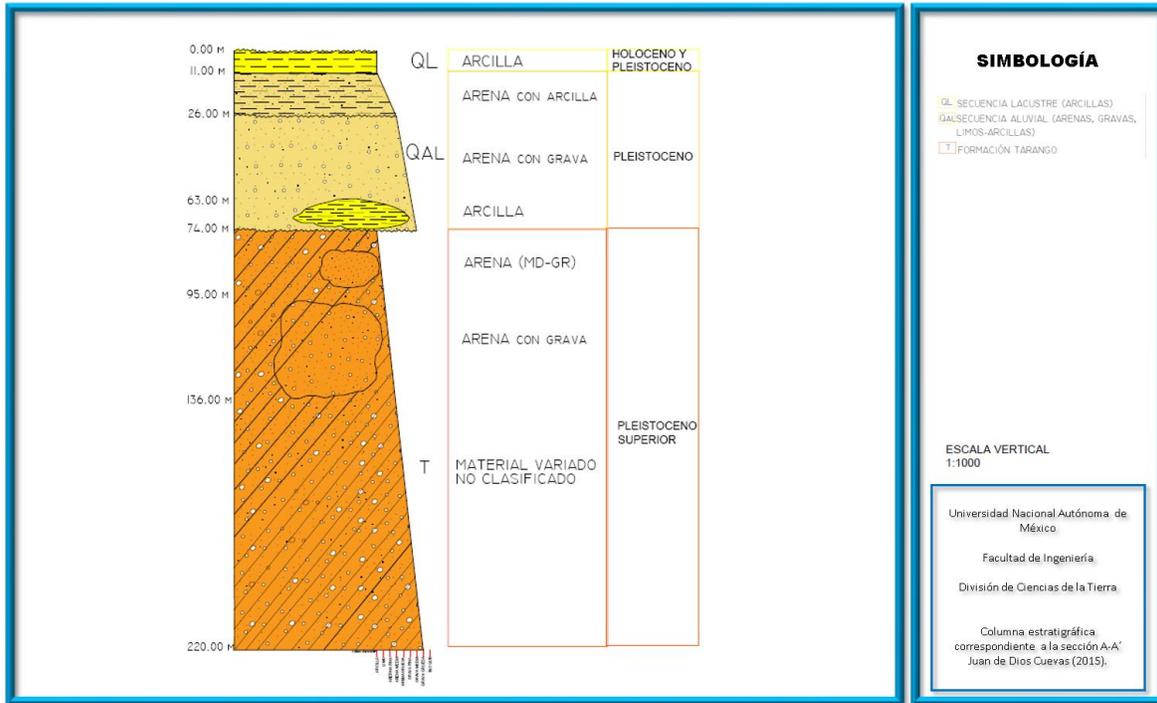


Figura 22. Columna estratigráfica correspondiente a la sección A-A'.

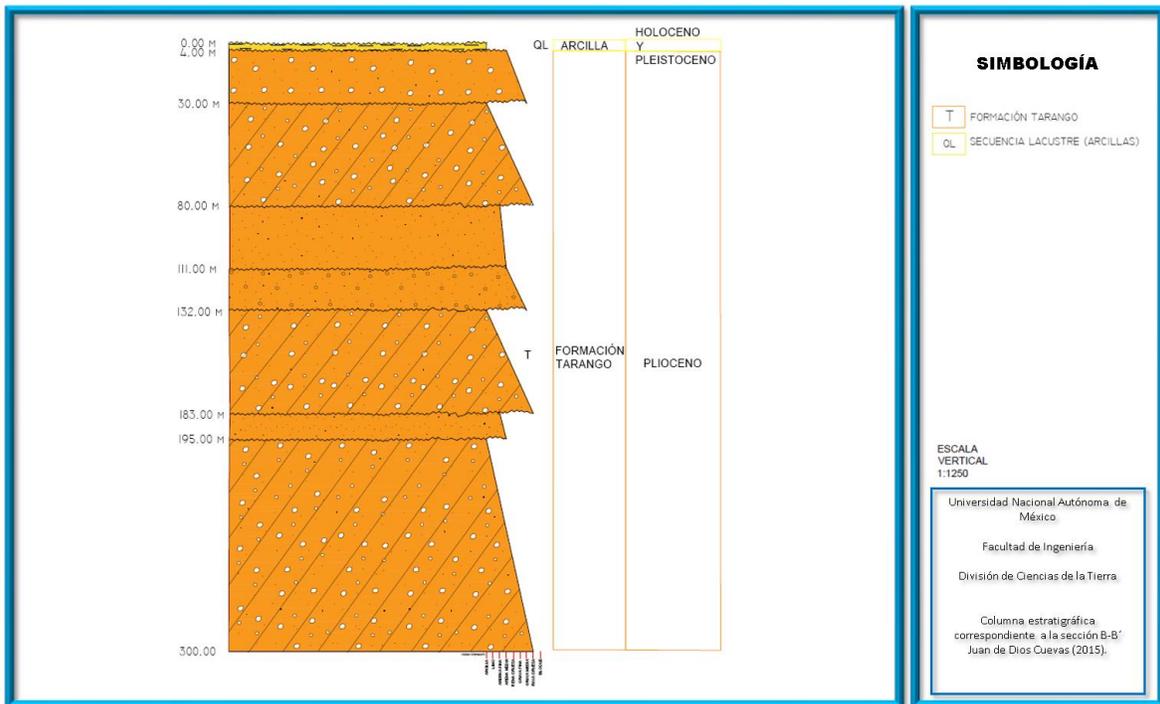


Figura 23. Columna estratigráfica correspondiente a la sección B-B'.

En general, el relleno superior se compone de arcillas lacustres mientras la parte inferior se compone de clásticos derivados de la erosión de la Sierra de las Cruces. Intercalando a estas formaciones, encontramos capas y lentes de ceniza y estratos de pómez resultado de erupciones volcánicas. También encontramos paleosuelos y tobas, los cuales nos dan un indicio del clima que predominaba durante su formación. Hay suelos amarillos, productos de ambientes fríos; castaños o rojizos, productos de ambientes templados a subtropicales (Mooser, et al., 1986).

Los sedimentos lacustres de la ciudad se clasifican como altamente compresibles a causa de que el contenido de agua es mayor a 400%, el índice de plasticidad excede 300% y el índice de compresión C_c puede llegar a un valor de 10, cuando en la mayoría de los suelos es menor a 1 (Días-Rodríguez, 1992). Los depósitos lacustres se componen principalmente de depósitos de arcillas altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m (GDF, 2004). En la sección geológica A-A' se aprecia un espesor de los depósitos lacustres de 10 m en promedio; esto se debe a que nos encontramos sobre la zona de transición, donde los depósitos lacustres son de menor potencia comparado con el centro de la Ciudad de México.

El hundimiento de la ciudad de México fue determinado por el Ingeniero Gayol en 1891, mediante mediciones se encontró que la velocidad del hundimiento variaba entre 3 a 5 cm/año. En 1947 las velocidades habían aumentado de 15 a 30 cm/año, y actualmente se tiene una velocidad de 5 a 7 cm/año para la zona de transición. En algunos lugares de la Ciudad de México se presentan asentamientos de la superficie del terreno, lo que provoca fisuras y grietas, como se evidencia en la zona Oriente (Días-Rodríguez, 1992).

4.5 Análisis estructural de la Zona Poniente de la Ciudad de México

En el análisis del fracturamiento escala 1:50,000 nos muestra a cuatro familias de fracturas de origen tectónico. La primera familia de fracturas presenta una dirección principal con tendencia NE45°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE45°NW. La segunda familia de fracturas tiene una dirección principal de NE55°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE35°NW. La tercera familia presenta una dirección preferencial NE65°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE25°NW. La cuarta familia de fracturas tiene una dirección preferencial NE75°SW y un esfuerzo tensional en dirección SE15°NW (González, 2014), como se muestra en la Figura 24.

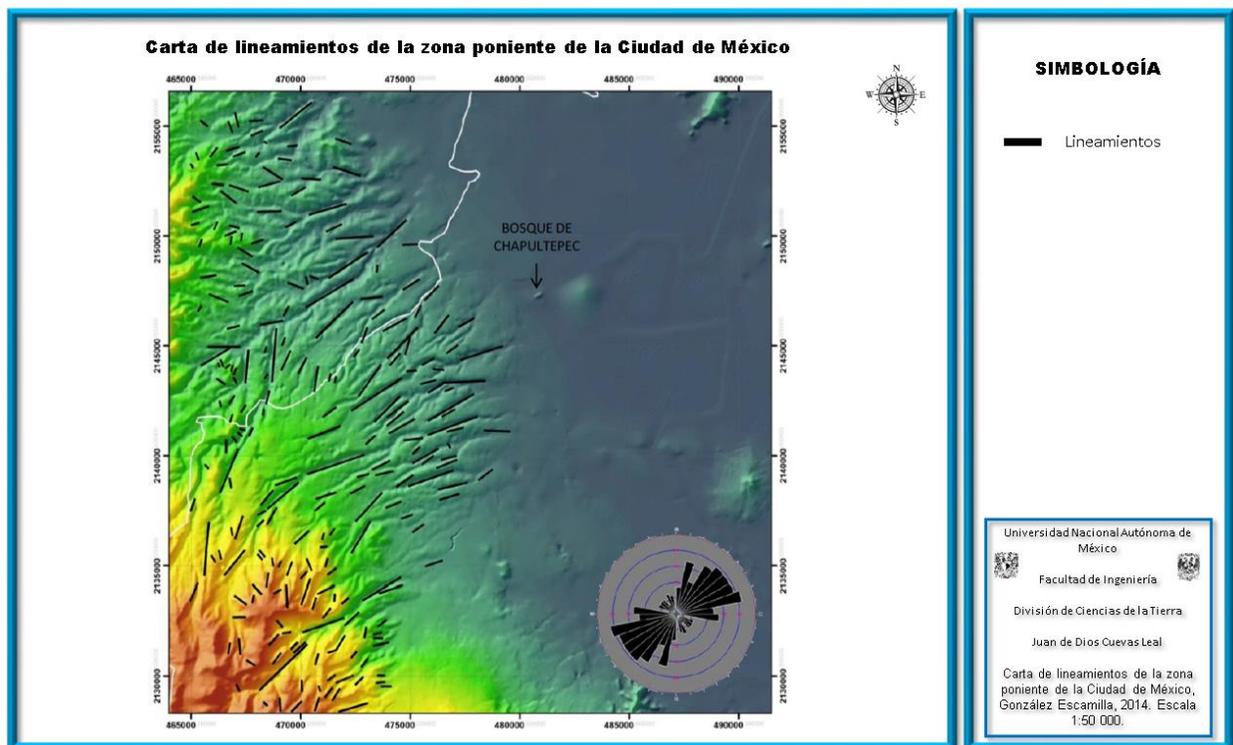


Figura 24. Carta de lineamientos de la zona poniente de la Ciudad de México. Escala 1:50 000 (González, 2014).

En el área denominada Las Lomas de Chapultepec se identificaron dos familias principales de fracturas de origen tectónico. La primera familia de fracturas con una dirección preferencial NE45°SW y con un esfuerzo tensional SE45°NW. La segunda

familia presenta una dirección principal NE75°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE15°NW. En menor proporción encontramos otras familias de fracturas con ausencia de orientación preferencial, esto indica que el origen de estas fracturas son los hundimientos diferenciales del terreno (González, 2014).

Hacia la región de Santa Fe se identificó una familia de fracturas con dirección preferencial NE55°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE35°NW. También existen otras familias de fracturas, pero con ausencia de orientación preferencial, lo que nos puede indicar un origen por hundimientos diferenciales de la superficie (González, 2014).

Al sur del Bosque de Chapultepec, en el área de Mixcoac se identificaron dos familias de origen tectónico. La primera familia de fracturas con una dirección preferencial NE65°SW y un esfuerzo tensional con orientación SE25°NW. La segunda familia de fracturas presenta una dirección preferencial SE85°NW y el esfuerzo tensional en dirección NE5°SW. De la misma manera, dentro de esta zona se identifican otras familias de fracturas menos frecuentes y cuyo origen se debe a hundimientos diferenciales del terreno. (González, 2014).

El origen de la Sierra de las Cruces se nota afectado por fallas cuya orientación es E-NE, lo que se manifiesta en alineaciones de conos cineríticos. Su estructura se asemeja a la sierra de Chichinautzin y a la Sierra Nevada, lo que nos indica que las tres grandes sierras tienen una tectónica contemporánea (Plioceno Superior, Pleistoceno y Reciente) (González, 2014).

5. Geología de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec

5.1 Marco geológico de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec

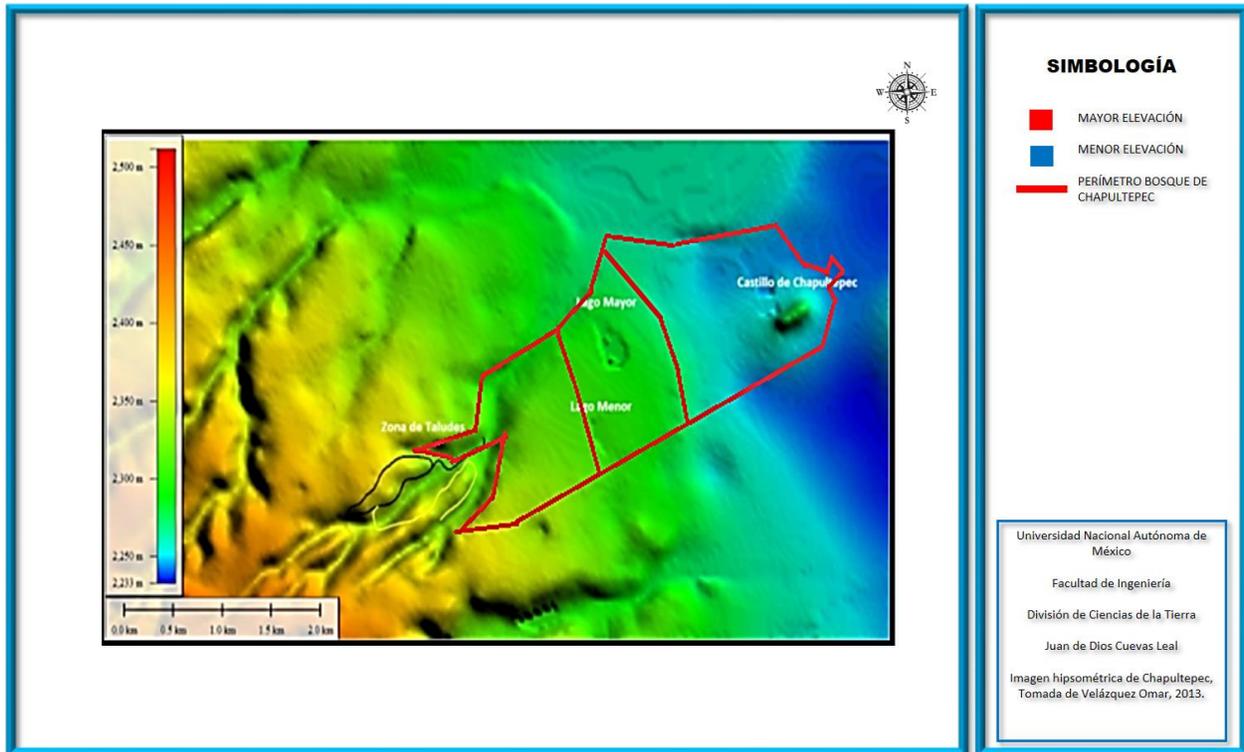


Figura 25. Imagen hipsométrica de Chapultepec (tomado de Velázquez, 2013).

Por medio de un mapa hipsométrico se muestra la ladera oriental de la Sierra de las Cruces en donde se localiza las Lomas de Chapultepec (ver Figura 25). La porción en tono azul marino representa en nivel de los depósitos lacustres del antiguo lago que cubría la mayor parte de la Ciudad de México; se observa un relieve plano, con una prominencia que sobresale (Cerro de Chapultepec). Al poniente, el relieve se hace más abrupto mostrando una serie de barrancas; mientras que la elevación se incrementa (zona de color amarillo-naranja). El Bosque de Chapultepec se localiza en la zona de transición entre los depósitos lacustres y la formación Tarango, condición que ha propiciado una serie de fracturas y hundimientos diferenciales en el subsuelo, lo que a su vez ha provocado inestabilidades y daños en las obras civiles distribuidas en el Bosque de Chapultepec.

El Bosque de Chapultepec es un icono de la Ciudad de México y su adaptación como centro de esparcimiento recreacional data desde antes de la Conquista Española.

El Bosque de Chapultepec se localiza en los límites de lo que denominamos zona de lomas, las cuales se elevan al poniente de la Ciudad de México y constituyen los abanicos volcánicos de la Sierra de las Cruces. Comprenden la potente acumulación de materiales piroclásticos que se depositaron a los pies de distintos aparatos volcánicos durante la vida explosiva de estos. Se ha propuesto que tal actividad se haya desarrollado a partir de finales del Mioceno extendiéndose hasta finales del Plioceno. Los citados abanicos volcánicos contienen productos de la misma edad. Midiendo en la escala absoluta entre 10 y 5 millones de años antes del presente (Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 1976).

Para realizar una clasificación del Bosque de Chapultepec se debe considerar su origen, evolución, edad y los procesos exógenos y endógenos presentes. Para la delimitación de estas unidades geomorfológicas del Bosque de Chapultepec, se consideran cuatro aspectos del relieve: Tipo de relieve, origen, edad y clase geométrica (Enríquez, 2012).

Considerando lo anterior, se han clasificado ocho unidades geomorfológicas del Bosque de Chapultepec; se encuentran enlistadas de forma decreciente respecto a la superficie que cubren (Enríquez, 2012).

1. Superficies cumbrales de pie de monte volcánico. Esta es la que domina en cuestión de superficie, se genera durante el Cuaternario y es de origen exógeno. Los depósitos se incluyeron dentro de la formación Tarango constituida por flujos piroclásticos de composición intermedia a ácida, tobas, horizontes de pómez y pocos depósitos fluviales.
2. Paredes de Barranca en pie de monte volcánico. Es de origen exógeno durante el Cuaternario, constituido de rocas volcánicas epiclásticas, andesitas, lahares, flujos de piroclásticos y aluvión.
3. Planicies aluviales en lecho de barranca de pie de monte volcánico. De origen exógeno acumulativo fluvial del Cuaternario. Constituido por rocas epiclásticas,

lahares, andesitas, flujos piroclásticos y planicies aluviales. Son producto del transporte de los depósitos de materiales desde las laderas de montañas y piedemontes de las zonas altas durante la época de lluvias torrenciales y de la remoción de masas de las paredes de los barrancos.

4. Talud de transición entre el piedemonte volcánico y la planicie aluvial general. Su origen en parte es de piedemonte volcánico de procesos exógenos acumulativos del Cuaternario y de origen exógeno acumulativo aluvial.
5. Superficie cumbral de colina volcánica baja aislada. Tiene origen endógeno volcánico constituido por flujos piroclásticos andesíticos.
6. Dorso de ladera de colina volcánica baja aislada. Tiene origen endógeno volcánico formado por flujos volcánicos andesíticos que cuentan con escaso fracturamiento y baja permeabilidad, además brecha volcánica andesítica.
7. Pie de colina volcánica baja aislada. Relieve de origen exógeno acumulativo constituido por depósitos aluviales provenientes del cerro de Chapultepec.
8. Planicie aluvial general. Localizada en la porción más baja de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec. Es de origen exógeno acumulativo aluvial y en menor porción, lacustre. Está formado por depósitos aluviales producto del transporte y depósitos de los materiales que provienen de las porciones medias y altas de piedemonte volcánico. Su pendiente es muy baja (Figura 26).

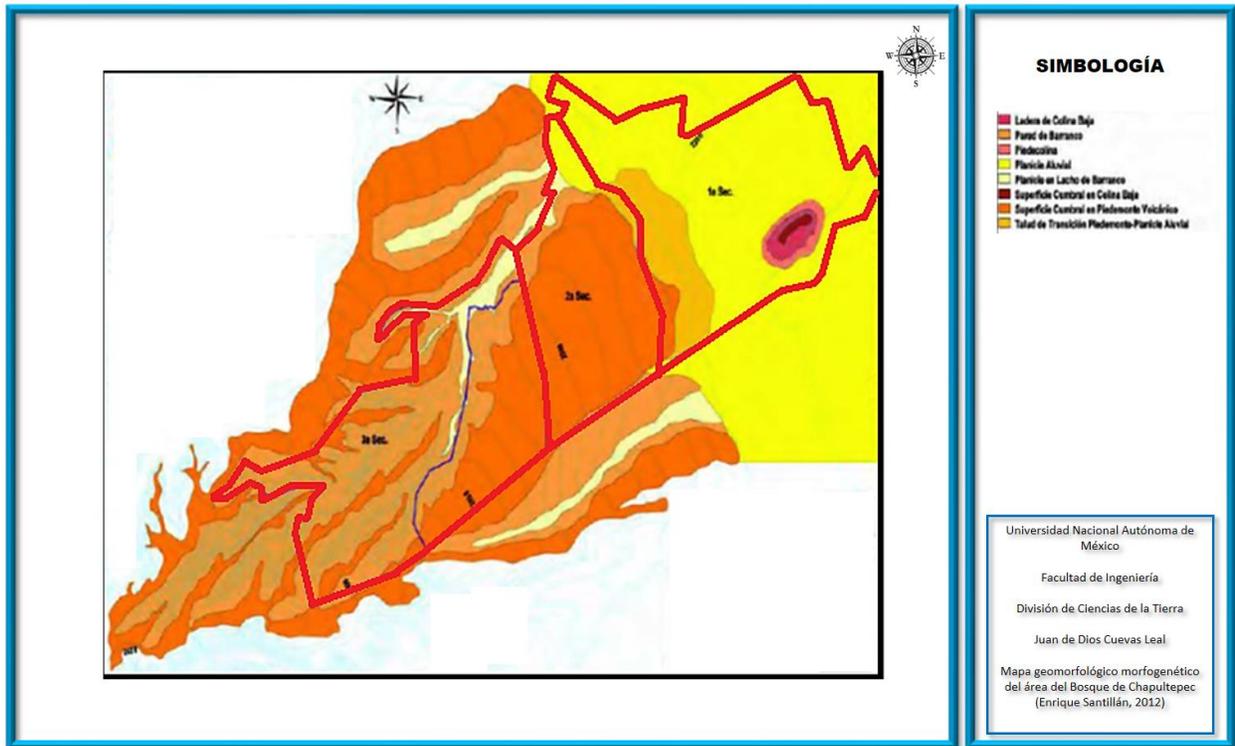


Figura 26. Mapa geomorfológico morfogenético del área del Bosque de Chapultepec (Enríquez, 2012).

5.2 Geología del subsuelo y análisis de riesgo asociado por inestabilidad del subsuelo de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec

Existen diferentes estudios realizados por la Facultad de Ingeniería de la UNAM desde el año 2010; tras el colapso en la cimentación del Lago Mayor. Los estudios geológicos realizados incluyeron levantamientos de rasgos superficiales, caracterización topográfica y la interpretación del subsuelo. Los estudios geofísicos llevados a cabo fueron eléctricos, sísmicos, gravimétricos y electromagnéticos.

Para la caracterización superficial de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec se realizó un censo de los rasgos superficiales. De cada uno de los rasgos se recabó un expediente con información detallada de ubicación, descripción, magnitudes, imágenes y fotografías.

La metodología de trabajo seguida para esta etapa de la investigación fue la siguiente:

- Investigación y recopilación de información acerca de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec; llevada a cabo en bibliotecas de la UNAM y Sistema de Aguas de la Ciudad de México; donde se consultaron estudios, recopilaciones, investigaciones, proyectos, informes y tesis.
 - Levantamiento de un censo detallado de todos los rasgos superficiales de la zona. Los datos recabados fueron integrados a un archivo CAD (AutoDesk AutoCAD 2015) para tener una mejor apreciación del comportamiento de las diferentes fracturas y hundimientos diferenciales localizados.
- Parte de la información recabada en campo es la siguiente: Coordenadas UTM WGS94 de cada rasgo levantado, medición de las magnitudes de cada uno de los rasgos, descripción física y geológica de la zona, interpretación del origen, comportamiento y consecuencias de cada rasgo y creación de una memoria fotográfica.

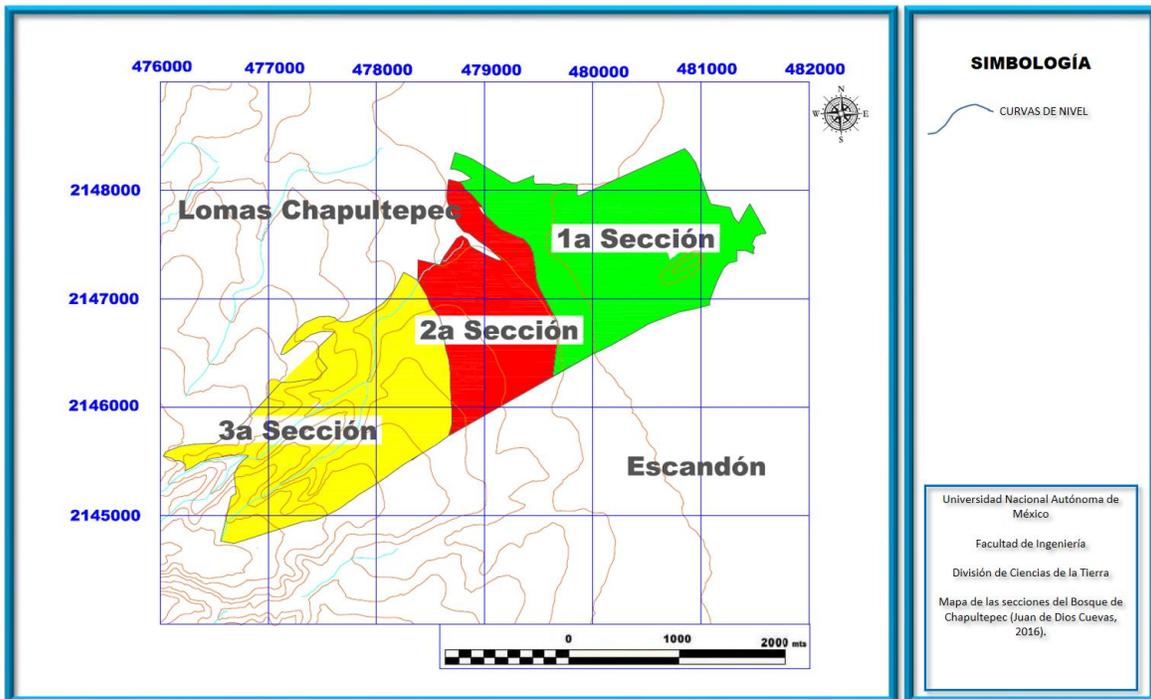


Figura 27. Mapa de las secciones del Bosque de Chapultepec.

La Primera Sección del Bosque de Chapultepec, se encuentra asentada, en su mayoría, sobre estratos arcillosos pertenecientes a los depósitos lacustres saturados, lo que propicia la aparición de fracturas y hundimientos diferenciales a causa de la

explotación del acuífero en la Ciudad de México, ocasionando que las obras civiles sean afectadas con el paso del tiempo, presentándose como un ejemplo de ello agrietamientos en paredes y en algunas oficinas como en la Quinta Colorada (ver Fotografía 1).

La Primera Sección del Bosque de Chapultepec está ubicada en una zona de transición abrupta entre los depósitos lacustres y la zona pétreo (lomas). La zona de lomas está caracterizada por estratos generalmente semiconsolidados depositados fuera de un ambiente lacustre, mientras que, en la parte superior existen estratos de limo con intercalaciones de arcilla poco compactados y poco consolidados que se localizan a una profundidad máxima de 20 m; siendo estos estratos en donde se han cimentado edificios, y monumentos históricos en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec, ocasionando hundimiento en el piso y agrietamiento en paredes debido a la falta de un estrato o capa dura para cimentar las obras civiles. (GDF, 2004).



Figura 28. Esquema de zona de transición abrupta con indicación de construcciones civiles.



Fotografía 1. Muro dañado debido a asentamientos diferenciales del subsuelo (levantamiento de rasgos y anomalías superficiales. Facultad de Ingeniería UNAM-CONACYT, 2014).

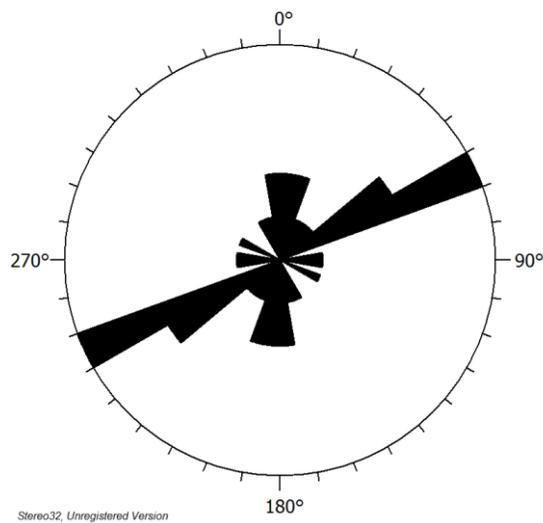


Figura 29. Fracturas de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.

De acuerdo al compendio de fracturas y hundimientos diferenciales encontrados en diferentes zonas de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec (anexo 3), se aprecia el siguiente comportamiento:

- Las orientaciones preferenciales de las fracturas son NE-SW. El 68% de las fracturas registradas en la Primera Sección de Chapultepec tienen una orientación NE-SW. Las áreas donde se presentan la mayoría de estas fracturas son en la Avenida Juventud Heroica, El Museo de Arte Moderno, los Baños de Moctezuma y el Monumento al Escuadrón 201. Esta dirección preferencial coincide con el análisis estructural de la zona poniente de la Ciudad de México. La carta de lineamientos de la zona poniente de la Ciudad de México (González, 2014) señala que el comportamiento de la mayor familia de fracturas de origen tectónico en la zona poniente tienen una tendencia NE45°SW, con un esfuerzo tensional en dirección NE45°SW. La segunda familia de fracturas con mayor frecuencia, tiene una dirección preferencial NE55°SW, con un esfuerzo tensional en dirección SE35°NW. La segunda familia de fracturas con mayor frecuencia tiene una orientación preferencial igual que la primera familia (NE-SW). Las fracturas encontradas en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec son un reflejo del comportamiento estructural a nivel regional.

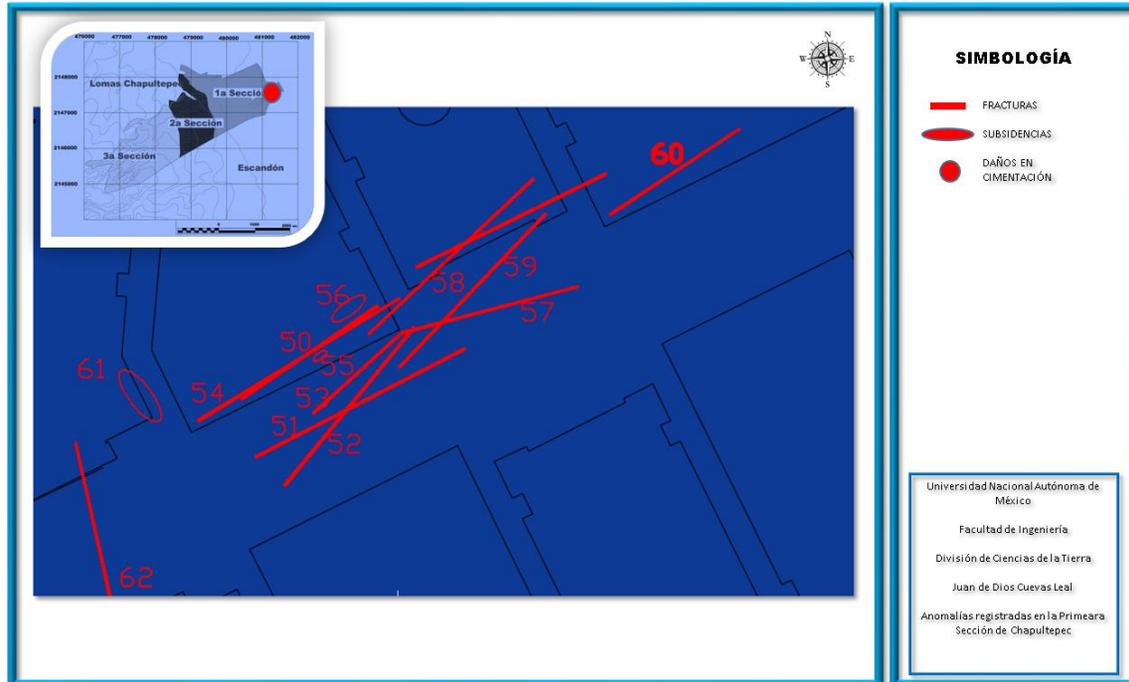


Figura 30. Fracturas Avenida Juventud Heroica.



Figura 31. Levantamiento de fracturas en Avenida Juventud Heroica, Primera Sección del Bosque der Chapultepec. (Facultad de Ingeniería UNAM, 2013).

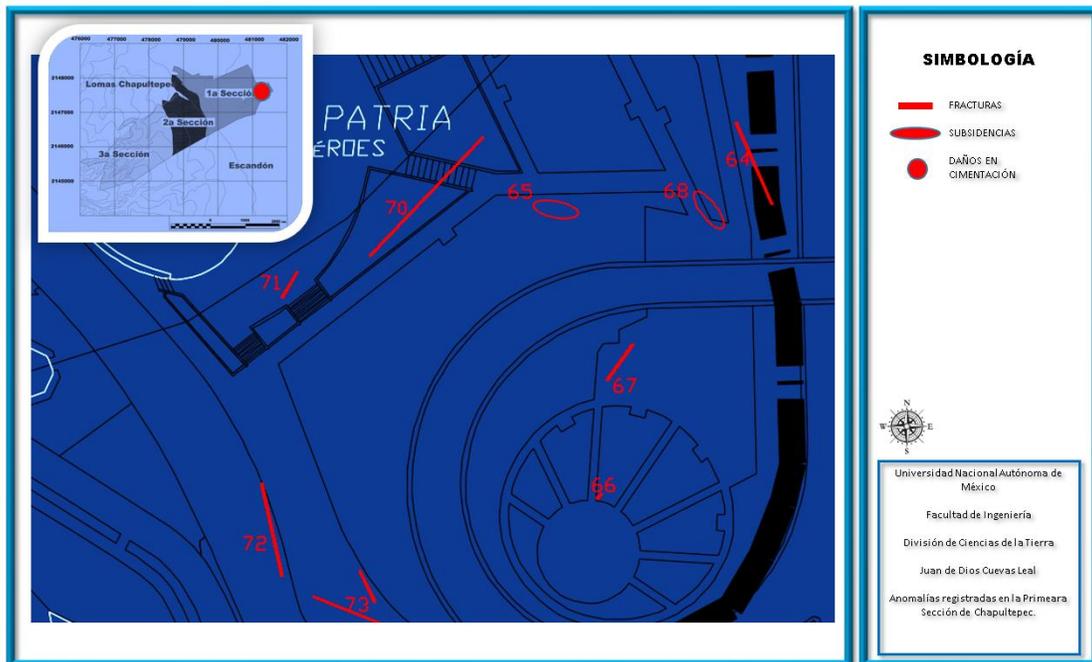


Figura 32. Fracturas lado sureste del Altar a la Patria, Primera Sección del Bosque de Chapultepec.

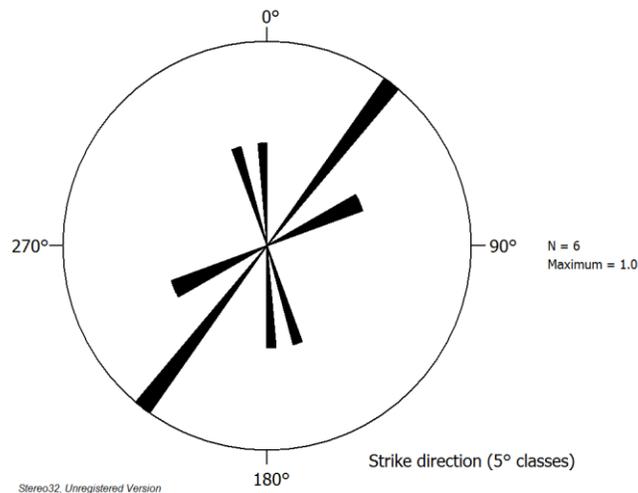


Figura 33. Familia de fracturas Museo de Arte Moderno y Altar a la Patria, Primera Sección del Bosque de Chapultepec.

- La tercera orientación preferencial que encontramos en las fracturas de la zona de estudio, se orientan NW-SE y representan el 32% de las fracturas registradas. Estas fracturas pueden ser el resultado de la acción del esfuerzo tensional que sufre esta área, aunado a la composición y comportamiento del suelo.

En el área que comprende la Quinta Colorada y los Baños de Moctezuma se aprecian hundimientos diferenciales y fracturas, lo que han provocado daños irreversibles en la cimentación. Hacia el noreste de la Quinta Colorada se identificaron serios daños a la estructura; sin embargo, hacia el sur los daños visibles incrementan. Lo anterior quiere decir que los daños a la cimentación del edificio son mayores hacia el sur; donde también se localizaron fracturas, una de ellas de 18.5 m con una abertura de 1.5 cm. Se identificaron dos hundimientos importantes: el primero ubicado hacia el suroeste de los Baños de Moctezuma y tiene una longitud de 77 m, con una profundidad de 38 cm en la zona de mayor desnivel. El segundo hundimiento se localiza al sureste de los Baños de Moctezuma.

Un origen probable para los hundimientos diferenciales localizados alrededor de la Quinta Colorada se puede describir considerando el tipo de material que predomina en esta área. La Quinta Colorada se localiza sobre estratos de arcillas lacustres; los

cuales, al alterarse el nivel de saturación, tienden a perder volumen. La consolidación del material arcilloso y el peso de las estructuras civiles son factores que inciden directamente en el cambio de nivel de la superficie y por lo tanto, daños a las construcciones.

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos, debido a que son productos finales de la meteorización de los silicatos. Las propiedades de las arcillas son consecuencias de sus características estructurales. Las arcillas, al igual que es resto de los filosilicatos, presentan una estructura basada en el apilamiento de planos de iones de oxígeno e hidroxilos. Las fuerzas que unen diferentes unidades estructurales son más débiles que las existentes entre los iones de una misma lamina, por ese motivo, los filosilicatos tienen una clara dirección de exfoliación, paralela a las láminas. Esta debilidad entre los iones de diferentes láminas es aprovechada por el agua, que entra en el espacio interlaminar y en consecuencia, las láminas se separan dando lugar al hinchamiento. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras (Pérez-Ortiz, 2004).

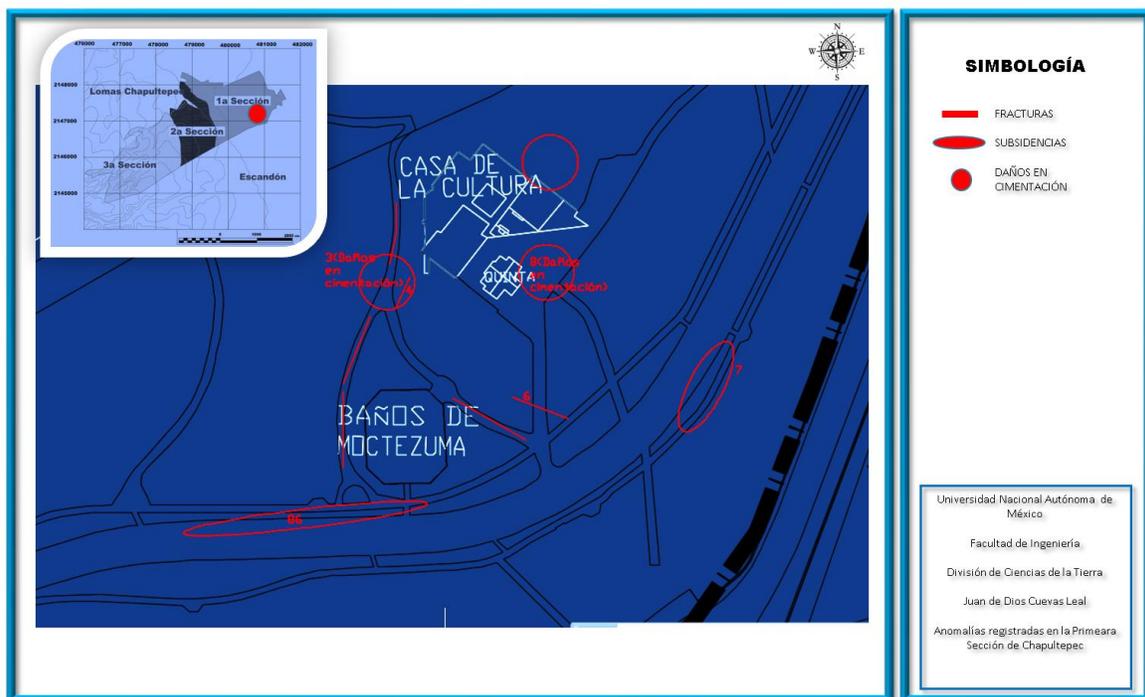
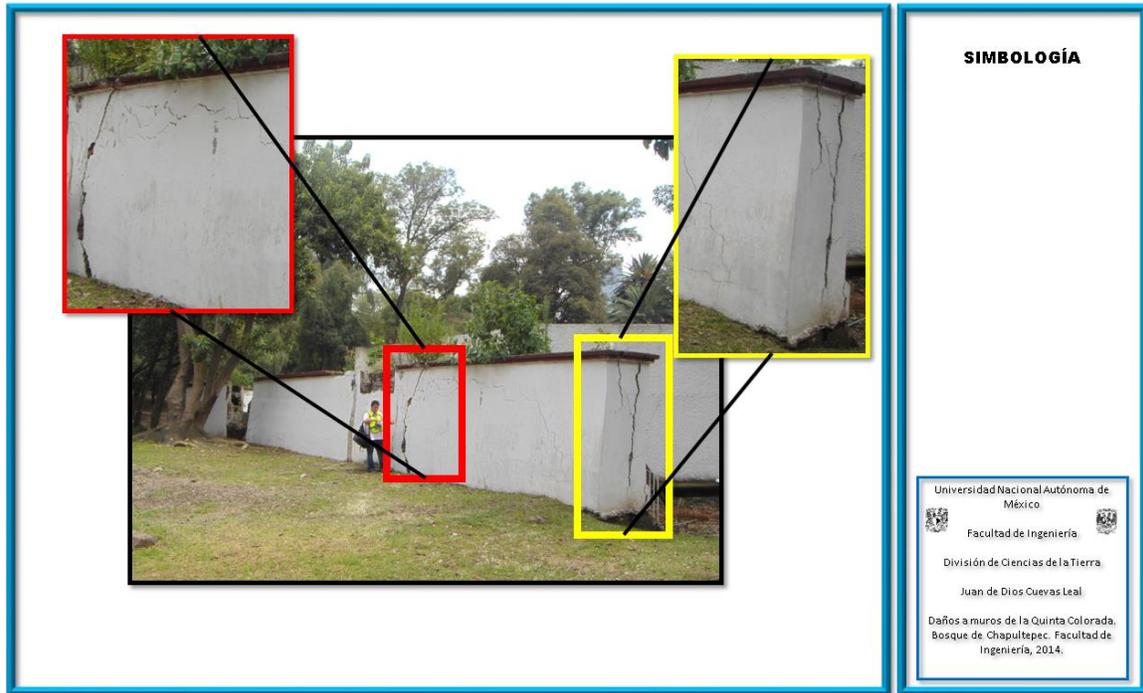


Figura 34. Fracturas y hundimientos diferenciales Quita Colorada y Baños de Moctezuma, Primera Sección del Bosque de Chapultepec.



Fotografía 3. Daños a muros de la Quinta Colorada, Primera Sección del Bosque de Chapultepec. (Facultad de Ingeniería UNAM, 2014).

Las fracturas identificadas en la zona poniente del lago, tienen un posible origen en los esfuerzos provocados por la presión del lago artificial. Lo anterior se deduce debido a que las direcciones que presentan las fracturas de esta área, no coinciden con las familias de fracturas que predominan en la Primera Sección de Chapultepec.

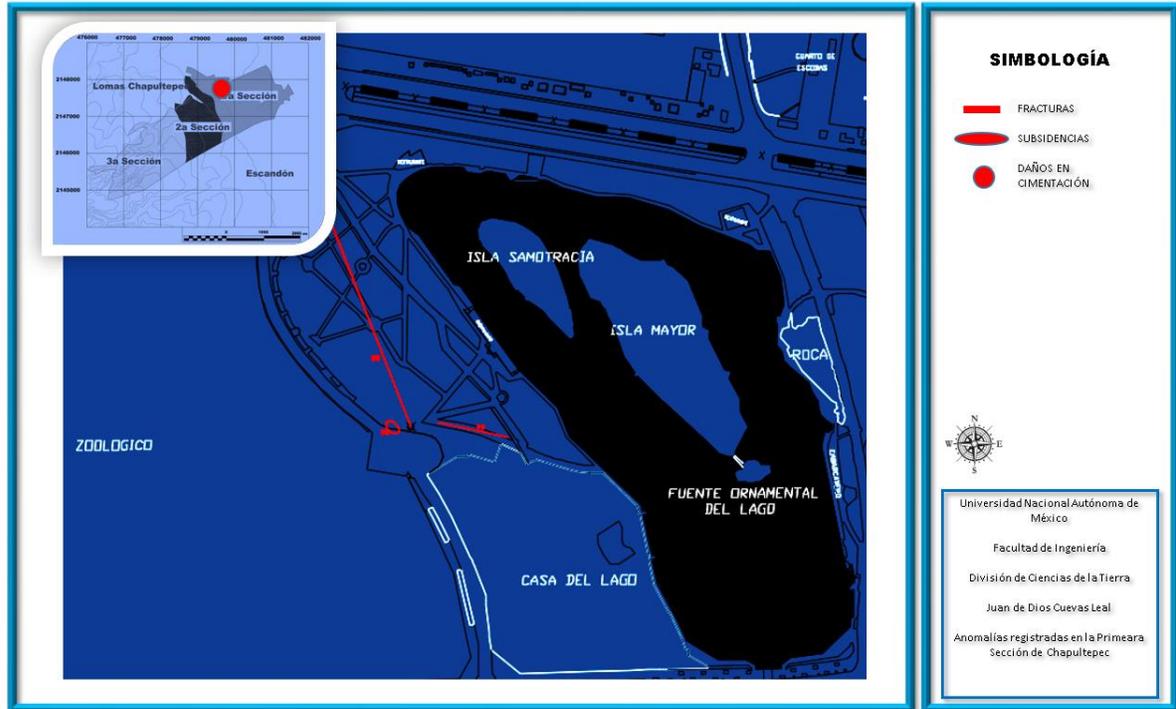


Figura 35. Fracturas relevantes localizadas alrededor del lago de Chapultepec, Primera Sección del Bosque de Chapultepec.

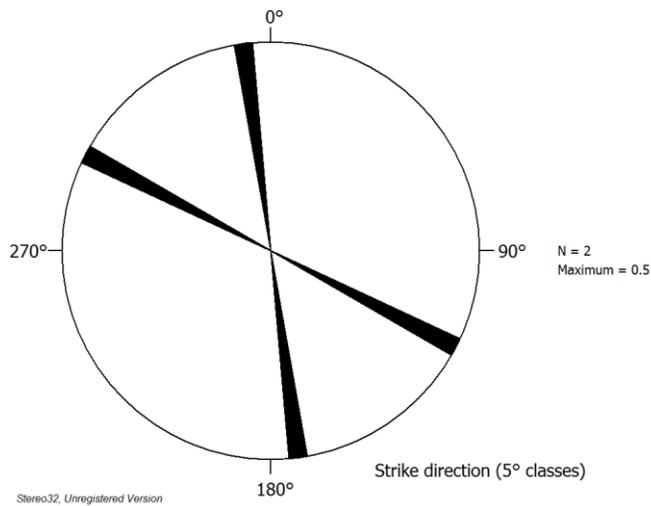


Figura 36. Familias de fracturas del lago de Chapultepec, Primera Sección del Bosque de Chapultepec.

Las fracturas superficiales localizadas en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec son un indicador de la inestabilidad del subsuelo. Del análisis realizado al compendio de fracturas y hundimientos diferenciales, muestra que las fracturas tienen longitudes considerables que van desde 1 hasta 57 m y aberturas desde 1 mm hasta 19 cm. La profundidad máxima encontrada es de 10 cm. Las fracturas se presentan en áreas peatonales y en construcciones civiles, lo que afectan gran parte de la Primera Sección, asentada en depósitos lacustres.



Fotografía 4. Fracturas paralelas en patio frontal del monumento al Escuadrón 201, Primera Sección del Bosque de Chapultepec (Facultad de Ingeniería UNAM, 2013).

Los hundimientos diferenciales encontrados en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec son responsables de provocar inestabilidad y daño a monumentos, adoquín y estructuras. Los hundimientos provocan esfuerzos que alteran la estabilidad de una estructura o cimentación. En el área de estudio, encontramos hundimientos diferenciales; esto es, que los apoyos o soportes en el subsuelo no son lo suficientemente estables y las capas de estratos consolidados se ven afectados por el cambio en la saturación de agua. Las construcciones civiles deben tener pilotes hasta

encontrar alguna capa dura; sin embargo, muchas construcciones encontradas en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec son de un tamaño menor y se mantienen soportadas por zapatas sobre los estratos superiores semi consolidados de la zona lacustre.

En la Primera Sección del Bosque de Chapultepec, se han localizado un número importante de hundimientos diferenciales, los cuales han causado daños severos en diferentes estructuras. Los hundimientos tienen diferentes magnitudes, los de menor tamaño presentan longitudes de 2 m; mientras que los hundimientos diferenciales de mayor tamaño llegan a medir hasta 77 m; como el que se localiza en la periferia de los Baños de Moctezuma con 38 cm de diferencia de altura. Otro hundimiento se localiza a la entrada al Castillo de Chapultepec con una longitud de 68 m y una diferencia de alturas de 8 cm. En la entrada de la Casa de los Espejos, se localiza un hundimiento diferencial de 17 m de longitud con 30 cm de desnivel. Los hundimientos anteriores quedan evidenciados por severos daños que presenta el adoquín de los pasos peatonales.

Para mayor detalle acerca de las fracturas y hundimientos diferenciales de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec, consultar el anexo 3. En el anexo 8 se integra una memoria fotográfica sobre las fracturas y hundimientos de la Primera Sección de Chapultepec.

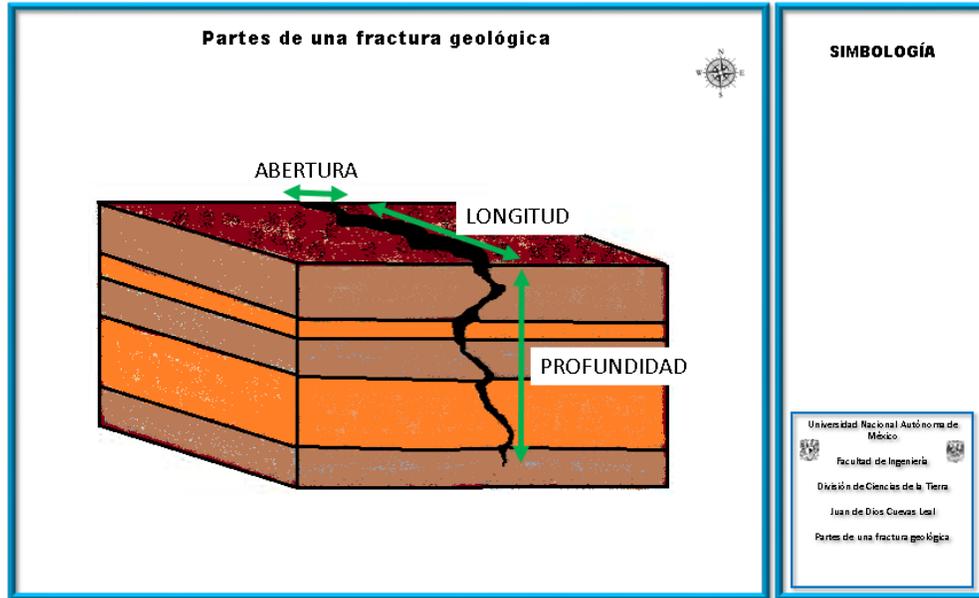


Figura 37. Componentes de una fractura geológica.

Conclusiones

1.- Se realizaron secciones estratigráficas del subsuelo en la zona poniente de la Ciudad de México utilizando los datos de pozos de agua potable. La primera sección estratigráfica, mantiene una dirección paralela a la zona de transición. En algunas zonas de la Sección A-A', se puede interpretar la existencia de posibles barrancas antiguas, las cuales fueron rellenadas por materiales mixtos (arena, arena con grava y arcillas) con presencia de lentes de arcilla y limos. Lo anterior nos demuestra la fuerte erosión que sufrían las laderas en la zona de lomas. La segunda sección estratigráfica es perpendicular a la primera y su finalidad fue describir la estratigrafía de la formación Tarango en la zona de las lomas. En ambas secciones estratigráficas se muestra la geometría y la correlación lito-estratigráfica en la cercanía del Bosque de Chapultepec. Longitudinalmente, sobre la sección B-B', se pueden apreciar capas de arena y arena con grava con espesores desde 10 hasta 76 m, los cuales fueron la principal fuente para la urbanización de esta zona, varias minas no registradas fueron explotadas mediante la extracción de gravas y arenas; como material pétreo. Hacia el poniente de la sección B-B' es posible apreciar que los lentes de materiales finos como la arcilla escasean y se presentan con espesores no mayores a los 5 m, mientras que hacia el oriente de la sección, el espesor de las capas de arcilla incrementan hasta llegar a los 30 m.

2.- La correlación estratigráfica en el subsuelo de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec se realizó utilizando las secciones A-A' y B-B'. Se aprecia que, en la zona de las lomas, existen estratos de materiales variados no clasificados intercalados con estratos de arena, grava, grava con arena y tobas andesíticas, perteneciente a la formación Tarango; hacia el oriente, se aprecia que la formación Tarango continua por debajo de los depósitos lacustres.

3.- En la Primera Sección del Bosque de Chapultepec se realizó un levantamiento detallado de rasgos superficiales (fracturas y hundimientos) con la finalidad de conocer su comportamiento e incidencia en monumentos, fuentes, edificios históricos y oficinas

del Gobierno del Distrito Federal (Ahora Ciudad de México); se identificaron diferentes factores que propician la aparición de fracturas y, por ende, el daño a obras civiles. El factor más relevante se debe a que la Primera Sección del Bosque de Chapultepec se localiza en la zona de transición entre los depósitos lacustres y la formación Tarango; en donde se identificaron fracturamiento y hundimiento en el subsuelo, el cual está constituido por materiales granulares en su mayoría no consolidados pertenecientes a depósitos de origen lacustre.

4.- Se cartografiaron un importante número de rasgos superficiales en la zona de estudio. Las fracturas y hundimientos diferenciales han provocado daños severos en diferentes estructuras civiles, un ejemplo es la Quinta Colorada, en la cual se han encontrado daños de magnitud considerable en sus muros. Los daños de mayor importancia son producidos por hundimientos diferenciales en el terreno. En el área que comprende desde la Quinta Colorada hasta la Residencia oficial de Los Pinos, se aprecia que los hundimientos diferenciales son menos comunes, esto se debe a que los depósitos lacustres disminuyen en espesor considerablemente. En cambio, desde la Quinta Colorada hasta la entrada principal de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec (avenida Paseo de la Reforma), las fracturas y hundimientos diferenciales se hacen más recurrentes y aumentan en dimensiones, debido a que el espesor de los depósitos lacustres aumenta hacia la zona oriente de la Ciudad.

5. Las fracturas encontradas en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec mantienen similitudes en su orientación, por lo que la familia de fracturas predominante tiene una orientación preferencial NE-SW y dicha dirección coincide con el análisis estructural de la Zona Poniente de la Ciudad de México realizado por González (2014), y a su vez, reforzando la propuesta de Palomo (et. Al., 2008) en su estudio realizado en la Sierra de las Cruces. Basados en lo anterior, una primera interpretación acerca del comportamiento de fracturas en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec se puede describir como un reflejo del comportamiento estructural a nivel regional.

En la Primera Sección del Bosque de Chapultepec, se localizaron otras familias de fracturas, orientadas mayormente N-S y NW-SE. Estas direcciones de fracturas no coinciden con el comportamiento estructural a escalas mayores y debido a la ausencia

de orientaciones preferenciales, se puede inferir que no son de origen tectónico. El origen puede estar relacionado a la extracción intensiva del acuífero (cuando la cantidad extraída supera la cantidad de recarga del acuífero), lo que altera directamente la estabilidad de los estratos superiores donde se han colocado monumentos y construcciones civiles. Mientras la saturación de agua no varíe, los estratos se mantienen en equilibrio; sin embargo, cuando el porcentaje de agua varía (debido a la explotación del acuífero y/o al peso de las estructuras civiles), el agua, que originalmente se encontraba confinada entre las láminas de arcillas, comienza a fluir y, por lo tanto, se pierde el volumen original, compactando los estratos y provocando diferencias en el nivel de la superficie. Lo anterior implica que todas aquellas construcciones y monumentos que se encuentran en la superficie y no cuentan con pilotes apoyados sobre una capa dura del subsuelo, están propensos a sufrir daños estructurales con el paso del tiempo.

6. Las fracturas cartografiadas en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec son gran magnitud, alcanzando longitudes de más de 135 m; sin embargo, la profundidad máxima es de 10 cm. Con apoyo de los estudios geofísicos (Tomografía de Resistividad Eléctrica –TRE y de sísmica) realizados en el subsuelo de la Quinta Colorada por la Facultad de Ingeniería de la UNAM en 2015, se trató de conocer el comportamiento del fracturamiento en esta área, en donde se concluye que las fracturas son superficiales y no presentan continuidad en el subsuelo a más de un metro de profundidad. En cambio, los hundimientos diferenciales están directamente relacionados con los daños a las edificaciones, por ejemplo, en el área de los Baños de Moctezuma, uno de los mayores hundimientos mide más de 77 m de longitud con una diferencia de nivel de 38 cm, lo que puede explicar los daños que se aprecian alrededor de los Baños de Moctezuma y los muros de la Quinta Colorada. Las fracturas con ausencia de orientaciones preferenciales localizadas en esta área podrían estar relacionadas a los hundimientos, considerando al cambio en la saturación del subsuelo y posterior compactación, el principal motivo de su aparición.

7. Las condiciones geológicas del Bosque de Chapultepec han variado a lo largo del tiempo. Desde la construcción de los acueductos las condiciones del subsuelo del

bosque empezarían a cambiar debido al desvío del agua. Durante las décadas de los cuarenta y cincuenta se produce el minado de los materiales de la formación Tarango, lo que comenzó a alterar la fisiografía y a provocar los problemas de estabilidad, pendientes y socavones que transformaron las condiciones geológicas de la zona poniente de la Ciudad de México. En la década de los sesenta y setenta aumenta la población exponencialmente y propicia que la gran mayoría de los manantiales en la zona poniente se agoten y la vegetación autóctona fue desapareciendo, al igual que el agotamiento de los suelos (Guerrero Mothelet, 2005). En estas décadas se comienza con la explotación intensiva del acuífero y, por ende, el hundimiento en diferentes zonas de la Ciudad de México comienza a ser un problema serio.

8. La probabilidad de que ocurra un evento y sus consecuencias negativas para los recursos y actividades humanas es lo que define el riesgo geológico. En la Primera Sección del Bosque de Chapultepec se localizan monumentos y edificaciones civiles, los cuales presentan un riesgo originado por la inestabilidad del subsuelo. A largo plazo, el riesgo geológico se considera de nivel moderado a alto, para todas aquellas estructuras civiles que no están cimentadas en alguna capa dura del subsuelo. Es importante resaltar que el número de personas que frecuentan esta área recreacional en un fin de semana es mayor a 300,000 visitantes, y agregando el valor histórico de monumentos y edificios, el riesgo se incrementa; por lo tanto, las autoridades del Bosque deben plantear soluciones con la finalidad de disminuir los riesgos. Un ejemplo del riesgo geológico evaluado son las instalaciones de la Quinta Colorada (auditorio y salas presentan fracturas en paredes y hundimientos en el piso) y la fuente monumental donde iniciaba el acueducto (a la entrada del metro Chapultepec) construido durante la época del Virreinato; dicha fuente se encuentra en un estado crítico, dañada estructuralmente por una fractura que amenaza con colapsar el monumento.

Recomendaciones

- 1.- Se identificaron diferentes áreas con hundimientos diferenciales contrastantes (puente de los Leones y Quinta Colorada); en donde los hundimientos diferenciales del terreno han afectado las obras civiles, por lo que se recomienda dar seguimiento y vigilar las estructuras para salvaguardar su integridad.
- 2.- Los diferentes hundimientos y fracturas encontradas en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec, nos hablan de la inestabilidad del subsuelo; por lo que se recomienda a largo plazo la realización de pruebas geotécnicas en sitios históricos; para la determinación de la capacidad de carga y el comportamiento de los diferentes estratos saturados.
- 3.- A corto plazo se hace la recomendación de evitar las construcciones de obras civiles que descansen sobre los estratos superiores inestables y, por el contrario, las obras civiles deben estar soportadas con pilotes que lleguen a alguna capa dura.
- 4.- En el caso de las fracturas y hundimientos que afectan el adoquín y concreto de los pasos peatonales y vehiculares, la recomendación es cambiar el adoquín o concreto dañado y antes de volver a colocarlo, dar algún tratamiento al suelo para evitar hundimientos diferenciales en periodos cortos de tiempo.

Bibliografía.

- Aguayo-Camargo, J.E., Marín-Córdova, S., Sánchez-Díaz, F., 1989, Evolución geológica de la Cuenca de México: Boletín de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. Tópicos geológicos de la Cuenca del Valle de México: Memoria de Simposio, 25–41.
- Alvares Barrientos, Eunice, 2015. Tomografía Eléctrica Resistiva 3D en la caracterización del subsuelo bajo estructuras civiles. Tesis de Licenciatura. División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Biblioteca digital Ilce. De las chinampas a la megalópolis. El medio ambiente en la Cuenca de México, de Biblioteca digital Ilce. Sitio web: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/091/html/china_mpa.html
- Birkle, P., Schneider, F. J., 1988. Hydrogeological aspects of the Basin of Mexico City- A summary. Hydrogeology Felsbau 16.
- Birkle, P., Torres Rodríguez, V., González Partida, E., 1998. The wáter balance for the Basin of the Valley of Mexico and implications for future water consumption, en Hydrogeology Journal, Springer Verlag.
- Bosque de Chapultepec, 2016. El Bosque de Chapultepec. Ciudad de México Sitio web: http://www.chapultepec.df.gob.mx/?page_id=20&lang=es
- British Geological Survey, 1998. The Cleveland Dyke in Southern Scotland. Onshore Geology Series, Technical Report WA/98/20.
- Campillo, M., Feignier, B., Bouchon, M., and Béthoux, N., 1993, Attenuation of Crustal Waves across the alpine Range, J. Geophys. Res. 98, 1987-1996.
- Castillo Guerrero, José Luis, 2012. Tesis Interacción suelo - estructura en suelos cohesivos totalmente saturados. Universidad Nacional Autónoma de México. Sitio web: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1044/Tesis.pdf?sequence=1>
- Cervantes-Medel, A. y Armienta, M. A, 2004. Influence of faulting on groundwater quality in Valle del Mezquital, Mexico. Geofísica Internacional, 43(3) : 477-49
- Chapulín de Chapultepec (Imagen logotipo), 2015. Carrera Probosque Chapultepec “Go”. Carrera HSBC Seguros a favor de Probosque 2015 Powered By Recaudia. Sitio web: <https://carrera.chapultepec.org.mx/corredor/all>
- Ciudad de México, 2007. Clima de la Ciudad de México. México, D.F. Sitio web: <http://www.ciudadmexico.com.mx/clima.htm>

- Consejo de Cuenca del Valle de México. Consultado: 16 de junio de 2014. Sitio web: <http://cuencavalledemexico.com/>
- D. Granados Sánchez, G. F. López Ríos, M. A. Hernández García, A. Sánchez González, 2004. Ecología de la fauna silvestre de la Sierra Nevada y la Sierra del Ajusco. 16 de agosto de 2016, de Universidad Autónoma de Chapingo. Sitio web: <http://web.archive.org/web/20120921233216/http://redalyc.uaemex.mx/pdf/629/62910207.pdf>
- De Cserna, Z., de la Fuente-Duch, M., Palacios-Nieto, M., Triay, L., Mitre-Salazar, L.M., Mota-Palomino, R., 1988, Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 104, 71 p.
- De la Llata, R., 2011. Síntesis de la geología de México, <http://www.etcg.upc.edu/docencia/aula-paymacotas/tunels-amexic/ponencias/de-la-llata.pdf>
- De la Torre, Esperanza, 2003. Los volcanes del Sistema Volcánico Transversal. Instituto de Geografía. SCIELO. Sitio web: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112003000100018
- Delegación de Miguel Hidalgo. Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México Distrito Federal. Sitio web: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM09DF/delegaciones/09016a.html>
- Demant, Alan., 1978. Características del eje neovolcánico transmexicano y sus problemas de interpretación. Universidad Nacional Autónoma de México. Sitio web: [http://satori.geociencias.unam.mx/2-2/\(7\)Demant.pdf](http://satori.geociencias.unam.mx/2-2/(7)Demant.pdf)
- Desierto de los leones, 2016. Parque Nacional Desierto de los Leones. Sitio web: <http://desiertodelosleones.mx/>
- Días-Rodríguez, Jorge Abraham. Los suelos lacustres de la Ciudad de México. Rev. Int de Desastres naturales, Accidentes e infraestructura Civil, Vol. 6 (2).
- Enciso de la Vega, Salvador, 1992. Propuesta de nomenclatura estratigráfica para la cuenca de México. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. Sitio web: [http://satori.geociencias.unam.mx/10-1/\(3\)Enciso.pdf](http://satori.geociencias.unam.mx/10-1/(3)Enciso.pdf)
- Enríquez Santillán, Carlos Adrián, 2012. El Bosque de Chapultepec y la transformación de su entorno. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Sitio web: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1551/Tesis.pdf?sequence=1>
- Fideicomiso Probosque Chapultepec, 2014. Bosque de Chapultepec. Sitio web: http://chapultepec.org.mx/?page_id=426
- Fundación Lince. Bosque de Tlalpan. Sitio web: <http://bosquetlalpan.org.mx/>
- García Palomo, Armando. Zamorano Orozco, José Juan. López Miguel, Celia Galván, García Adriana. Víctor Carlos, Valerio. Ortega Roberto Macías, 2008. El

- arreglo morfoestructural de la Sierra de las Cruces, México central. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, volumen 25.
- Gobierno del Distrito Federal, 1997. Digitalización en ambiente CAD y captura de datos para integrar la base de información de pozos a cargo de la DGCOH. Dirección Técnica, Subdirección de programación, Unidad departamental de planes maestros. Informe final.
 - Gobierno del distrito Federal, 2004. Reglamento de construcciones para el Distrito Federal.
 - González Escamilla, Claudia. 2014. Condiciones geológico-estructurales del Bosque de Chapultepec y su entorno al poniente de la Ciudad de México. Tesis de Licenciatura. División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
 - Grupo interdisciplinario del CCH-UNAM., 2012. La Contaminación en Los Dinamos. Colegio de Ciencias y Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México. Sitio web: <http://lacontaminacionenlosdinamos.blogspot.mx/p/flora.html>
 - Guerrero Mothelet, Verónica, 2005, “De cómo se Rescató un Bosque”, ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la Ciencia de la UNAM, número 84.
 - Herrera Zamarrón, Graciela, 2006. Modelo hidrodinámico del acuífero de la zona metropolitana de la ciudad de México. IMTA.
 - Ilce. El escenario ecológico. Biblioteca Digital Ilce. Sitio web: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/091/html/sec_5.html
 - INEGI, 2014. Información por entidad. Distrito Federal. Sitio web: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/gro/territorio/default.aspx?tema=me&e=12>
 - Juárez-Arriaga, E., 2006, Marco de estratigrafía de secuencias para la sucesión estratigráfica terrígeno-carbonatada del Paleozoico Superior en el área de Olinalá, Guerrero, México: Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de maestría, 93 pp.
 - Lesser y Asoc., 2000. Resumen del estudio Piezometría y balance de agua subterránea en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, D.G.C.O.H.
 - Marsal R. L; Mazari M., 1959. El subsuelo de la Ciudad de México. Facultad de Ingeniería UNAM.
 - Mooser F.; Tamez E.; Gutiérrez C., 1986. Características geológicas y geotécnicas del Valle de México. Comisión de vialidad y transporte urbano (COVITUR).
 - Mooser, F., 1963, Historia tectónica de la Cuenca de México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
 - Mooser, F., 1975, Historia geológica de la Cuenca de México, en Memoria de las obras de drenaje profundo del Distrito Federal, México, D.F., Departamento del Distrito Federal, 38 p.

- Mooser, F., White S.E., Lorenzo, J.L., 1956, La Cuenca de México. Consideraciones Geológicas y arqueológicas: México, D.F., Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Mooser, F., y T. C. Molina, 1993. Nuevo Modelo Hidrogeológico para la Cuenca de México, Centro de Investigación Sísmica, Fundación Javier Barros Sierra A. C., México, D. F.
- Mooser, F., 1957, Bosquejo geológico del extremo sur de la cuenca de México. Congreso Geológico Internacional, 20, Libreto Guía de la Excursión C-9, p. 9-16.
- Murillo Martínez, Marco Antonio, 2004. Tesis Propuesta de evaluación visual e identificación de riesgos en edificaciones de tipo habitacional ubicadas en la delegación Gustavo a madero, mediante una hoja de cálculo. Instituto Politécnico Nacional.
- Organización del Agua, 2004. Centro virtual de información del agua. 10 de septiembre de 2014, de Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. Sitio web: <http://www.agua.org.mx/>
- Reis Lifestyle, 2014. ¿Cuál es la zona de mayor plusvalía? Sitio web: <http://www.reislifestyle.com/Cual-es-la-zona-con-mas-plusvalia-en-DF>
- Remigio Morales, Karina, 2013. Caracterización mineral de muestras pétreas mediante la aplicación de microscopía óptica de polarización de los taludes en la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec. Tesis de Licenciatura. División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Salomón Abedrop L., 2001. El gran reto del agua en la Ciudad de México. Sistema de aguas de la Ciudad de México. Sitio web: <https://issuu.com/politicaspUBLICAS/docs/aguadf>
- Santoyo Villa, Enrique. Carlos E. Gutiérrez S., 1990. El subsuelo de la Cuenca del Valle de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones a cinco años del sismo. Sociedad mexicana de mecánica de suelos, A. C. México.
- Santoyo Villa, Enrique; Ovando Sheller, Efraín; Mooser H., Federico y León Plata, Elvira, 2005. Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México. México: TGC geotecnia S.A. de C. V.
- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 1976. Simposio sobre Cimentaciones en Zonas Minadas de la Ciudad de México.
- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C., 1978. El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del valle de México. Simposio 10 de marzo de 1976.
- Velázquez Ángeles, Omar, 2013. Análisis de Estabilidad de Taludes en la 3° Sección del Bosque de Chapultepec. Tesis de Licenciatura. División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Anexo 1. Comprobación y actualización de datos de los pozos utilizados para las secciones A y B.

POZO	NOMBRE	DELEGACIÓN	GEOGRÁFICA		UTM		ALTITUD	UTM (CONFIRMADAS)		
			LAT	LONG						
11	ALAMEDA TACUBAYA	MIGUEL HIDALGO	19°24'4.46"N	99°11'6.19"O	14 Q 480570	2145235	2265			
32	CAMPESTRE	ÁLVARO OBREGÓN	19°20'56.48"N	99°11'32.48"O	14Q479796	2138536	2278,963			
33	CAMPOS ELISEOS	MIGUEL HIDALGO	19°25'42.00"N	99°12'2.36"O	14 Q 478936	2148235	2259,258	14 Q 0479001	2148034	2260
34	CASA AMARILLA	MIGUEL HIDALGO	19°24'26.83"N	99°11'23.48"O	14 Q 480067	2145923	2260,088	14 Q 0480080	2145604	2260
37	CEDROS Y MOLIERE	MIGUEL HIDALGO	19°26'4.06"N	99°12'6.05"O	14 Q 478829	2148913	2259,461	14 Q 0478879	2148708	2259
56	HORMIGA	MIGUEL HIDALGO	19°24'57.46"N	99°11'35.32"O	14 Q 479723	2146865	S/R	14 Q 0480114	2146897	
76	PIRULERA	MIGUEL HIDALGO	19°26'51.30"N	99°12'5.10"O	14 Q 478858	2150365	S/R	14 Q 0478903	2150169	2265
77	LEGARIA	MIGUEL HIDALGO	19°26'59.19"N	99°12'14.88"O	14 Q 478573	2150608	2271,387	14 Q 0478622	2150413	2271
79	LOMAS DE CHAPULTEPEC	MIGUEL HIDALGO	19°24'20.71"N	99°13'36.15"O	14 Q 476197	2145740	2278,667	14 Q 0476213	2145736	2401
81	LOMAS DE SAN ÁNGEL INN	ALVARO OBREGÓN	19°20'37.31"N	99°12'28.55"O	14Q478161	2138871	2347,277			
93	MOLINO DEL REY	MIGUEL HIDALGO	19°24'58.89"N	99°11'36.50"O	14 Q 479688	2146909	2270,851	IMPOSIBLE CONF	IMPOSIBLE CONF	
134	AN JERÓNIMO LIDICE 3	MAGDALENA CONTRERAS	19°19'19.45"N	99°13'17.99"O	14Q476715	2136479				
253	TOTOLAPA	CUAJIMALPA	19°21'52.43"N	99°16'30.29"O	14Q471111	2141189	S/R	14 Q 0471497	2141526	2643
116-R	LA PERIODISTA	MIGUEL HIDALGO	19°26'49.49"N	99°13'8.88"O	14Q476998	2150312				
11-R	ALAMEDA TACUBAYA	MIGUEL HIDALGO	19°24'2.57"N	99°11'8.60"O	14Q480500	2145177	S/R			
136-R	RIO SAN JOAQUÍN	MIGUEL HIDALGO	19°26'57.81"N	99°12'41.15"O	14Q477807	2150566				
46-R	CHAPULTEPEC MORALES	MIGUEL HIDALGO	19°25'57.05"N	99°11'22.23"O	14Q480106	2148696				
79-R	LOMAS DECHAPULTEPEC	MIGUEL HIDALGO	19°25'18.40"N	99°13'30.34"O	14Q476369	2147513				
80-R	LOMAS DE CHAPULTEPEC 7	MIGUEL HIDALGO	19°25'43.22"N	99°13'10.08"O	14Q476961	2148275				
85-R	MARINA NACIONAL 4	MIGUEL HIDALGO	19°27'22.17"N	99°11'20.29"O	14Q480166	2151313				

Anexo 2. Formatos de verificación de pozos.

Nombre del aprovechamiento:							
POZO 33 Campos Eliseos							
Ubicación:							
Coordenadas Mercator (UTM):	Long:	14 Q 0479001	Lat:	2148034	Altura:	2259,258 msnm	
Coordenadas Geográficas:	Long:		Lat:				
Coordenadas Geográficas (sexag)	Long:		Lat:				
Cuenca:		Estado:		Municipio:	Miguel Hgo.	Localidad:	Campos Elíseos
Valle:		Modelo:					
Carta de INEGI:		ID local		ID C.N.A.			
Datos complementarios:							
Croquis de localización:			Fotografía del aprovechamiento:				



Imagen: Google Maps, 2015.



Fotografía: Juan de Dios Cuevas, 2014.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO – FACULTAD DE INGENIERÍA
 DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA – INGENIERÍA EN GEOLOGÍA
 ÁREA DE GEOTECNIA

Nombre del aprovechamiento:							
POZO 37 Cedro y Moliere							
Ubicación:							
Coordenadas Mercator (UTM):	Long:	14 Q 0478879	Lat:	2148708	Altura:	2259.461 msnm	
Coordenadas Geográficas:	Long:		Lat:				
Coordenadas Geográficas (sexag)	Long:		Lat:				
Cuenca:		Estado:		Municipio:	Miguel Hgo.	Localidad:	
Valle:		Modelo:					
Carta de INEGI:		ID local		ID C.N.A.			
Datos complementarios:							
Croquis de localización:				Fotografía del aprovechamiento:			



Imagen: Google Maps, 2015.



Fotografía: Juan de Dios Cuevas, 2014.

Nombre del aprovechamiento:							
POZO 56 La Hormiga							
Ubicación:							
Coordenadas Mercator (UTM):	Long:	14 Q 479723	Lat:	2146865	Altura:		
Coordenadas Geográficas:	Long:		Lat:				
Coordenadas Geográficas (sexag)	Long:		Lat:				
Cuenca:		Estado:		Municipio:	Miguel Hgo.	Localidad:	
Valle:		Modelo:					
Carta de INEGI:		ID local		ID C.N.A.			
Datos complementarios:							
Croquis de localización:			Fotografía del aprovechamiento:				



Imagen: Google Maps, 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO – FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA – INGENIERÍA EN GEOLOGÍA
ÁREA DE GEOTECNIA

Nombre del aprovechamiento:							
POZO 76 La Pirulera							
Ubicación:							
Coordenadas Mercator (UTM):	Long:	14 Q 478858	Lat:	2150365	Altura:	2265 msnm	
Coordenadas Geográficas:	Long:		Lat:				
Coordenadas Geográficas (sexag)	Long:		Lat:				
Cuenca:		Estado:		Municipio:	Miguel Hgo.	Localidad:	
Valle:		Modelo:					
Carta de INEGI:		ID local		ID C.N.A.			
Datos complementarios:							
Croquis de localización:			Fotografía del aprovechamiento:				



Imagen: Google Maps, 2015.



Fotografía: Juan de Dios Cuevas, 2014.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO – FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA – INGENIERÍA EN GEOLOGÍA
ÁREA DE GEOTECNIA

Nombre del aprovechamiento:							
POZO 77 Legaria							
Ubicación:							
Coordenadas Mercator (UTM):	Long:	14 Q 0478622	Lat:	2150413	Altura:	2271.387 msnm	
Coordenadas Geográficas:	Long:		Lat:				
Coordenadas Geográficas (sexag)	Long:		Lat:				
Cuenca:		Estado:		Municipio:	Miguel Hgo.	Localidad:	
Valle:		Modelo:					
Carta de INEGI:		ID local		ID C.N.A.			
Volumen de agua residual (m3):				Tipo de proceso:			
Datos complementarios:							
Croquis de localización:				Fotografía del aprovechamiento:			



Imagen: Google Maps, 2015.



Fotografía: Juan de Dios Cuevas, 2014.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO – FACULTAD DE INGENIERÍA
 DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA – INGENIERÍA EN GEOLOGÍA
 ÁREA DE GEOTECNIA

Nombre del aprovechamiento:						
POZO 93 Molino del Rey						
Ubicación:						
Coordenadas Mercator (UTM):	Long:	14 Q 479688	Lat:	2146909	Altura:	2270.851 msnm
Coordenadas Geográficas:	Long:		Lat:			
Coordenadas Geográficas (sexag)	Long:		Lat:			
Cuenca:		Estado:		Municipio:	Miguel Hgo.	Localidad:
Valle:		Modelo:				
Carta de INEGI:		ID local		ID C.N.A.		
Datos complementarios:						
Croquis de localización:			Fotografía del aprovechamiento:			

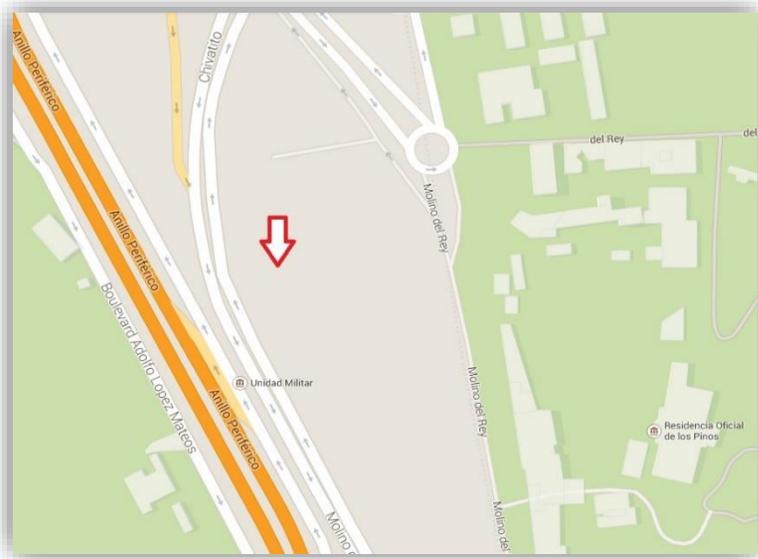


Imagen: Google Maps, 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO – FACULTAD DE INGENIERÍA
 DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA – INGENIERÍA EN GEOLOGÍA
 ÁREA DE GEOTECNIA

Nombre del aprovechamiento:							
POZO 79							
Ubicación:							
Coordenadas Mercator (UTM):	Long:	14 Q 0476213	Lat:	2145736	Altura:	2401 msnm	
Coordenadas Geográficas:	Long:		Lat:				
Coordenadas Geográficas (sexag)	Long:		Lat:				
Cuenca:		Estado:		Municipio:	Miguel Hgo.	Localidad:	Lomas de Chap.
Valle:		Modelo:					
Carta de INEGI:		ID local		ID C.N.A.			
Datos complementarios:							
Croquis de localización:			Fotografía del aprovechamiento:				

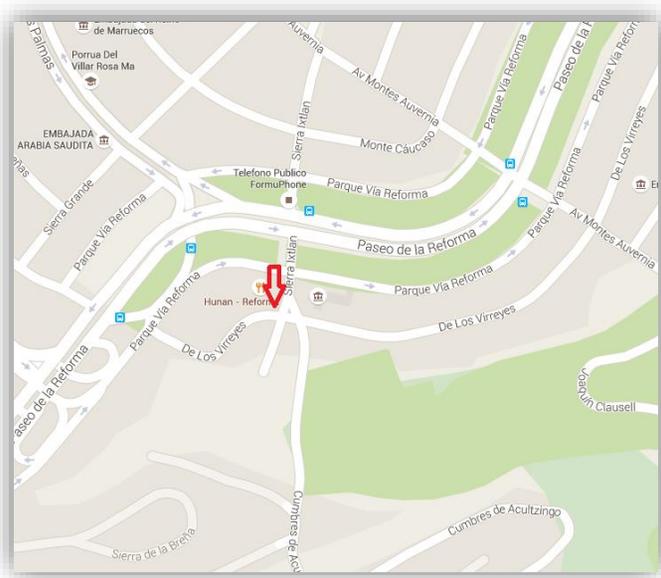


Imagen: Google Maps, 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO – FACULTAD DE INGENIERÍA
 DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA – INGENIERÍA EN GEOLOGÍA
 ÁREA DE GEOTECNIA

Nombre del aprovechamiento:							
POZO 253							
Ubicación:							
Coordenadas Mercator (UTM):	Long:	14 Q 0471497	Lat:	2141526	Altura:	2643 msnm	
Coordenadas Geográficas:	Long:		Lat:				
Coordenadas Geográficas (sexag)	Long:		Lat:				
Cuenca:		Estado:		Municipio:	CUAJIMALPA	Localidad:	TOTOLAPA
Valle:		Modelo:					
Carta de INEGI:		ID local		ID C.N.A.			
Datos complementarios:							
Croquis de localización:				Fotografía del aprovechamiento:			

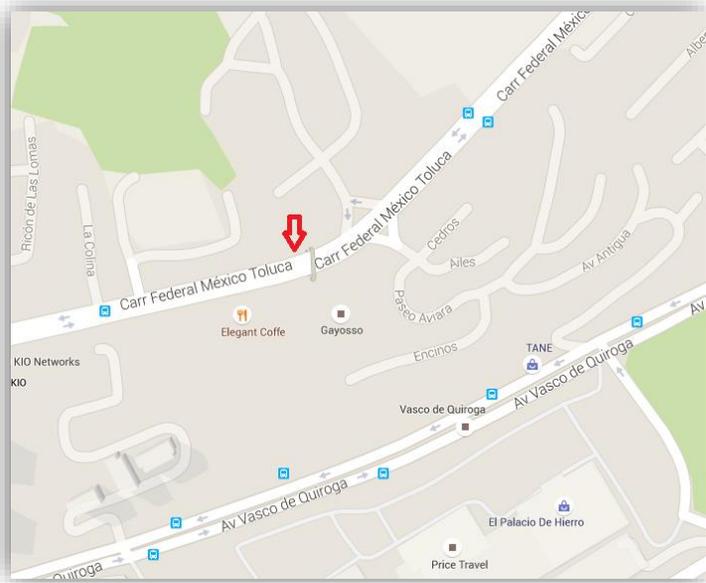


Imagen: Google Maps, 2015.

Anexo 3. Compendio de fracturas y hundimientos diferenciales de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.

No.	TIPO	UTM						ORIENTACIÓN	DIMENSIÓN (m)	ABERT MIN (cm)	ABERT MAX (cm)	UBICACIÓN	DETALLES
		Xi	Xf	Yi	Yf	Z	Z'						
P1	FRACTURA	481021		2147260		2267		N22E	16	2		MON. ESCUAD 201	
P2	FRACTURA	481014		2147225		2266		N36E	12.5	2.5		MON. ESCUAD 201	
P3	DAÑO CIM	480945		2147100		2259				2.5	5	QUINTA COLORAD	
P4	FRACTURA	480953		2147089		2262		N24E	11.4	3.5		BAÑOS MOCTEZ	
P5	FRACTURA							N5E	18			BAÑOS MOCTEZ	
P6	FRACTURA	480991		2147057		2261		N68W	18.5	1.5		BAÑOS MOCTEZ	
P7	HUND DIF	481045		2147054		2259	2256						
P8	DAÑO CIM	481006		2147140						0.3		QUINTA COLORAD	
P49	FRACTURA	478786		2147058		2279		N64W	52.5	1	3	HEROICA JUVENT	
P50	FRACTURA	481389	481408	2147594	2147607	2273	2271	N65E	23.75	5	10	HEROICA JUVENT	
P51	FRACTURA	481399	481411	2147592	2147603	2272	2271	N64E	25	7	10	HEROICA JUVENT	
P52	FRACTURA	481395	481413	2147582	2147604	2270	2270	N56E	25.36	5.5	9	HEROICA JUVENT	
P53	FRACTURA	481391	481420	2147586	2147601	2268	2267	N64E	24.94	3	10	HEROICA JUVENT	
P54	FRACTURA	481383	481411	2147591	2147608	2266	2265	N60E	29	9	13	HEROICA JUVENT	
P55	HUND DIF	481398		2147598		2263			1.1X1.3			HEROICA JUVENT	
P56	SUBSIDEN	481415		2147611		2260						HEROICA JUVENT	18 CM DE HUNDIMIENTO
P57	FRACTURA	481421	481419	2147611	2147612	2260	2261	N60E	25.3	3	19	HEROICA JUVENT	
P58	FRACTURA	481410	481432	2147603	2147620	2260	2261	N64E	24.6	3.5	4	HEROICA JUVENT	
P59	FRACTURA	481416	481434	2147595	2147619	2261	2261	N65E	24.5	1.5	6	HEROICA JUVENT	
P60	FRACTURA	481444	481453	2147621	2147607	2258	2258	N63E	22.86	1	6	HEROICA JUVENT	18 CM DE HUNDIMIENTO
P61	HUND DIF	481372		2147589									
P62	FRACTURA	481366	481371	2147588	2147566	2260	2259	N25E	21.4	1	2	HEROICA JUVENT	
P63	FRACTURA	481297	481296	2147548	2147530	2257	2257	N14W	21.2	1	2	HEROICA JUVENT	
P64	FRACTURA	481292	481299	2147483	2147467	2251	2251	S8E	20.52	2	3	CAM HACIA PTE VEHIC	PROFUNDIDAD 4 CM
P65	HUND TERR	481257		2147484		2221						PTE VEHICULAR RTP	
P66	FRACTURA	481266	481265	2147411	2147410	2238	2237	S2W	3.4	1	1	FUENTE DEL ÓVALO	PROFUNDIDAD 3 CM

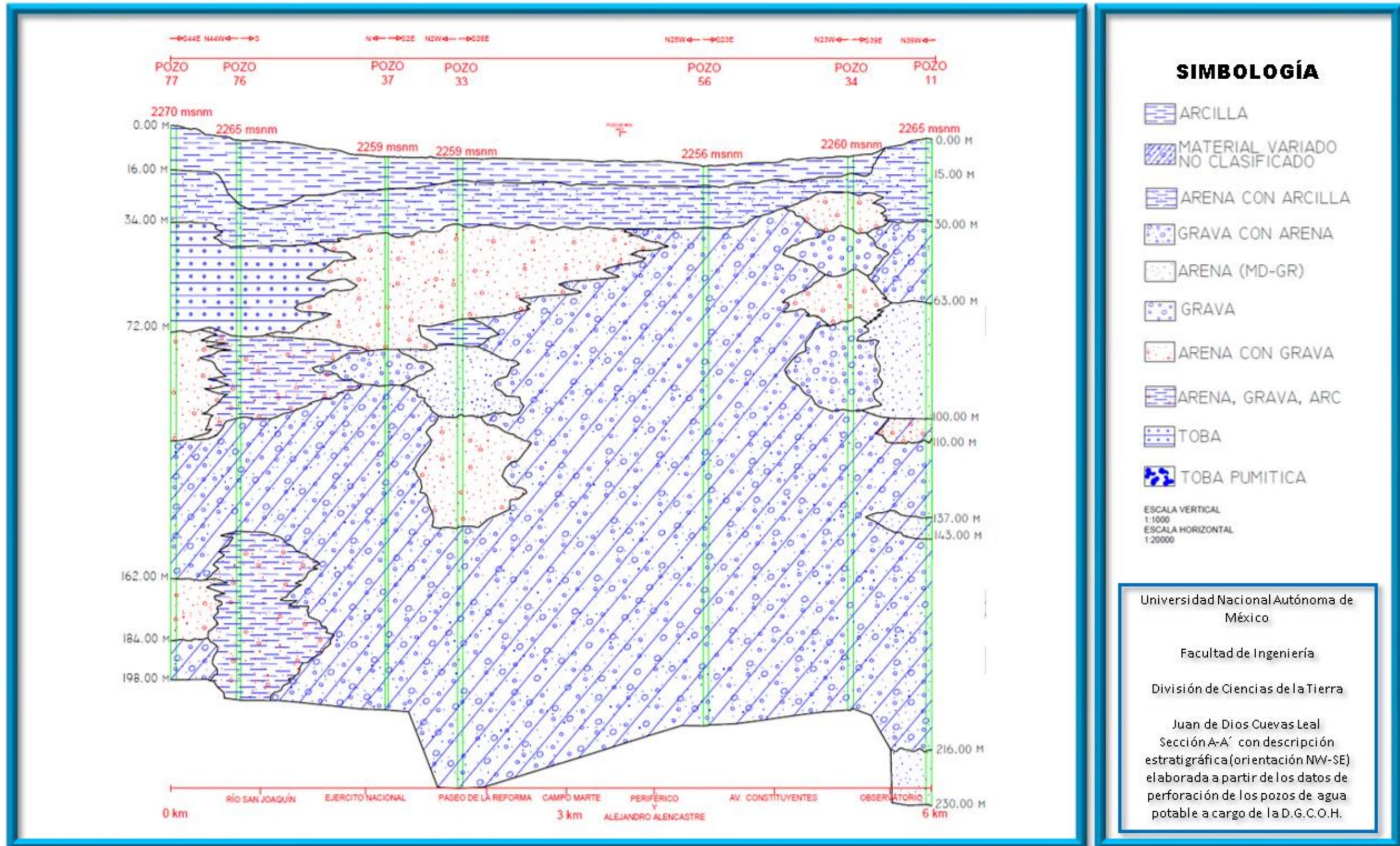
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO – FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA – INGENIERÍA EN GEOLOGÍA
ÁREA DE GEOTECNIA

P67	FRACTURA	481272	481267	2147440	2147433	2239	2240	S30W	11	1	3	ENTRE FUENTE Y PTE	PROFUNDIDAD 2 CM
P68	HUND TERR	481286		2147469		2238						CAM FRENTE A PTE	43 CM DE HUNDIMIENTO
P69	LEV ADOQUÍN	481272		2147491		2239						CAM FRENTE A PTE	
P70	FRACTURA	481243	481221	2147480	2147457	2245	2250	S46W	30.7	2	2	MON. NIÑOS HÉR	PROFUNDIDAD 4 CM
P71	FRACTURA	481207	481204	2147454	2147449	2252	2250	S57W	12.47			FRENTE A MON. NIÑOS H	
P72	FRACTURA	481200	481204	2147413	2147395	2251	2250	S10E	18	3	3	CIRCUITO PEATONAL	PROFUNDIDAD 4 CM
P73	FRACTURA	481219	481222	2147396	2147390	2249	2249	S22E	6	2	2	HACIA SALIDA METRO	PROFUNDIDAD 4 CM
P74	FRACTURA	481210	481245	2147391	2147377	2251	2250	S69E	38.8	4	7	HACIA SALIDA METRO	PROFUNDIDAD 4 CM
P75	FRACTURA	481196	481205	2147372	2147369	2248	2250	N81E	8.92	1	1	MUSEO DEL SITIO	PROFUNDIDAD 1.5 CM
P76	FRACTURA	481109	481096	2147366	2147358	2266	2270	S68W	15.4	1	7	DETRÁS OFIC SUBD TEC CHAP	PROFUNDIDAD 1.5 CM
P77	FRACTURA	478728	478857	2146967	2146983	2287	2288	S72W	136.5			CAM PEATONAL EN EL CIRCUI	PROFUNDIDAD 8 A 10 CM
P78	HUND DIF	478843		2146883		2291			2.05X1.7			CAM PEATONAL EN EL CIRCUI	PROFUNDIDAD 8 CM
P79	HUND DIF	478813		2147677		2296						FUENTE Y PISTA DEL SOPE	
P80	MINA RELLEN	478700		2147134		2295						DETRÁS EST GLM COMUNIC Y MANTEN	
P81	MINA RELLEN	478900		214625		2302						A LADO DE EST GLM	
P82	HUND DIF	478725		2146618		2307			10.3X2			ENFRENTE PISTA EL SOPE	PROFUNDIDAD 5-20 CM
P83	HUND DIF	448770		2146117		2308			28.6X2.7			COMAND POLICIA ENFRENTE MUSE HIST NAT	PROFUNDIDAD 5 CM
P84	FRACTURA	478891	478969	2147074	2146178			S52W	147.5			A LADO MUSEO HIST NAT	
P85	FRACTURA	478901		2146311		2301		N13E	80 CM	5	7	CAM PEAT DEL LAGO MENOR	PROFUNDIDAD 4 CM

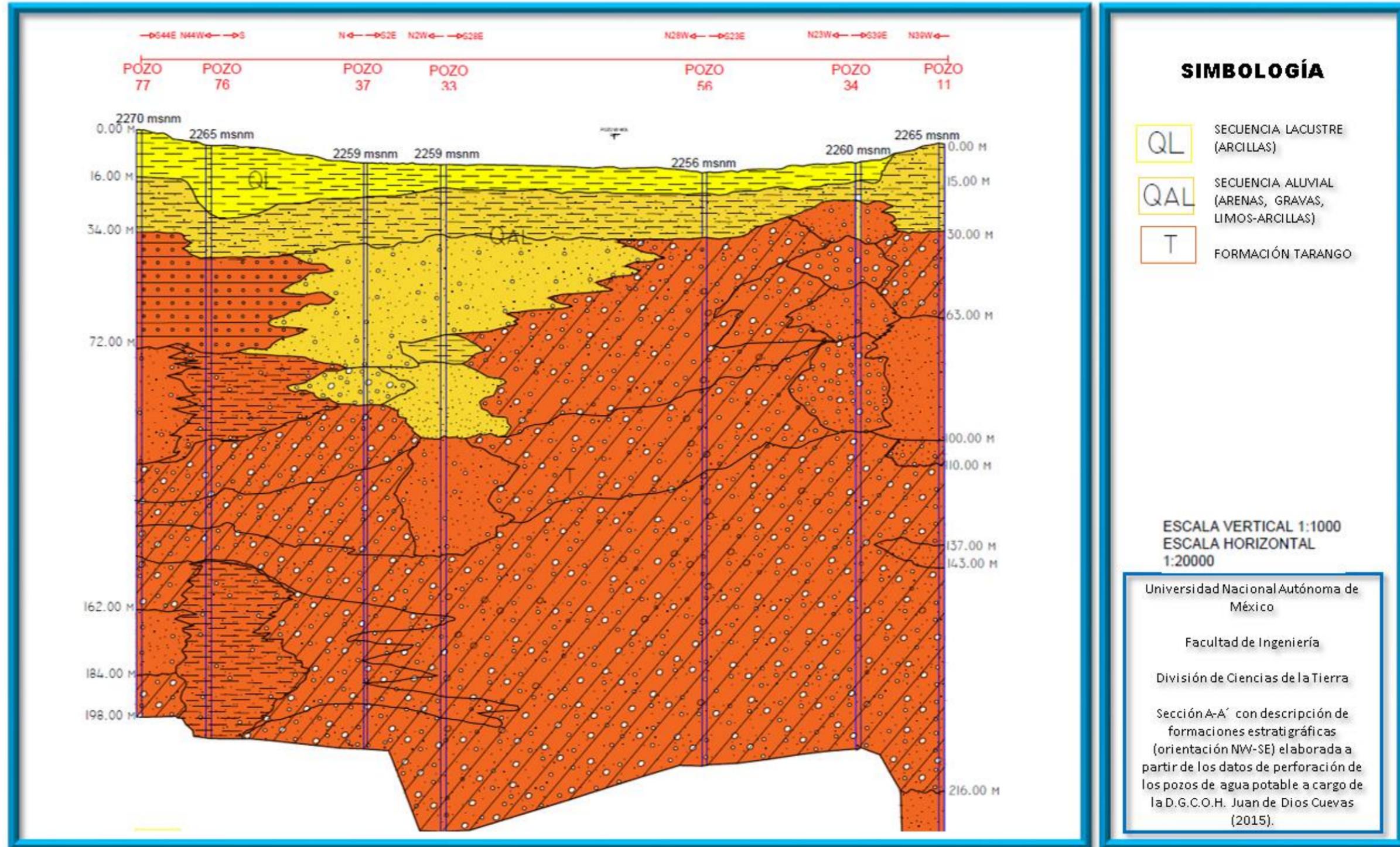
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO – FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA – INGENIERÍA EN GEOLOGÍA
ÁREA DE GEOTECNIA

P86	HUND DIF	480957	480879	2147026	2147017	2254	2261		77.6X6.3				BAÑOS MOCTEZ	PROFUNDIDAD 38 CM
P87	FRACTURA	480136	480128	2146838	2146832	2252	2252	N38E	7.65	3	3		CERCA A PARQUE LA HORMIGA	PROFUNDIDAD 1.5 CM
P88	FRACTURA	480040	479922	2147419	2147403	2255	2280	E-W	123	3	3		LAS FUENTES	PROFUNDIDAD 3 CM
P89	FRACTURA	479929	479940	2147404	2147397	2278	2279	N89W	14	2	2		MON A NEZAHUALC	PROFUNDIDAD 1 CM
P90	HUND DIF	481089	481089	2147445	2147435	2264	2260	N-S	14.7 M X 68 CM				ENTRADA AL CASTILLO	PROFUNDIDAD 8 CM
P91	HUND DIF	481057	481048	2147446	2147442	2260	2262	E-W	9.8X3				ENTRADA AL CASTILLO	PROFUNDIDAD 27 CM
P92	HUND DIF	481048		2147442		2262			17X6.15				ENTRADA AL CASTILLO	CASA DE LOS ESPEJOS
P93	FRACTURA	481248	481226	2147626	2147583			S38W	57.83	0.5	2.5		ACCESO AL BOSQUE DE CHAP	PROFUNDIDAD .5 CM
P94	FRACTURA	481208	481227	2147582	2147605			N36E	25.66	0.5	3		ACCESO AL BOSQUE DE CHAP	PROFUNDIDAD 1 CM
P95	FRACTURA	481137	481124	2147537	2147526			S60W	19.12	0.5	1		A LADO DE MON NIÑOS HÉROES	PROFUNDIDAD .5 CM
P96	FRACTURA	481130	481125	2147543	2147533			S65W	18	0.5	2.5		A LADO DE MON NIÑOS HÉROES	PROFUNDIDAD 1 CM
P97	FRACTURA	481055	481010	2147557	2147682			N25W	111	1	5		ATRÁS DEL MON	PROFUNDIDAD 2 CM
P98	FRACTURA	481034	481030	2147628	2147593			S2E	40.8	0.3	2.2		SALIDA HACIA REFORMA	PROFUNDIDAD 0.3 CM
P99	FRACTURA	480370	480418	2147652	2147642			S62E	45.25	0.5	1.5		CERCA ZOO CHAP	PROFUNDIDAD 0.5 CM
P100	FRACTURA	480278	480352	2147838	2147649			N25E,N10E,N10W	222	0.5	2		SALIDA REFORMA CHAP	PROFUNDIDAD 1.5 CM
P101	HUND DIF	480341		2147649				N75W					SALIDA REFORMA CHAP	

Anexo 4



Anexo 5



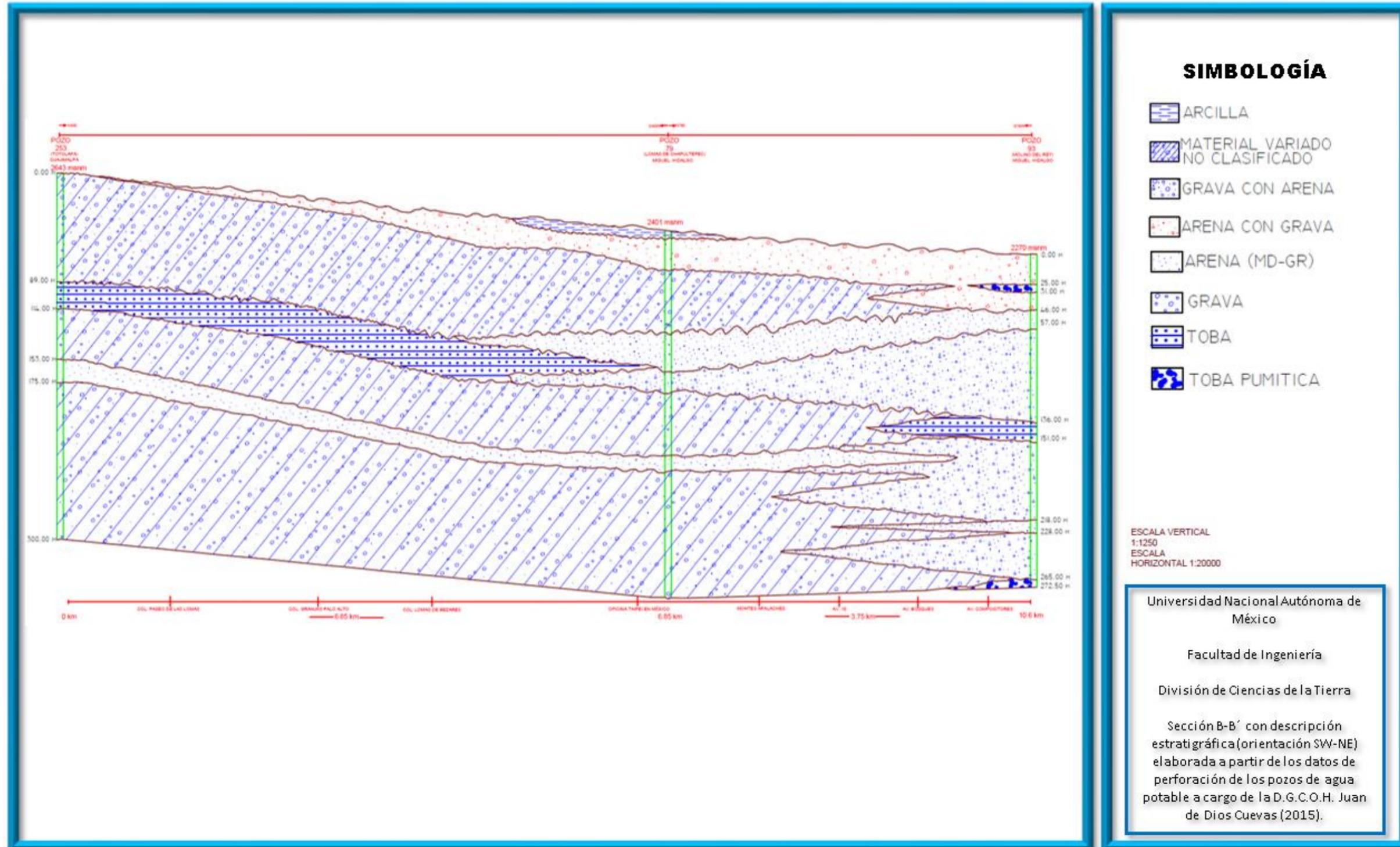
SIMBOLOGÍA

- QL SECUENCIA LACUSTRE (ARCILLAS)
- QAL SECUENCIA ALUVIAL (ARENAS, GRAVAS, LIMOS-ARCILLAS)
- T FORMACIÓN TARANGO

ESCALA VERTICAL 1:1000
 ESCALA HORIZONTAL 1:20000

Universidad Nacional Autónoma de México
 Facultad de Ingeniería
 División de Ciencias de la Tierra
 Sección A-A' con descripción de formaciones estratigráficas (orientación NW-SE) elaborada a partir de los datos de perforación de los pozos de agua potable a cargo de la D.G.C.O.H. Juan de Dios Cuevas (2015).

Anexo 6



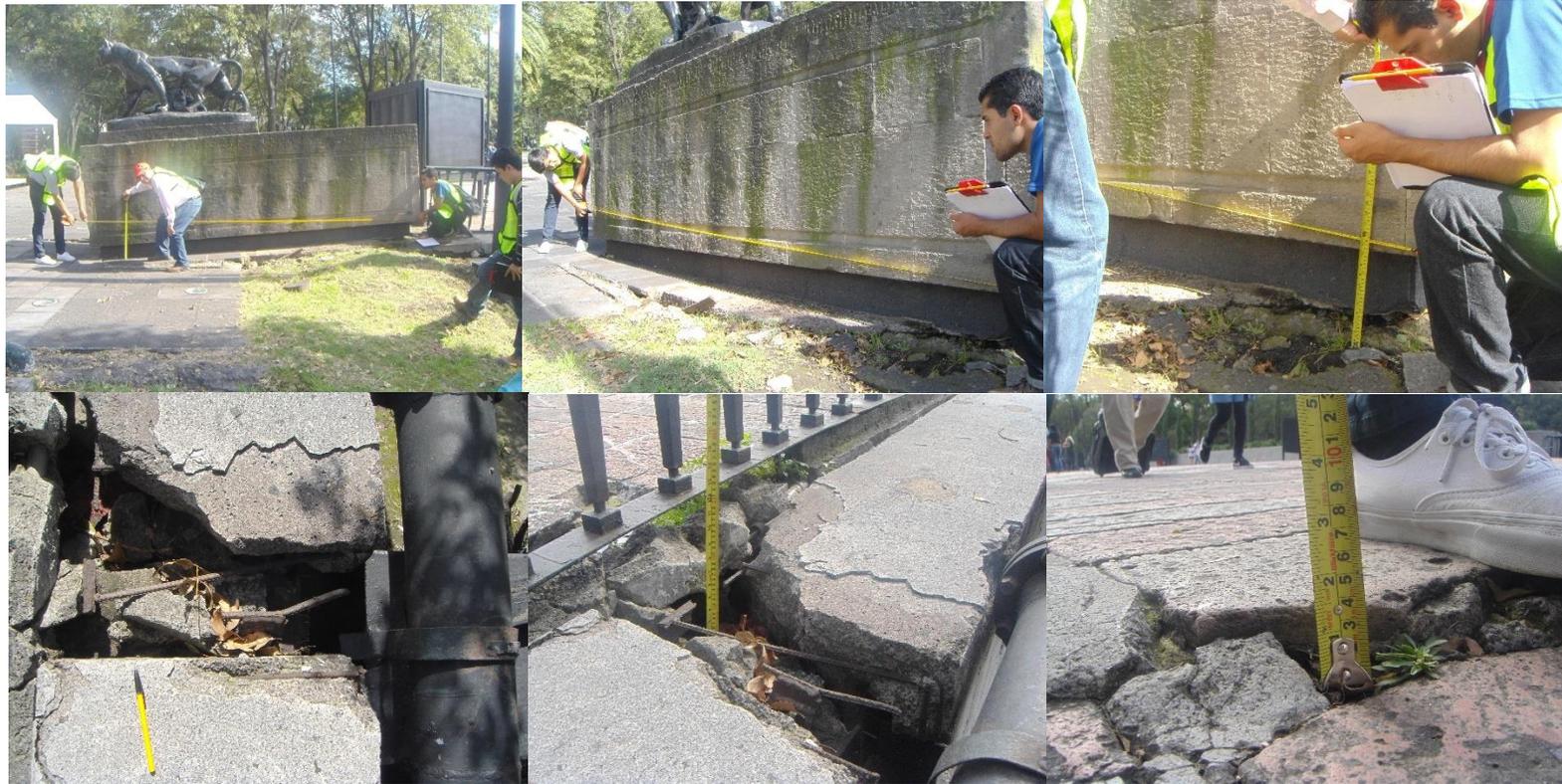
Anexo 8. Memoria fotográfica de fracturas y hundimientos diferenciales de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.



Descripción de imágenes: Levantamiento de fracturas y hundimientos diferenciales en la Avenida Juventud Heroica, Primera sección del Bosque de Chapultepec. Facultad de Ingeniería UNAM–CONACyT, marzo 2013. Las fracturas levantadas presentan aberturas de albanos milímetros hasta 13 cm, con una profundidad promedio de 5 cm. La mayor fractura levantada en esta área tiene una longitud de 52 m.



Descripción de imágenes: Levantamiento de fracturas en la Avenida Juventud Heroica, Primera sección del Bosque de Chapultepec. Facultad de Ingeniería UNAM-CONACyT, febrero 2014. En las imágenes se presenta una fractura causante de un daño al paso peatonal (adoquín), sobre el camino de acceso al Bosque de Chapultepec. La fractura presenta una profundidad de 5 cm, una abertura mínima de 1 cm y máxima de 10 cm y una longitud de más de 25m.



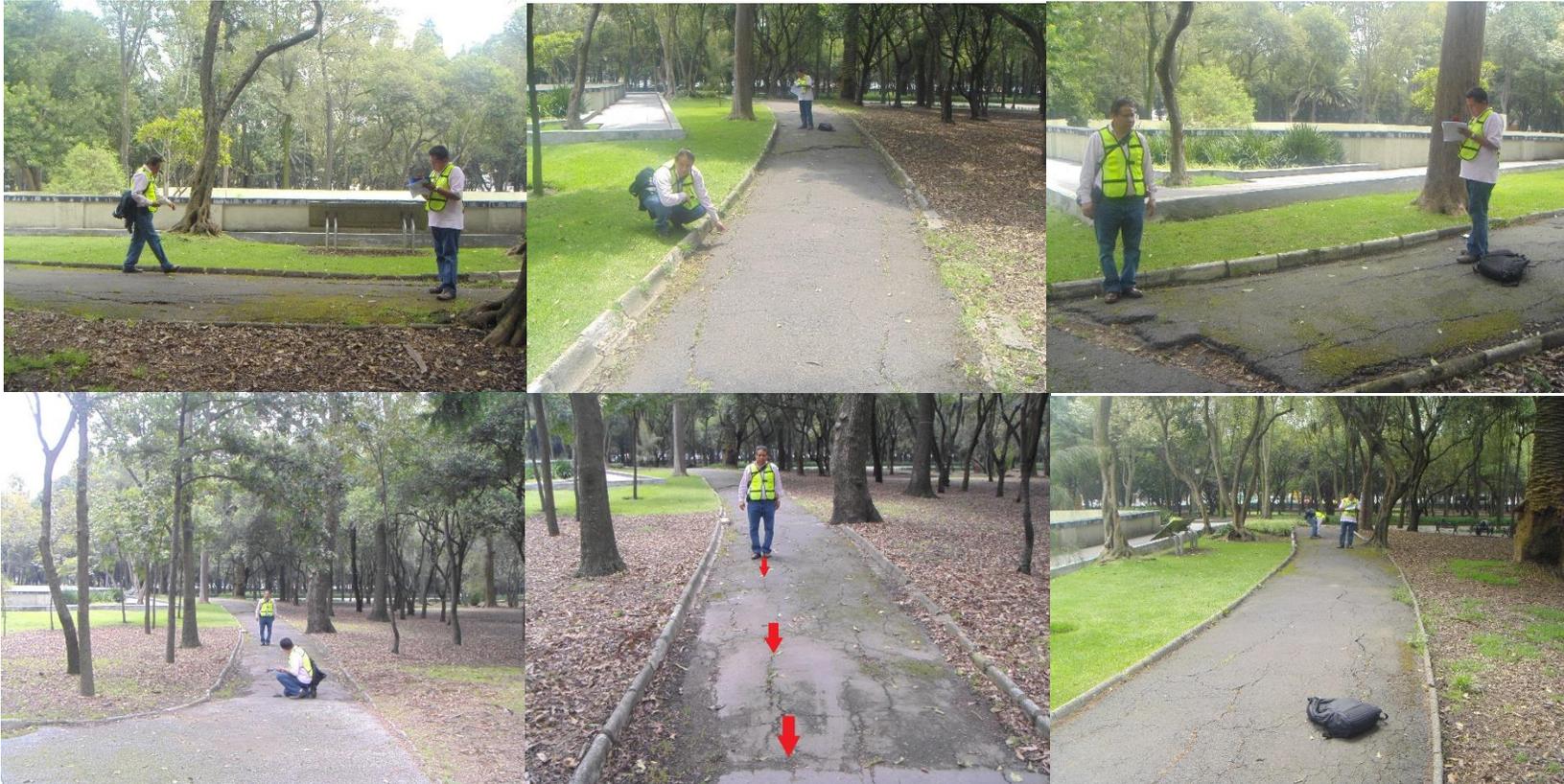
Descripción de imágenes: Determinación de daños a paso peatonal y estructura en el Puente de los leones, Primera sección del Bosque de Chapultepec. Facultad de Ingeniería UNAM–CONACyT, febrero 2014. Las imágenes presentan la toma de datos acerca de los daños que presenta el inicio del Puente de los Leones. Los daños se hacen más visibles en los laterales de los pedestales que sostienen las estatuas de leones.



Descripción de imágenes: Levantamiento de fracturas en el Monumento al Escuadrón 201, Primera sección del Bosque de Chapultepec. Facultad de Ingeniería UNAM–CONACyT, septiembre 2014. Las fracturas levantadas en esta zona presentan magnitudes menores a las localizadas en la Avenida Juventud Heroica. En promedio, las fracturas de esta zona tienen aberturas de algunos milímetros hasta 2 cm y con profundidades de menos de un centímetro. La longitud máxima de las fracturas es de 16 m.



Descripción de las imágenes: Determinación de daños en la Quinta Colorada, Primera sección del Bosque de Chapultepec. Facultad de Ingeniería UNAM–CONACyT, septiembre 2014. Las imágenes presentan los daños visibles de los muros de la Quinta Colorada.



Descripción de las imágenes: Levantamiento de fracturas y hundimientos diferenciales en los Baños de Moctezuma, Primera sección del Bosque de Chapultepec. Facultad de Ingeniería UNAM–CONACyT, septiembre 2014. Las imágenes presentan las fracturas y hundimientos encontrados en los alrededores de los Baños de Moctezuma. Las fracturas presentan aberturas de algunos milímetros hasta 4 cm y profundidades menores a 3 cm. La longitud máxima de las fracturas es de 18 m.