



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“CONDICIONES GEOLÓGICO-ESTRUCTURALES DEL
BOSQUE DE CHAPULTEPEC Y SU ENTORNO AL
PONIENTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA GEÓLOGA

P R E S E N T A :

GONZÁLEZ ESCAMILLA CLAUDIA

DIRECTOR: ING. MARTÍN CARLOS VIDAL GARCÍA



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICADA A:

A Dios. *Por todas las alegrías, bendiciones y la fortaleza a lo largo de mi vida. Por mostrarnos tu amor a través de los milagros vividos en casa y que ahora son hermosos testimonios que me han hecho crecer espiritualmente y convertirme en una persona humilde de corazón.*

A mi familia. *Por creer en lo que hago y por su eterno apoyo incondicional. A mis papás El ingeniero Enrique e Irma por guiar mi camino desde mis primeros pasos hasta el día de hoy; papá gracias por tus consejos y por enseñarme a trabajar con mis dos manos, por formarme como una mujer fuerte y versátil, por heredarme tus conocimientos y por ser mi ejemplo de fortaleza y valentía; mamá gracias por ser mi imagen ejemplo de una mujer luchona y fuerte, por motivarme a cubrir todas las áreas de mi vida, por tus cuidados, tus consejos, tus múltiples regaños, por escucharme y en ocasiones por ser mi cómplice, gracias por heredarme tu lado feminista. A mis hermanos: Carolina gracias por ser mi hermana, amiga, cómplice, doctora, psicóloga, etcétera, Jonathan gracias por tus consejos, por tu apoyo en mis locuras, por esas tardes de pilas y por mostrarme siempre tu cariño e Israel que es poco el tiempo que hemos tenido para convivir, sin embargo, eres parte de mi familia que, junto con Rosario y Karla, somos ahora una gran familia gracias por tu apoyo. Los amo!*

A Jesús Alberto Garfias Quetzada *quien llegó a integrarse entre las personas que amo. Gracias por tu apoyo, tus consejos, tu ayuda, tus brazos y tu amor; Ni antes ni después, en el momento perfecto que con tu peculiar personalidad iluminas mis días enteros y haces brillar con mayor intensidad las estrellas en medio de la noche. "Poniendo la mano en el corazón..." Ángel que Dios y la vida puso en mi camino. TE AMO!*

A mis sobrinos Job y Cezia *quienes son los más pequeños de la casa, esperando que sirva de ejemplo para su futuro. Mi calamelucha también debes aprender estas cosas de tu tía para que seas una princesa completa, Job aunque estés en busca de tus sueños nunca olvides que una buena preparación profesional te hará una persona reconocida en todos lados porque impactarás con tu cerebro y con tu corazón puro y sincero que serán tu motor del día a día. Mis niños que amo tanto!*

*En memoria de **Frida**. Pequeño regalo de Dios y que tuvimos la dicha de recibirla entre nuestros brazos durante casi 11 años. Gracias mi gordita de chicharrón porque a través de ti hiciste que creciera mi lado más humano, me enseñaste la bondad a través de tus ojos, fuiste mi compañera de lágrimas y mi fiel amiga sin condición alguna; Fuiste, eres y serás una gran compañera que siempre estarás en mi corazón y que ahora te toca estar a la diestra de Dios donde sé que eres inmensamente feliz, no es un adiós sino un hasta luego. Te amo.*

AGRADECIMIENTOS

A mis amig@s que estuvieron conmigo a lo largo de la carrera y que vivimos experiencias inolvidables y que han fortalecido ese lazo de amistad: Nictzia “Repocles” por tus consejos a todo mi mundo de dudas en una etapa importante y que me permitiste conocer y formar parte de tu familia, Karina “Señora” por mostrarme en todo momento tu amistad con tus múltiples enojos con las personas que me hacían cosas y como olvidar esos días de risas en los taludes de Chapultepec, Mayra “Señora de todas las señoras” que siempre estas para recordarnos que no descuidemos nuestro lado más femenino (las quiero mucho), Luisito por cuidar del club garnachas y preocuparte por nuestro bienestar, Victor por tus consejos, tus enseñanzas y las platicas que pueden durar horas; y finalmente Erick “piloto” que fueron días inolvidables y de muchas risas con las pilas interminables, contigo disfrute la primera etapa de la universidad y que aunque ahora la vida nos llevo por distintos caminos eres un gran amigo.

A Alberto Molina quien formó parte de una etapa importante en mi carrera, mi primera experiencia laboral, gracias por haberme dado confianza y seguridad; siempre procuraste mi bienestar durante los 3 meses que vivimos juntos, gracias por tu amistad.

A las personas que aportaron con sus conocimientos en este trabajo de tesis: Alberto Garfias, Karina Remigio, Mayra Martínez, Ricardo Linares, Javier Montalvo, Enrique López, Adán Castro, José Luis Arcos y Fernando Rosique; gracias por su apoyo y enseñanzas.

Gracias a los ingenieros que dedicaron su tiempo en revisar la tesis y que formaron parte del jurado: Ing. José Luis Arcos, Maestro Emiliano Campos, Ing. Jorge Nieto y al Ing. Javier Mancera

Al Ing. Martín Carlos Vidal García quien me dio la oportunidad de colaborar en el proyecto y me brindó su apoyo para dar el último paso en esta etapa.

Al proyecto FONDO MIXTO CONACYT-GDF No. SOLICITUD 0121119
Convocatoria: M0031-2009-01. Por su apoyo del sustento económico para la
realización de la tesis.

A mi alma mater la Facultad de Ingeniería de la UNAM, que me dio un lugar en su
casa, que me abrió los ojos y me dio las herramientas necesarias para salir al
mundo laboral con otro enfoque.

Primordialmente a la madre Tierra, que con sus formas tan bellas y perfectas que
la constituyen, me habla de su historia a través de sus componentes brindándome
unos hermosos paisajes mostrando su majestuosidad ante mis ojos. Y porque
nunca me has dejado olvidar de dónde vengo y que formo parte de tu naturaleza.

MUJER

PALABRA QUE HA ESCRITO LA MANO DE DIOS PARA CREAR LA MÁS DULCE, LA MÁS COMPLETA EXPRESIÓN DE LA BELLEZA, VIDA EN DONDE PRINCIPIA LA VIDA MISMA, LUZ EN DONDE EL SOL ENCIENDE LOS LUCEROS, RÍO DE TODAS LAS LÁGRIMAS, SELVA Y ROSAL, AROMA Y PERDÓN.

MUJER... SI NO FUERA TU CAMINO TAN SUBLIME, BASTARÍA LA HUELLA DE TUS PASOS PARA HACER QUE BROTARA UN SENDERO DE FLORES; SI NO EXISTIERA EL CANTO DE LOS PÁJAROS, EL DIMINUTO Y SONORO PALPITAR DE UN BESO HUBIERA CREADO LA MÚSICA DEL MUNDO.

TU VOZ, ARRULLO Y ORACIÓN, PROMESA O ENGAÑO, SEDUCCIÓN O DESESPERANZA, DEJA UN POCO DE MIEL EN EL ALMA Y TAMBIÉN UN POCO DE TRISTEZA EN LOS CABELLOS. TUS MANOS SON RAMAS DE UN ÁRBOL QUE DA SOMBRA Y PAZ Y CALOR Y MARTIRIO.

PERO SON TUS MANOS HECHAS PARA JUNTARSE EN LA ORACIÓN O PARA VOLAR COMO PALOMAS POR EL CAMPO DE LA CONCIENCIA DE LOS HOMBRES.

TU INVENTASTE LA PALABRA AMOR.

A. Lara

**SOY FELIZ SIENDO YO MISMA
QUITÁNDOME MÁSCARAS
SIN SENTIMIENTOS DE CULPA
CONFORME A MI MISIÓN Y SUEÑOS
HOY TENGO EL CORAJE
DE SENTIRME LIBRE
PARA ELEGIR MIS PASOS.**

ANÓNIMO



Condiciones Geológico-Estructurales del Bosque de Chapultepec y su entorno al Poniente de la Ciudad de México

ÍNDICE.

RESUMEN

1.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.RESEÑA HISTÓRICA DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC	1
1.2.ANTECEDENTES.	10
1.3.OBJETIVO.....	11
2. GENERALIDADES	13
2.1. LOCALIZACIÓN.....	13
2.2. POBLACIÓN.....	14
2.3. FISIOGRAFÍA	16
2.4. GEOMORFOLOGÍA.....	17
2.5. HIDROLOGÍA	23
2.6. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC	26
2.7. CLIMA Y VEGETACIÓN	27
3. GEOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE LA CIUDAD DE MÉXICO	29
3.1. INTRODUCCIÓN	29
3.2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL DE LA CUENCA DE MÉXICO	30
3.3. ORIGEN DE LA CUENCA DE MÉXICO	32
3.4. ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA DE MÉXICO.	35
3.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DE MÉXICO.	44
3.6. ESTRATIGRAFÍA DE LA CIUDAD DE MÉXICO.	48
3.7. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO.....	57





4.GEOLOGÍA DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC Y SU ENTORNO AL PONIENTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO 63

4.1. GEOLOGÍA DE LA ZONA PONIENTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO 63

4.2. GEOLOGÍA DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC..... 69

4.3.SECCIONES GEOLÓGICAS DEL SUBSUELO EN LA ZONA PONIENTE 73

5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC Y LA ZONA PONIENTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO 81

5.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA ZONA PONIENTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO.81

5.2. ANÁLISIS DE LA GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC Y DE LA SUBCUENCA DOLORES-CHAPULTEPEC. 86

□ ANÁLISIS DEL FRACTURAMIENTO ESCALA 1:50 000..... 88

□ ANÁLISIS DEL FRACTURAMIENTO ESCALA 1:10 000..... 90

LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL EN LA ZONA DE LOS TALUDES DE LA 3RA. SECCIÓN DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC..... 99

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 105

ANEXOS 110

TABLA I. FRACTURAS DE LA CARTA DE LA CIUDAD DE MÉXICO 110

TABLA II. FRACTURAS DE LA CARTA BOSQUES DE LAS LOMAS. 113

TABLA III. FRACTURAS DE LA CARTA BOSQUE DE CHAPULTEPEC. 116

TABLA IV. FRACTURAS DE LA CARTA SANTA FÉ..... 116

TABLA V. FRACTURAS DE LA CARTA MIXCOAC..... 119

BIBLIOGRAFÍA 121





RESUMEN

Gracias al proyecto de fondo mixto CONACYT-GDF (convocatoria M0031-2009-01) la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de la Facultad de Ingeniería, realiza estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos en el Bosque de Chapultepec. El estudio de las condiciones presentes en la zona Poniente de la Ciudad de México, es importante para un buen análisis estructural, tanto en las barrancas de la zona Poniente, en los colapsos del subsuelo en la Segunda Sección del Bosque así como en los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec con el objetivo de conocer los sitios de mayor riesgo para la población.

Este trabajo se enfoca en el análisis estructural del Bosque de Chapultepec y de la zona Poniente de la Ciudad de México, que geomorfológicamente se encuentra en la falda del bloque centro oriental de la Sierra de las Cruces, donde los depósitos que afloran son principalmente por tobas, brechas y capaz de pómez las cuales corresponden a la capa superior de la Formación Tarango.

Con los marcos físicos y teóricos establecidos, se llevo a cabo el análisis estratigráfico y estructural de la zona poniente de la Ciudad de México, con la ayuda de trabajo en campo, de cartas urbanas y de modelos digitales de elevación, se obtuvieron diagramas de rosetas de fracturamiento (diseñadas en Dips) con el objetivo de conocer las direcciones principales de las fracturas, así como el origen de las mismas.

Con base en lo anterior, se realizó el análisis a escalas 1:50 000 y 1:10 000 del área poniente de la Ciudad de México. Éste análisis dio como resultado que el fracturamiento de la zona poniente de la Ciudad de México tiene dirección principalmente hacia el NE-SW con origen tectónico en donde García Palomo (et. al., 2008) sugiere se encuentra asociado a la zona de cizallamiento Tenochtitlán.

Además, los diagramas de rosetas muestran una serie de familias de fracturamiento con menor frecuencia. Este fracturamiento carece de una orientación preferencial, lo que indica que fueron generadas por la subsidencia diferencial en la superficie.





1. INTRODUCCIÓN

1.1. Reseña Histórica del Bosque de Chapultepec

El Bosque de Chapultepec es el bosque urbano más grande de América Latina con 686 hectáreas cuyo nombre significa “cerro del Chapulín”, es el bosque más antiguo de América y se encuentra dividido en tres secciones.

La primera sección cuya superficie donada durante el porfiriato, se encuentra cercada por rejas verdes. La segunda y tercera sección llega hasta el panteón de Dolores, cruzan el Periférico y amplían su superficie. Chapultepec constituye casi la mitad de las áreas verdes de la zona metropolitana. Estas fueron planeadas en diferentes épocas (figura 1.1.).

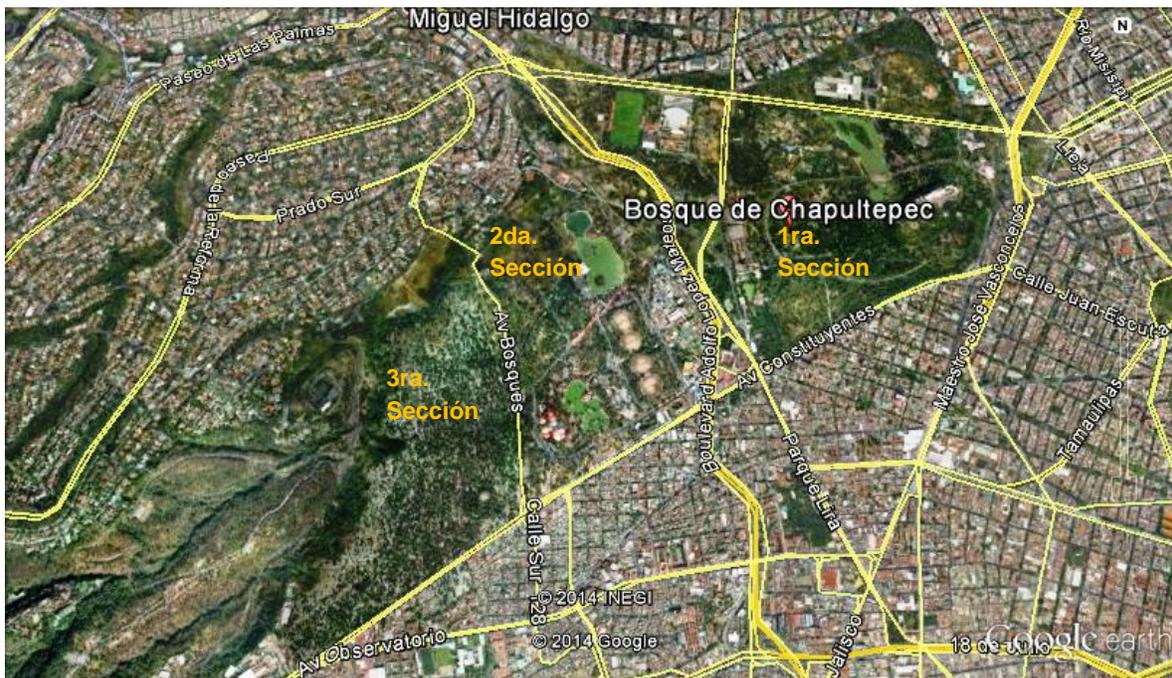


Figura 1.1. Imagen actual donde se muestran las tres secciones del Bosque de Chapultepec (Imagen tomada de Google Earth).





La primera sección es la más antigua y en ella se ubica las fuentes y monumentos más importantes como la fuente de Netzahualcóyotl, la fuente de las Ranas, la fuente del Quijote, la fuente de la Templanza el Alta de la Patria, el monumento a los Niños Héroes, el Monumento a las Águilas Caídas, el Ahuehuate, y los Baños de Moctezuma. También, el Museo Nacional de Historia (Castillo de Chapultepec), la casa del Lago de la UNAM, el Auditorio Nacional, el Centro Cultural del Bosque, museo Nacional de Antropología, museo Rufino Tamayo y el museo de Arte Moderno. Además, tiene otros espacios de recreación como el Zoológico Alfonso L. Herrera, el jardín de la Tercera Edad y el Auditorama.

La segunda sección está definida por sus actividades recreativas, así como por sus características físicas y ambientales porque se trata de terrenos que antiguamente fueron usados para el cultivo. En esta sección se encuentra El Papalote Museo del Niño, el Museo Tecnológico de CFE y el Museo de Historia Nacional; otros espacios como la Feria de Chapultepec y varios restaurantes. De las obras que más destaca el Cárcamo de Tláloc cuya obra fue hecha para recibir el agua proveniente de los manantiales de la Laguna de Lerma del Estado de México. Otros atractivos son el Lago Mayor donde se encuentra la fuente monumental, más grande de Latinoamérica.

La tercera sección del Bosque de Chapultepec, es un área importante de preservación ecológica para las especies de flora y fauna, así como una fuente importante de servicios ambientales para la Ciudad de México y es por ello, que en 1992 fue decretada como Área Natural Protegida (chapultepec.org.mx).

A lo largo de su historia, el Bosque de Chapultepec ha tenido diferentes funciones, usos y servicios; su valor histórico y su carácter simbólico constituyen uno de los pilares de la identidad de los mexicanos (Enríquez Santillán, 2012).

La historia del Bosque inicia cuando los toltecas en el año de 1122 descubrieron el peñón de Chapultepec y los primeros asentamientos humanos fueron por los aztecas en 1242. Chapultepec fue considerado “La Esmeralda de Anáhuac” en donde lo visitaban los reyes y poetas de cacería o simplemente para contemplar la naturaleza.





Por descubrimientos de algunos restos arqueológicos, los primeros asentamientos fueron durante el preclásico (2300 a.C. a 100 d.C.) y este pudo haber estado habitado por teotihuacanos, posteriormente en el posclásico (100 a 850 d.C.) por toltecas, tepanecas y finalmente por los mexicas (Guerrero Mothelet, 2005).

Se consideró Chapultepec como lugar sagrado y sitio de recreo de los reyes aztecas, después de que se fundó México-Tenochtitlán en 1325. El primer personaje en residir en este sitio sagrado fue Nezahualcóyotl, rey de Texcoco, quien se encargó de construir el primer acueducto “de Tlaxpana” (también conocido como de Santa Fé o el de La Verónica llamado así porque seguía la calzada de la Verónica donde actualmente está la avenida Melchor Ocampo). Este acueducto estuvo compuesto por más de mil arcos.

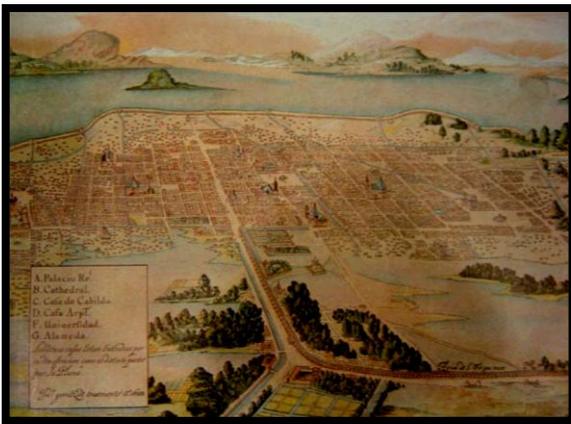


Figura 1.2. El acueducto de Tlaxpana inició su construcción durante el gobierno del virrey Juan Mendoza y Luna, la obra tuvo un costo total de 50 mil pesos (Hueytletl Torres, et al., 2004).

Un segundo acueducto concluyó en mayo de 1779 durante el virreinato de Antonio María de Bucareli y Usúa, consta de 904 arcos y fue una importante obra hidráulica de la cual aun se conservan 20 arcos en pie en la avenida Chapultepec, fue nombrado arcos de Belem (figura 1.3.). Algunos investigadores mencionan un acueducto de mayor tamaño al mencionado anteriormente, este fue construido por Axayácatl cumpliendo la función del suministro de agua (figura 1.4).



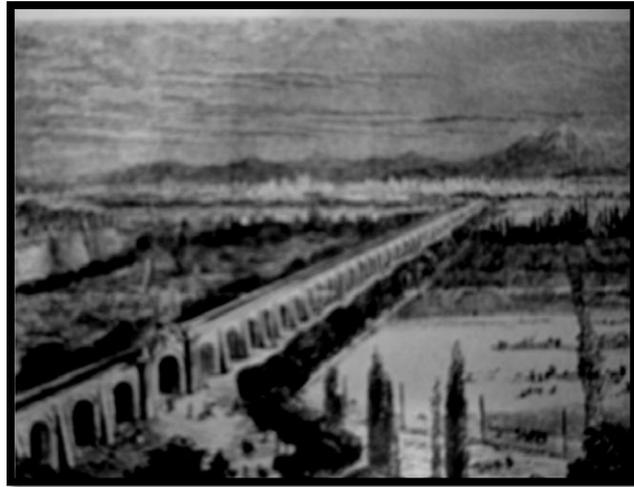


Figura 1.3. Arcos de Belem (Enríquez Santillán, 2012).

Además, se tiene el registro de tres albercas principales que se construyeron durante el gobierno de Moctezuma I. Una de ellas fue la nombrada Alberca de Moctezuma, que fue construida a un costado de su palacio, tenía la finalidad de distribuir agua a la ciudad y que media 30 varas (1 vara=0.9144 metros) de perímetro por 7 de profundidad. La segunda fue los baños de Moctezuma que media 100 varas de perímetro. Por último, la tercera alberca conocida como la de los “Nadadores”, aquí se ubicaban los baños que daban servicio al público, de las tres albercas era la más extensa pero de poca profundidad. Las tres albercas se construyeron para aprovechar las aguas que brotaban del subsuelo que, posteriormente, se comprobó que las albercas las alimentaba el mismo manantial.

En la figura 1.4. muestra un acueducto que según algunos investigadores, era más grande que el acueducto arcos de Belem y que servía para transportar el agua a las albercas. Fue construido por Axayácatl en 1465 (Hueytletl Torres, et al., 2004).





Un levantamiento importante arquitectónico fue el templo nombrado Teocalli que además de usarse como lugar sagrado, tenía la función de servir como fortaleza en caso de un ataque. Se ubicaba en la cúspide del cerro de Chapultepec y su construcción ocurrió durante el mandato de Huitzilihuitl.

Después de la caída de Tenochtitlán, el 13 de agosto de 1521, Hernán Cortés tomó posesión del Bosque y del cerro de Chapultepec y según algunos autores se cree que se construyó una fortaleza que, posteriormente, se convirtió en una fábrica de polvorín aunque no hay evidencia de ello (Hueytletl Torres, et al., 2004).

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 en la historia mexicana que son la intervención francesa y la estadounidense (Guerrero Mothelet, 2005).

De modo que Chapultepec siempre fue codiciado, además de ser un lugar sagrado, por su agua potable. Después de consumada la conquista, los españoles asignaron al sitio la función de servir de recreo virreinal. Ahí construyeron una casa veraniega donde actualmente se localiza el Castillo de Chapultepec.

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 colocando una placa en la entrada principal de la puerta en la que tenía grabada la siguiente leyenda: “D. Luis de Velasco, virrey de esta Nueva España, dedica a su soberano este bosque lugar de recreo público hermoso por su frondosidad y fábricas”, no se conoce en dónde quedó esta placa.

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 virreyes. Así el gobierno español logró quitarle la propiedad del Bosque a la ciudadanía.

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.





En los años posteriores se buscó un mejoramiento en la zona, para 1886 se construye la traza recta que une las puertas de Chapultepec con el palacio Nacional, esto fue emprendido por Maximiliano de Hamsburgo. Una de las glorietas que se encuentran en esta calzada, tiene el monumento del rey Carlos IV mejor conocido como “El Caballito” y la avenida se nombro como Paseo o Calzada del Emperador. Parte de estas mejoras fue la construcción de la rampa que actualmente es utilizada en el acceso al Castillo de Chapultepec (figura 1.5).



Figura 1.5. Para acceder al edificio era por el lado sur entonces se construyó una rampa que rodeara la ladera hasta llegar a la explanada del lado superior por el poniente, en este camino se colocaron más de 30 faroles de gas elegantes sobre pedestales de hierro. Esta rampa se utiliza actualmente para que los visitantes lleguen al Castillo de Chapultepec (Hueytletl Torres, et al., 2004).

Uno de los objetivos de Maximiliano fue el mejoramiento del Bosque, que luciera como una residencia señorial, así que a partir de este momento comienza el embellecimiento del mismo. Hace un contrato con el arquitecto mexicano Ramón Rodríguez Arangoiti quien cumple casi en su totalidad el proyecto de reconstrucción. Entre las acciones de mejora que se registraron durante esta época esta la limpieza total de la zona abandonada que se encuentra detrás de la casa, se hicieron caminos que facilitaron el recorrido del bosque y mando a crear un zoológico, su afición a los animales era muy grande y entre las especies con las que contaba este zoológico eran venados, águilas, tigres, tejones y cacomixtles. Además, se mando hacer una pajarera y se renovó la cueva (túnel del elevador).

Para 1886, el presidente General 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 traídas de Francia, Bélgica y Suiza, 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 bajo la dirección de José Yves Limantour. 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 Automóvil Club; y la construcción del lago artificial de Chapultepec. Cerca de aquí, se instaló el zoológico y el jardín botánico alumbrado.

Entre otras edificaciones y cambios importantes que ocurrieron durante el porfiriato son los quioscos en los que se vendían alimentos, el restaurante Chapultepec en el que acudía sociedad más selecta, de modo que fue el bosque más hermoso de su tiempo.

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 la actualidad y con el paso de los años, es evidente que se ha perdido ese interés que se tenía por el bosque, además que ha tenido cambios notables algunos originados desde la sobreexplotación de los mantos acuíferos del Valle de México. 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 Mothelet, 2005).





El Bosque se encuentra bajo amenaza en su entorno vegetal como animal, debido a varios factores como el crecimiento de la mancha urbana, el mal uso de los espacios y la poca conciencia que tiene el hombre al atacar su propio entorno. Además debe agregarse el poco viento, el escaso riego que se tiene, la lluvia ácida y la contaminación que ha afectado a la fauna y que está llevando a la ruina los arboles.

El Bosque de Chapultepec sirve de lugar de descanso y esparcimiento de las clases populares, recibe aproximadamente 15 millones de visitantes anualmente.

En el año 2000, la Dirección General de la Unidad de Bosques Urbanos y Educación Ambiental lo calificó como un bosque en estado de deterioro grave a causa de la carencia de recursos financieros y humanos para realizar las acciones de mantenimiento y de mejora de infraestructura, sin planeación que permitiera tomar las medidas y criterios para la conservación y manejo de sus áreas verdes.

La Secretaría del Medio Ambiente llevo a cabo el Programa de Manejo Integral y Desarrollo Sustentable para el Bosque de Chapultepec, en el que se determino contar con recursos del Banco Interamericano de Desarrollo y se contrataron los servicios del Programa de Estudios Sobre la Ciudad (PUEC) de la Universidad Nacional Autónoma de México. El Programa tiene como objetivo contar con un documento operativo para la toma de decisiones en el que se identificara necesidades, se establecieran prioridades y determinara las acciones a corto, mediano y largo plazo para la conservación de la biodiversidad y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, históricos y culturales de las tres secciones del Bosque de Chapultepec (Enríquez Santillán, 2012).

En ese mismo año, un grupo de ciudadanos se acercaron a las autoridades ofreciendo su ayuda para rescatar el bosque ya que su preocupación era grande. Para el 2002 formaron el Consejo Rector Ciudadano del Bosque de Chapultepec y de manera contemporánea se formo un patronato para reunir recursos y así forma el Fideicomiso Pro Bosque de Chapultepec.

El Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad (PUEC) en primer lugar realizó un diagnostico para evaluar los problemas más graves que primero debían atenderse, de aquí salió el plan maestro de restauración que debía seguirse bajo la dirección del arquitecto Mario Schjetnan; además, se utilizó el apoyo de la





Universidad de Chapingo y del Instituto de Ecología de la UNAM, que son especialistas en los recursos naturales y la ecología.

El plan maestro tiene dos zonas principales de estudio, el primero es del lado arquitectónico en la que se realizaron cambios para mantener el equilibrio y la armonía entre el paisaje y las obras hechas por el hombre. Entre los cambios esta la restauración total de la entrada denominada puerta de los leones con el objetivo de facilitar el acceso al bosque a las más de 200 mil personas que llegan cada semana, se hizo la ampliación a la avenida Acuario retirando la zona de comerciantes y dejándola como área de descanso, integración de nuevo mobiliario como botes de basura, bancas y agregaron nuevas señales a los andadores principales.

La segunda vertiente del plan maestro consistió en el saneamiento ambiental de agua, fauna y vegetación. Se realizó la limpieza de los lagos Mayor y Menor, se dragaron con un sistema llamado geotubos que sirven para recolectar y manejar de manera adecuada los lodos que se extraen.

Se construyó, además, un nuevo sistema hidráulico que permite la ventilación y circulación del líquido de los lagos y así evitar el estancamiento de sus aguas y una posterior contaminación. En consecuencia, se implantó un nuevo sistema de riego que permitiera utilizar el agua tratada de los lagos que proviene de una planta de tratamiento ubicada en la segunda sección y desemboca en el Canal del Quijote.

En cuanto a la fauna, se establecieron dos etapas: reconocimiento y rescate de las especies protegidas y control de la fauna nociva con el objetivo de proteger la diversidad biológica durante la limpieza de los lagos.

Un aspecto de mayor importancia, es la rehabilitación de la vegetación. Los árboles se encuentran en malas condiciones debido a una mala planeación de reforestación, la especie que se encuentra en muy mal estado es el cedro en donde su plantación fue excesiva durante décadas entonces la sobrepoblación de arboles no permitió el sano crecimiento de las especies. Se retiraron los árboles muertos y enfermos, se removieron costras que impedían el paso del agua y se pusieron fertilizantes (Guerrero Mothelet, 2005).





1.2. Antecedentes.

En la segunda sección del Bosque de Chapultepec, en el año 2006, ocurrió un importante colapso de la estructura de cimentación que soportaba el Lago Mayor (Figura 1.6). A consecuencia de esto, el gobierno del Distrito Federal a través de la dirección del Bosque de Chapultepec y de la convocatoria del Fondo Mixto de CONACYT-GDF (convocatoria M0031-2009-01, solicitud No.0121119), se propusieron una serie de actividades con el proyecto llamado “Estudios Geológicos, Geofísicos y Geotécnicos para caracterizar y determinar la presencia de inestabilidades en el subsuelo y en los taludes de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec” con la finalidad de conocer el comportamiento del subsuelo ya que es una infraestructura que recibe más de 50 mil personas por semana, la cual cuenta con dos lagos artificiales, la zona de juegos mecánicos, varios museos (CFE) y la zona de restaurantes.

Figura 1.6. Colapso de la estructura que sostiene el Lago Mayor de la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec, junio del 2006 dejando un importante boquete donde se perdió la fauna (Facultad de Ingeniería, 2011).





Para darle seguimiento a los trabajos realizados en el año 2006, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el 2010 realizó un reconocimiento de rasgos superficiales que estuvieran relacionadas con las antiguas obras mineras, colapsos y hundimientos de la superficie, el agrietamiento superficial localizado en las áreas verdes y peatonales, en estacionamientos públicos, en vías de acceso y tránsito vehicular frecuentes, también en zonas de ornamento que son las fuentes y los monumentos. En estas estructuras se busca la estrecha relación al fenómeno de subsidencia en el Lago Mayor y sus alrededores; como resultado se obtuvo un mapa con rasgos superficiales que muestra la localización, características y su incidencia en la infraestructura del Bosque. Con el objetivo de localizar las zonas potenciales que se asocien al fenómeno de subsidencia alrededor del Lago Mayor de Chapultepec y demás infraestructura instalada en la segunda sección.

Con la reinterpretación de 7 sondeos realizados en el 2006, se estableció un modelo geológico somero de los primeros 32 metros desde la superficie. Aquí se determinó la distribución de una capa de relleno y de suelo semicompactado y cuatro unidades de rocas que corresponden a la Formación Tarango. También se realizó un levantamiento con líneas geoelectricas con el que se determinó la geometría y el espesor de la capa de suelo y de las unidades de roca, además se determino la presencia de saturación de agua de suelo y de roca a los primeros 12 metros (Facultad de Ingeniería UNAM, 2011).

1.3. Objetivo.

El objetivo general es determinar las condiciones geológicas y estructurales en la superficie y el subsuelo del Bosque de Chapultepec, así como la zona aledaña al poniente de la Ciudad de México.

Los objetivos particulares para la realización de este proyecto se enumeran a continuación:

1. Recopilar y analizar la información sobre los trabajos geológicos y estructurales realizados previamente a nivel Cuenca de México, Ciudad de México, zona Poniente de la Ciudad de México y el Bosque de Chapultepec de la Ciudad de México.





2. Recopilar y analizar trabajos de pozos previamente descritos para elaborar secciones geológicas representativas de la zona poniente y centro de la Ciudad de México.

3. Realizar levantamientos estructurales detallados tomando en cuenta la utilización de cartas urbanas a escala 1:50 000 y 1:10 000, modelos digitales de elevación y trabajo en campo para su identificación..





2. GENERALIDADES

2.1. Localización

La delegación Miguel Hidalgo ocupa el 13.17% del territorio del Distrito Federal, tiene una superficie de 47.68 km² y el Bosque de Chapultepec ocupa una superficie de 7.2 km² lo que corresponde al 15.12% del territorio de la delegación. Se ubica al poniente de la Ciudad de México y colinda con las siguientes delegaciones: al norte con Azcapotzalco, al oriente con Cuauhtémoc, al suroriente con Benito Juárez; al sur con Álvaro Obregón y finalmente al poniente colinda con los municipios de Naucalpan y Huixquilucan del Estado de México (Figura 2.1). De manera aproximada, la mitad de esta superficie es plana con suelos aluviales en donde se ubica la población que primero colonizó esta parte de la ciudad; la otra mitad son terrenos accidentados que ascienden hacia la Sierra de las Cruces abruptamente (Garza, et. al., 1987).

El Bosque de Chapultepec se encuentra circundado por las calles y avenidas siguientes: Rubén Darío y Paseo de la Reforma hacia el norte, al oriente por Calzada general Mariano Escobedo, Circuito interior y Periférico; hacia el sur por la Avenida Constituyentes; al poniente por Acultzingo, Paseo de la Reforma, Sierra Mijes, Montes Carpatos, Miguel Ángel de Quevedo y avenida Bulevar de los Virreyes (Enríquez Santillán, 2012).



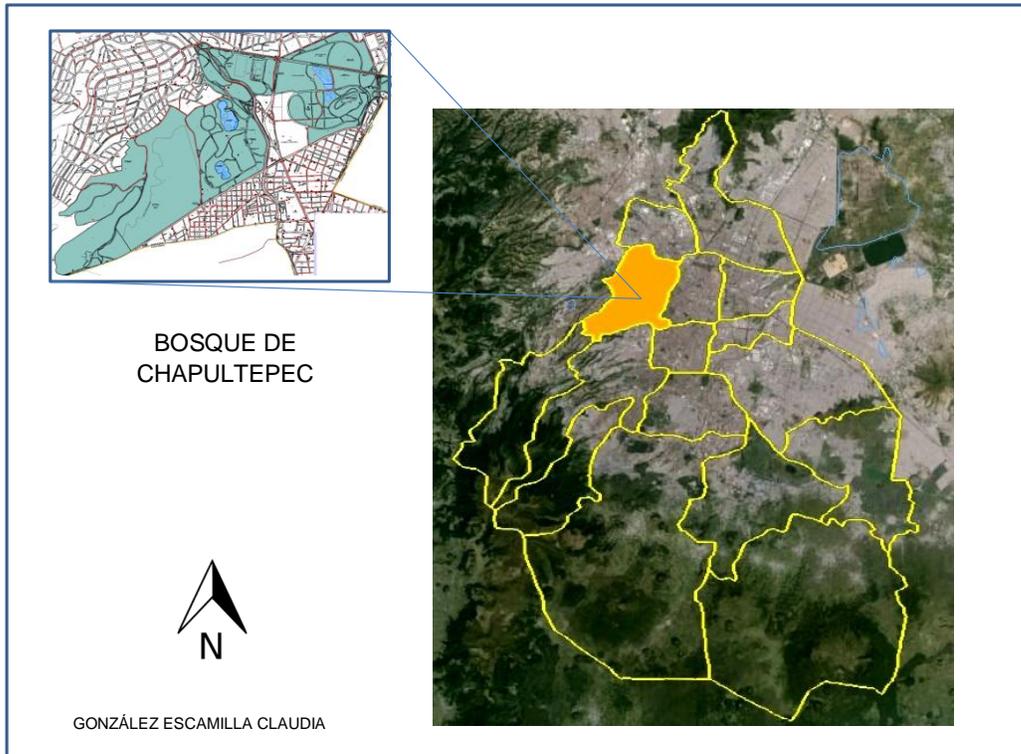


Figura 2.1. Ubicación del Bosque de Chapultepec con respecto al Distrito Federal; en color naranja se resalta la delegación Miguel Hidalgo.

2.2. Población

México se encuentra en el grupo de países del mundo que tienen un acelerado proceso de urbanización. En las últimas décadas, se ha caracterizado por la concentración de la población en las principales zonas metropolitanas, dentro de ellas la ciudad de México ocupa el lugar de primacía.

El desarrollo de una estructura urbana tan compleja y extensa como la Ciudad de México, ha tenido como consecuencias la transformación de suelos agrícolas y de ecosistemas circundantes para su uso habitacional, industrial, comercial y de servicios. Los problemas de carácter ecológico ya son muy evidentes, provocados por la alta concentración de la población y de las actividades socio productivas: contaminación del aire, ruido, riesgos e inseguridad y de tipo económico.





En la tabla 1, se muestra la tasa de crecimiento de la población de la Ciudad de México, así como el número de delegaciones existentes desde el año 1940 hasta el 2000. Para el año 2005, la población a Nivel Federal alcanzó los 8 720 916 habitantes (INEGI, 2002).

Zona Metropolitana de la Ciudad de México	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2010
Población total (miles)	1650	2952	5093	8623	13761	15048	16784	17787	20116842
Superficie (km²)	576.6	785.4	1557	2127.1	3540.2	4666.0	4902.3	4925	7866.1
Núm. de delegaciones	6	7	10	16	16	16	16	16	16

Tabla 1. Datos estadísticos sobre el crecimiento de la población en la zona metropolitana de la Ciudad de México (tomados de INEGI, 2002 y 2010).

Entre el año 1990 y 2000, los residentes del Distrito Federal tuvieron un decremento del 54.4% al 48%, y del año 2000 al 2005 existió un crecimiento poblacional del orden de 0.24%.

Las delegaciones pertenecientes a la zona poniente de la Ciudad de México en lo que respecta a la población presentan la siguiente información para los años 1990, 1995, 2000, 2005 y 2010 (tabla 2), de acuerdo a los resultados de los censos de población realizados por el INEGI (Fuente INEGI, 2002 y 2005 y www.cuentame.inegi.org.mx):

Delegación	1990	1995	2000	2005	2010
Miguel Hidalgo	406,868	364,398	352,640	353,534	372,889
Álvaro Obregón	642,753	676,930	687,020	706,567	727,034
Magdalena Contreras	195,041	211,898	222,050	228,927	239,086

Tabla 2. Datos estadísticos sobre el crecimiento de la población en las delegaciones del poniente de la Ciudad de México (tomados de INEGI 2002,2005 Y 2010).





De acuerdo a los resultados consultados se observa que del año 1990 al 2000, la delegación Miguel Hidalgo presenta un decremento de la población del 1.4%; en la delegación Álvaro Obregón tiene incremento de la población del 0.7%; y para la delegación Magdalena Contreras se presentó un incremento del 1.3% de sus habitantes. Finalmente para el año 2005, los residentes en cada una de las delegaciones se incrementaron (INEGI, 2002 y 2005).

2.3. Fisiografía

La provincia fisiográfica a la que pertenece el Distrito Federal es la denominada Eje Neovolcánico o también conocida como Faja Volcánica Transmexicana que a su vez se divide en la subprovincia denominada Lagos y Volcanes de Anáhuac (Fuentes Menes, 2011); en la figura 2.2. muestra la ubicación del Bosque de Chapultepec con respecto a la Faja Volcánica Transmexicana.

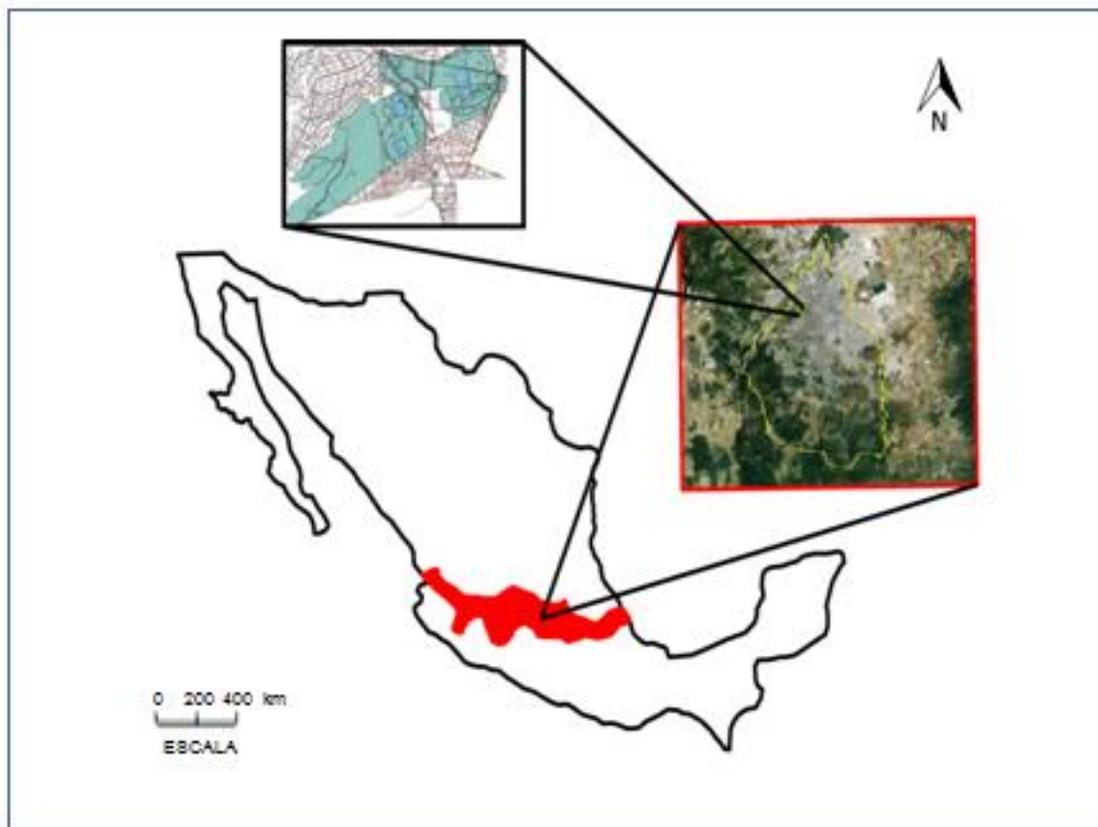


Figura 2.2. Localización del Bosque de Chapultepec dentro de la Faja Volcánica Transmexicana. Imagen modificada de Ortega 1991 e imagen tomada de Google Earth.





Esta provincia tiene una longitud de 950 km. y un ancho que varía de 50 a 150 km. La Franja Volcánica Transmexica es una cadena montañosa compuesta por derrames de flujos piroclásticos y aluvión de origen lacustre.

Para el Valle de México, el vulcanismo se localiza principalmente a nivel de grandes estratovolcanes que se levantan en medio de grandes llanuras lacustres Pliocénicas formando valles escalonados (Consultores de Ingeniería Geofísica, S.A de C.V, 2000).

De manera particular en la zona poniente de la Ciudad de México, se encuentra la Sierra de las Cruces en donde se ubica la delegación Miguel Hidalgo. La Sierra de las Cruces se ubica entre las coordenadas 18°59' a 19°43' N y 99°00' a 99°40' con una longitud de 110 Km. y con un ancho de 47 a 27 Km. en la parte norte y sur, respectivamente. Está constituida por ocho estratovolcanes principales: Zempoala, La Corona, San Miguel, Salazar, Chimalpa, Iturbide, La Bufa y La Catedral (García-Palomo, 2008). Es considerado un importante conjunto montañoso en la que tiene una máxima elevación de 3,800 msnm.

La Sierra de las Cruces presenta cañadas, lomas y mesetas (en este espacio se ubican las zonas residenciales, en los límites con la delegación Cuajimalpa), hacia el noroeste el terreno se caracteriza por tener pendientes suaves. Dentro de la Sierra, está el cerro de Chapultepec que es considerado uno de los más importantes, con 2,260 msnm.

2.4. Geomorfología

El territorio que comprende el Distrito Federal se encuentra dividido en nueve sistemas de geoformas (Fuentes Menes, 2011):

- a. Sierra volcánica de volcanes monogenéticos. Distribuida en la parte sur del Distrito Federal, en la parte centro y oriente de la delegación Iztapalapa.
- b. Sierra volcánica de laderas escarpadas. Se distribuye en las delegaciones Cuajimalpa de Morelos, Magdalena Contreras y parte de la delegación Álvaro Obregón.
- c. Sierra escudo volcán. Se encuentra del lado norte del distrito federal.





- d. Lomerío. También ubicado al norte del Distrito Federal, representa menos del 1% del territorio federal.
- e. Lomerío con cañadas. Se encuentra en las delegaciones Miguel Hidalgo, Cuajimalpa de Morelos y Álvaro Obregón. Que es el sitio en donde se localiza el Bosque de Chapultepec.
- f. Meseta Basáltica malpaís. En el centro y sureste del territorio federal, comprende las delegaciones Tlalpan, Xochimilco, Coyoacán y parte de Milpa Alta.
- g. Llanura Aluvial. Franja que se extiende de noreste a este, parte del norte y este del territorio federal.
- h. Llanura Lacustre. Se ubica en el noreste del Distrito Federal.
- i. Llanura Lacustre salina. Se ubica al noreste del Distrito Federal, al límite con el Estado de México.

En la figura 2.3. se muestra un mapa altimétrico que corresponde al Distrito Federal. Los colores rojizos muestran la zona más alta que como se puede observar es la zona suroeste del DF y los tonos verdes indican las zonas planas que corresponde al centro y norte del territorio federal.



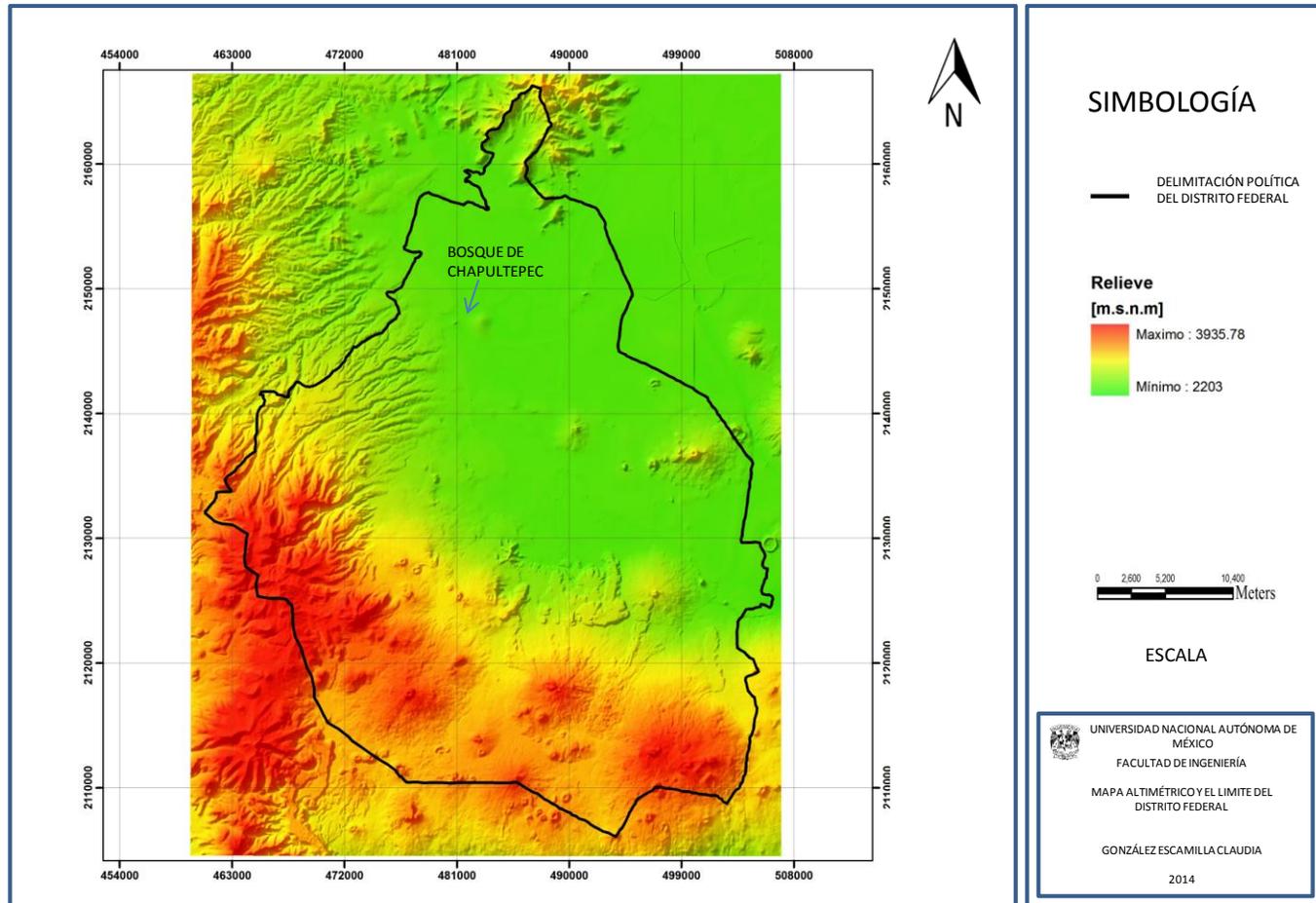


Figura 2.3. Mapa altimétrico del Distrito Federal.



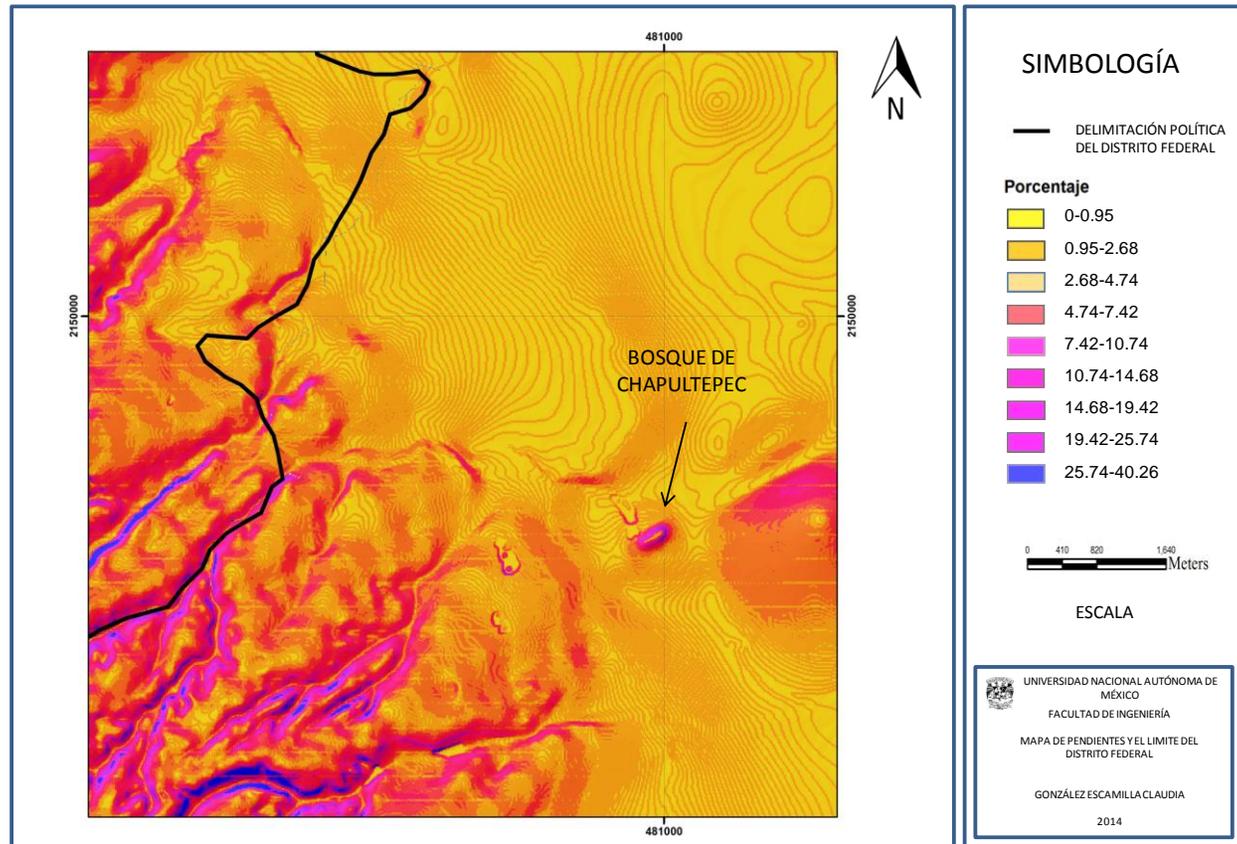


Figura 2.4. Mapa de pendientes del poniente de la Ciudad de México.





En la figura 2.4. se clasifica el relieve que corresponde al Distrito Federal según su pendiente. Las áreas coloreadas de tono azul presentan una mayor pendiente y las zonas color amarillas a naranjas representan las áreas de menor pendiente, cabe mencionar que para agrupar las alturas de la región se utilizaron 9 campos.

Para la clasificación geomorfológica del Bosque de Chapultepec, se consideró su origen, evolución, edad y los procesos exógenos y endógenos presentes. La delimitación de estas unidades geomorfológicas del Bosque de Chapultepec, se consideran cuatro aspectos del relieve (Enríquez Santillán, 2012):

1. Tipo de relieve
2. Origen
3. Edad
4. Clase geométrica

De acuerdo con lo anterior, se han clasificado 8 unidades geomorfológicas del Bosque de Chapultepec, se encuentran enlistadas de mayor a menor superficie que abarca.

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. Tiene origen exógeno durante el cuaternario, constituido de rocas volcánicas epiclásticas, andesitas, lahares, flujos piroclástico 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 piroclástico 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 Cumbrales 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 y coluviales provenientes del Cerro de Chapultepec, flujos lávicos andesíticos y por brecha volcánica andesítica.
8. Planicie Aluvial General. Se localiza en la primera sección del Bosque de Chapultepec, tiene origen exógeno acumulativo aluvial, coluvial y proluvial y un escaso lacustre, cuenta con pendiente muy baja (Enríquez Santillán, 2012).

En la figura 2.5. se muestra la distribución de las zonas geomorfológicas del Bosque de Chapultepec.

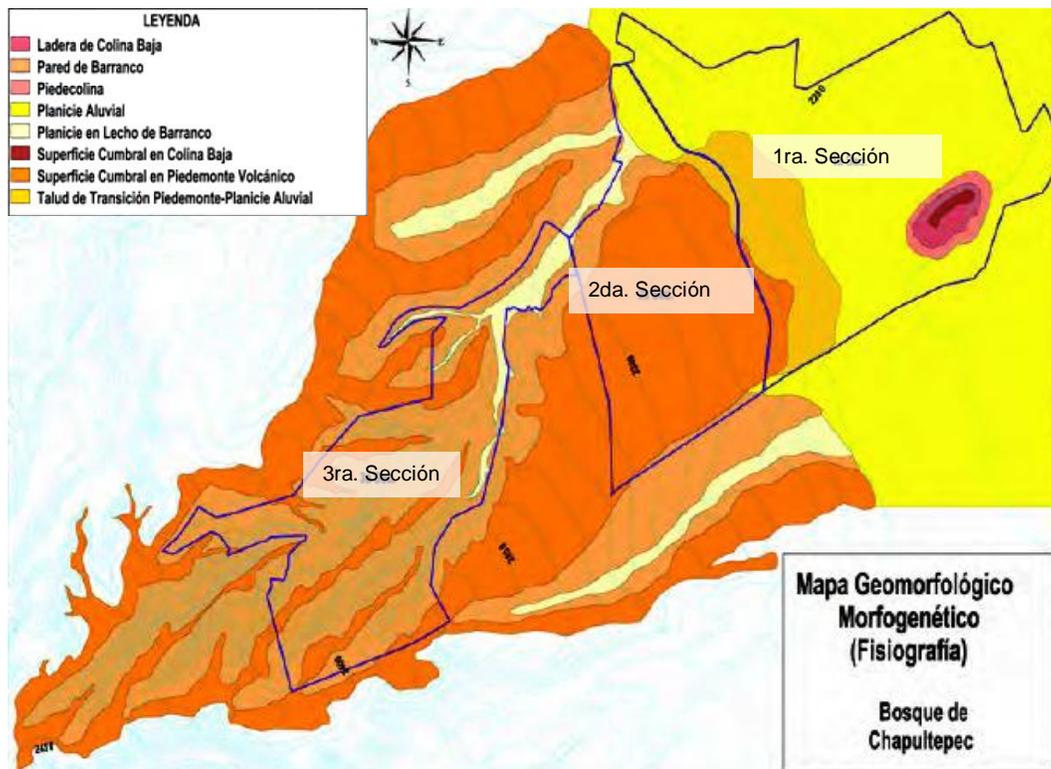


Figura 2.5. Geomorfología del área del Bosque de Chapultepec (Enríquez Santillán, 2012).



2.5. Hidrología

La zona Poniente de la Ciudad de México se encuentra formada por barrancas y cañadas, que son parte del descenso natural del agua en su trayectoria hacia la Cuenca. Las corrientes de agua forman ocho subcuencas pluviales que corresponden a los ríos de Tacubaya, Becerra, Mixcoac, Tarango, Tequilazco, Tetelpan, Texcalatlaco y Magdalena; que son abastecidos por los cinco manantiales localizados en la montaña. Las características más importantes de la red fluvial se describen a continuación:

- El río Tacubaya, que 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 La Piedad. Su principal fuente de agua son los manantiales de Santa Fé, 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). La extensión del río Tacubaya es de 945 metros (www.dao.gob.mx)
- El río Becerra, al igual que el río Tacubaya, nace del 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 Becerra tiene una extensión de 2167 metros (www.dao.gob.mx).
- 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 de San Miguel. Límite al Oeste con la cuenca río Borracho y la barranca de Becerra, al este con las barrancas de Guadalupe y Tarango. Continúa hacia el norte casi hasta llegar al convento del Desierto de los Leones en donde cambia de dirección hacia el noreste. 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 represa Mixcoac.
- El río Tarango nace a la altura del pueblo San Jerónimo Lídice, su desplazamiento es en dos causas paralelos, uno se ubica en puente Colorado y el segundo en Puerta Grande, que finalmente desembocan en la presa Tarango, de donde se deriva el colector Barranca del Muerto que se une al colector del río Churubusco (Fuentes Menes, 2011). Tiene extensión aproximada de 2 kilómetros (agua.org.mx).





- El río Tequilazco nace en las laderas del cerro Pahueyxiotl. 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.
- Río Teltepan. Nace en la unión de las calzadas del Desierto de los Leones y Olivar de los Padres, capta los escurrimientos de tetelpan en donde se construyó la Presa Olivar. El río Texcallaco 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 Tetelpan. Su cauce va hacia el noroeste hasta unirse al río Magdalena; en este río se construyó la presa Texcalatlaco.
- El río Magdalena nace en la base del cerro de la 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 kilómetros. Se une al 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).

En la figura 2.6. se muestran los principales ríos que fluyen en la zona poniente de la Ciudad de México.



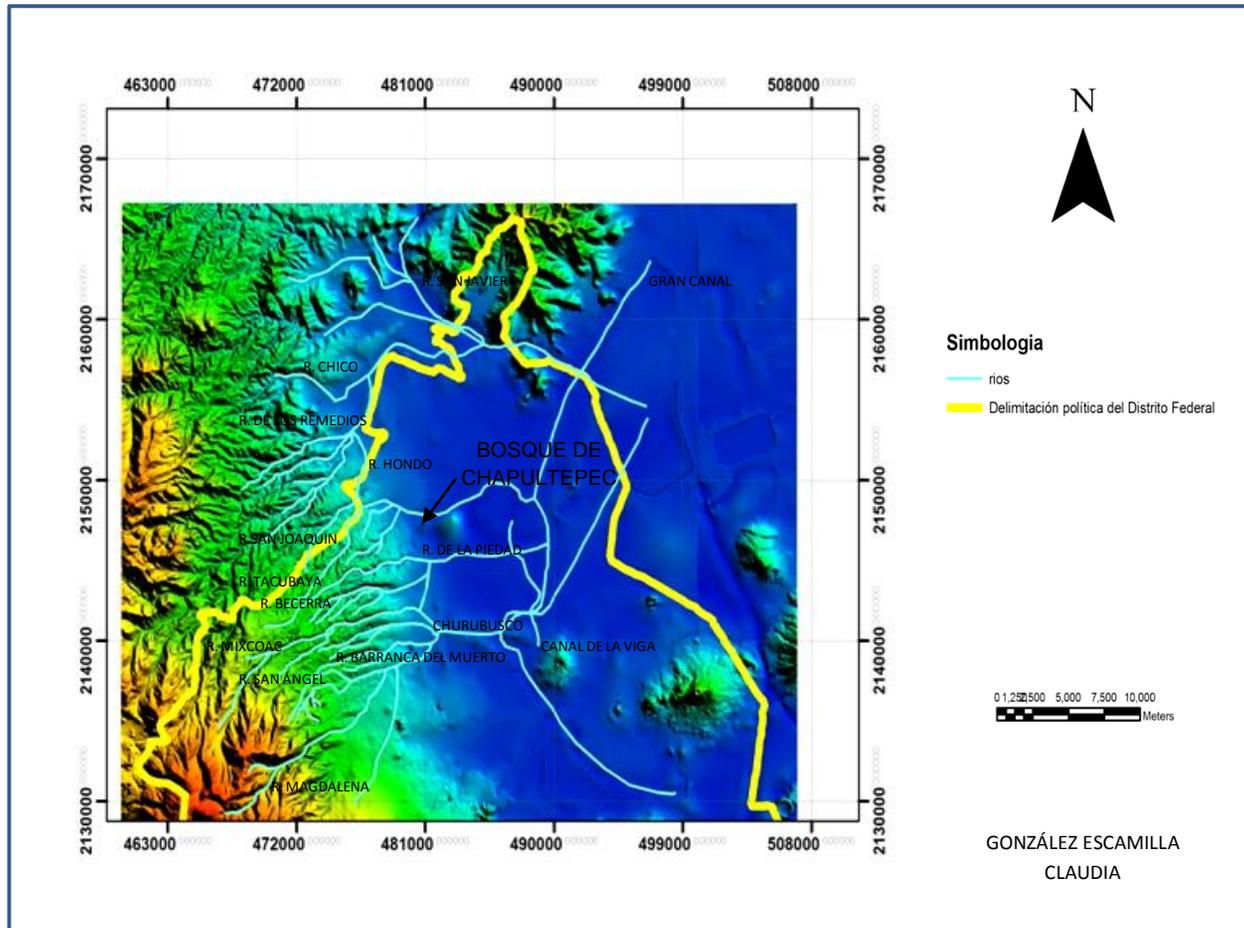


Figura 2.6. Mapa hidrológico de los ríos en la zona Poniente de la Ciudad de México.





2.6. Hidrología Superficial del Bosque de Chapultepec

El Bosque de Chapultepec se localiza en una subcuenca pequeña perteneciente a la Sierra de las Cruces en la porción occidental de la Cuenca de México. Esta subcuenca es denominada como Dolores-Chapultepec (figura 2.7), colinda al norte con la cuenca del Río Tecamachalco y hacia el sur con la cuenca de Río Tacubaya, que son dos cuencas de mucho mayor tamaño. Esta subcuenca solo contiene aguas durante épocas de lluvia principalmente de agosto a octubre, aquí se construyó una presa durante la cuarta década del siglo XX que se ha convertido en un importante regulador climático e hidrológico.

Una escorrentía superficial del Bosque de Chapultepec es el arroyo de los Morales, tiene su parte más alta a una elevación de 2250 msnm situada en Lomas Altas, al poniente de la Ciudad de México. La barranca por la que corre este arroyo, tiene una orientación preferencial de N48°E, que aguas abajo se profundiza el caudal y se incorporan pequeños arroyos hacia el caudal principal del río de Los Morales.

El arroyo de los Morales se encuentra en una etapa juvenil, su forma dendrítica presenta las siguientes características: la barranca del arroyo de los Morales es la corriente principal con arroyos contiguos a otras barrancas próximas son las corrientes tributarias o secundarias, las cuales se distribuyen en distintas direcciones sobre la superficie del terreno que se unen a la corriente principal formando ángulos agudos.

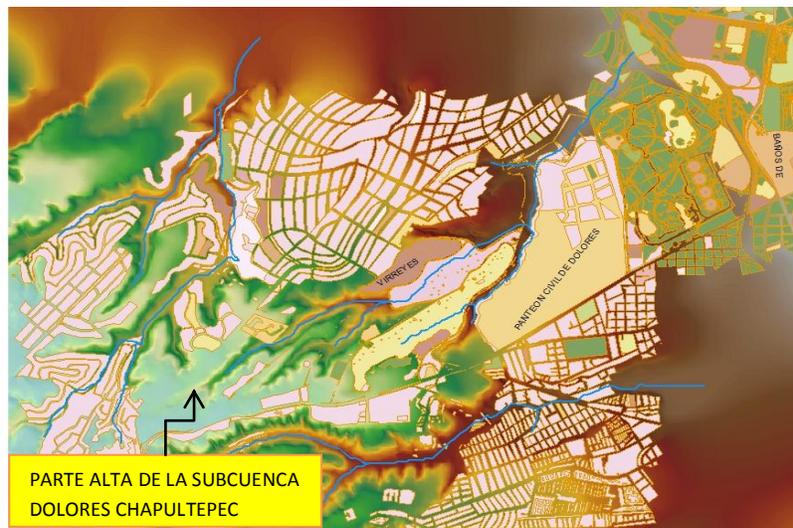


Figura 2.7. Ubicación de la Cuenca Dolores-Chapultepec (Facultad de Ingeniería, 2013).





En la figura 2.8. se muestra la trayectoria del arroyo de los Morales a lo largo de la tercera sección del Bosque de Chapultepec.

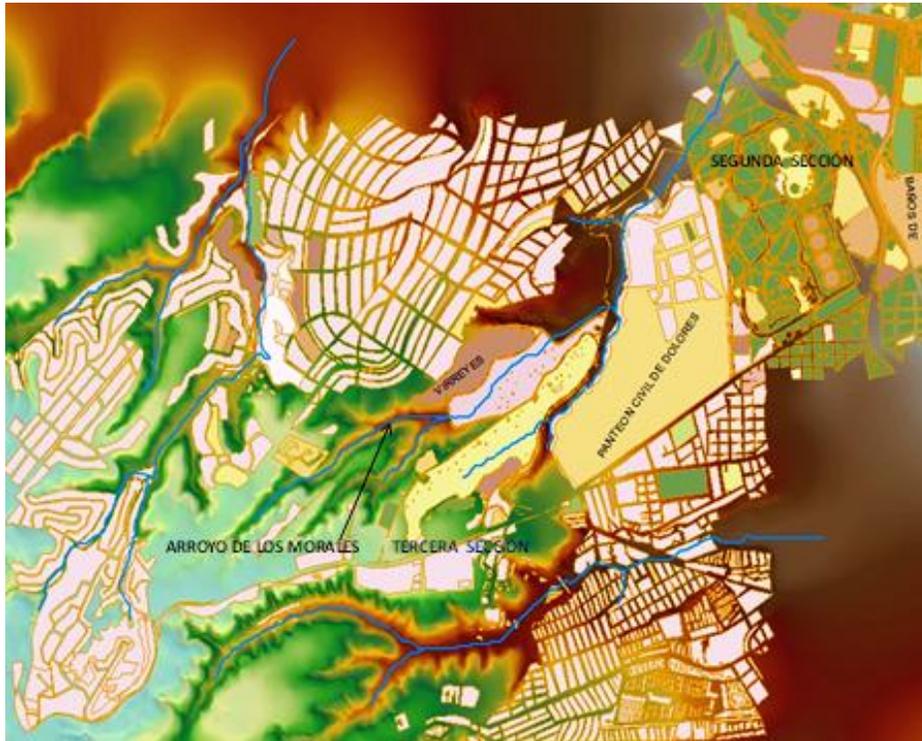


Figura 2.8. Ubicación del arroyo de Los Morales (Facultad de Ingeniería, UNAM, 2011).

Finalmente, el arroyo descarga sus aguas en una presa azolvada de poca altura ubicada en las cercanías del panteón civil de Los Dolores y de la zona de reserva en la tercera sección del Bosque de Chapultepec. Cabe resaltar que la zona urbanizada no permite ver la guía del trazo del arroyo de los Morales en la colonia Loma de Virreyes debido a la construcción de residencias sobre su trayectoria (Facultad de Ingeniería, UNAM, 2011).

2.7. Clima y Vegetación

La delegación Miguel Hidalgo se caracteriza por tener un clima templado subhúmedo con una precipitación anual entre de 700 a 800 mm. La temperatura promedio anual es de 15° C; en los meses cálidos se registran temperaturas de 19° C y en temporada invernal la temperatura desciende hasta los 8° C.





La variedad de vegetación que se encuentra en el bosque de Chapultepec se inicia al fundarse México- Tenochtitlán. En el cerro de Chapultepec hubieron dos asentamientos humanos, uno cerca de Tacubaya y el segundo cerca a la Puerta de los Leones; esto trajo como consecuencia que la zona se utilizaran como área de cultivo e implantaron un jardín botánico en el cual se plantaron varios ahuehuetes en las cercanías de los manantiales.

Actualmente, todavía se conservan arboles con más de setecientos años de edad, de los cuales se puede deducir las condiciones de su desarrollo en esa época. Estos árboles alcanzaban los doce metros y medio de diámetro por 4 metros de altura. Ejemplo de ellos, son los ahuehuetes conocidos como “el sargento” (Enríquez, 2012).

La abundancia de agua de manantial que había en los alrededores del Cerro de Chapultepec permitió que se cultivaran varias especies de árboles y que actualmente todavía se conservan, principalmente en el Bosque de Chapultepec. Entre las especies que se encuentran son los ahuehuetes, diferentes tipos de pinos, liquidámbar, truenos, eucaliptos, cedros, álamos, encinos, madroños, gingkos que son árboles traídos del oriente, retamas, jacarandas, colorines, sicómoros, tepozanes y jarillas. Además, se encuentran pastos y arbustos.

En el Jardín botánico que se encuentra cubierto por una estructura de hierro y vidrio se tiene una colección de flores de ornato, orquídeas y cactáceas.

Con el paso del tiempo, el mantenimiento del Bosque de Chapultepec se ha visto afectado. El incremento acelerado de la mancha urbana, el mal uso de espacio y las modificaciones que el hombre hace a su alrededor, han sido factores principales para considerar que el Bosque de Chapultepec se encuentre en peligro de extinción, consecuencia de ello se ha observado en la extinción de algunas de sus especies de su variada fauna y la ruina de los árboles.

Para la capital mexicana, el Bosque de Chapultepec cumple con dos funciones principales: la primera es de carácter ecológico, representa el principal rasgo de naturaleza de la ciudad de México y presta diversos servicios ambientales como la producción de oxígeno. La segunda función es de carácter social en el que engloba aspectos recreativos, económicos, educativos y políticos. (Enríquez, 2012).





3. Geología y Estratigrafía de la Ciudad de México

3.1. Introducción

La Cuenca del Valle de México es una de las cuencas más importantes del país, debido a su acelerado crecimiento urbano e industrial en las últimas décadas que ha propiciado la construcción de diversas obras civiles en la Ciudad de México; en la cual se han desarrollado obras subterráneas que han sido testigo de la complejidad estratigráfica en el subsuelo.

Los estudios geológicos del subsuelo se han incrementado a partir del sismo de 1985 de la Ciudad de México con el fin de comprender el comportamiento mecánico del material, también se ha realizado el análisis geológico de otras regiones de la Cuenca de México con distintos objetivos pero todos ellos provocados por las mismas causas ya conocidas como son el hundimiento del subsuelo, las antiguas zonas minadas y el acelerado crecimiento poblacional (Enciso De la Vega, 1992). Un ejemplo reciente es el estudio de la caracterización geológico-geofísica en el Bosque de Chapultepec de la Ciudad de México realizado por la Facultad de Ingeniería de la UNAM en el año de 2013.

Entonces, a partir de los estudios estratigráficos, estructurales y petroquímicos se postula que la evolución geológica de la Cuenca de México inicia en el Cretácico, muestras de este basamento fueron obtenidas por las perforaciones profundas de los pozos Mixhuca 1 y del pozo Tulyehualco 1 realizados por PEMEX en 1985 (Vázquez Sánchez, et. al., 1989).

De manera sintética, la composición del subsuelo de la Cuenca de México como la conocemos hoy en día, está dada por varios eventos volcánicos que han sido interrumpidos por episodios de erosión y de sedimentación fluvial, lacustre y fluvio-glacial y su distribución dependió de la historia estructural del basamento que actualmente continua en actividad (Aguayo Camargo, et. al., 1989).

Para este capítulo se busca sintetizar y comprender esa evolución geológico-estructural a las escalas comprendidas entre la Cuenca de México y la Ciudad de México mediante la recopilación de estudios realizados en los pozos perforados profundos y someros y de la información estratigráfica descrita por distintos autores.





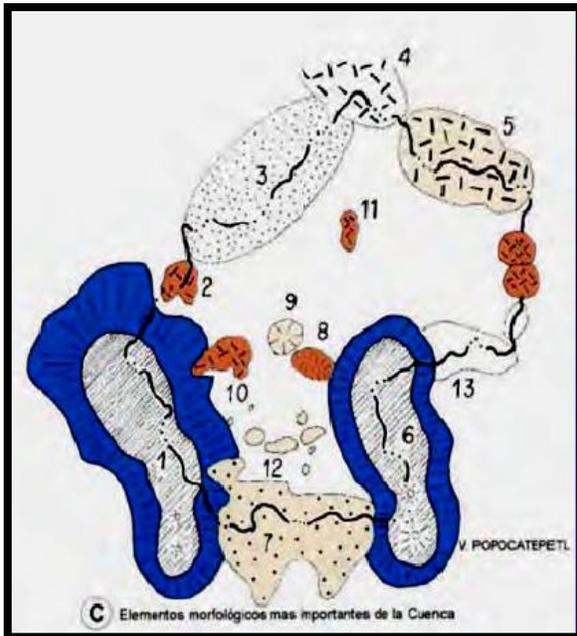
3.2. Marco Geológico Regional de la Cuenca de México

La Cuenca de México es considerada como una estructura geomorfológica de origen tectónico (Enciso de la Vega, 1992). Se ubica a 2240 msnm en donde originalmente era una cuenca cerrada, la cual fue artificialmente abierta a finales del siglo XVII para evitar inundaciones (Jiménez Cisneros, et. al., 2004)

La zona se localiza en la parte central de la Faja Volcánica Transmexicana entre los paralelos 19°10' y 20°15' de latitud norte y entre 98°15' y 99°30' de longitud oeste (Facultad de Ingeniería, 2011). Está limitada hacia el sur por el campo volcánico Chichinautzin y la Sierra del Ajusco, al poniente por la Sierra de las Cruces, al norte por las Sierras de Pachuca y Tepetzotlán y por los cerros de Xalpa y Sincoque, finalmente, al oriente por la Sierra Nevada de la que forman parte los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl (Enciso de la Vega, 1992).

En la figura 3.1. se esquematiza los elementos morfológicos que limitan la Cuenca de México (Santoyo Villa, et. al., 2005). La Cuenca tiene una superficie de 9,600 km² aproximadamente en donde su contorno tiene una forma irregular de manera alargada cuyo eje mayor se encuentra orientado al NE-SW con una extensión de aproximadamente 148 km², desde la Sierra de las Cruces hasta la Sierra de Pachuca; la zona más angosta tiene una longitud de 65 Km comprendiendo la porción meridional desde la Sierra de Tezontlalpan hasta el cerro de Tláloc. (Consultores de Ingeniería Geofísica, S.A de C.V, 2000).





1. Sierra de las Cruces- Monte Alto
2. Sierra Tepotztlán
3. Sierra Tezontlalpan
4. Sierra de Pachuca
5. Sierra de Singuilucan.
6. Sierra Nevada-Río Frío
7. Sierra Chichinautzin
8. Sierra Patlachique
9. Cerro Chiconautla
10. Sierra Guadalupe
11. Sierra de las Pitayas
12. Sierra de Santa Catarina
13. Sierra Calpulalpan

Figura 3.1. Elementos morfológicos de la Cuenca de México (Santoy Villa, et al, 2005).

Desde el punto de vista geológico, la Cuenca del Valle de México representa el resultado de varios ciclos de vulcanismo de distintas épocas que se identificaron claramente por periodos de erosión. Los límites Oriente y Poniente de la Cuenca consisten de una aglomeración de volcanes monogenéticos y de estratovolcanes andesíticos con sus correspondientes lavas que muestran un aspecto de erosión avanzada y profunda, que forman parte de la prueba de su antigüedad (Mooser, et. al., 1956).

Los materiales que constituyen el subsuelo la Cuenca del Valle de México corresponden a una intercalación de productos volcánicos tales como lavas, tobas y cenizas que incluyen materiales granulares que fueron transportados por los ríos y arroyos provenientes de las partes topográficamente altas que circularon hacia los valles. Cubriendo estos materiales y de espesores variables, se encuentran las arcillas y arenas finas, producto del sedimento de los antiguos lagos (Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, 2006).



3.3. Origen de la Cuenca de México

La Cuenca de México es el resultado de las interacciones naturales de procesos tectónicos, volcánicos, sedimentarios y climáticos. Para comprender el origen y la evolución geológica de la Cuenca es necesario conocer el contexto tectono-estratigráfico regional del que forma parte y que, en este caso, se trata de la provincia volcánica conocida como Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). (Aguayo Camargo, et. al., 1989).

La FVTM es el producto de los movimientos horizontales de una gran fractura que atraviesa la república en la misma dirección de la FVTM que es E-W y que llega hasta las islas Revillagigedo en el océano Pacífico. La provincia está en proceso de emersión que se encuentra afectada por esfuerzos distensivos generando sistemas estructurales complejos de fosas y pilares cuyo resultado es la expresión de numerosos valles escalonados hacia el centro de la FVTM. En la figura 3.2. se muestra la ubicación de la Faja Volcánica Transmexicana y algunos elementos tectónicos (Aguayo Camargo, et. al., 1989).



Figura 3.2. Imagen de satélite que muestra en color rojo el contorno de la FVTM y los terrenos de los que está conformado su basamento (Ferrari, et al, 2011).

A consecuencia de la subducción de la Placa de Cocos y a la efusión del magma hacia la superficie, los primeros esfuerzos fueron compresivos formando estrato volcanes de composición andesítica, riolítica y dacítica. Durante este proceso, continuó emergiendo la provincia con etapas sucesivas de vulcanismo, erosión y sedimentación aluvial, fluvial y lacustre. Cuando los bloques de origen distensivo



se conformaron de manera escalonada hacia la porción central de la FVTM, hubo otros episodios volcánicos de tipo explosivo con lavas y piroclastos de composición básica e intermedia. Su composición varía de acuerdo a su lejanía y su ángulo de incidencia con la trinchera de Acapulco (Aguayo Camargo, et. al., 1989).

El vulcanismo que conformó la FVTM inicia en el Mioceno Tardío-Medio, como resultado de la rotación antihoraria del arco que formó la Sierra Madre Occidental (Ferrari Pedraglio, 1999), relacionado a la subducción de las placas Cocos y Rivera (Ferrari, Pedraglio, 2000, Gómez Tuena, et. al., 2005). Gómez Tuena, en el 2005, sintetiza la historia geológica de la FVTM (Figura 3.3.) en cuatro episodios principales: 1) Instauración de un arco de composición intermedia en el Mioceno Medio-Tardío, 2) Episodio máfico en el Mioceno Tardío, 3) Episodio silíceo a finales del Mioceno que llega a ser bimodal en el Plioceno Temprano, y 4) Instauración de un arco con gran variedad composicional a partir del Plioceno Tardío (Herrera Hernández, 2011).

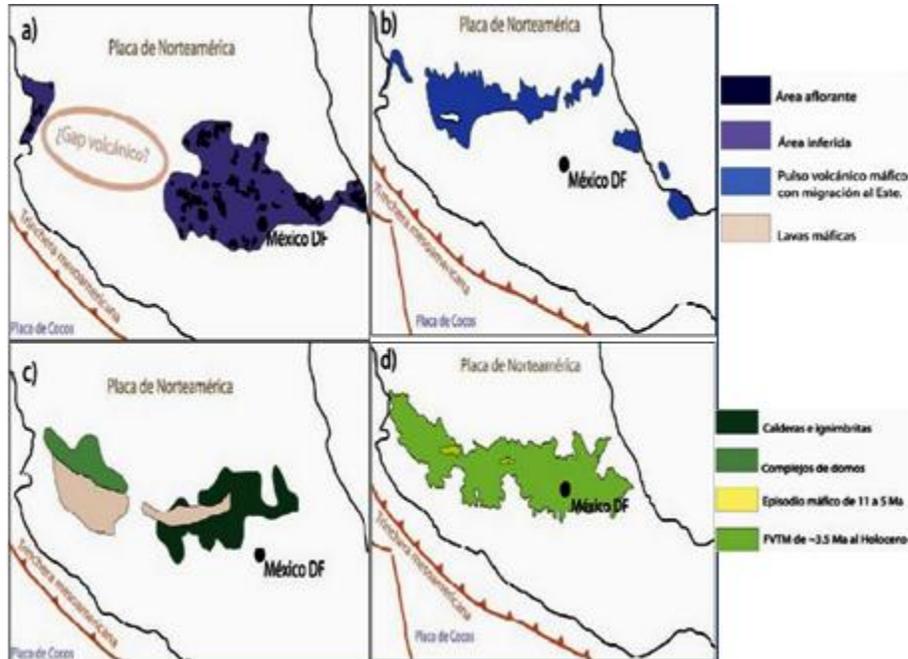


Figura 3.3. Evolución geológica de la Franja Volcánica Transmexicana. Modificada de Gómez Tuena, et. al., 2005 (Tomado de Herrera Hernández, 2011)



A partir del análisis estratigráfico, estructural y petroquímico (Mosser, et. al., 1956), se propone que la evolución tectónica inicia desde el Cretácico. Durante el Alpiano al Turoniano tardío prevaleció la sedimentación marina. Esta sedimentación cambió de calcárea a detrítica marina tipo flysch entre el Coniaciano y Campaniano Temprano. Posteriormente fueron plegadas estas secuencias marinas. Los eventos geológicos más relevantes se mencionan a continuación:

- a. A Finales del Cretácico y en el Terciario Inferior, los estratos marinos del Mesozoico se plegaron hacia el norte-noreste, posteriormente se fallaron por los esfuerzos distensivos durante la emersión del Cinturón Volcánico Transmexicano.
- b. En el Eoceno y el Oligoceno Inferior, la secuencia estratigráfica estuvo expuesta y sujeta a la erosión, depositándose localmente los conglomerados continentales del grupo El Morro.
- c. Durante el Oligoceno Superior hubo una efusión volcánica andesítica como resultado de una nueva reactivación tectónica formándose varios grupos de fracturas secundarias.
- d. En el Neógeno continua las emisiones de corrientes lávicas andesíticas y piroclásticas.
- e. Plioceno Superior y el Pleistoceno. alternancia de rocas basálticas y piroclastos. Se forman fracturas tensionales con dirección NW-SE, aquí surgieron volcanes que coronan la Sierra Nevada y hacia el Poniente la Sierra de las Cruces. En este ciclo de vulcanismo se formo el primitivo Valle de México y que comienza a verter sus aguas al sur por medio de los arroyos que se originaron en la Sierra de Las Cruces, la Sierra de Guadalupe y la Sierra Nevada. La erosión de estas serranías creó los conos aluviales que forman las importantes series conglomeráticas que constituyen la Formación Tarango.
- f. Pleistoceno Tardío al Reciente. Termina el anterior ciclo tectónico comenzando uno nuevo con dirección NE-SW formando una nueva red de fracturas tensionales, este último ciclo tectónico aún perdura en nuestros días caracterizado por un vulcanismo basáltico esencialmente. La Cuenca de México se conformó debido al desarrollo del umbral hacia el sur de la





misma durante la Formación de la Sierra de Chichinautzin, que provocó la depositación de sedimentos aluviales y fluviales al pie de las sierras, y lacustres hacia el interior de la cuenca. El conjunto de volcanes formó una barrera entre el Valle de México y la Cuenca del Balsas; entonces los arroyos al tener obstruida su salida, comenzaron a formar los lagos en las partes bajas en donde se depositaron las arenas y cenizas producidas por los nuevos volcanes basálticos.

3.4. Estratigrafía de la Cuenca de México.

Las unidades litoestratigráficas que pertenecen a la Cuenca de México y sus alrededores, se describen a continuación.

CRETÁCICO

- **Formación Xochicalco (Kx)**

Es la unidad más antigua que aflora en el límite sudoccidental, fue definida originalmente por Fries en 1960. Se le ha asignado un espesor mínimo que excede los 500 metros, su base no se encuentra expuesta y está cubierta discordantemente por la Formación Morelos. Está constituido por una secuencia de calizas calci-lutíticas y calci-limolíticas, en capas medianas y delgadas que presenta laminación fina, contiene abundantes vetillas de calcita y nódulos de pedernal. Se depositó en ambientes marinos durante el Aptiano.

- **Formación Morelos (Km)**

La formación Morelos fue definida originalmente por Fries en 1960, se ubica al sur de la Sierra Chichinautzin. Presenta calizas con microfósiles conocidos como “Nummoloculina heimi” y “Dyciclina Schulmbergen” descritos en los pozos Mixuca-1 y Tulyehualco-1 realizados por PEMEX, el espesor máximo es de 900 metros que se adelgaza de oriente a poniente. Se presenta cubierta de manera discordante erosional por las Formaciones Cuautla y Mexcala. Constituida por capas gruesas interestratificadas de calizas y dolomías concordantes con anhidritas laminares subyacentes del Albiano Medio-Cenomaniano Temprano.





- **Formación Doctor (Kid)**

Formación que aflora entre Apaxco y Tula, Hidalgo, descrita por primera vez en 1956 por Wilson. Se interdigitaliza con la Formación Morelos hacia el sur. Constituida por caliza tipo Mudstone con lentes de pedernal e intercalaciones locales de lutitas, su espesor es de 200 metros del Albiano Medio-Cenomaniano temprano.

- **Formación Cuautla (Kc)**

Aflora al sur de la Sierra Tepoztlán y al norte de Zumpango, descrita originalmente por Fries en 1960. Constituida por calizas (calcarenitas) de gruesa estratificación con abundantes rudistas. El espesor varía entre los 200 y 750 metros del Cenomaniano Tardío al Turoniano Tardío, concordante a la Formación Mexcala y cubierta discordantemente en algunos lugares por el grupo Balsas y por rocas volcánicas del Terciario y Cuaternario.

- **Formación Mexcala (Kmx)**

Formación que aflora al sur de la Sierra Chichinautzin y hacia el noroeste en el cerro de la Palma, descrita originalmente por Fries en 1960. Constituye una interestratificación gradual de turbiditas (grauvacas), limolitas, lutitas con microfósiles (Margino-truncana y Archeoglobigerina), representa una secuencia tipo flysch; espesor máximo de 1500 metros. Depositada durante el Coniaciano-Campaniano.

PALEOGENO – NEÓGENO

- **Granito Colotepec (Tgc)**

Se localiza en el sudoccidental intrusionando a la Formación Xochicalco, edad del Eoceno Medio. Formación descrita originalmente por Fries en 1960

- **Grupo Balsas (Teob)**

Aflora en el lado sur y de manera local al noreste de Apaxco, descrita originalmente por Fries en 1960. Constituido por conglomerado calizo compacto con matriz limo-arcillosa cementada por calcita y óxido de Hierro, presenta estratificación masiva y están cubiertas por capas deleznable de arcillas, limo y





arena. Localmente contiene interestratificaciones de yeso y caliza lacustre lenticulares, además, derrames lávicos basálticos y en la parte superior presenta intercalaciones de toba riolítica, por encima de esto presenta una serie de derrames lávicos basáltico con intercalaciones de tobas y aglomerados, derrames lávicos y brechas calcáreas que se interestratifican con tobas. Son depósitos continentales del Eoceno Tardío al Oligoceno Temprano y representa una molasa continental post-orogenia Laramide.

- **Rocas Volcánicas del Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano (Tomv)**

Son secuencias volcánicas que afloran de manera muy fracturada en la Sierra de Xochitepec, en los cerros de Picacho y Púlpito del Diablo, rocas descritas originalmente por Fries en 1960. Se constituye por secuencias de tobas líticas, cristalinas y vítreas, brechas tobáceas y aglomerados, con capas de clastos aluviales que indican un periodo sin actividad volcánica; su espesor varía de 390 a 1750 metros que cubren discordantemente a las rocas del Cretácico y cubiertas discordantemente por rocas volcánicas del Mioceno Medio y Tardío y localmente por las formaciones del Pio-Cuaternario.

- **Grupo Pachuca (Tomp)**

Rocas volcánicas que afloran en la parte nororiental en la región del Distrito Pachuca Real del Monte y sus zonas aledañas, rocas descritas por primera vez en 1956 por Geyne y posteriormente en 1960 por Fries. Consiste en secuencias de material clástico en la base, brechas volcánicas, piroclásticos, derrames lávicos y tobas intercaladas; las lavas varían de composición basáltica a riolítica pero predomina la andesita y la dacita. Las dos Formaciones inferiores nombradas Santiago y Corteza, consisten en riolitas, dacitas y andesitas; las formaciones que constituyen la mayor parte del grupo (Formaciones Pachuca, Real del Monte, Santa Gertrudiz y Vizcaina) consisten en secuencias de derrames lávicos de composición andesítica y dacítica interestratificados con brechas volcánicas y tobas, separadas por suelos que podrían indicar diferentes secuencias volcánicas; Finalmente, las formaciones superiores fueron nombradas Cerezo y Tezuantla constituidas por brechas volcánicas lavas y depósitos piroclásticos de composición que varía de dacítica a riolítica. El grupo descansa discordantemente sobre las formaciones descritas anteriormente y se consideran del Oligoceno Medio-Tardío al Plioceno Temprano.





- **Rocas Extrusivas del Mioceno Medio y Tardío (Tmv)**

Descritas originalmente por Fries en 1960 y posteriormente por Segerstrom en 1961, se distribuye en pequeñas áreas por la toda la Cuenca por encontrarse cubierta por los materiales volcánicos más recientes. Secuencia de rocas constituida por tobas, brechas volcánicas y lavas de constitución andesítica y dacítica que en algunos lugares se encuentran interestratificados con brechas volcánicas. Se encuentran por encima del grupo Balsas y las rocas cretácicas y se encuentran cubiertas de manera discordante por las unidades Pliocénicas y del Cuaternario.

- **Depósitos Volcánicos del Plioceno Temprano (Tpv)**

Afloran en los flancos de la Sierra de las Cruces, Zempoala y Río Frío, depósitos descritos originalmente por segerstrom en 1961. Coronan en las sierras de Guadalupe y Tepetzotlán. La composición de estos depósitos varía de andesítica a dacítica; las secuencias piroclásticas generalmente no son consolidadas, constituyen tobas cristalinas, vítreas, líticas y pumíticas. Estas rocas representan el segundo periodo magmático del Arco Volcánico Transmexicano del Plioceno Temprano.

- **Formación Otomí (Tpo)**

Formación que aflora desde el poblado Santa María Mazatla en el trayecto de la carretera que va de Naucalpan a Jiquipilco hasta la Sierra de Monte Alto, descrita originalmente por Sheridan en 1979. Se constituye por depósitos piroclásticos que se presentan como flujos lobulados, existen varias secuencias volcánicas dentro de esta unidad en la predominan los flujos piroclásticos de ceniza cristalina y vítrea, además, también se encontraron brechas volcánicas con las coladas lávicas, las cuales presenta textura fanerítica. Esta unidad se originó de un estratovolcán en condición muy erosionada por lo que es difícil reconocer las estructuras originales, el espesor máximo es de 1300 metros en el cerro de las Palomas que cubre discordantemente a las rocas volcánicas del Plioceno Temprano y subyace discordantemente por la Formación Las Cruces, por lo que se considera de una edad del Plioceno Tardío.

- **Rocas Máficas del Plioceno Tardío (Tpb)**

Descrita originalmente por Fries en 1962, se distribuyen en la región septentrional formando mesetas de lava y conos aislados. Constituidas por derrames de lava





interestratificados con capas delgadas de brechas volcánicas, la composición varía de basáltica a andesítica. El espesor máximo promedio es de 300 metros, yacen discordantemente a las unidades terciarias descritas anteriormente y en algunos sitios cubren discordantemente a las rocas mesozoicas con discordancia angular y erosional.

- **Formación Las Cruces (Tpc)**

Definida como un conjunto de rocas volcánicas que forman la Sierra de Las Cruces y Monte Alto, descrita inicialmente por Schlaepfer en 1968. Se distribuye en el límite sudoccidental de la Cuenca de México, en donde una hilera de 3 estratovolcanes y sus depósitos piroclásticos tienen una orientación casi N-S. Se constituyen por depósitos piroclásticos que consisten en: pómez pliniana, secuencias de “surges” (planares o masivos) cristalinos, vítreos y en ocasiones con pómez, cubiertas por flujos piroclásticos no consolidados de cenizas cristalinas y de pómez con o sin fragmentos de composición heterogénea; los flujos piroclásticos están cubiertos a su vez por cenizas vítreas y en algunas zonas interestratificados con material aluvial. Se describió, también, una brecha lítica andesítica. El espesor de la unidad es variable debido a su naturaleza, sin embargo, el espesor máximo encontrado fue en el cerro San Miguel con 250 metros. Esta unidad cubre discordantemente a las rocas extrusivas del Mioceno Medio-Tardío y está cubierta por depósitos aluviales y lacustres del Cuaternario; su edad corresponde al plioceno Tardío.

- **Formación Zempoala (Tpz)**

Descrita por primera vez en 1960 por Fries, la formación se define como un conjunto de productos volcánicos de dos centros eruptivos alineados en dirección norte-sur que se distribuyen en la porción sudoccidental considerada como Formación contemporánea a la Formación de las Cruces. En su lado norte se constituye por una secuencia de lavas andesíticas afaníticas-porfiríticas y en la zona sur compuesta por brechas volcánicas con escasas lavas de composición que varía de andesítica a riódacítica, lahares, flujos piroclásticos de ceniza con bloques y “surges”. El espesor máximo descrito es de 1000 metros del Plioceno Tardío. Cubre discordantemente a los depósitos volcánicos del Plioceno, a las rocas extrusivas del Mioceno Medio-Tardío y sobreyacida por la Formación Chichinautzin e interdigitalizada con los productos piroclásticos del Plioceno en la región de Cuernavaca.





- **Riolita Navajas (Tpn)**

Descrita originalmente por Geyne en 1956. Es la que edifica a la Sierra Navajas con un espesor de 500 metros, cubre discordantemente al grupo Pachuca y a las rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno y cubierta discordantemente por la Formación El Pino. La secuencia esta descrita como una secuencia riolítica de derrames lávicos con estructura fluidal con intercalaciones de brechas soldadas y no soldadas de flujo de cenizas vítreas con fragmentos líticos, pumíticos y obsidiana.

- **Depósitos piroclásticos y clastos aluviales del Plioceno (Tppc)**

Depósitos que se distribuyen al poniente de Cuautla; son los depósitos no diferenciados que están relacionados con la actividad piroclástica y fluvial de todo el Plioceno, descrita originalmente por Friesen 1962. Constituido por gravas, arenas, limos y arcillas de origen volcánico que fueron acumulados fluvialmente en amplios valles sobre rocas preexistentes y están interdigitalizados con rocas volcánicas, localmente intercalados con tobas de grano fino y lapílicas pumíticas y se tiene tierra diatomácea, arcillas, caliza lacustre y travertino; en el subsuelo consta de tobas, brechas volcánicas y aglomerados con horizontes de conglomerados, arenas y arcillas. Espesor máximo encontrado es de 750 metros del Plioceno que se encuentra cubierta por aluvión de Cuaternario.

CUATERNARIO

- **Formación Llano Grande (Qlfg)**

Aflora en la base noroccidental de la Sierra Nevada, descrita inicialmente por Mooser en 1974. Es una secuencia de delgadas capas de lapilli pumítico y lítico de caída “surges” laminares y flujos de cenizas vítreas no consolidadas y brechas soldadas de flujo, flujos lávicos compuesta de andesita de piroxeno y anfíbol. La unidad se encuentra cubierta discordantemente por las Formaciones Telapón e Iztaccihuatl y sobreyace a las rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno. Edad de la Formación del Pleistoceno Temprano.

- **Formación El Pino (Qpp)**

Formación compuesta por los cerros La Estrella, El Pino, Chimalhuacán, Chiconautla, Gordo y otros aislados, formación descrita originalmente por





Sheridan y Wohletz en 1983. Su origen está en los conos cineríticos de volcanes escudo y de amplias coladas lávicas; constituido por secuencias de flujos lávicos con intercalaciones de capas delgadas de tefra no consolidada de caída, formada por cenizas cristalinas y lapillis líticos y escoria tamaño lapilli. Los derrames lávicos descritos son de andesita-basáltica de olivino. El espesor es de un orden de 750 metros que cubre discordantemente a las unidades volcánicas del Oligoceno, Mioceno, Plioceno y a la Formación Llano Grande y cubierta por las formaciones Chichinautzin y Telapón.

- **Formación Tláloc (Qt)**

Es la que forma la Sierra de Río Frío, la unidad contiene a las coladas lávicas, formación descrita por Sheridan en 1979. La composición de las coladas es andesítica, latítica y dacítica que consta de varias secuencias que en su base están posicionada la pómez y líticos accidentales; posteriormente hay “surges” con cristales, poméz y líticos de tamaño lapilli. Por encima de los “surges” hay flujos de cristalina y vítrea de composición andesítica y dacítica; también presenta flujos piroclásticos que se intercalan y en algunas partes lo cubren derrames lávicos de composición andesítica y dacítica con anfíbol. El espesor de la formación tiene un espesor máximo de 1800 metros de edad Pleistocénica.

- **Formación Iztaccíhuatl (Qi)**

Son las rocas constituidas por los volcanes El Llano Grande, Iztaccíhuatl y Nexpayantla. Constituida por varias secuencias principalmente efusivas de composición andesítica basáltica a dacítica, la secuencia inicia en derrames lávicos y termina en extrusiones dómicas constituido de andesitas de olivino y dacitas de anfíbol; del lado nororiental se observan flujos de cenizas cristalinas y vítreas no consolidadas. La formación cubre de manera discordante a las formaciones del Llano Grande y Tláloc mientras que es suprayacida por las formaciones Popocatepetl y Chichinautzin, espesor aproximad de 2500 metros, aunque no es conocido exactamente.

- **Formación Popocatepetl (Qp)**

La Formación Popocatepetl la conforman las cuatro secuencias eruptivas que constituyen el estratovolcán Popocatepetl. La primera secuencia presenta “surges” planares y “sand wave” ricos en cristales y líticos accidentales de tamaño ceniza y lapilli con bloques lávicos imbricados de composición heterogénea, espesor de 200 a 450 metros; la segunda etapa está representada por sucesiones





piroclásticas de eventos plinianos compuesto por andesitas básicas ricas en olivino, andesitas ácidas con olivino y piroxeno, andesitas y dacitas; la tercera secuencia conformada por andesitas y tres periodos explosivos dejando como resultado pómez y cenizas plinianas, “surges”, flujos no consolidados de ceniza con bloques pumíticos, lahares; el cuarto periodo terminó de construir el cono volcánico de secuencias piroclásticas similares a la tercera secuencia. Espesor máximo de 3500 metros que cubre discordantemente a la Formación Iztaccíhuatl de edad del Pleistoceno Tardío-Holoceno.

- **Formación Chichinautzin (Qc)**

Descrita originalmente por Fries en 1960, los afloramientos se encuentran distribuidos por toda la región de la Cuenca, sin embargo, los afloramientos más importantes se ubican en la porción meridional en donde alcanzan el mayor espesor. Constituido por extensos derrames de lavas vesiculares, masivas y son los productos volcánicos más abundantes; la composición de esta lava es principalmente andesítico basáltica y andesítica de grano medio a fino. El espesor máximo es de 1800 m. de edad del Pleistoceno al Holoceno que cubre discordantemente a casi todas las unidades Cretácicas y del Terciario y se encuentra interdigitada con depósitos lacustres y aluvión.

- **Depósitos aluviales (Qal)**

Depósitos descritos originalmente por Bryan y De Terra en 1948. Es un material clástico fluvial acumulado penecontemporáneamente con sedimentos lacustres que aflora formando llanuras aluviales al norte y sur de la cuenca extensamente distribuido rellenando amplios valles socavados en depósitos piroclásticos y clásticos de Plioceno así como depresiones tectónicas. El espesor máximo medido es de alrededor de 500 metros. Constituido por material poco consolidado con fragmentos de tamaño de grava, arena, limos y arcilla con contenido local de marga, tierra diatomácea, turba y travertino. Se interdigitalizan con las formaciones volcánicas de la misma edad, siendo su contacto concordante e interdigitados con los sedimentos lacustres. Edad del Pleistoceno al Holoceno.

- **Depósitos Lacustres (Qla)**

Son sedimentos clásticos y productos piroclásticos que forman una gran planicie lacustre, descritos originalmente por Bryan en 1948. Se localiza desde Zumpango hasta Chalco y desde Texcoco hasta el cerro de Chapultepec con espesores que van de los 30 a los 300 metros. Está constituido por arcillas bentoníticas y





monmorilloníticas con carbonato de calcio, diatomeas, ostrácodos e interestratificaciones de ceniza y pómez (Bryan, 1948). El origen de los depósitos lacustres se encuentra íntimamente relacionado con la obstrucción definitiva del desagüe de la Cuenca a causa de la intensa actividad volcánica que edificó la Sierra de Chichinautzin (Vázquez Sánchez y Jaimes Palomera, 1989).

En la figura 3.4. se muestra una correlación estratigráfica de las formaciones de la Cuenca de México según Vázquez Sánchez y Jaimes Palomera en 1989 y de Schlaepfer en 1968.

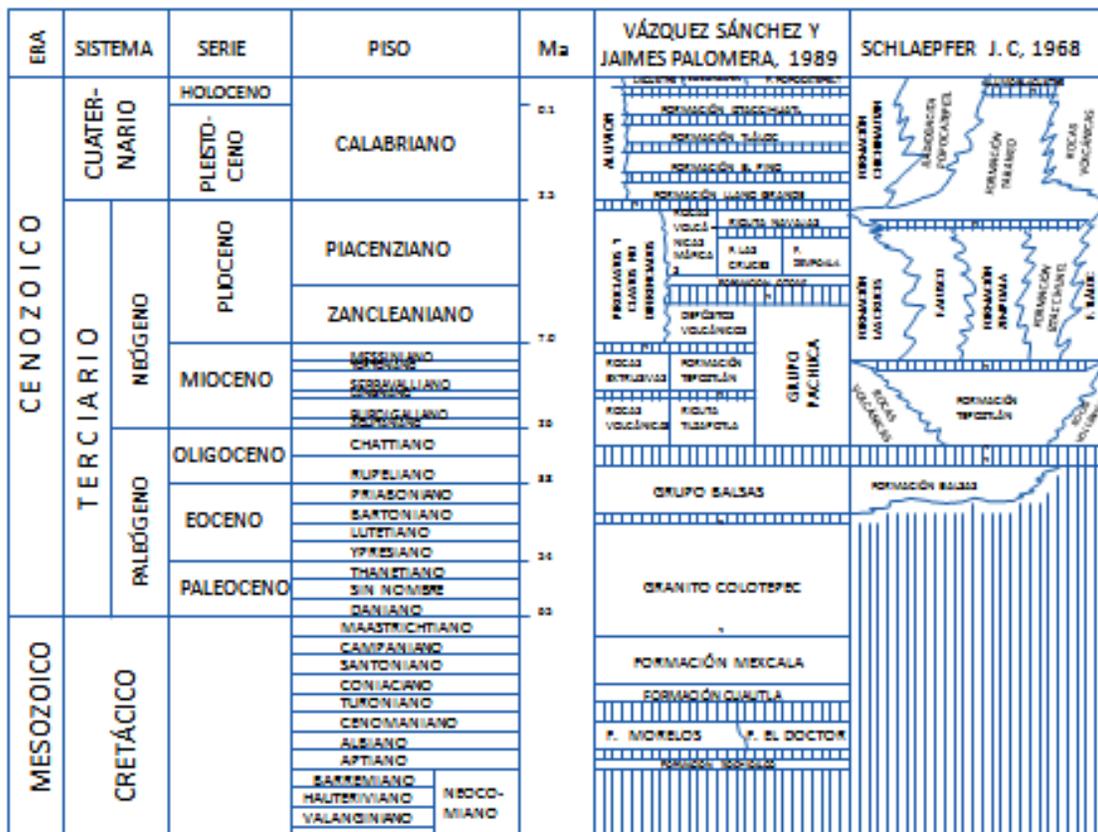


Figura 3.4. Estratigrafía de la Cuenca de México, modificada de Vázquez Sánchez y Jaimes Palomera en 1989. (tomada de Enciso De la Vega, 1992).





3.5. Geología Estructural de la Cuenca de México.

Los elementos estructurales presentes en la Cuenca de México se describen a continuación conforme se llevaron a cabo los eventos tectónicos.

- **Pliegues del Maestrichtiano- Eoceno Temprano.**

Estos pliegues se presentan en las rocas más antiguas producidas en el Cretácico. Los pliegues son simétricos y recostados al oriente y poniente, los ejes son sinuosos y orientados al nor-noreste, la mayoría tienen una longitud de 2 a 3 kilómetros, aunque el anticlinal denominado "Ticumán" mide 40 Km. Fries (1980) tomando como base la dirección preferencial de los pliegues, propuso fuerzas compresivas que originaron el plegamiento en dirección este-noreste y oeste-sureste de edad comprendida entre el Maestrichtiano al Eoceno Temprano, lo cual coincide con el intervalo de tiempo de la orogenia Laramide (Damon, et. al., 1981).

- **Fallas del Eoceno-Oligoceno Temprano.**

Son dos sistemas de fallas que se localizan en la porción centro meridional, son fallas normales con desplazamiento lateral derecho: 1) Falla Jojutla. Presenta un rumbo hacia el noreste y una longitud de más de 35 kilómetros, se encuentra sepultada por aluvión y por el Grupo Balsas, su existencia y orientación y sentido de desplazamiento es sustentada por la terminación abrupta de los pliegues de rocas cretácicas, y 2) Falla Cañón de Lobos. Ubicada al suroeste de Yautepec Morelos, presenta un rumbo hacia el noreste con una longitud de al menos 15 kilómetros, en su extremo noroccidental se ramifica en varias fallas normales divergentes, su naturaleza y desplazamiento vertical de orden 1500 m son sustentados por el abrupto contacto entre las formaciones Mexcala y Morelos.

El arreglo conjugado especial que muestran las fallas Jojutla-Cañón de Lobos, se plantea una elipse de deformación que se interpreta por los esfuerzos compresivos en dirección S58°W generados, posiblemente, por la paleosubducción de la placa oceánica Farallón por debajo de la placa continental Norteamericana, provocando esfuerzos de tensión en dirección N05°W (Vázquez Sánchez, et. al., 1989).

- **Fallas del Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano.**

En este sistema de fallas se han reconocido en la zona meridional del estado de Morelos que aflora en el Grupo Balsas. Un sistema de fallas de carácter normal se localiza al noreste de Ticumán con rumbo N45°W con 15 kilómetros de longitud,





en su extremo noroccidental se ramifica en varias fallas normales con la misma dirección con una longitud promedio de 3 kilómetros, mientras que en su extremo sudoriental es cubierto por la Riolita Tilcapotla del oligoceno Tardío. Otra falla perteneciente a este sistema, se localiza al oriente de Xalostoc de carácter normal con un rumbo al noreste y una longitud de 2 kilómetros (Vázquez Sánchez, et. al., 1989).

- **Fallas del Plio-Cuaternario**

Serie de fallas normales que cortan a las formaciones volcánicas del Mioceno, Plioceno y Cuaternario. Se distribuyen en las sierras occidentales y orientales en la porción meridional de la Cuenca, así como en las sierras de Guadalupe, Tepoztlán y en el cerro de Chimalhuacán. Tienen una longitud promedio de 4 kilómetros con un desplazamiento que va de unos centímetros a cientos de metros, buzan en distintas direcciones aunque su echado va de 60° a 80°, algunas fallas forman pequeños grabens en dirección E-W. Se han observado algunas fallas normales sepultadas, que pertenecen a este mismo sistema, al sur poniente de Cuajimalpa, la falla que disloca a la Formación las Cruces al suroriente de Cuajimalpa, la falla de carácter normal que desplaza depósitos piroclásticos de la Formación Tláloc al oriente de San Vicente Chicoloapan y la falla que se ubica en productos piroclásticos de la Formación El Pino en el lado norte del cerro Chiconautla (Vázquez Sánchez, et. al., 1989).

Otro grupo de fallas normales que se encuentran sepultadas, inferidas con base en los claros lineamientos de conos cineríticos monogenéticos de las Formaciones Chichinautzin y El Pino que son indicadores de esfuerzos tensionales; los conos alineados evidentes son: los cerros de La Estrella, Peñón de Marqués y Chimalhuacán que en superficie se alinean con la falla Contreras; alineamiento de la Sierra Santa Catarina con el volcán El Pino; alineamiento hacia el sur de Topilejo de los cono cineríticos y rasgos de efusiones fisurales con el cono de escoria del cerro Tehitli; alineación de los conos-anillo de toba con los conos de escoria al sur de Tlalmanalco; los numerosos conos de tefra y de lava de la Sierra Chichinautzin que se alinean con la falla de Tenango (Vázquez Sánchez, et. al., 1989).

En el Valle de Puebla y Tlaxcala las fallas presentes de carácter normal tienen rumbo E-W con una longitud entre 10 y 15 kilómetros que se alinean regionalmente al poniente con los volcanes de la Sierra de Río Frío, Llano grande e Iztaccíhuatl, y al oriente con el estratovolcán la Malinche. En el Estado de





México la falla normal llamada Tenango tiene desplazamiento hacia el norte con arreglo escalonado con una longitud de 15 kilómetros, que se alinean con los conos cineríticos de la Formación Chichinautzin y el volcán meridional de la Sierra de Zempoala, al poniente se alinea el estratovolcán Nevado de Toluca y al sur de la falla de Tenango se localizan varias fallas normales de este mismo tipo (Vázquez Sánchez, et. al., 1989).

El sistema Chapala-Acambay está integrado por fallas normales dispuestas escalonadamente con rumbo preferencial E-W con una longitud promedio de 200 kilómetros y desplazamientos de orden de 400 metros; las fallas normales de Distrito minero Pachuca-Real del Monte, las fallas normales en la subcuenca de Apán y la zona circundante y los conos cineríticos del Cuaternario, forman parte de este sistema estructural (Vázquez Sánchez, et. al., 1989).

El sistema de fallas Plio-Cuaternario tuvo origen en los esfuerzos compresivos en dirección $S75^{\circ}W$, que a su vez propiciaron esfuerzos distensivos en dirección $N15^{\circ}W$. Estos esfuerzos tienen relación con la convergencia entre la placa oceánica de Cocos y la Placa continental Norteamericana (Vázquez Sánchez, et. al., 1989).

Aguayo y Marín (1987) proponen un modelo estructural de la Cuenca de México en donde se reconocen 16 fallas distensivas principales que inciden en el interior de la Cuenca y 15 bloques estructurales mayores (Aguayo Camargo, et. al., 1989). Figura 3.5.



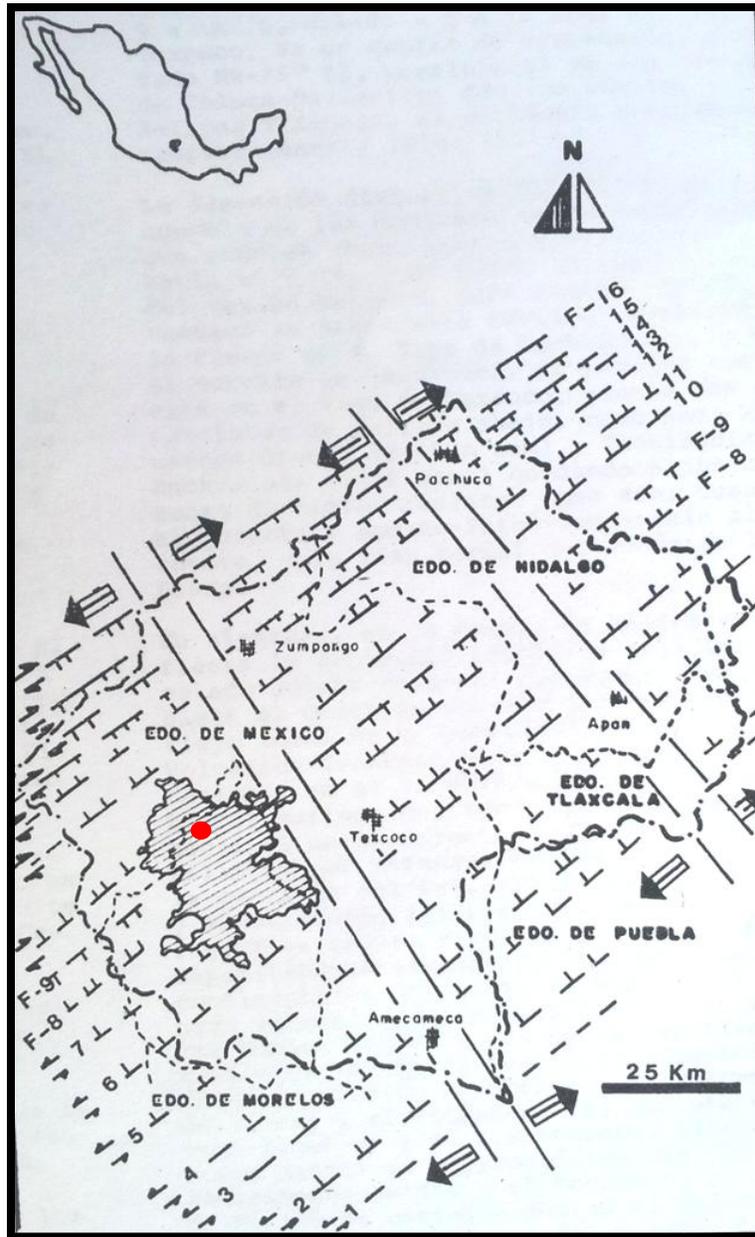


Figura 3.5. Modelo estructural de la Cuenca de México (Aguayo Camargo, et. al., 1989).





3.6. Estratigrafía de la Ciudad de México.

La estratigrafía para la Ciudad de México se muestra en dos apartados, en el primero se menciona la información obtenida en el subsuelo a partir de 13 pozos profundos realizados después del sismo del año de 1985 realizados por PEMEX y el DDF y del pozo perforado en el presente año (2014) por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México.

De los trece pozos perforados por PEMEX, cinco de ellos fueron perforados por Petróleos Mexicanos Figura 3.5. (Texcoco-1, Copilco-1, Tulyehualco-1, Mixhuca-1 y Roma-1) y los nueve restantes estuvieron a cargo del Distrito Federal (Avenida Cien Metros-1, San Juan de Aragón-2, Tlahuac-3, Río San Joaquín-4, La Castañeda-5, Avenida Centenario-6, Caopa-7 y Coapa-8). Los 13 pozos ayudaron a entender la distribución de los horizontes litológicos en el subsuelo. Estos pozos se llevaron a cabo por medio de un programa de exploración geológico-geofísico en la Ciudad de México, entre el departamento del Distrito federal, la Comisión Federal de Electricidad y Petróleos Mexicanos a partir del sismo de 1985 (Figura 3.6.).

Dos de los pozos perforados por PEMEX (Mixhuca 1 y Tulyehualco 1), perforados a una profundidad mayor a los 2000 metros, han mostrado que las rocas más antiguas datadas pertenecen al Cretácico (PEMEX, 1985).



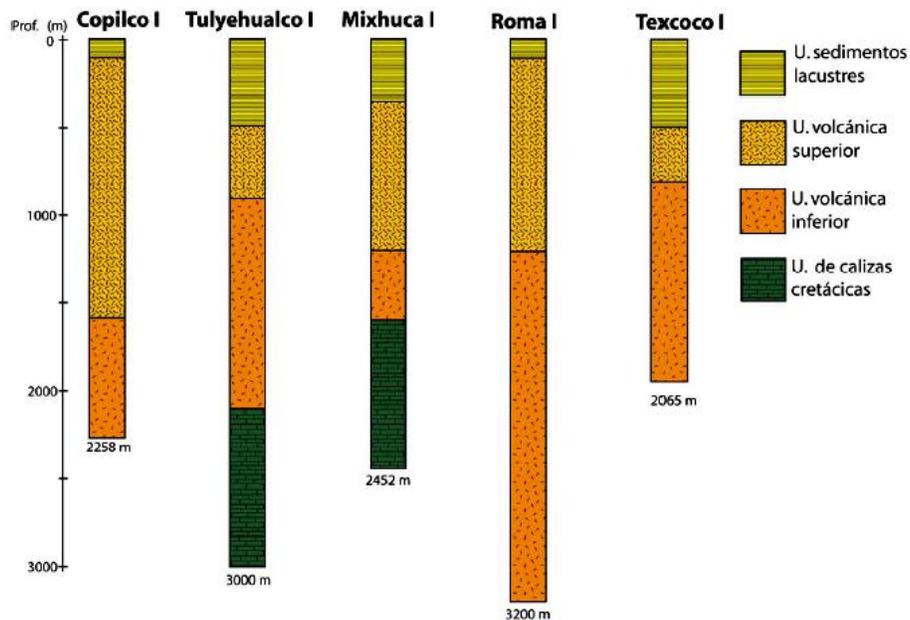


Figura 3.6. Las rocas más antiguas identificadas en estos sondeos, son calizas del cretácico que corresponden a las formaciones Morelos y Cuautla (Observadas en los pozos Tulyehualco-1 y Mixhuca-1); el mayor espesor en los sedimentos lacustres se observan en los pozos Texcoco-1 y Tulyehualco-1 que corresponden a las subcuencas de Texcoco y Chalco, respectivamente, Rodríguez-Chavéz, 2003. (Tomado de Herrera Hernández, 2011).

Entonces la secuencia estratigráfica se describe de la siguiente manera:

La formación más antigua está definida por calizas y lutitas marinas plegadas de edad del Cretácico. Después hubo un largo periodo en que se erosionó la formación y a principios del Paleógeno los derrames volcánicos dejaron rocas de distintas composiciones tales como lavas, brechas, tobas y conglomerados de espesores variables. Posteriormente, después de un nuevo ciclo de erosión durante el terciario Medio, llega una segunda etapa de derrames volcánicos dejando acumulaciones de lavas, brechas y tobas, de composición andesítica. Termina con un nuevo periodo erosivo

Al inicio del Mioceno, se presenta una nueva actividad volcánica dejando como materiales lavas andesíticas y dacíticas, tobas y brechas dando la formación de las sierras de Las Cruces, Monte Alto y Guadalupe. Al terminar este ciclo volcánico y después de un periodo de erosión, las precipitaciones pluviales formaron abanicos eluviales compuesto por tobas y suelos con espesores de



hasta 50 m. Para terminar este periodo se da un último evento volcánico compuesto de tobas, pómez y brechas dando acumulaciones de hasta 200 m de espesor, estos depósitos son llamados Formación Tarango (López Martínez, 2007).

La formación Tarango fue descrita por Bryan (1948), quien la define como depósitos volcánicos que se encuentran expuestos al norponiente del Valle de México. Esta formación está constituida por depósitos piroclásticos, entre lo que se ha encontrado pómez que localmente se encuentran cubiertos por flujos piroclásticos no soldados de ceniza cristalina y vítreas; además, se encuentran cubiertas o interestratificado con material aluvial y paleocanales fluviales, asimismo constituido por andesitas, tobas y brechas. (Chávez Aguirre, 2008).

En el Cuaternario, se presenta la actividad volcánica más joven de composición basáltica, andesítica y cenizas y que se encuentra interestratificada con rellenos aluviales y fluviales con espesor mayor a los 200 m. (López Martínez, 2007).

Estos rellenos aluviales y las arcillas (Cuaternarias) que se ubican en la zona centro de la Ciudad de México, fueron clasificadas y descritas por ingenieros geólogos y geotécnicos, iniciados por el Prof. R. Marsal en el Laboratorio de ICA entre 1945 y 1955. La secuencia se conoce a profundidades no mayores a 150 metros y de manera resumida se trata de Arcillas Superiores, Capa Dura, Arcillas Inferiores Consolidadas y depósitos profundos.

En la figura 3.7. se muestra una columna estratigráfica de la Ciudad de México, en ella de manera muy general, la secuencia se encuentra conformada por depósitos lacustre arcillosos y areno-arcillosos que su origen fue de un lago formado por la gran presa volcánica del Chichinautzin, formada hace 600 000 años.



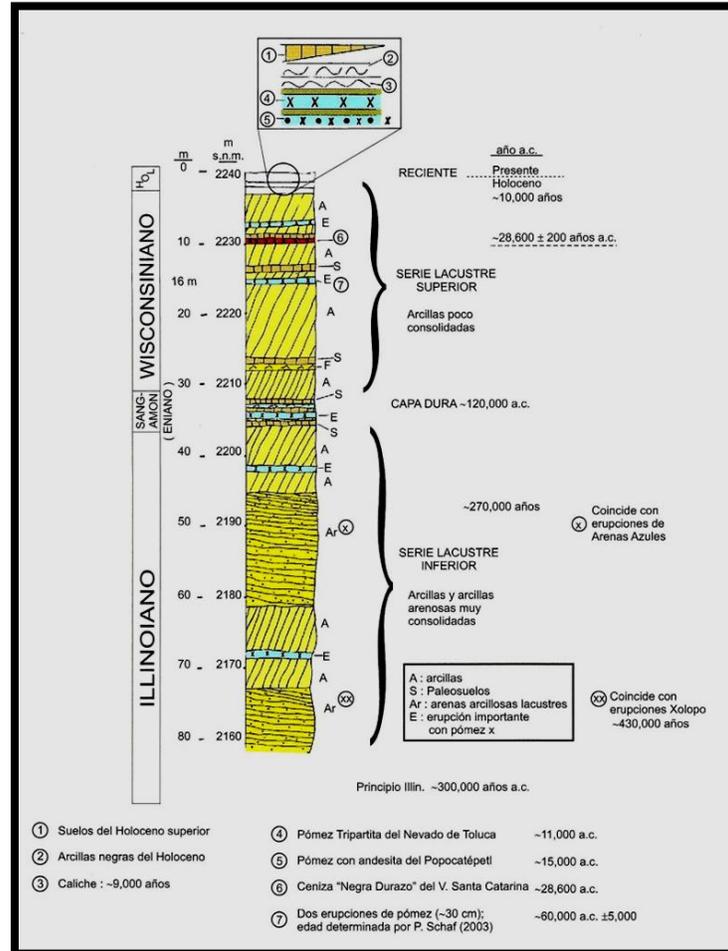


Figura 3.7. Erupciones volcánicas en los depósitos lacustres (Santoyo Villa, et al., 2005). En la columna se observan horizontes de capas delgadas de ceniza que corresponden a erupciones volcánicas violentas depositadas en el lago. Si estas no son muy delgadas se mantienen generalmente intactas y forman horizontes índice muy claros y con esto se puede deducir que los horizontes de la parte superior corresponden a un intervalo de aproximadamente 4 000 años.

Además, la secuencia lacustre está dividida en dos partes por una capa dura, con separación entre los 33 y 37 m de profundidad. La capa dura es producto de dos erupciones volcánicas pumíticas originadas en el Cerro de la Palma y con una edad aproximada de 120 mil años (Santoyo Villa, et. al., 2005).

En la figura 3.8. se muestra la sección estratigráfica de la Ciudad de México, fue realizada por los ingenieros geólogos y geotecnistas (Santoyo Villa, et al, 2005).

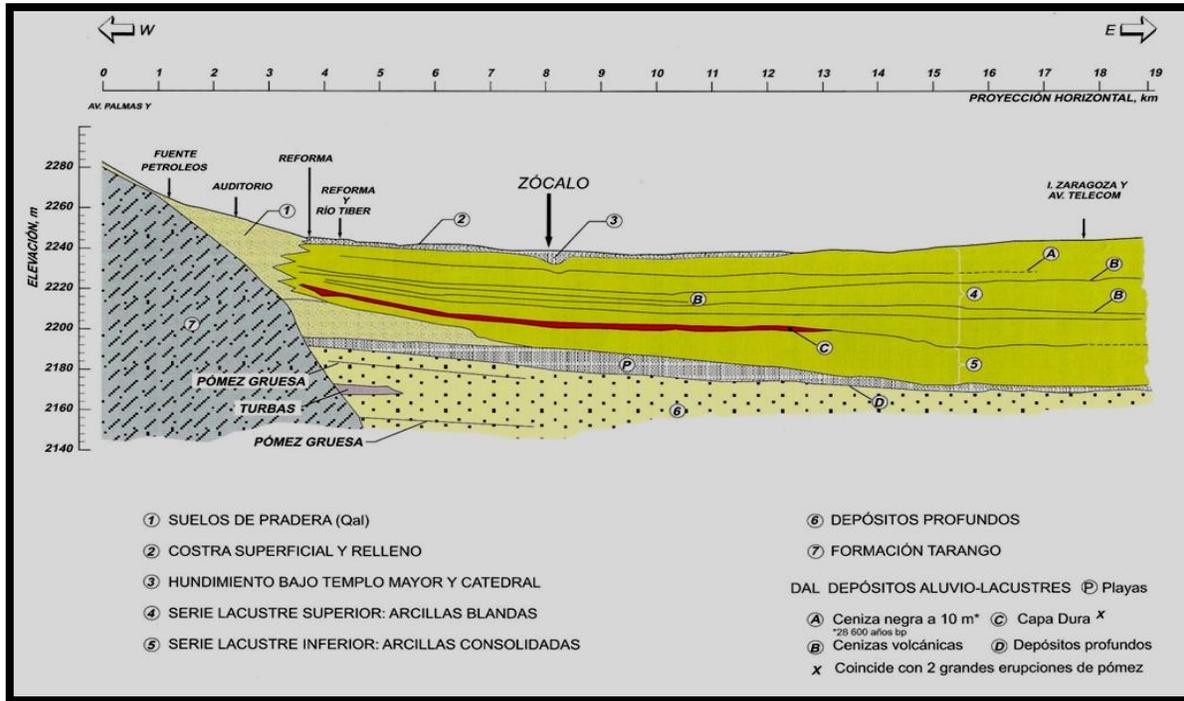


Figura 3.8. Secuencia Pleistocénica de la Ciudad de México (Santoyo, et al., 2005).

La sección estratigráfica contiene diferentes capas litológicas que se describen a continuación:

- Formación Tarango: capa de depósitos volcánicos
- Arcillas Superiores: es una capa uniforme que tiene un espesor que varía de los 25 a 50 m, los geotécnicos lo clasifican por las sobrecargas superficiales a la que está expuesta y por el bombeo o extracción del agua. Además esta serie arcillosa tiene intercalaciones de lentes duros de composición basáltica o bien de pómez vítrica con espesores que varían de centímetros hasta 2 m.
- Capa dura. Capa heterogénea que se depositó durante el cambio climático interglacial Sangamon, compuesta por limos arenosos con arcilla y escasa grava. El espesor es delgada en la zona central y llega hasta los 5 m en los extremos.
- Arcillas inferiores consolidadas. Serie arcillosa separada por lentes duros. Espesor en el centro del lago de aproximadamente 15 m que prácticamente desaparece a las orillas.



- Depósitos profundos. Constituida de arenas y gravas aluviales limosas, cementadas con carbonato de calcio y arcillas duras. (Santoyo, et. al., 2005).

El pozo exploratorio San Lorenzo Tezonco tiene una profundidad total de 2008 metros, está ubicado cerca de la Central de Abastos de la Ciudad de México; el objetivo del pozo fue describir las características hidrogeológicas de las formaciones profundas de la Cuenca de México. La figura 3.9 muestra la columna estratigráfica realizada por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México en la que además se realizaron análisis químicos de roca total y geocronología de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y U-Pb para refinar la identificación de las distintas unidades estratigráficas.

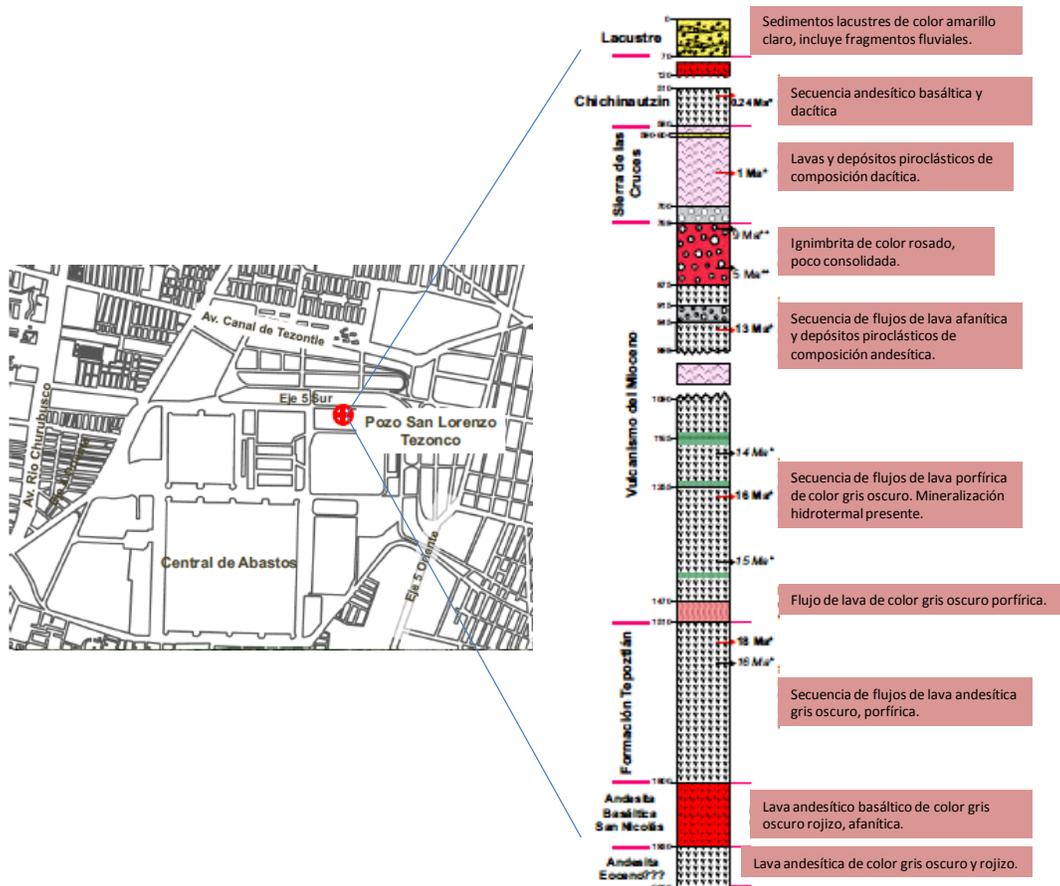


Figura 3.9. Ubicación y columna estratigráfica del pozo San Lorenzo Tezonco, Iztapalapa Ciudad de México, modificado de Arce (2013), (tomado de Morales Casique, et. al, 2014).



Con base en el análisis de los registros litológicos y eléctricos se definieron cinco unidades hidrogeológicas (Morales Casique, et. al., 2014): 1) 0-70 m compuesto por sedimentos lacustres arcillosos, 2) 70-500 m compuesto por materiales vulcanoclásticos, 3) 500 a 750 m constituido por flujos piroclásticos con intercalación lacustre de 590 a 604 m, 4) 750 a 1140 m compuesto por ignimbritas, arcillas y materiales vulcanoclásticos, y 5) 1140 a 2008 m compuesto por rocas volcánicas.

En el segundo apartado se describen las unidades estratigráficas expuestas en superficie y referidas a la información del INEGI en la carta geológica Ciudad de México E14A39 escala 1:50 000 segunda impresión en el 2002.

Estratigráficamente, las formaciones identificadas en la Cuenca de México que afloran en superficie, van desde el Mioceno Medio y Tardío hasta el Reciente.

En la siguiente imagen (figura 3.10) se ilustra la distribución litológica de la Ciudad de México.



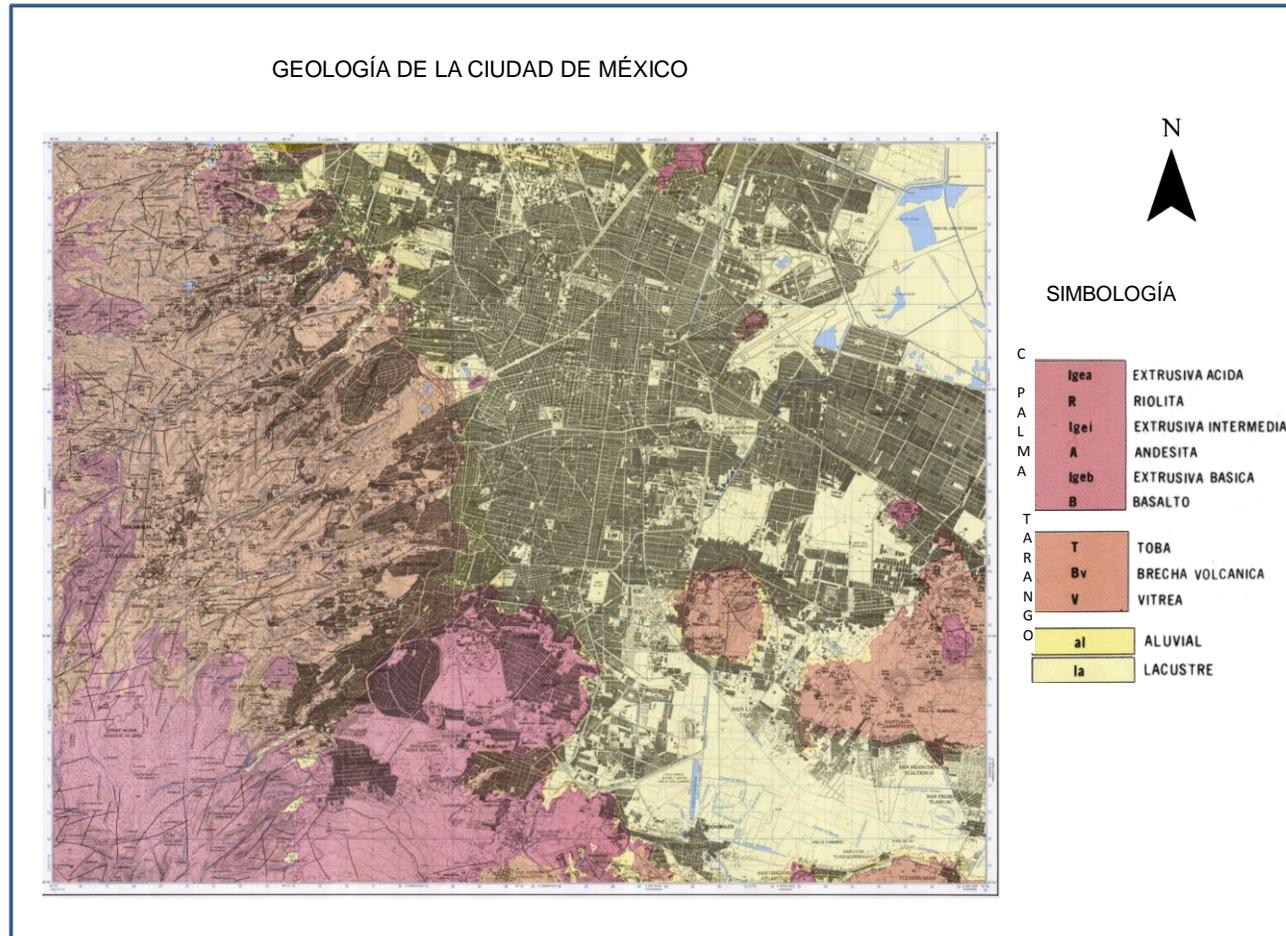


Figura 3.9. Geología de la Ciudad de México escala 1:50 000 (INEGI, 2002).





La Carta Geológica de la Ciudad de México muestra la siguiente información estratigráfica:

Los depósitos volcánicos coloreados en tonos rojizos claros corresponden a las rocas extrusivas del Mioceno Medio y Tardío que se distribuyen en pequeñas áreas en la porción sur de la Cuenca y que se encuentra cubierta discordantemente por depósitos volcánicos más recientes del Cuaternario. Se encuentran en el cerro del Elefante, El judío, Los Remedios, El Peñón de los Baños y en la base de la Sierra de las Cruces; Secuencia de rocas constituida por tobas, brechas volcánicas y lavas de constitución andesítica y dacítica que en algunos lugares se encuentran interestratificados con brechas volcánicas (López Martínez, 2007).

Los depósitos en tonos rosados representan los depósitos de la Formación Tarango con un espesor de 300 metros (Bryan, 1948). Mooser, et. al.(1992) reconocen el pie de monte de la Sierra de Las Cruces constituida por derrames piroclásticos de composición dacítica (arenas azules con 270 000 años de edad), erupciones piroclásticas de composición riódacítica "Xolopo" (430 000 años), tres erupciones plinianas de pómez, derrames piroclásticos Cuquita (constituido por tobas amarillas con espesor superior a los 50 metros) y por erupciones de nubes ardientes menores de polvo fino (600 000 años). (Lugo Hubp, 1995 y Remigio Morales, 2013).

Durante el cuaternario se tienen los depósitos:

Depósitos aluviales en color amarillo. Es un material poco consolidado compuesto por fragmentos de tamaño de grava, limo y arcilla conteniendo localmente marga. Descansa discordantemente sobre los depósitos piroclásticos y clásticos del Piloceno y localmente sobre las rocas más antiguas del cretácico. Espesor de alrededor de 500 metros.

Finalmente, los depósitos lacustres representados en color amarillo claro que se agrupan en sedimentos clásticos y productos piroclásticos relacionados a la actividad volcánica del Popocatepetl y de la Sierra Chichinautzin los cuales se depositaron en un ambiente lacustre y se extienden desde Zumpango hasta Chalco y desde Texcoco hasta el Cerro de Chapultepec. Su espesor es variable de 30 a 300 metros (López Martínez, 2007).





3.7. Caracterización Geotécnica de la Ciudad de México.

La zonificación geotécnica de la Ciudad de México nace a partir de la necesidad de dar solución a los grandes problemas para cimentar las edificaciones. Los profesores Raúl J. Marsal y Marcos Mazari y, por su lado, el Dr. Leonardo Zeevaert, estudiaron durante años la estratigrafía del Valle de México y en su libro “El Subsuelo de la Ciudad de México” incluyen un plano de zonificación de suelos que sirvió como base a las propuestas posteriores. En 1959 presentaron la primera zonificación de los suelos del Valle. La última versión del plano de zonas geotécnicas formó parte de las Normas Técnicas en el año del 2004 (Santoyo Villa, et. al., 2005).

La zonificación de COVITUR (Tamez et al, 1987) clasifica el suelo del Valle de México en tres elementos principales: zona de lomas, zona de transición y zona de lago. Se explican a continuación:

- **Zona de Lomas**

Estos suelos se caracterizan por presentar condiciones irregulares de compacidad y cementación, lo cual repercute directamente en la estabilidad de las excavaciones; además, contiene algunos horizontes de lahares compactos. Constituido de suelos duros y tobas rojizas que son la alteración del polvo volcánico depositado en un clima relativamente caliente.

La mayor parte de esta zona se encuentra localizada al poniente de la Ciudad de México. Sus elementos litológicos son producto de las erupciones volcánicas andesíticas, los depósitos más antiguos tienen fracturamiento y fallamiento tectónico con una orientación principal al NE., la característica peculiar de barrancas ha provocado que el hombre haya modificado la zona poniendo rellenos artificiales, los materiales naturales presentes aquí se describen a continuación (tamez, et. al., 1987):

1. Tobas y lahares fracturados. Presenta bloques inestables los cuales se pueden activar a causa de un sismo, algunas de las tobas presentan resistencia al intemperismo y otras son muy degradables y de fácil erosión.





2. Depósitos de arenas pumíticas y lahares de arenas azules. Tienen una disposición de compactos y semicompactos, en parte ligeramente cementada.
3. Lahares poco compactados y depósitos glaciales y fluvioglaciales. Varía de cementadas a sueltas.
4. Basaltos. Formados a consecuencia de coladas lávicas con discontinuidades como fracturas y cavernas.

- **Zona de Transición**

Son depósitos de origen fluvial que se reconocen en diversos puntos de las lomas como en la planicie, donde desembocan los ríos formando vastos abanicos aluviales, ejemplo de ello, el río Hondo. Algunos se encuentran debajo de las arcillas penetrando hasta 10 km dentro de la planicie que se depositaron a finales de la era glacial cuando los ríos crecieron formando ríos y arroyos caudalosos durante los deshielos (Santoyo Villa, et. al., 2005).

Estos depósitos forman la separación entre los suelos lacustres al valle. Los arroyos que desembocan a través de las barrancas, en las partes bajas del valle formaron pequeños deltas dentro del cuerpo lacustre. Como consecuencia, los clásticos fluviales y aluviales se intercalaron localmente con las series arcillosas; la zona de transición se clasifica estratigráficamente de la siguiente manera:

1. Transición interestratificada. Se presenta en la zona que se origino en las barrancas, donde hay acumulación de material acarreado de las lomas a la planicie. Está constituido por la capa dura como la más antigua, depósitos glaciares, laháricos y fluvioglaciales y depósitos aluviales.
2. Transición Abrupta. Es el contacto entre las arcillas lacustres con roca volcánica, la estratigrafía está constituida por la serie arcillosa lacustre con lentes de materiales erosionados de los cerros vecinos. Ejemplo de ello, está el Peñón de los Baños, el Peñón de Marqués, el cerro de La Estrella y el cerro del Tepeyac.



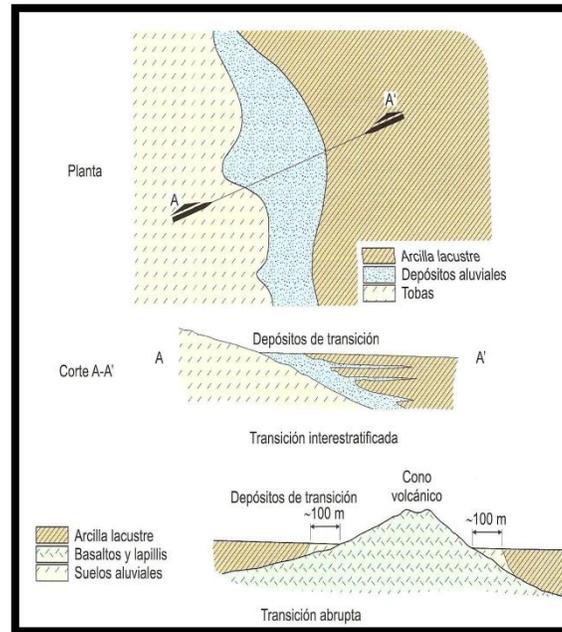


Figura 3.11. Imagen esquemática que ilustra los distintos tipos de transiciones, vista desde planta y dos cortes (Santoyo, et al, 2005).

También la zona de transición es clasificada geotécnicamente. Esta zona fue definida a partir de los sitios en donde desaparece la serie arcillosa inferior y la primera capa dura se encuentra a los 20 m de profundidad y así diferenciarla de la zona de lago. Esta zona se divide en dos subzonas que muestran diferentes características de resistencia al corte.

- Transición Alta. Es la que está más próxima a las Lomas que presenta irregularidades estratigráficas por la presencia de depósitos aluviales cruzados.
- Transición Baja. Cercana a la zona de Lago, aquí las arcillas de la capa superior presentan intercalaciones de estratos limoarenosos de origen aluvial depositadas durante la regresión del lago. Este tipo de eventos dio como rigen una estratigrafía más compleja en donde los espesores y propiedades de los materiales tienen importantes variaciones.
- Transición Abrupta. Es la zona de transición entre las zonas de Lago como el del Peñón de los Baños, aquí las arcillas lacustres están



intercaladas con lentes de material erosionados por los cerros y con delgados lentes de travertino silicificado (producto de las emanaciones de aguas termales).

En la zona de transición se puede describir que la costra superficial está compuesta por depósitos aluviales con una capacidad de carga no uniforme y tiene interestratificación de arcillas y suelos limoarenosos.

• Zona de Lago

La zona de lagos está constituida por los suelos de la planicie lacustre que se formaron durante el Pleistoceno y el Holoceno, mejor conocido como Reciente. Estos suelos arcillosos blandos son consecuencia de los procesos de depósito y una posterior alteración fisicoquímica de los materiales aluviales y de las cenizas volcánicas, donde existían abundantes colonias de microorganismos y vegetación acuática. El proceso sufrió largas erupciones durante los periodos de sequía donde los niveles del lago bajaron formando una costra endurecida por deshidratación producida por el sol.

Además otras breves interrupciones fueron provocadas por violentas etapas de intensa actividad volcánica que cubrieron parte de la cuenca de lavas basálticas y pumíticas; por periodos, durante la sequia también ocurrían erupciones volcánicas, las que formaban costras duras cubiertas por arenas volcánicas con una velocidad de depósito de un metro por cada cuatro mil años (datado por la prueba carbono 14). El grosor de esta capa dura formada por deshidratación, varía gradualmente según las condiciones topográficas del fondo del lago teniendo un mayor espesor hacia las orillas del vaso de Texcoco, mientras se pierde hacia el poniente de la Ciudad (Santoyo, et. al., 2005).

De acuerdo con la localización e historia de cargas, el área se divide en tres subzonas, tomando en consideración factores como el espesor y propiedades de la costra superficial y la consolidación inducida en cada sitio.

1. Lago Virgen. Constituida por arcillas saturadas que se encuentran en el vaso del exlago de Texcoco.
2. Lago Centro I. Corresponde al sector no colonial de la ciudad que se desarrolló a principios de este siglo y que ha estado sujeto a pequeñas





sobrecargas generadas por las medianas y pequeñas construcciones. Las condiciones mecánicas se encuentran en un punto intermedio entre las del Lago Virgen y las del Lago Centro II.

3. Lago Centro II. Se encuentra limitada por la antigua traza de la ciudad en donde la historia de cargas aplicadas sobre la superficie ha sido variable por lo que se presentan las condiciones extremas siguientes:
 - a. Arcillas fuertemente consolidadas por rellenos y grandes sobrecargas de construcciones aztecas y coloniales.
 - b. Arcillas blandas asociadas a lugares que han alojado plazas y jardines durante largos periodos de tiempo.
 - c. Arcillas muy blandas en los cruces de antiguos canales, además, el intenso bombeo de agua refleja el incremento general de la resistencia de los estratos de arcilla como consecuencia de la consolidación inducida (Santoyo, et. al., 2005).

En la figura 3.12. se muestra el plano de la zonificación geotécnica de la Ciudad de México de Marsal y Mazari. La coloración marrón claro indica la zona de lomas que se ubica hacia el poniente, la coloración amarilla a marón indica la zona de transición y la coloración verde y roja pertenece a la zona de lago.



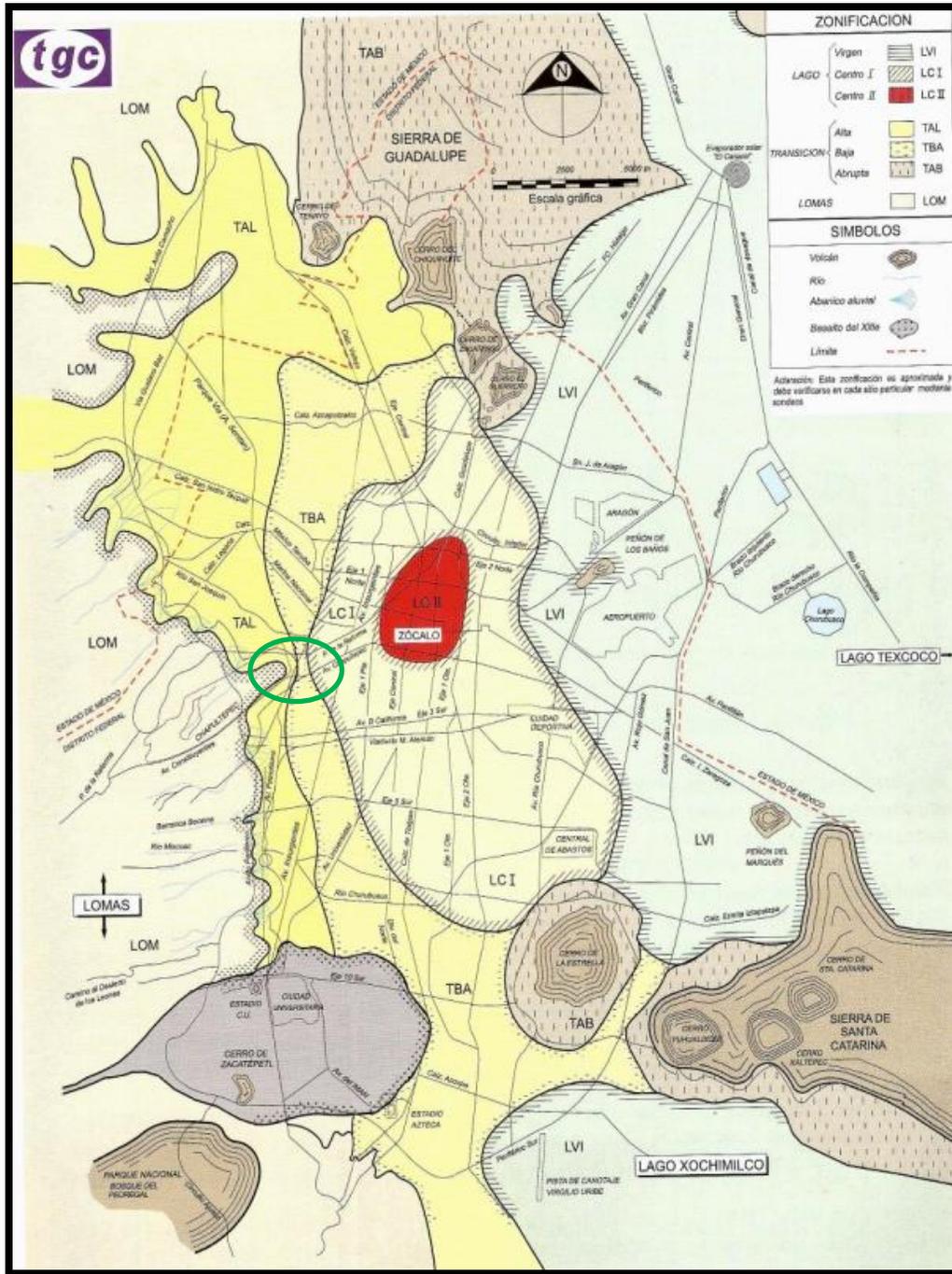


Figura 3.12. Zonificación geotécnica de Marsal y Mazari de la Ciudad de México y en color verde se resalta la ubicación del Bosque de Chapultepec. LOM=zona de Lomas, TAL=zona de Transición Alta, TBA=Zona de Transición Baja, LVI= Zona de Lago Virgen (Santoyo, et al, 2005).





4. Geología del Bosque de Chapultepec y su entorno al Poniente de la Ciudad de México

4.1. Geología de la Zona Poniente de la Ciudad de México

La geología del Poniente de la Ciudad de México se explica considerando la fisiografía presente entre las elevaciones (3820 – 2260 msnm), constituidos por abanicos volcánicos de la Sierra de las Cruces; que comprenden una gran acumulación de materiales piroclásticos depositados a los pies de los diferentes aparatos volcánicos durante su intensa actividad explosiva. La actividad volcánica se desarrolló durante el Mioceno superior extendiéndose hasta el Plioceno y Pleistoceno.

La unidad rocosa que forma parte de la geología de la zona Poniente de la Ciudad de México es la Formación Tarango. La Formación Tarango fue nombrada debido a la población que posee el mismo nombre que se ubica en la orilla suroeste de la Cuenca de México a 4 kilómetros al suroeste del poblado de Mixcoac, Distrito Federal. Constituida por tobas, brechas, gravas volcánicas de origen fluvial y capas delgadas de pómez (Bryan, 1948).

La Formación Tarango se distribuye en el Distrito Federal, Estado de México e Hidalgo. De manera particular en los alrededores de Mixcoac con 300 metros de espesor (Segerstrom, 1962); en la región Tula-Ixmiquilpan-Tasquillo, al norte del Valle del Mezquital con 400 metros de espesor, al noroeste de Pachuca y en los alrededores de Actopan todos en el Estado de Hidalgo; y finalmente, en el área del Tajo de Nochistongo de 30 a 40 metros de espesor y en el municipio de Nicolás Romero en el Estado de México (Juárez Arriaga, 2009).

Lugo-Hubp, et. al., 1995, realizaron un estudio en la delegación Álvaro Obregón con el propósito de describir e identificar las zonas de mayor riesgo, describieron factores como: el relieve, la geomorfología, el contenido litológico y la actividad antrópica.

Los autores describen a la Formación Tarango en la delegación Álvaro Obregón reconociendo las siguientes unidades litológicas:





1. Piroclastos finos conformado principalmente por ceniza de color amarillento a pardo y en partes de tonos rosados. Este depósito tiene la distribución más amplia, y su espesor varía de los 0.50 a 5.0 metros. Se pueden identificar en ciertas localidades, entre las cuales están, la ladera del río Becerra y la confluencia de los ríos Puerta Grande y Puente Colorado en la Presa Tarango.
2. Ceniza con clastos angulosos mal clasificados y con tamaño de hasta 70 centímetros. Es un material andesítico de color rojo y gris y su espesor va de los 0.50 a 2.0 metros. Se encuentra en la margen del río San Ángel y a un costado de la calzada Las Águilas.
3. Ceniza con pómez de color blanco con fragmentos de tamaño que varía de los 0.5 a los 5 centímetros; presente de forma transicional en medio de dos unidades diferentes en contacto normal. Tiene un espesor que va de los 0.5 a 1.5 metros. 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.
4. 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, depósitos de derrame piroclástico.

Los tres tipos de pómez encontradas son:

- En capas casi horizontales, muy abundante y con espesor que va de los 0.50 a los 50 metros, de color amarillo claro.
 - Pómez fina 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 rosa que se presenta en estratos de 1 a 3 metros de espesor con fragmentos que varían de los 1 a los 15 centímetros de diámetro.
5. Depósitos de derrames piroclásticos. Son divididos en tres:
 - Con clastos mal clasificados, angulosos con tamaño que varía de los 2 a 5 centímetros y algunos llegan alcanzar los 15 centímetros. Presenta un color gris azulado y en algunas partes es rosa o pardo rojizo y esta poco consolidado, se observa en capas de 5 metros de grosor y apoyados generalmente en tobas o pómez.
 - Capa delgada con clastos angulosos bien clasificados, de tamaños variantes de 1 a 5 centímetros, bien cementados, está capa





descansa de manera concordante sobre la pómez y su espesor va de los 0.60 a los 2.0 metros.

- Sedimentos volcánicos de color gris azulado con clastos angulosos bien clasificados de tamaño máximo de 3 centímetros, poco consolidados y dispuestos de manera masiva.
6. Depósitos de lahares o derrames piroclásticos con bloques de andesitas de hasta 1.5 metros de diámetro presentes de manera angulosa y muy mal clasificados, se encuentra cementado con piroclastos finos de pómez. Su espesor aproximado es de 35 metros.
 7. Depósitos de derrame de lodo con bloques angulosos y subredondeados con clasificación regular, su tamaño aproximado es de 1 metro de diámetro. Está presente en capas de poco tamaño y son depósitos característicos de desembocadura de arroyos de montañosos.
 8. Conglomerados presentes principalmente en la base de las barrancas. Está constituida por cantos bien clasificados, redondeados de tamaño que varía de 2 a 5 metros.
 9. 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).

Sin embargo, los depósitos más recientes de la Formación Tarango y que marcó el fin de esta etapa de vulcanismo, se ubican en el Bosque de Chapultepec y en la zona Poniente de la Ciudad de México, incluyen a los depósitos piroclásticos del volcán-escudo San Miguel con un espesor aproximado de 250 metros. Mooser, et. al.(1992) definieron las siguientes unidades litológicas en el piedemonte 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.

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





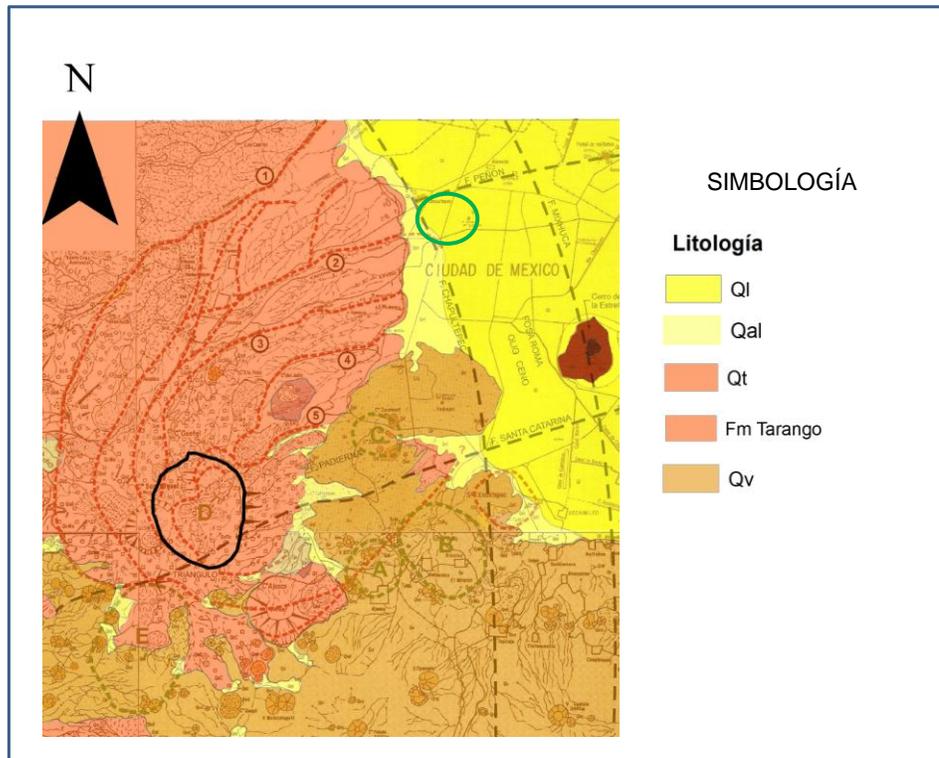
abundante pómez arrancada de la chimenea volcánica (Cuquita), producto de una violenta erupción que rodeo a los cerros de Chapultepec, Zocaltepetl y Zacayucan.

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.

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 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 Morales, 2013).

Mooser, et al., 1996 realizó el mapa geológico de la zona Poniente de la Ciudad de México (Figura 4.1). En un círculo color verde se destaca la zona de estudio.





Figura

4.1. Geología de la zona Poniente de la Ciudad de México. Imagen modificada de Mooser (1996). Donde Qt corresponde a tobas del Cuaternario, Qv representan tobas y lavas, Qal son los depósitos aluviales y Ql representan los depósitos lacustres. En color negro se resalta lo que corresponde al colapso del cerro San Miguel. Colapsos y barrancas: 1. Ajusco-Salazar-Río Hondo, 2. Ajusco-Cuajimalpa-Tacubaya, 3. Monte Alegre-C° de la Palma-Hueyotla-Mixcoac, 4. Central, y 5. Contreras. Calderas: A. Conejo, B. Mirador, C. Zacatepetl, D. Antiguo C° de San Miguel, y E. Picachos.

Una vez conocida la composición y los eventos que dieron origen a la Formación Tarango, aunada a la compleja morfología de la zona Poniente de la Ciudad de México, ocasionada por los distintos ciclos eruptivos en donde se observan como resultado la superposición de los distintos abanicos volcánicos.

Debido a esta condición se dividió a la Formación en: 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 rellenan las barrancas profundas, principalmente en Santa Fé, con lahares potentes que constituyen las minas de Arenas Azules (Figura 4.2). (Remigio Morales, 2013).

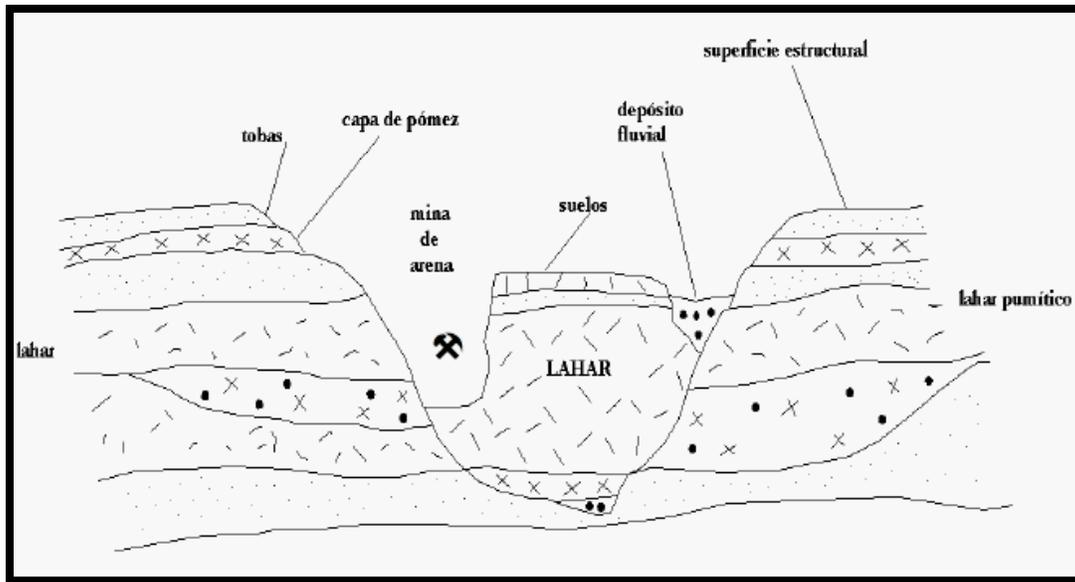


Figura 4.2. Barranca erosionada de la Fm. Tarango rellena de arenas azules. Modificada de Mooser, 1986 (Remigio Morales, 2013).

Entonces, en la Formación Tarango, se compone de la superposición de abanicos volcánicos, generalmente cada abanico corresponde a la vida activa de un volcán. Cuando éste se apaga surge otro volcán, el cual produce su propio nuevo abanico volcánico que se sobrepone al abanico anterior.



4.2. Geología del Bosque de Chapultepec

Durante los trabajos realizados por la Facultad de Ingeniería en el proyecto de fondo mixto CONACYT-GDF, en los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec en 2012, se midieron tres columnas litoestratigráficas que han ayudado a corroborar y detallar el contenido litológico de la formación Tarango. A continuación se presentan estas columnas, cuyos nombres (Velázquez Ángeles, 2013) se asignaron de acuerdo a algún rasgo cerca del sitio.

La primer columna fue realizada del talud nombrado “Talud Alto” que se localiza en las coordenadas geográficas iniciales en 14Q477679mE; 2145725mN, 2330 msnm. y finaliza en 14Q 477505mE; 2145600mN, 2250 msnm. Fue nombrado así porque posee la mayor altitud de los taludes analizados llegando a los 18 metros.

Se diferenciaron dos unidades litológicas principales, el material superior corresponde a composición pumítica altamente porosa y contenida en una matriz arcillosa. El material de la parte inferior se constituye por arenas, arcillas y diseminados líticos de diferente composición mineralógica (Figura 4.3.).

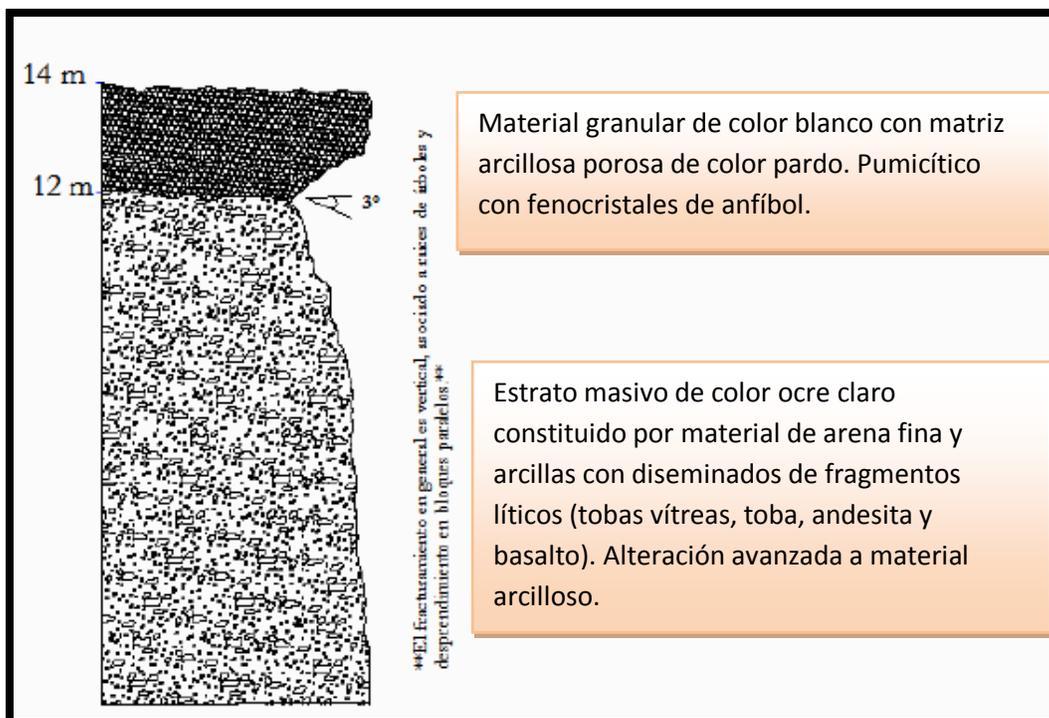


Figura 4.3. Talud Alto, Tercera Sección del Bosque de Chapultepec (Remigio Morales, 2013).

La siguiente columna fue realizada a partir del análisis del talud nombrado “Caídos” que se localiza en las coordenadas geográficas iniciales en 14Q 477009mE; 2145500mN, Z= 2373 msnm. y finaliza en 14Q 477162mE; 2145529mN, con una altitud de 10 metros. Se diferenciaron 8 unidades de materiales arcillosos con fragmentos líticos de distintas composiciones (Figura 4.4.), además el talud presenta un fracturamiento vertical que generan el desprendimiento de bloques de gran tamaño.

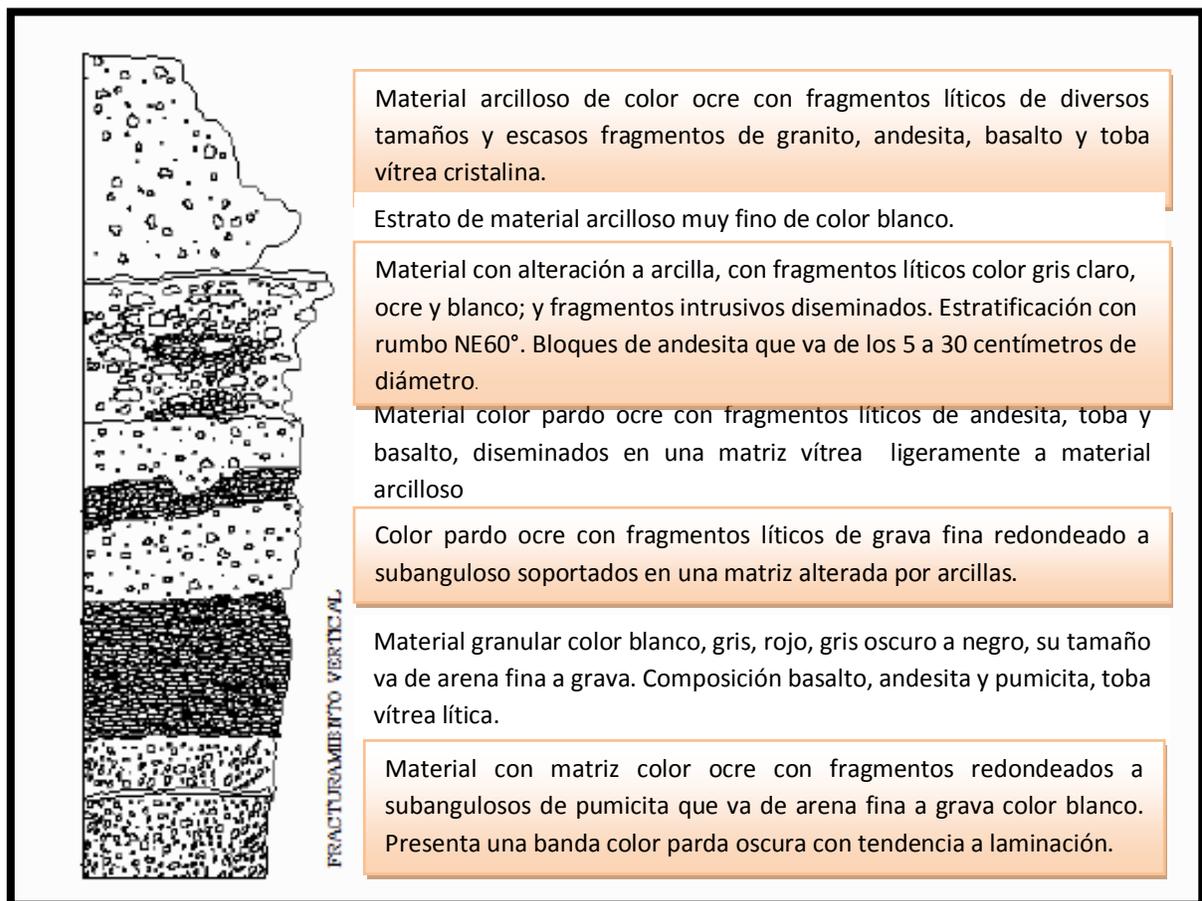


Figura 4.4. Talud Caídos, Tercera Sección del Bosque de Chapultepec (Remigio Morales, 2013).

La tercera columna corresponde al talud nombrado “Escuela”, se localiza en las coordenadas geográficas iniciales en 14Q 476979mE; 2146014mN, 2234 msnm. y finales en 14Q477289mE; 2146095mN, 2358 msnm. con altitud de 12 metros con una visible orientación Este-Oeste. Constituido por materiales de similar composición pero de distintos eventos que le dieron origen (Figura 4.5.).

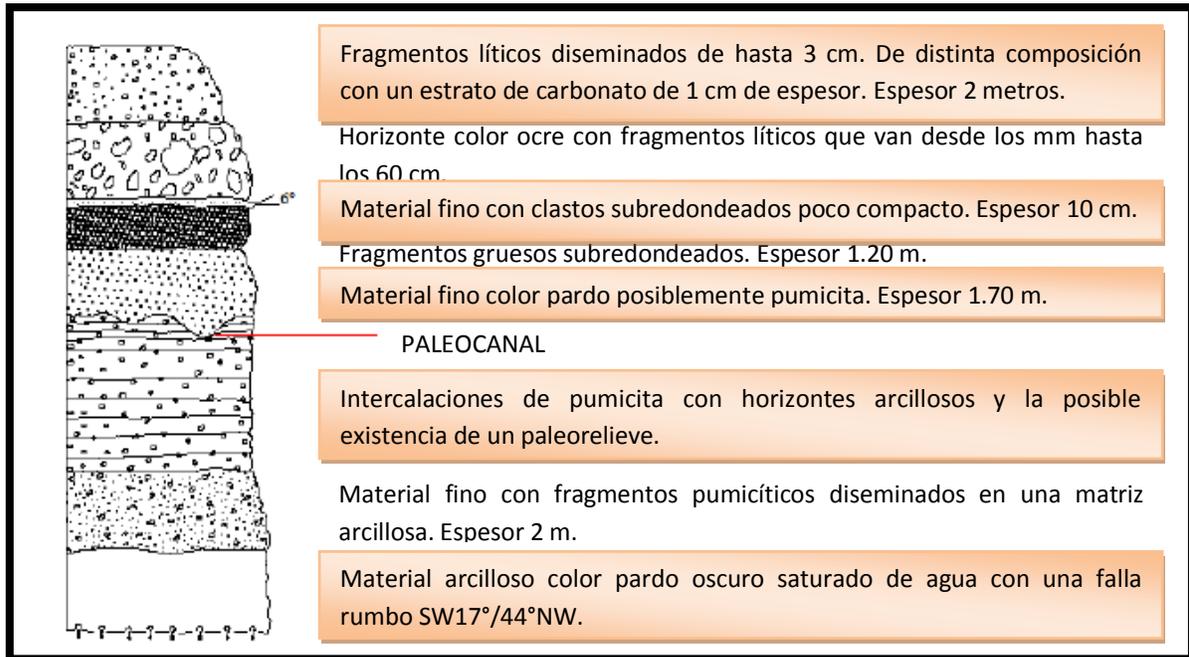


Figura 4.5. Talud Escuela, Tercera Sección del Bosque de Chapultepec (Remigio Morales, 2013).

Otros taludes de menor dimensión que igualmente fueron descritos durante los estudios realizados en la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec por la Facultad de Ingeniería en el 2013, al igual que los anteriormente mencionados, corresponden a la Formación Tarango, entre los cuales están los siguientes:

1. el denominado “Bahía” localizado en las coordenadas 14Q476988mE, 2145686mN, 2358 msnm. y termina en 14Q476942mE, 2145683mN, el talud mide aproximadamente 2.10 metros en el que se aprecia tamaños variables de grano que van desde milímetros hasta 30 centímetros aproximadamente. Su origen pudo deberse por un flujo.
2. Talud “Cañada” localizado en las coordenadas geográficas iniciales 14Q477273mE, 2145932mN, 2333 msnm que finaliza en 14Q477084mE, 2145809mN, 2343 msnm, tiene una altura aproximada de 6 metros constituido por clastos de distintos tamaños que va de arenas finas a gravas y de origen vulcano-sedimentario.
3. Talud “Drenes” ubicado en las coordenadas geográficas 14Q476731mE; 2145604mN, 2375 msnm y termina en 14Q476796mE, 214541mN y 2363 msnm, designando este nombre debido a que tiene tubos de PVC que



sirven para drenar el exceso de humedad del talud. Tiene un espesor aproximado de 10 metros con dos granulometrías presentes, la primera parte por limo grueso que tiene un espesor de 8 metros y por grava fina con fragmentos líticos de diversas composiciones.

4. Talud “Hípico” localizado entre en las coordenadas 14Q477621mE, 2146027mN, 2290 msnm. y 14Q477602mE, 2146005mN, 2316 msnm. se denominó así por su cercanía con el Club Hípico de la Ciudad de México (Remigio Morales, 2013).

Una vez realizada esta actividad se observó que la formación Tarango aflora en la tercera sección y en la segunda sección se encuentra cubierta por una capa de suelo. De tal manera que en la siguiente figura se muestra el mapa geológico del Bosque de Chapultepec (figura 4.6.).

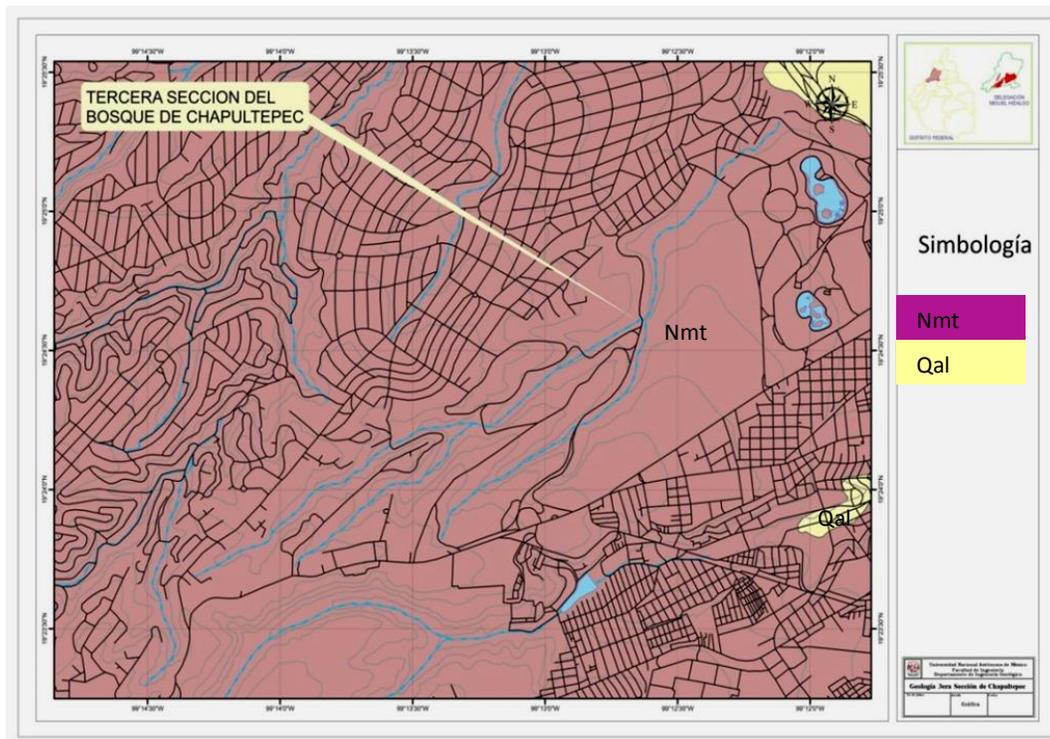


Figura 4.6. Geología de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec. Nmt: Formación Tarango, Qal: suelo aluvial (Facultad de Ingeniería, 2013).





4.3. Secciones Geológicas del Subsuelo en la Zona Poniente

Para la elaboración de las secciones geológicas del Bosque de Chapultepec y de su entorno en el Poniente de la Ciudad de México, se seleccionaron dos trazos representativos con base en la información geológica disponible de pozos perforados en la Ciudad de México. Para la construcción del relieve topográfico de la sección se utilizó un modelo digital de elevación (Figura 4.7); en donde se trazaron las dos secciones como se muestra a continuación:

La primera sección geológica fue construida con base en la información proporcionada por los siguientes pozos: el Pozo Totolapa (No. 253) ubicado en la Mina de Arena delegación Cuajimalpa (Figura 4.8), el Pozo Vista Hermosa 1 (No. 175) ubicado en la avenida Tecamachalco carretera México-Toluca delegación Cuajimalpa (Figura 4.9) y el Pozo Río Tacubaya 1 (No. 155) ubicado en la colonia Tacubaya delegación Álvaro Obregón (Figura 4.10.). Estos pozos fueron realizados por la Secretaria de Obras y Servicios del Departamento del Distrito Federal (2002).

La sección geológica inicia en el Pozo 253 por Paseo de las Lomas, pasa por el Pozo 175 con dirección N47°E, en dirección N70°E pasa por el Pozo 155 hasta la altura del Hospital General de la Ciudad de México.



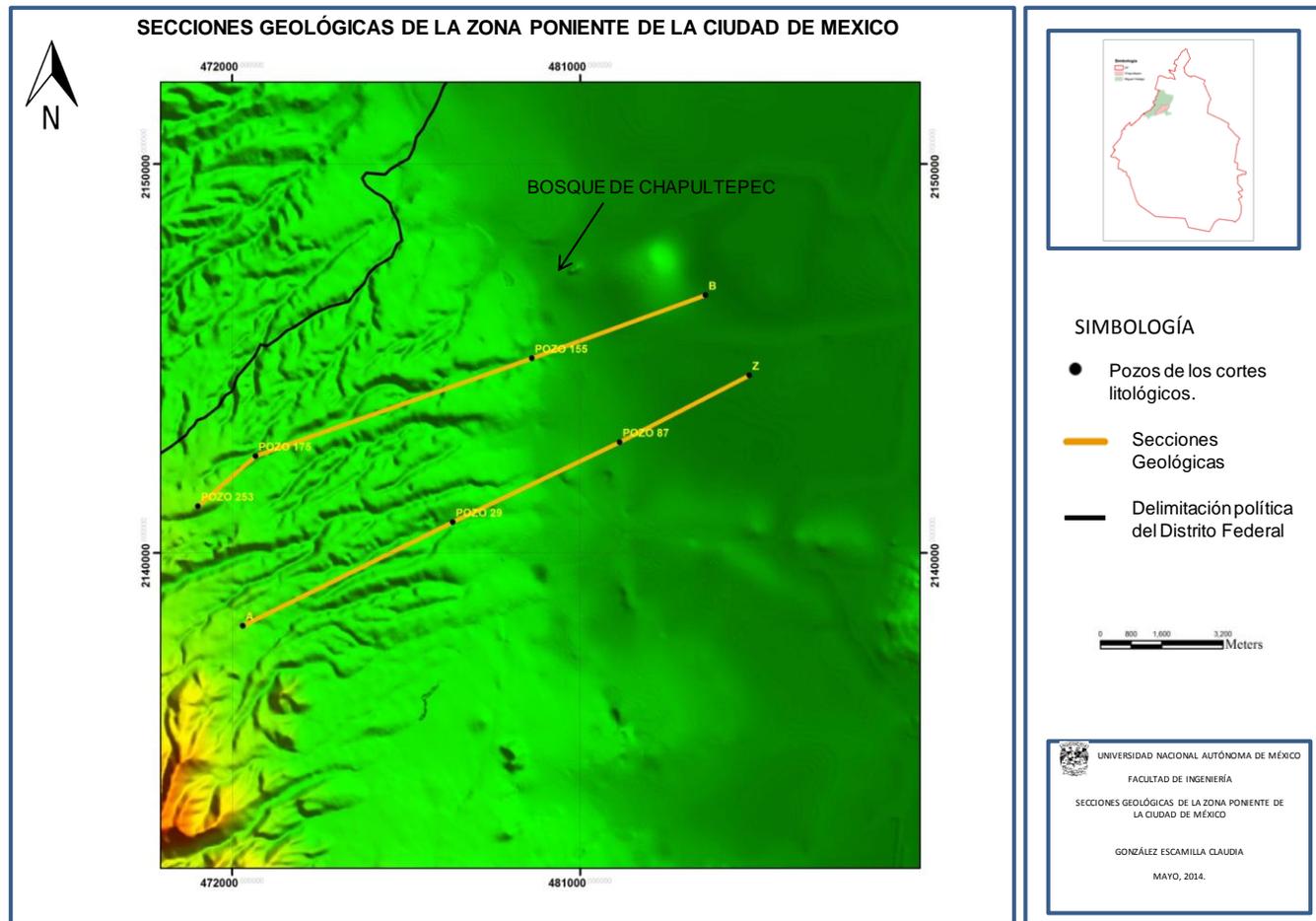


Figura 4.7. Localización de las secciones geológicas en el Poniente de la Ciudad de México.



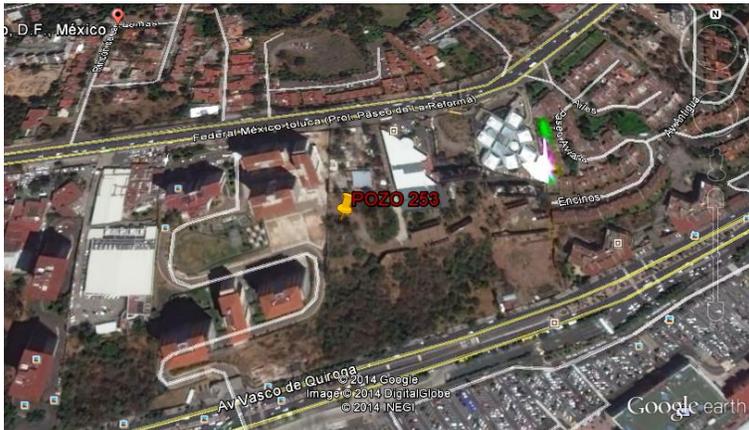


Figura 4.8. Croquis de localización del Pozo Totolapa (Imagen tomada de Google Earth).



Figura 4.9. Croquis de localización del Pozo Vista Hermosa 1 (Imagen tomada de Google Earth).



Figura 4.10. Croquis de localización del pozo Río Tacubaya 1 (Imagen tomada de Google Earth)





Los depósitos presentes en esta primera sección geológica (Figura 4.11); corresponden a las vulcanitas del Mioceno, a la Formación Tarango y los Depósitos Recientes Lacustres, como se describió anteriormente, está constituida por tobas principalmente, para la construcción fue dividida con base en los distintos tamaños de grano presentes y se puede observar la presencia de lentes constituidos por conglomerados y de gravas; la Formación Tarango está representada en distintas tonalidades de color naranja.

Las Vulcanitas del Mioceno, su contacto está inferido por lo que presenta la descripción de los pozos y por lo que se conoce con respecto al espesor de la Formación Tarango (representado en color rojo).

Finalmente, los Depósitos Lacustres se encuentran divididos por sus propiedades físicas de las arcillas (Marsal y Mazari) tales como identificación visual y al tacto, contenido de agua y los límites de consistencia (Santoyo Villa, et. al, 2005) teniendo como resultado distintas capas (representados en tonalidades amarillas). La información estratigráfica para representar estos depósitos fue tomada y extrapolada de sondeos de cono eléctrico realizado frente la Catedral ubicada en el Centro Histórico de la Ciudad de México (Santoyo Villa, et. al., 2005).



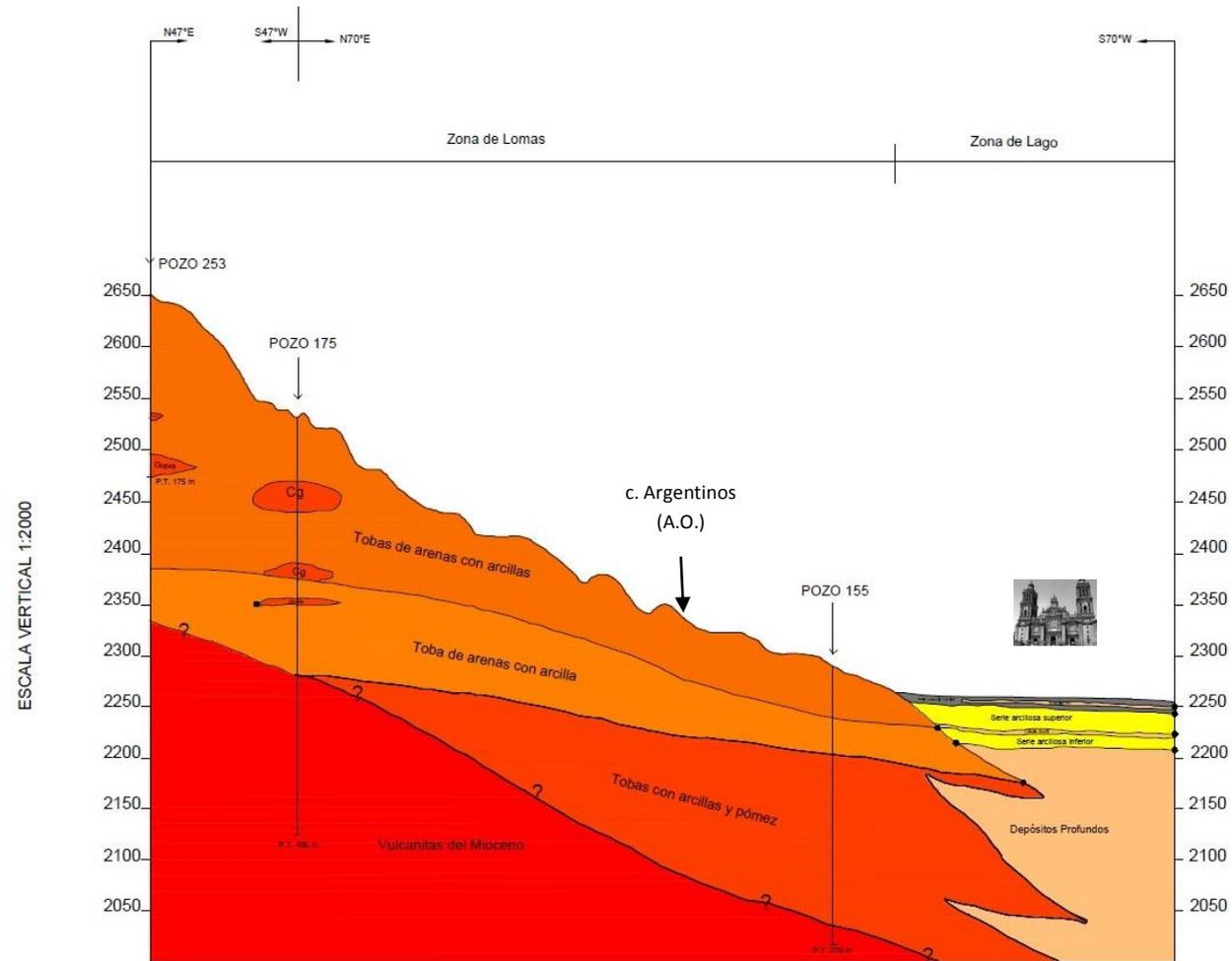


Figura 4.11. Primera Sección Geológica “Paseo de las Lomas-Hospital General de la Ciudad de México”, escala vertical 1:2, 000 y escala horizontal 1:28, 500.





La segunda sección geológica se hizo en base a las columnas estratigráficas descritas por la Secretaría de Obras y Servicios en el 2002 del Pozo Barranca del Muerto (No. 29) y del Pozo Mayorazgo (No.87).

La sección inicia a la altura de Camino Viejo a Mixcoac con dirección N65°E pasando por el Pozo No. 29 ubicado en la Presa de Tarango en la delegación Álvaro Obregón (Figura 4.12) y el Pozo No. 87 ubicado en la colonia Del Valle en la delegación Benito Juárez (Figura 4.13) hasta la calle Aragón cerca del metro Xola de la línea 2 del metro de la Ciudad de México.



Figura 4.12. Croquis de localización del Pozo Barranca del muerto (Imagen Tomada de Google Earth).

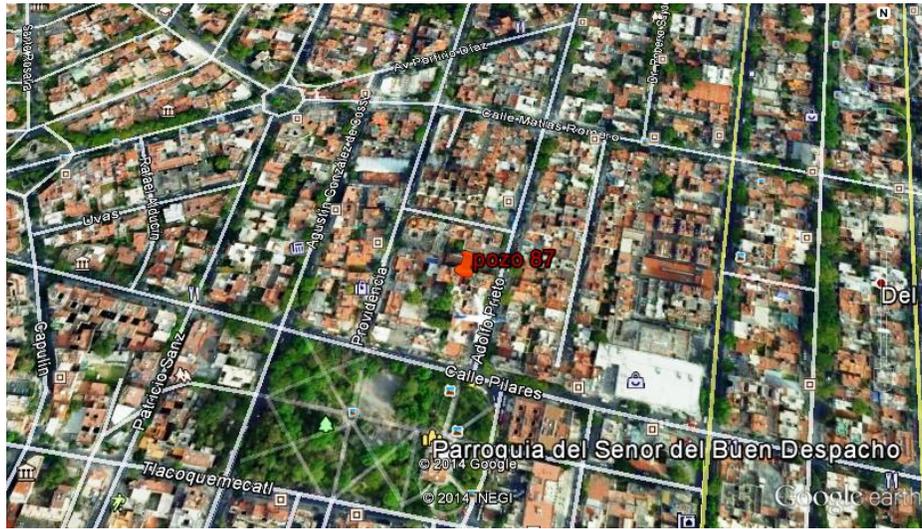


Figura 4.13. Croquis de localización del Pozo Mayorazgo (Imagen tomada de Google Earth).

En la segunda sección geológica (Figura 4.14) se presentan depósitos de distinto origen y tiempo; la Formación Tarango, las Vulcanitas del Mioceno y los Depósitos Recientes Lacustres.

Las Vulcanitas del Mioceno están presentes en el Pozo No. 29 y su espesor se estimó en base al conocimiento previo en áreas vecinas de la Formación Tarango en el poniente de la Ciudad de México (representado en color rojo).

La Formación Tarango esta divide por su granulometría dando como resultado tres capas de tobas con distinto tamaño de grano: toba arcillosa, tobas con arenas y gravas y tobas de gravas y arenas, además de depósitos de arenas y de arcillas con arenas (representado en distintas tonalidades color naranja).

Los Depósitos Lacustres están divididos por las propiedades físicas de las arcillas presentes hacia el centro de la Ciudad de México (representado en tonalidades amarillas). La información estratigráfica para representar estos depósitos fue tomada y extrapolada de sondeos de cono eléctrico realizado frente la Catedral ubicada en el Centro Histórico de la Ciudad de México (Santoyo Villa, et. al., 2005).

Para distinguir los detalles de la topografía del lugar en la construcción de la sección, se utilizó una escala vertical de 1:2,000 y escala horizontal 1:28, 500.



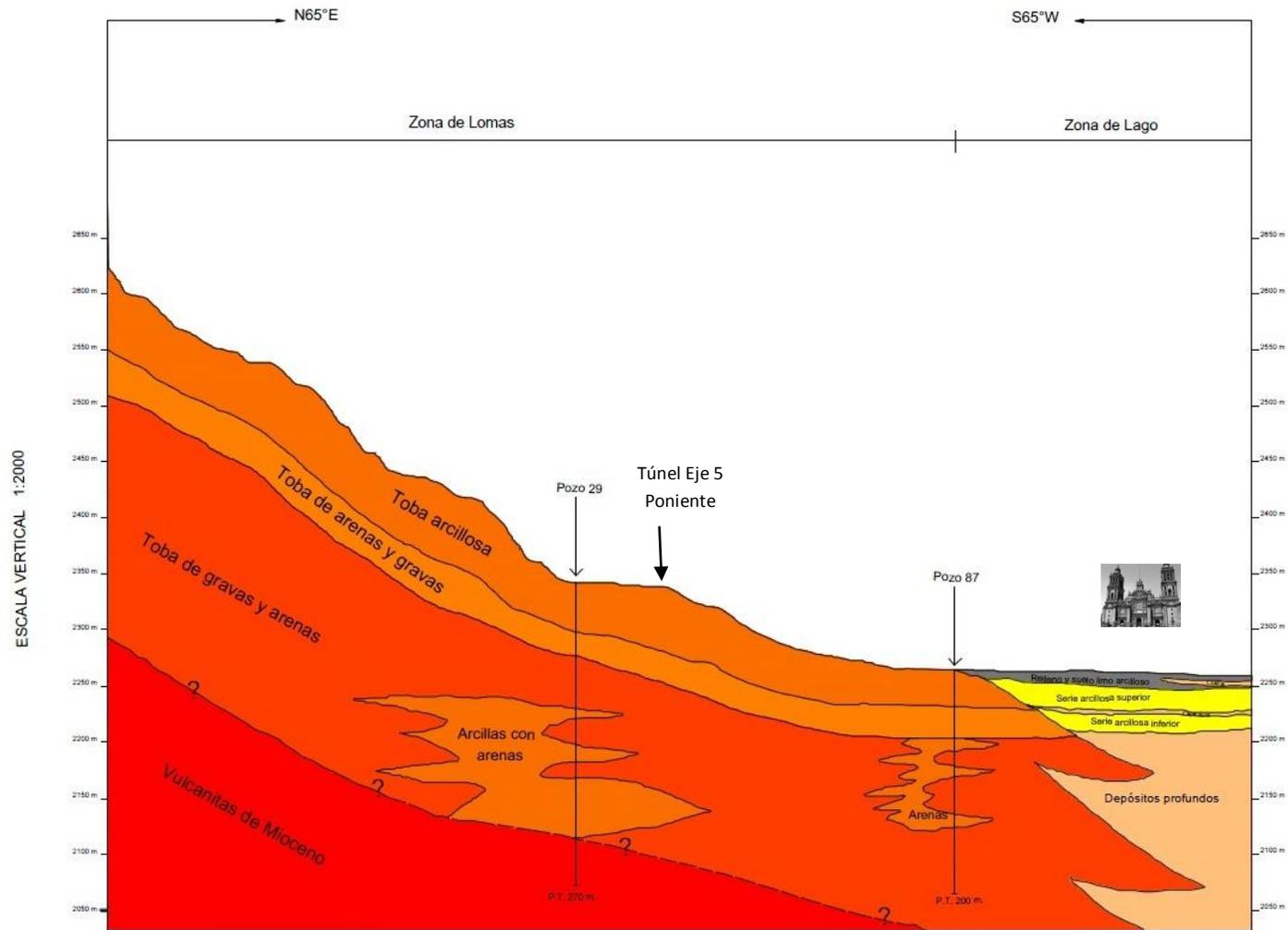


Figura 4.14. Segunda Sección Geológica “Camino Viejo a Mixcoac-Metro Xola”, escala vertical 1:2,000 y escala horizontal 1:28,500.





5. Geología Estructural del Bosque de Chapultepec y la Zona Poniente de la Ciudad de México

5.1. Geología Estructural de la Zona Poniente de la Ciudad de México.

La geología estructural de la zona poniente de la Ciudad de México, está definida superficialmente por un sistema de barrancas y un fracturamiento característico del área de estudio. La cual se encuentra comprendida por el estudio de los diferentes aparatos volcánicos que lo rodean: La sierra de Guadalupe, La Sierra de Las Cruces y la Sierra Chichinautzin; sus características se describen a continuación (Remigio Morales, 2013).

1. Sierra de Guadalupe. Sierra constituida por un núcleo basáltico de la fosa Cuauhtepac que se formó durante el emplazamiento de los domos Tenayuca y Chiquihuite, termina su hundimiento antes de la formación del complejo dómico pico del Águila. Existe evidencia de que la fosa Cuauhtepac se extiende por debajo de la planicie aluvión-lacustre hasta los cerros de Contreras al norte y del Ajusco hacia el oeste. La Sierra de Guadalupe durante el Pleistoceno Temprano, se vio afectada por un fracturamiento orientado al E y fallas escalonadas ubicadas en el Pico del Águila (Remigio Morales, 2013).
 - A. *Caldera de Atizapán de Zaragoza.* Es un antiguo volcán colapsado por la margen oeste de la fosa de Mixhuca que se extiende al S-SE por debajo de la Ciudad de México.
 - B. *Sierra de Barrientos.* Pequeña sierra al oriente dirigida el E-NE del Mioceno Superior que se extiende por debajo de la Sierra de Guadalupe, aflora al suroriente constituyendo el cerro del Tepeyac y otras pequeñas elevaciones al Norte.
2. Sierra de las Cruces. Sierra que se extiende en dirección N-NW desde la Sierra de Zempoala en el Sur hasta la Sierra de la Bufa en el Norte. Los elementos presentes a lo largo de los extremos de norte a sur de la sierra son: la Sierra de Chimalpa, la Sierra Salazar, el Cerro San Miguel y la Sierra Tlalli.





Geológicamente representa una alineación de elevados escudos-volcanes flanqueados al Poniente y Oriente por abanicos volcánicos compuestos por materiales piroclásticos y sus derivados, suelos y depósitos fluviales; cada aparato produjo sus propias erupciones conformando la Formación Tarango.

El origen de la Sierra de las Cruces está afectado por importantes fallas dirigidas al E-NE, lo cual se manifiesta en alineaciones de cono cineríticos. Su estructura se asemeja a la sierra de Chichinautzin y a la Nevada, lo cual coloca a las tres grandes sierras de la Cuenca en una tectónica contemporánea (Plioceno Superior, Pleistoceno y Reciente).

García Palomo, et. al. (2008) esquematizan las principales fracturas que están presentes a lo largo de la Sierra de las Cruces, para este caso en particular se muestra el bloque centro, el cual corresponde a la zona de estudio para este capítulo. (Figura 5.1).

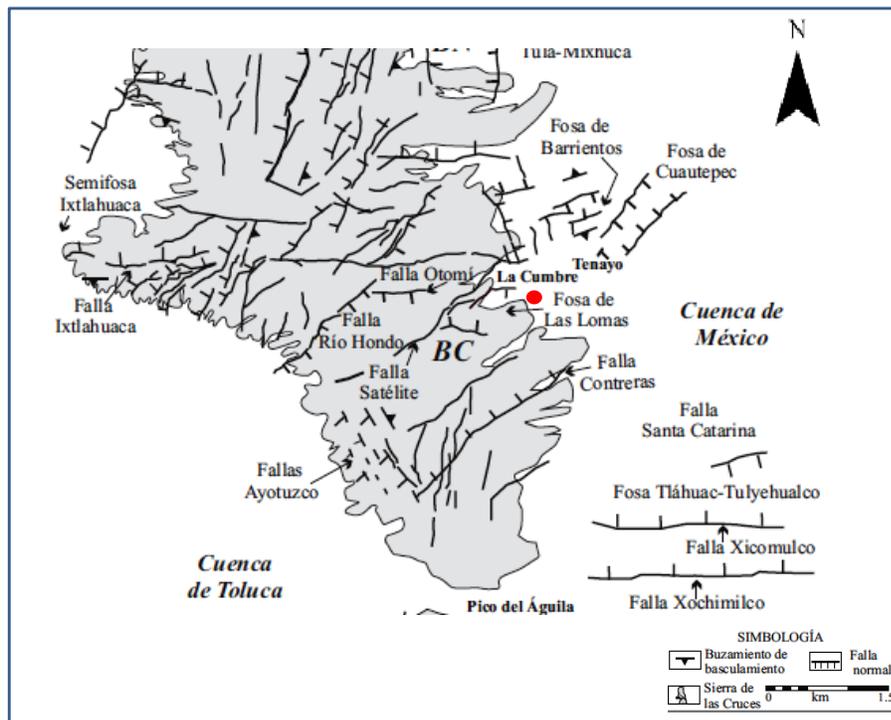


Fig. 5.1. Fracturamiento que afecta a la Sierra de las Cruces en la zona Poniente de la Ciudad de México (García Palomo, et al, 2008).



1. Cerro de San Miguel (Remigio Morales, 2013).

- **Morfología.** El cerro de San Miguel forma parte de los ocho principales estratovolcanes traslapados que conforman la Sierra de Las Cruces. Representa una morfología muy variada, cortada repentinamente en su núcleo por un profundo cañón con paredes verticales (llamada Barranca de Magdalena Contreras). El cerro de San Miguel tiene la forma de un volcán-escudo extenso coronado por pequeños domos que sugieren una caldera circular (Figura 5.2).

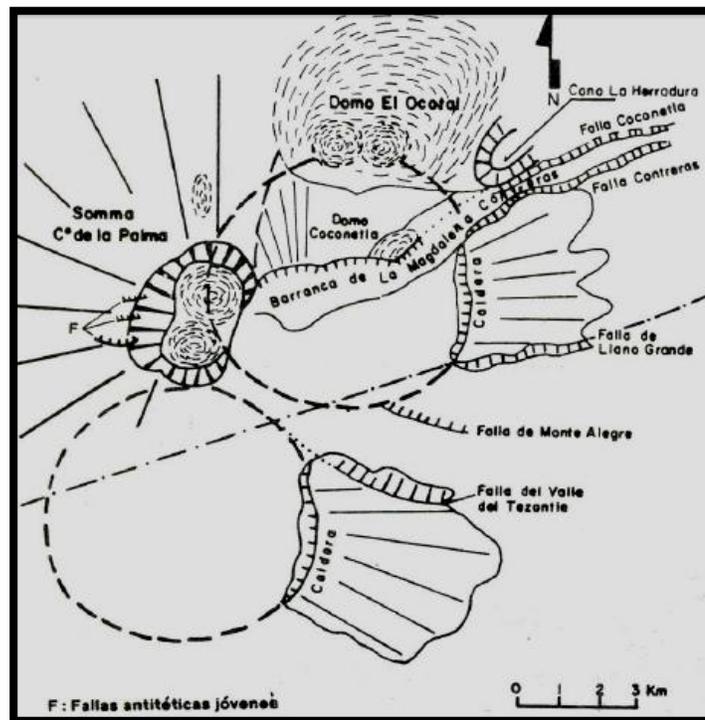


Figura 5.2. Elementos de la estructura del escudo-volcán San Miguel (Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C., 1992).

- **Volcán-Escudo de Contreras.** A este aparato antiguo pertenecen la pared meridional de la barranca Contreras y su extensión al sur, así como otro elemento elevado situado al surponiente del ajusco. Los dos elementos parecen indicar los restos de un gran volcán-escudo con doble caldera, existe la posibilidad de que la mitad sepultada al poniente de este aparato haya sido controlada tectónicamente por un fracturamiento con dirección al NE.



- *Volcán- Escudo San Miguel.* El antiguo complejo de Contreras fue erosionado y después de un considerable lapso de tiempo, fue sometido a nuevos esfuerzos tectónicos. Fue afectado por fallas gravitatorias y fracturas con dirección al E-NE; así fue cortada por la falla contreras que va al N; posteriormente lo afectaron las fallas de Coconetla y Llano Grande hacia el S. De manera simultánea se comenzó a desarrollar el volcán-escudo del Cerro de San Miguel que se formó en la intersección tectónica de la prolongación de la fosa Salazar al SE con las fallas de la Barranca Contreras.

El último evento registrado en el volcán-escudo San Miguel lo constituye la *somma* (La *somma* corresponde a una caldera volcánica que ha sido parcialmente ocupada por un nuevo cono central) del cerro de la Palma, su margen se encuentra desgarrada por explosiones cataclísmicas y tiene un doble domo que cubre su chimenea. Existen numerosos domos que coronan los flancos del Cerro de San Miguel, y más domos y lavas que se ubican en la Barranca de Contreras. Entre ellos se destaca el domo de Coconetla que se encuentra afectado por dos fallas, una al NE y la segunda al E-NE; otro domo que destaca es el Ocotál, el más grande de la sierra, se ubica del lado N de la barranca de Contreras que derramó sus lavas hasta la carretera a Toluca.

- *Cerro del Ajusco.* Una vez concluida su última fase explosiva del Cerro de San Miguel, se formaron pequeños cuerpos eruptivos generalmente basálticos; entre los cuales, destaca el importante estratovolcán del Ajusco, su origen se debe a una falla antitética que cae al N en la margen sur del Valle de Tezontle que es paralela a otra similar en el Valle de Monte Alegre. Del lado Este, el cerro del Ajusco contiene dos domos característicos de mediano tamaño a lo largo de la falla que lo controla.
 - *Barranca Magdalena Contreras.* Barranca que se encuentra entre dos fallas, la de Contreras hacia el sur y la de Coconetla hacia el norte. La falla de Contreras es inactiva con un salto de 60 metros, mientras que la falla de Coconetla se considera con actividad subreciente. Ambas caen con 85° con una separación de 500 metros que se intersecan a profundidad de entre los 3 y 7 kilómetros (Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C., 1992).
2. Sierra de Chichinautzin. Sierra que se origina de periodos de vulcanismo durante el cuaternario superior. Es la estructura tectovolcánica más reciente y extensa de la Cuenca de México. Comprende de más de un centenar de





5.2. Análisis de la Geología Estructural del Bosque de Chapultepec y de la Subcuenca Dolores-Chapultepec.

La Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, desde el punto de vista geomorfológico, limita una subcuenca hidrológica denominada Dolores-Chapultepec. Cuenta con una extensión de 2.146 Km² y se encuentra encajonada por dos subcuencas de mayor extensión: hacia el poniente por la cuenca del río de Tacubaya y hacia el norte por la cuenca del río Tecamachalco (Figura 5.4). (Facultad de Ingeniería, 2013).

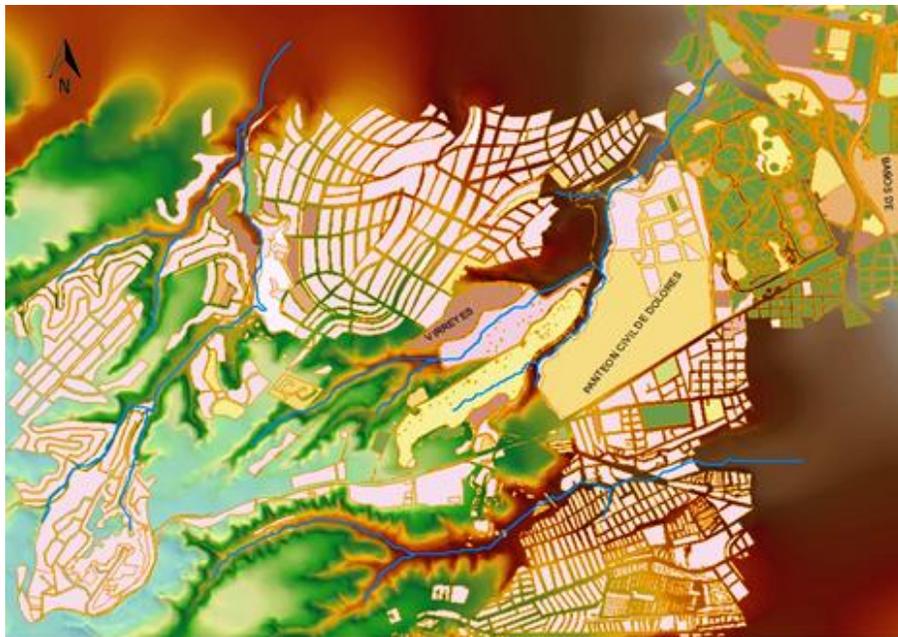


Figura 5.4. Localización de la subcuenca Dolores-Chapultepec (Facultad de Ingeniería, 2013).

En distintos trabajos realizados, con el objetivo de describir la estructura y la morfología de la Sierra de las Cruces; García Palomo (et al., 2008), para su estudio la divide en tres bloques (norte, centro y sur). Para la zona de estudio de este trabajo de tesis el interés primordial es el bloque centro que presenta un hundimiento considerable en comparación con los otros dos bloques, está integrada en parte por el cerro San Miguel, además de contar con una densa red fluvial cuyas corrientes son controladas por las fallas y fracturas presentes.

El análisis general que realizó García Palomo (et. al., 2008) de los morfolineamientos de la sierra de las Cruces, se identificaron 972





morfolineamientos y se concluyeron 3 orientaciones primordiales (N-S, NE-SW y S-W) presentes en el bloque centro y el bloque norte.

La siguiente figura se muestra los diagramas de rosas obtenidas del análisis estructural realizado en la Sierra de las Cruces, además en color rojo se resalta la zona de estudio (Figura 5.5). (García Palomo, et al, 2008).

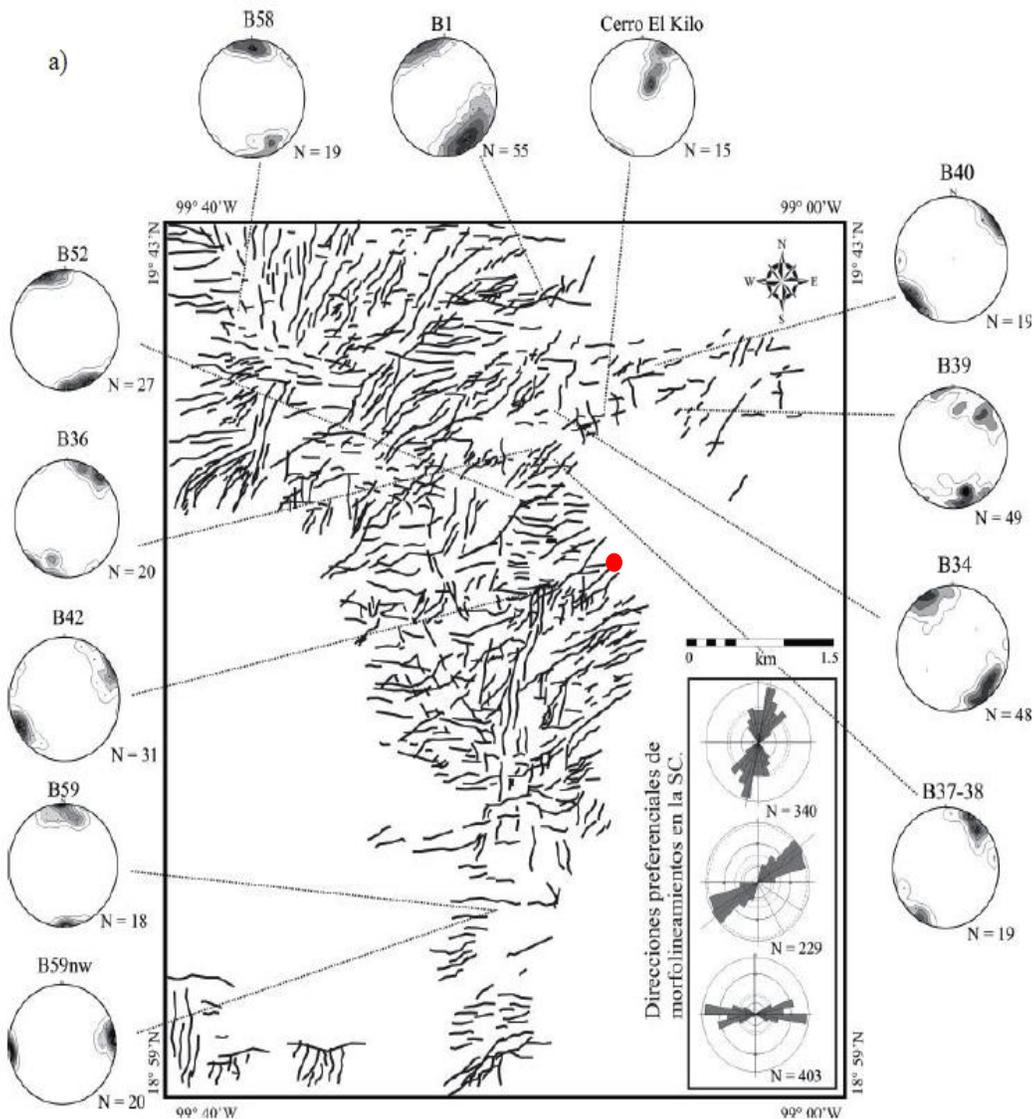


Figura 5.5. Mapa de los principales morfolineamientos de la Sierra de las Cruces (tomado de García-Palomo, et al, 2008).



En el estudio de la Sierra de las Cruces García Palomo (et. al., 2008) concluyen que las fracturas tienen el mismo origen tectónico del Pleistoceno, el basamento está formado por pilares, fosas tectónicas y bloque basculados; además menciona el autor que ésta misma procedencia se puede extrapolar a la Cuenca del Valle de México principalmente a la zona poniente.

En base a lo anterior, se busca hacer la correlación del sistema de fracturamiento para la zona poniente de la Ciudad de México.

El proceso de construcción de las cartas de lineamientos del Bosque de Chapultepec y de la zona poniente de la Ciudad de México, se realizaron a dos escalas; la primera a una escala 1:50 000 y la segunda a una escala 1:10 000. Se describen a continuación.

- **Análisis del fracturamiento escala 1:50 000**

Para la construcción de la carta de lineamientos se utilizó la carta topográfica editada por el INEGI con clave E14A39 Ciudad de México, a escala 1:50 000 abarcando un área total de 401.72 kilómetros cuadrados. Para las zonas no visibles debido a la mancha urbana, se hizo uso del modelo digital de elevación del Distrito Federal y de la zona al poniente del mismo, realizado para el presente trabajo de tesis.

Se generó una tabla de datos (Anexo Tabla I) que contiene un total de 233 datos estructurales, analizados y medidos de las cartas urbanas y de la verificación en campo que, posteriormente, fueron utilizados para crear los diagramas de rosetas de fracturamiento. Además, se cuenta con datos como longitudes de las fracturas; el resultado fue la carta de lineamientos escala 1:50 000 que se presenta a continuación (Figura 5.6).



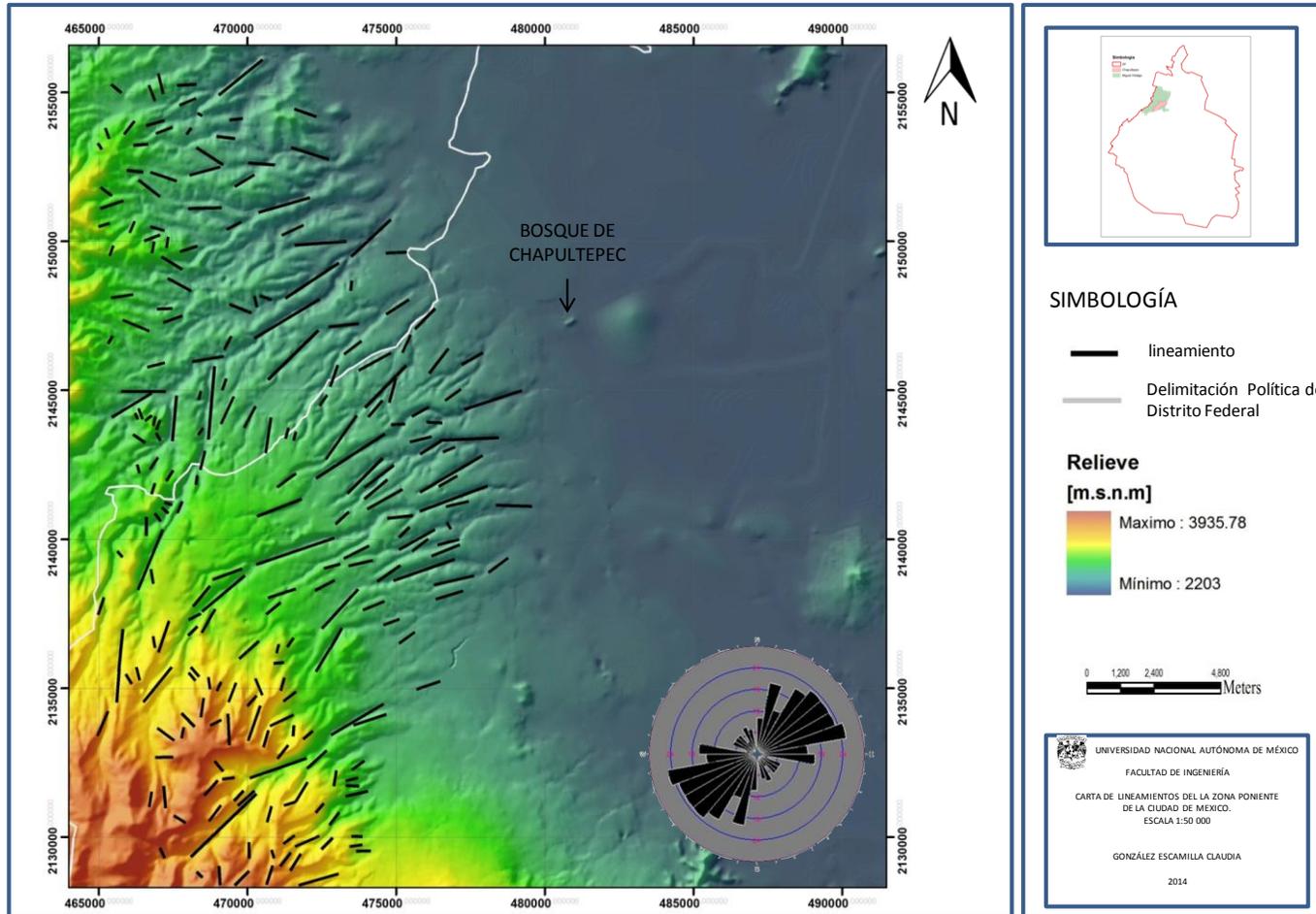


Figura 5.6. Mapa de fracturas de la zona Poniente de la Ciudad de México, escala 1:50000.



En el análisis del fracturamiento escala 1:50000 se identificaron y midieron cuatro familias de fracturamiento con origen tectónico. La primer familia de fracturamiento tiene dirección principal con tendencia hacia el NE45°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE45°NW.

La segunda familia de fracturamiento tiene dirección principal con tendencia hacia el NE55°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE35°NW.

La tercer familia de fracturamiento tiene dirección principal con tendencia hacia el NE65°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE25°NW.

La cuarta familia de fracturamiento tiene dirección principal con tendencia hacia el NE75°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE15°NW.

- **Análisis del fracturamiento escala 1:10 000**

Para el presente análisis se utilizaron 4 cartas urbanas a escala 1:10 000 que fueron realizadas por la Tesorería del Distrito Federal en 1985; que corresponden a los siguientes nombres y claves: Bosques de las Lomas, carta E14A39-22; Bosque de Chapultepec, carta E14A39-23; Santa Fé, carta E14A39-32; y Mixcoac, carta E14A39-33. En las cuales se trazaron los lineamientos que aun dejaba ver la mancha urbana, con ello, se tomaron datos de las orientaciones y de las longitudes de cada uno de los lineamientos marcados.

Se generó una tabla que contiene los datos obtenidos para cada una de las cartas sumando así un total de 541 datos. Para las zonas no visibles en las cartas topográficas y poder realizar el detalle estructural, se realizó la verificación en campo; se recorrieron las calles buscando los rasgos indicadores de las fracturas que son característicos en la zona poniente de la Ciudad de México.

Durante el recorrido de las calles en la zona poniente de la Ciudad de México, se puede observar que varias de las calles están dañadas, las banquetas se encuentran levantadas y rotas.

En las fotografías 5.7, 5.8 y 5.9 se observan las fracturas que se hacen visibles, dañando así, el pavimento de las calles y la infraestructura presente.





Foto 5.7. Fractura ubicada en el retorno de calzada Minas de Arena, en dirección R. del Monte esquina calle 4ª.

Foto 5.8. Fractura que está situada en Sur 122 entre esquina la Fábrica y Avenida del Río.

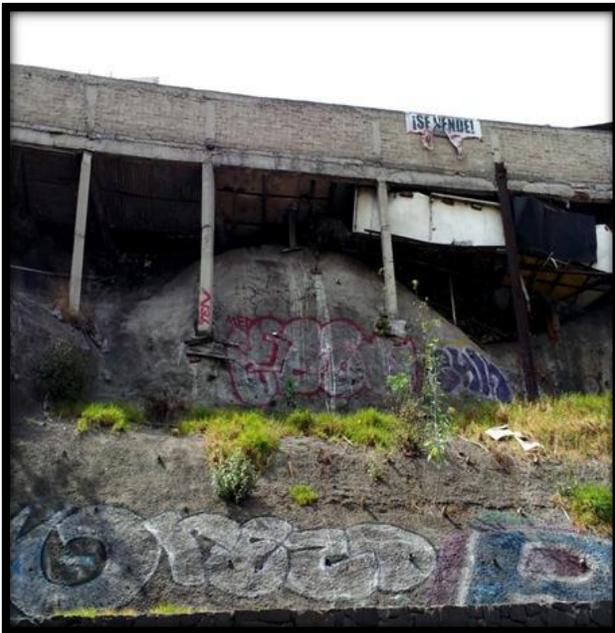


Foto 5.9. Casa situada en esquina Sur 122 y Avenida del Río. La estructura de la casa está muy dañada, se encuentra en el borde de un talud y está sostenido por vigas no cimentadas.





Para cada carta topográfica se obtuvieron los siguientes datos: lineamientos, orientaciones y rosetas:

- ❖ **Carta Bosques de las Lomas.** De esta región se obtuvieron 212 datos estructurales (Anexo Tabla II) y los resultados se muestran en la siguiente carta (Figura 5.10).

En el análisis que corresponde a la carta Bosques de las se identificaron y midieron dos familias de fracturamiento con origen tectónico. La primera familia de fracturamiento tiene dirección principal con tendencia hacia el $NE45^{\circ}SW$ y el esfuerzo tensional en dirección $SE45^{\circ}NW$.

La segunda familia de fracturamiento tiene dirección principal con tendencia hacia el $NE75^{\circ}SW$ y el esfuerzo tensional en dirección $SE15^{\circ}NW$.

El diagrama de roseta muestra una serie de familias de fracturamiento con menor frecuencia. La ausencia de una orientación preferencial en éstas, indica que fueron generadas por subsidencia diferencial en la superficie.

- ❖ **Carta Bosque de Chapultepec.** De esta región se obtuvieron 32 datos estructurales (Anexo Tabla III) y los resultados se muestran en la siguiente carta (Figura 5.11).

El resultado del análisis que corresponde a la carta Bosque de Chapultepec no presenta fracturas de origen tectónico. El diagrama de roseta muestra una serie de familias de fracturamiento con menor frecuencia. La ausencia de una orientación preferencial en éstas, indica que fueron generadas por subsidencia diferencial en la superficie.



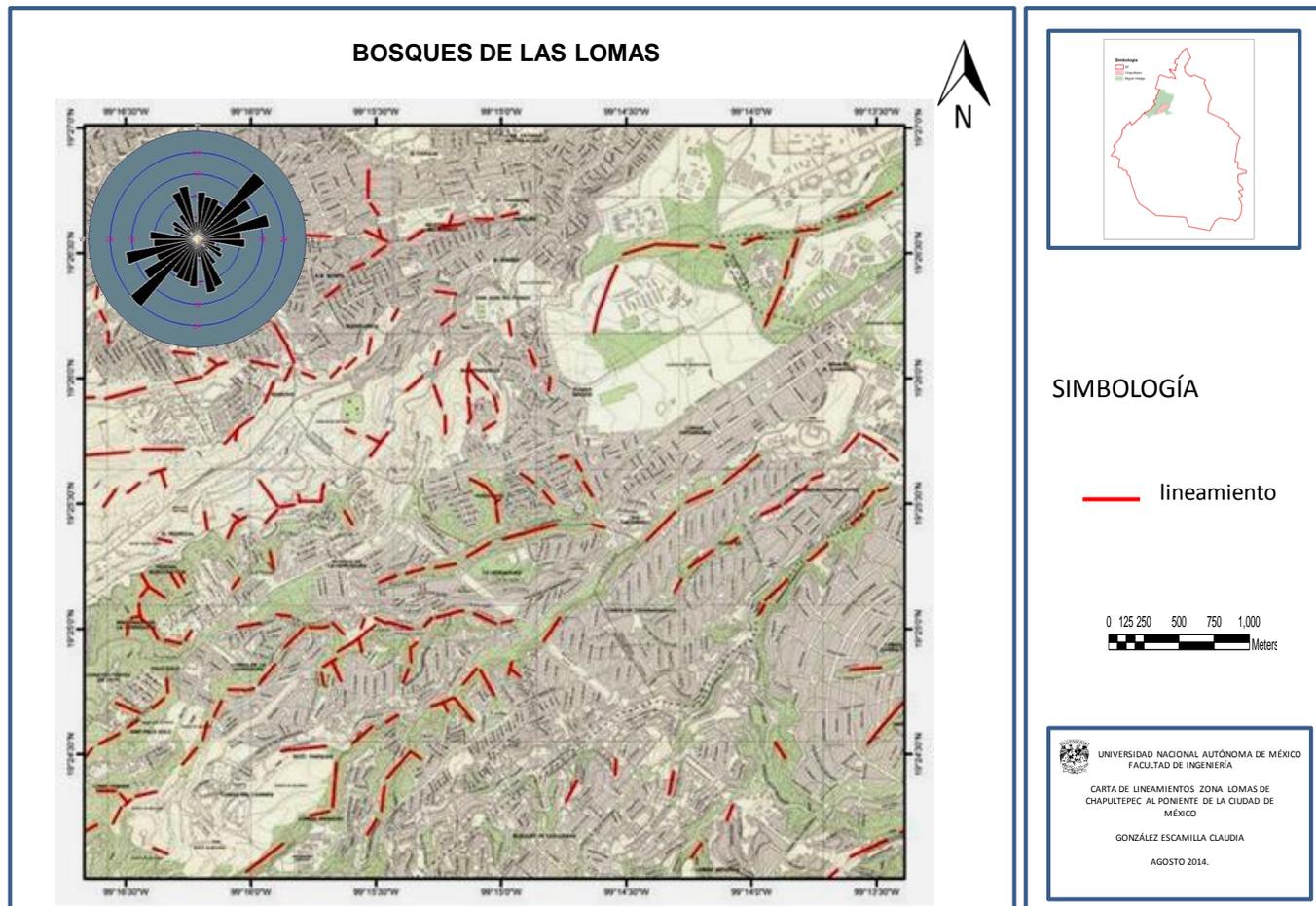


Figura 5.10. Carta de fracturas de la zona Bosques de las Lomas de la Ciudad de México.

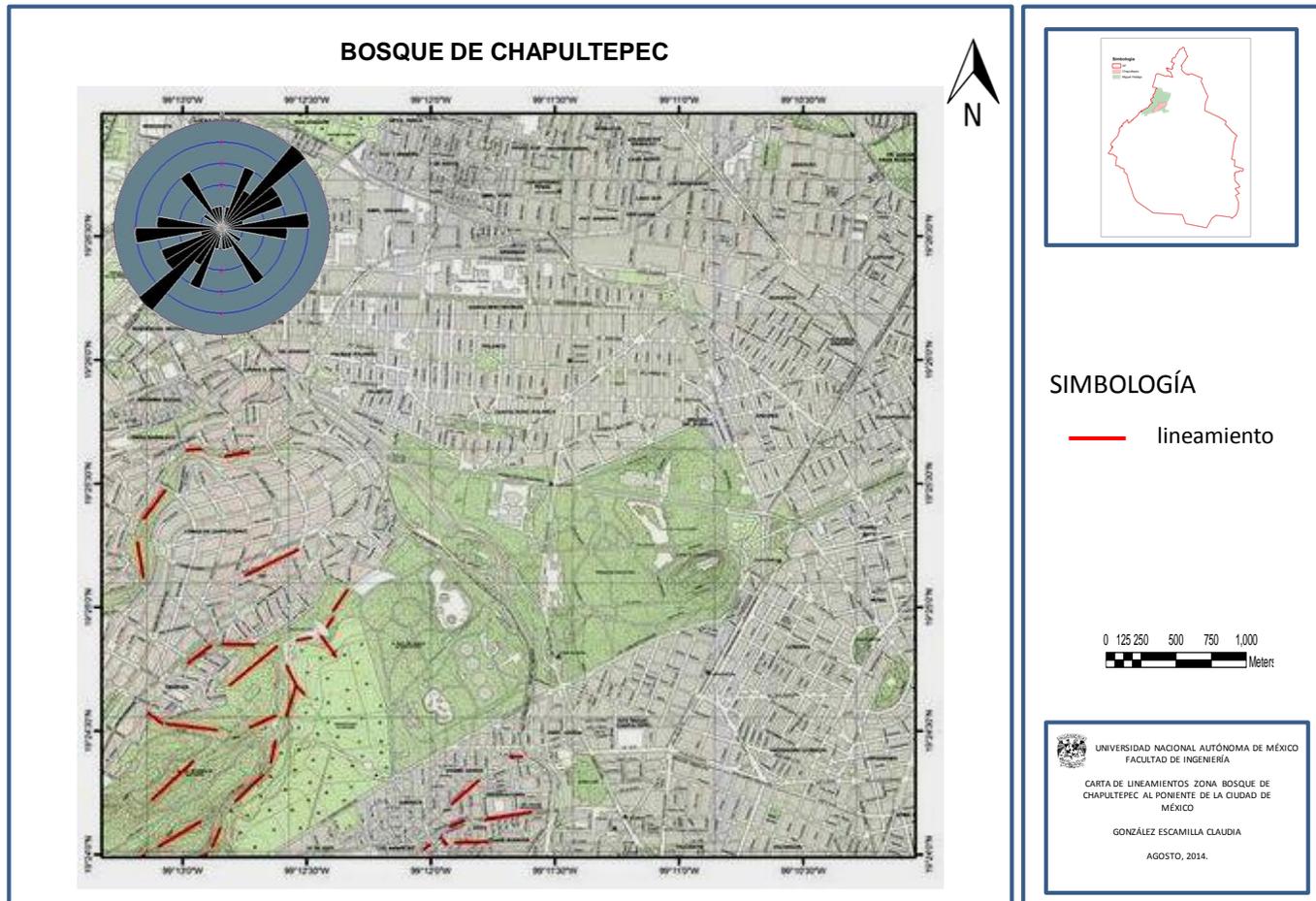


Figura 5.11. Carta de fracturas de la zona del Bosque de Chapultepec de la Ciudad de México.



- ❖ **Carta Santa Fé.** De esta región se obtuvieron 202 datos estructurales y los resultados (Anexo Tabla IV) se muestran en la siguiente carta (Figura 5.12).

El análisis de la zona que corresponde a la carta Santa se identificó y midió una familia de fracturamiento con origen tectónico. La familia de fracturamiento tiene una dirección principal con tendencia hacia el NE55°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE35°NW.

El diagrama de roseta muestra una serie de familias de fracturamiento con menor frecuencia. La ausencia de una orientación preferencial en éstas, indica que fueron generadas por subsidencia diferencial en la superficie.

- ❖ **Carta Mixcoac.** De esta región se obtuvieron 95 datos estructurales (Tabla V) y los resultados se muestran en la siguiente carta (Figura 5.13).

El análisis de la zona que corresponde a la carta se identificaron y midieron dos familias de fracturamiento con origen tectónico. La primer familia de fracturamiento tiene dirección principal con tendencia hacia el NE65°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE25°NW.

La segunda familia de fracturamiento tiene dirección principal con tendencia hacia el SE85°NW y el esfuerzo tensional en dirección NE05°SW.

El diagrama de roseta muestra una serie de familias de fracturamiento con menor frecuencia. La ausencia de una orientación preferencial en éstas, indica que fueron generadas por subsidencia diferencial en la superficie.

Para finalizar se juntaron las cuatro cartas en una sola imagen creando así un área total de la zona de estudio de 26.7168 Km². La región tiene un total de 541 datos estructurales (Figura 5.14).

El análisis del área total de las cuatro cartas escala 1:10000 se identificaron y midieron tres familias de fracturamiento con origen tectónico. La primer familia de fracturamiento tiene dirección principal con tendencia hacia el NE45°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE45°NW.



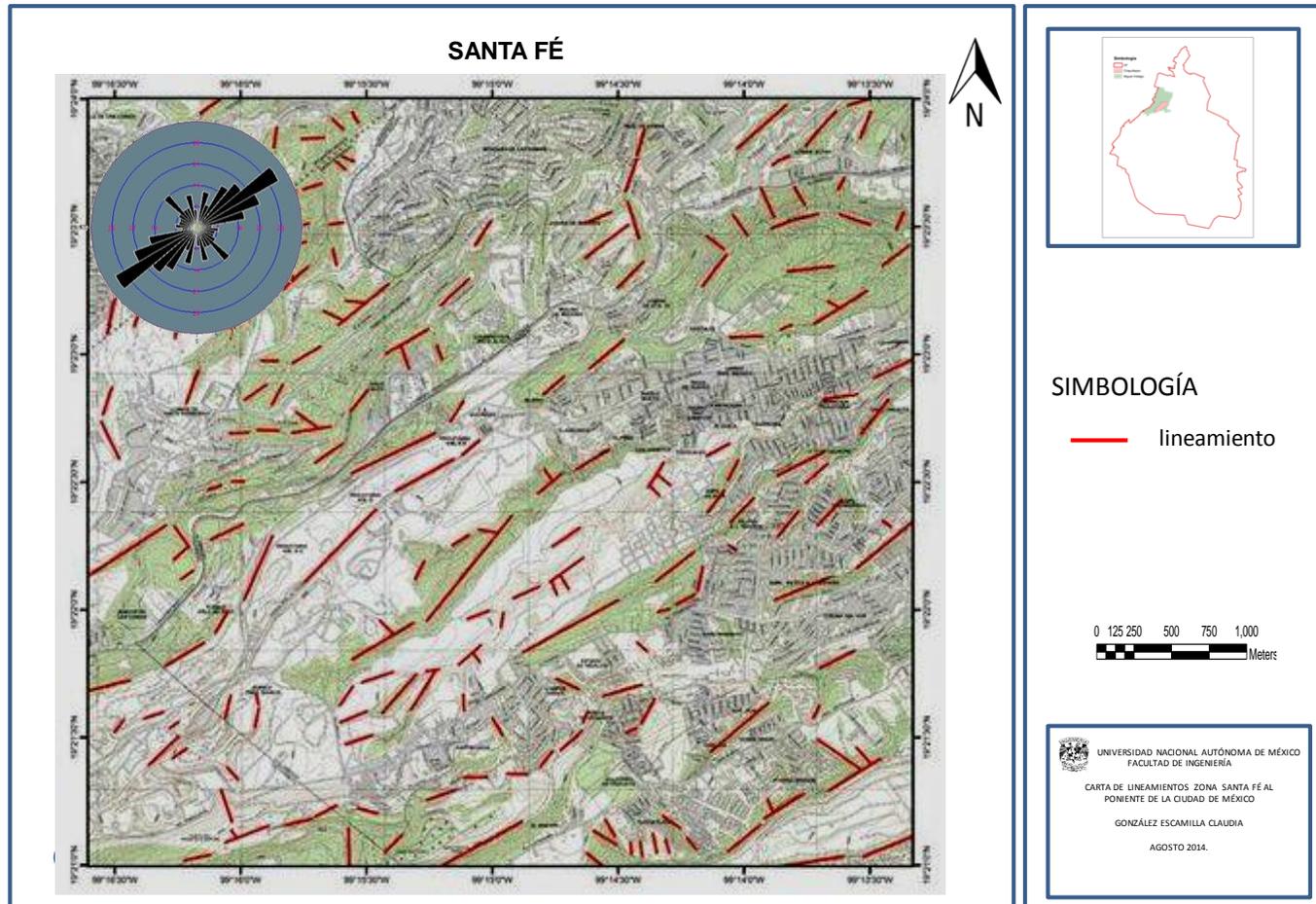


Figura 5.12. Carta de fracturas de la zona de Santa Fé de la Ciudad de México.



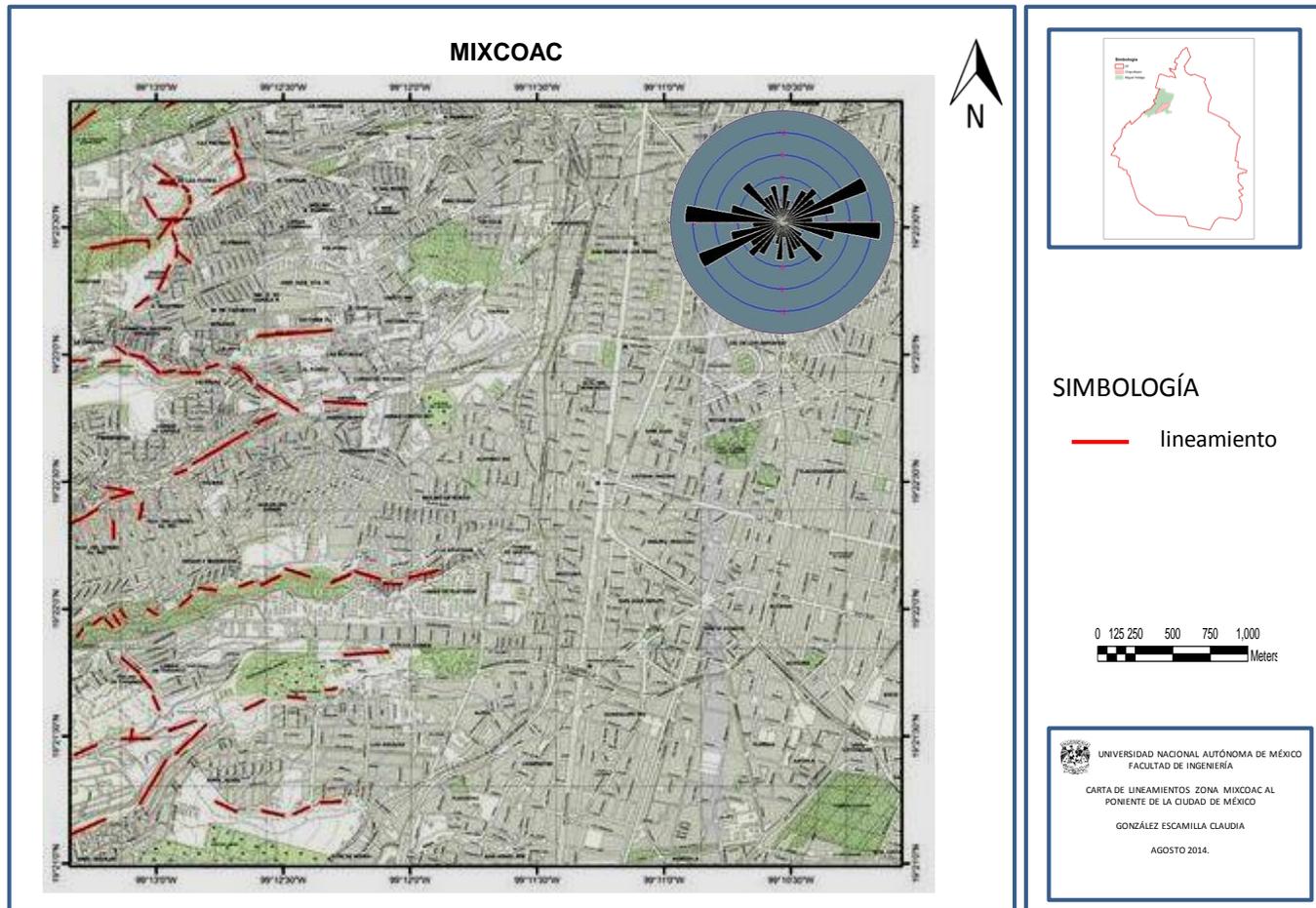


Figura 5.13. Carta de fracturas de la zona de Mixcoac de la Ciudad de México.



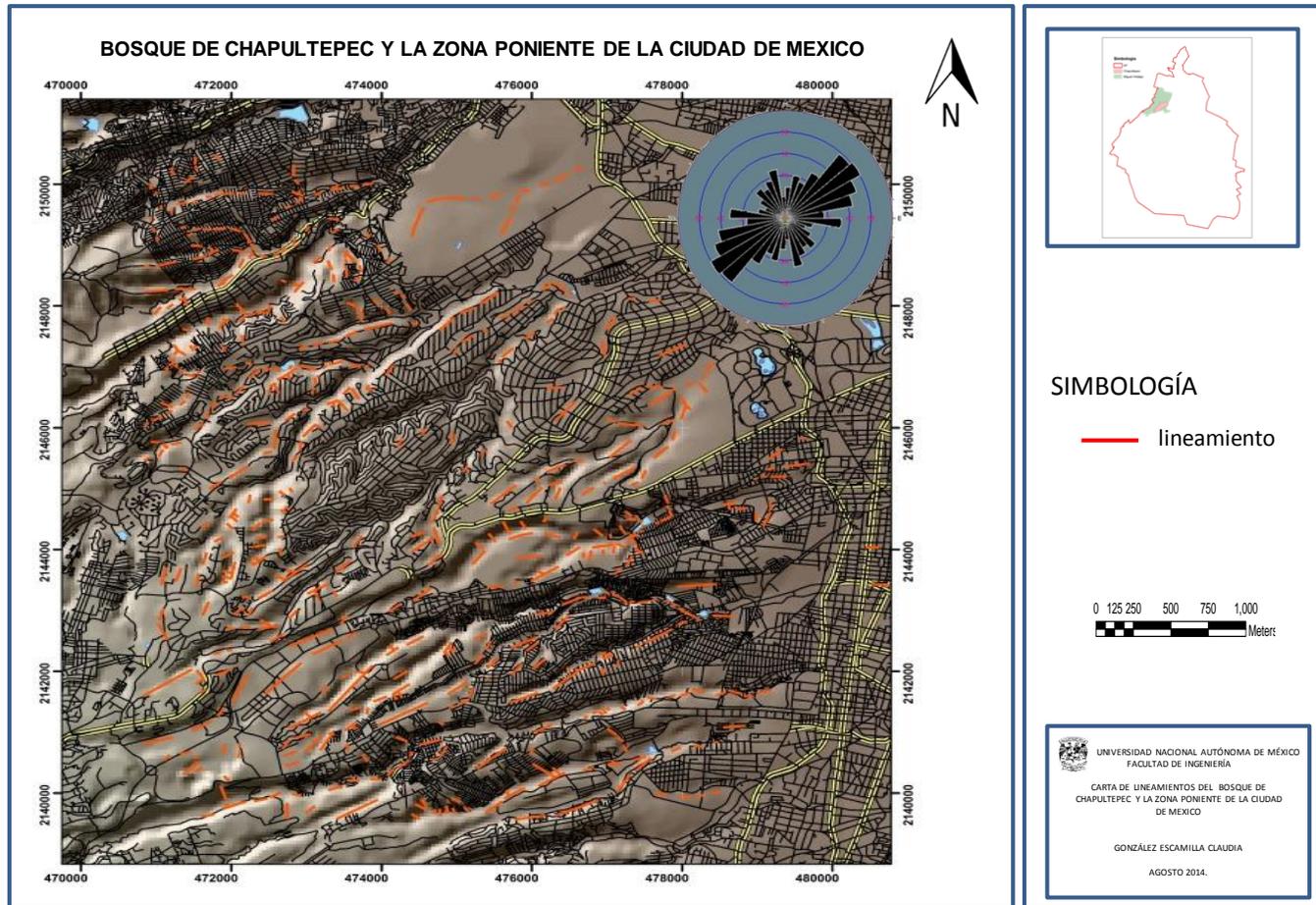


Figura 5.14. Carta de fracturas de la zona Poniente de la Ciudad de México, escala 1:10000



La segunda familia de fracturamiento tiene dirección principal con tendencia hacia el NE55°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE35°NW.

La tercer familia de fracturamiento tiene dirección principal con tendencia hacia el NE65°SW y el esfuerzo tensional en dirección SE25°NW.

El diagrama de roseta muestra una serie de familias de fracturamiento con menor frecuencia. La ausencia de una orientación preferencial en éstas, indica que fueron generadas por subsidencia diferencial en la superficie.

5.3. Levantamiento estructural en la zona de taludes de la 3ra sección del Bosque de Chapultepec.

Conocer la estabilidad de los taludes es de vital importancia para el bienestar de cualquier obra civil así como de las personas que utilizan estas obras. De modo que diseñar o estabilizar un talud, es una de las actividades principales de la ingeniería, para esto es fundamental conocer las propiedades y el comportamiento de las discontinuidades (Velázquez Ángeles, 2013).

El proyecto de fondo mixto CONACYT-GDF incluye varias disciplinas con el objetivo de dar solución a la inestabilidad de los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, una de esas áreas es la Geotecnia que, utilizando varias técnicas y metodologías, se puede determinar el comportamiento del terreno. La principal metodología consistió en realizar un levantamiento de datos que fueron utilizados para determinar la calidad del macizo rocoso mediante el método estandarizado de Bieniawski (1989) conocido como Rock Mass Rating o RMR (Remigio Morales, 2013).

La tercera sección del Bosque de Chapultepec tiene una morfología constituida por barrancas y taludes que están expuestos en las vialidades principales, en los cuales se puede observar el fracturamiento producto de los esfuerzos aplicados sobre la roca.

Los taludes están localizados en la zona poniente del Bosque de Chapultepec, al oeste del panteón Dolores hacia el sur de las Lomas de Chapultepec, al norte de la Avenida Constituyentes y al este de la segunda sección del Bosque de Chapultepec.





En la figura 5.15 se ilustra la localización de la tercera sección del Bosque de Chapultepec con respecto al Bosque.

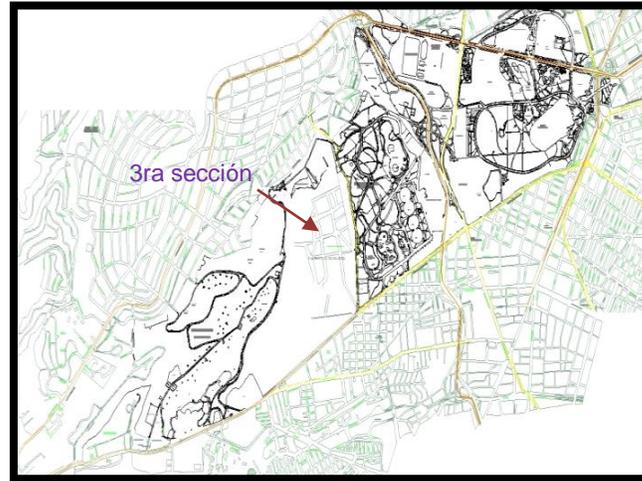


Figura 5.15. Localización de la tercera sección del Bosque de Chapultepec (Facultad de Ingeniería, 2013).

El análisis de los taludes se inició dando el recorrido del lugar con el apoyo de varias herramientas de campo como son: picas, brújulas, lupa, GPS, distanciómetros, libretas de campo, bolsas para muestreo, palas, cinta métrica, plumón y cámara fotográfica (Remigio Morales, 2013).

El estudio de la geología estructural de la tercera sección, se realizó en dos partes o circuitos; el circuito 1 inicia en la incorporación de la calle Zaragoza a la calle Joaquín Clausell circulando hacia el poniente en sentido de las manecillas del reloj hasta llegar al punto inicial.

El circuito 2 inicia en la incorporación hacia José María Velazco desde Joaquín Clausell, circulando hacia el oriente en sentido contrario a las manecillas del reloj hasta de nuevo incorporarse a la calle Zaragoza.

Para la toma de datos se utilizó la brújula y el GPS mediante el sistema coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) utilizando el elipsoide WGS84. Se realizó el estudio de 13 taludes, así pues, el primero comienza a los 300 metros del circuito 1 y termina a los 580 metros; y así sucesivamente se





realizó la toma de datos conforme a su aparición de los taludes y se le asignó un nombre según alguna observación al azar (Velázquez Ángeles, 2013).

La litología expuesta en la tercera sección del Bosque de Chapultepec comprende la formación Tarango que, como ya se ha mencionado anteriormente, está constituida por depósitos volcánicos consolidados. De manera general se reconocen tres unidades litológicas presentes en los taludes estudiados en la zona; la primera es una toba lítica con fragmentos andesíticos con un espesor de 4 metros, la segunda unidad es un estrato pumicítico de 0.5 a 2 metros de espesor y la tercera unidad constituida por una capa de suelo vegetal de hasta 2 metros de espesor y que cubre las unidades anteriores distintas.

Después de una selección de los taludes, se procedió a tomar los datos estructurales en los taludes: Alto, Escuela, Caídos, Hípico, Cañada, Bahía y en los alrededores del parque Atlantis (Estos taludes se muestran en la figura 5.16.).

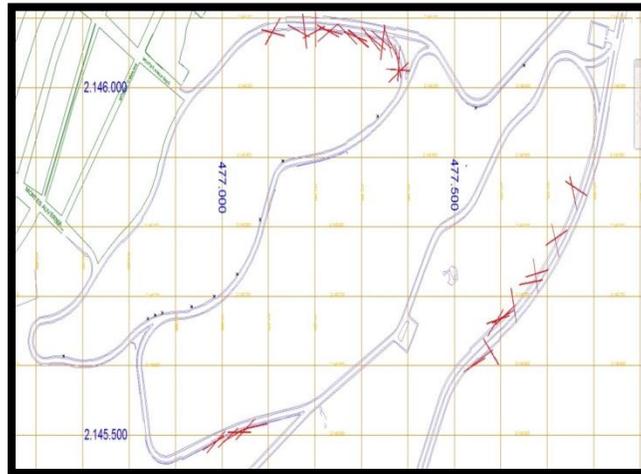


Figura 5.16. Taludes tercera sección y su fracturamiento (Velázquez Ángeles, 2013).

Para el talud denominado “Alto” se tomaron un total de 83 datos estructurales, de los cuales 67 son estructurales, el resto corresponde a datos de estratificación. La orientación preferencial de este talud es de S40°E con una inclinación entre los 60° y 70°, cabe mencionar que los resultados obtenidos no son representativos del talud debido a que son escasos.

En el talud “Escuela” se tomaron un total de 102 datos de los cuales 82 son estructurales, los datos fueron tomados en su mayoría de la zona con mayor





inestabilidad donde se presentan varios bloques caídos. La familia preferencial tiene una dirección de N10°E con una inclinación de 70°.

Talud “Caídos”. En este talud solo se tomaron 18 datos, sin embargo, desde el punto de vista estructural, es uno de los taludes más importante a causa que es uno de los más inestables pues en la temporada pasada de lluvias algunos bloque fallaron. Las fracturas presentan una dirección preferencial de N20°W.

Los taludes Hípico, Cañada, Cañada 2 y Bahía son taludes de poca extensión de entre 20 y 50 metros. Se tomaron un total de 40 datos estructurales teniendo así una dirección preferencial de S10°W, variando su inclinación de los 50° a los 70°.

Hacia el poniente de la tercera sección del Bosque de Chapultepec, se tomaron 33 datos estructurales debido a que las fracturas son escasas en los taludes expuestos. Estos se ubican en el tramo que comprende la Avenida Constituyentes, el Rancho del Charro y el parque acuático Atlantis. Las orientaciones preferenciales son al SE.

Para cada talud, de los datos estructurales obtenidos (rumbo/inclinación), se realizó su roseta correspondiente mediante las cuales se puede determinar las familias de fracturas predominantes así como su dirección preferencial.

En la figura 5.17 se muestra la ubicación de los taludes así como sus rosetas correspondientes.

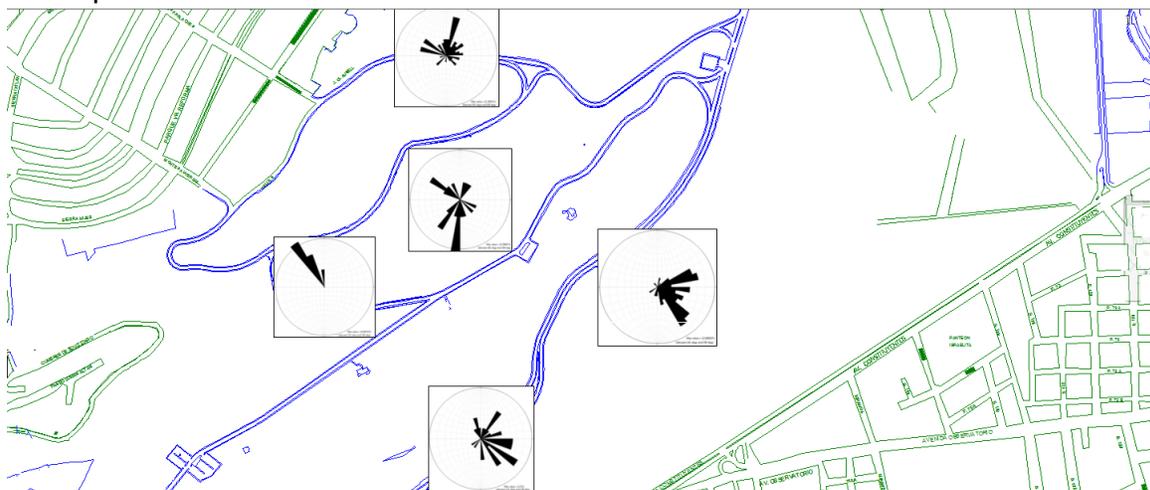


Figura 5.17. Resultados de las fracturas medidas en los taludes de la tercera sección del Bosque de Chapultepec (Velázquez Ángeles, 2013).





Además, de los taludes se evaluaron las siguientes características:

- I. Resistencia de la matriz rocosa. Se define como la resistencia de la roca intacta, es decir, es la resistencia de un bloque de roca inalterado y sin discontinuidades; se determina con pruebas de laboratorio conocida como resistencia a la compresión simple.
- II. Propiedades de las discontinuidades. Otras propiedades que deben medirse durante el análisis del fracturamiento son: 1) Longitud. Es la extensión promedio lineal de cada fractura, 2) Abertura. Es la separación de la fractura medida de manera perpendicular al plano de discontinuidad, 3) Grado de rugosidad. Estimada visualmente, es el desgaste de la superficie de la fractura, 4) Relleno. Si la fractura se encuentra o no con algún tipo de material y éste debe especificarse de qué tipo y proporción, y 5) Grado de alteración. Se estima de manera comparativa.
- III. Presencia de agua. Es uno de los parámetros más importantes, la presencia de agua en la roca se puede determinar si se conoce el caudal, las condiciones de presión de agua, tensión en la roca, se puede describir visualmente o mediante pruebas de laboratorio (Remigio Morales, 2013).

Una vez que se determinaron los parámetros anteriormente descritos, se obtuvo el siguiente censo: en la tabla siguiente se presenta la ubicación en sus coordenadas de cada uno de los taludes caminados además del nombre con que fueron asignados.





Circuito	Numero	Nombre Talud	Coordenadas de Inicio			Coordenadas al final			Lado observado
			Cadenamiento	x	y	Cadenamiento	x	y	
1 Longitud total: 2700 metros. Coordenadas al Inicio: 477,880 2,146,255 Coordenadas al Final: 477,390 2,146,000	1	Hípico	0+300	477,640	2,146,042	0+580	477,540	2,145,992	izquierdo
	2	Cañada	0+700	477,337	2,145,949	0+950	477,133	2,145,888	derecho
	3	Cañada 2	1+000	477,095	2,145,805	1+120	477,035	2,145,729	derecho
	4	Bahía	1+200	476,988	2,145,686	1+220	476,942	2,145,683	derecho
	5	Desviación	1+240	476,873	2,145,672	1+270	476,859	2,145,666	derecho
	6	Drenes	1+350	476,841	2,145,661	1+550	476,658	2,145,611	derecho
	7	Prueba op.	1+610	476,586	2,145,627	1+750	476,666	2,145,685	izquierdo
	8	Prueba	1+630	476,600	2,145,621	1+750	476,678	2,145,677	derecho
	9	Escuela	2+250	476,996	2,146,025	2+650	477,386	2,146,029	derecho
2 Longitud total: 2010 m. Coordenadas al Inicio: 476,870 2,145,670 Coordenadas al Final: Talud 13	10	Caídos	0+250	476,952	2,145,478	0+500	477,162	2,145,529	derecho
	11	Planta	0+850	477,446	2,145,744	0+925	477,491	2,145,800	derecho
	12	Curva	1+100	477,558	2,145,845	1+425	477,772	2,145,800	derecho
	13	Alto	1+600	477,750	2,145,826	2+000	477,470	2,145,565	derecho

Enlistado de los taludes de la tercera sección del Bosque de Chapultepec, censo realizado por Omar Velázquez Ángeles (Facultad de Ingeniería, 2013).





Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones

1. La zona de estudio del presente trabajo de tesis, forma parte de la zona geotécnica de Lomas por pertenecer a la parte baja de la Sierra de las Cruces. La evolución tectónica, volcánica y sedimentaria por la que ha pasado desde el Cretácico hasta el Reciente, la Cuenca de México presenta una compleja y variada litoestratigrafía que, requiere de estudios geológicos en áreas específicas para comprender su comportamiento geológico en el subsuelo.
2. La litoestratigrafía se compone por las Unidades de Roca de los eventos volcánicos de la Formación Tarango, la cual consiste de 300 a 400 metros de materiales piroclásticos constituidos principalmente por tobas, aglomerados volcánicos, gravas volcánicas y pómez, depositadas durante un periodo de intensa actividad volcánica que se desarrolló a finales del Mioceno extendiéndose a mediados del Plioceno y Pleistoceno; y que se encuentran sometidas a diferentes grados de meteorización debido a las condiciones climáticas durante el Cuaternario (Bryan, K., 1948).
3. Los depósitos de la formación Tarango presentan fracturas y fallas en dirección preferencial hacia al NE; esto tiene origen desde el Mioceno Superior en donde la Cuenca de México estuvo sujeta a tectonismo en bloques a lo largo de fracturas dirigidas al NW que posteriormente, durante el Plioceno, fue sustituido por otro que se desarrolló a lo largo de fracturas dirigidas al NE dando origen a un conjunto de fosas y pilares.
4. Las barrancas de la zona Poniente de la Ciudad de México tiene una clara dirección preferencia hacia el NE debido al tectonismo que se presentó a principios del Pleistoceno con dirección NE-SW formando una red de fracturas tensionales. Este fracturamiento aún perdura en nuestros días, la evidencia se encuentra en las calles y casas del Poniente de la Ciudad de México; todas ellas se encuentran deterioradas y en algunos casos en donde el estado de deterioro es mayor, la población se encuentra en riesgo.





5. La recopilación y el análisis de la estratigrafía de la Ciudad de México se realizó con el fin de comprender de una mejor manera la constitución del subsuelo presente cerca de la zona de estudio desde el punto de vista geotécnico. Las secciones geológicas muestran la parte baja de la Sierra de las Cruces constituida por la formación Tarango en donde los depósitos se interdigitan con los depósitos de la zona de Lago (arcillas con distintas propiedades físicas). Por debajo de la formación Tarango se encuentran las vulcanitas del Mioceno que corresponde a una secuencia de rocas extrusivas (tobas, brechas volcánicas y lavas de constitución andesítica y dacítica interestratificada con brechas volcánicas).
6. García Palomo (et. al., 2008), realiza el análisis de fracturamiento de la Sierra de Las Cruces en la que encuentra tres orientaciones principales del fracturamiento (N-S, NE-SW y S-W) y concluye que las fracturas tienen el mismo origen tectónico al menos desde el Pleistoceno, el basamento está formado por pilares, fosas tectónicas y bloques basculados; además esta misma procedencia se puede extrapolar a la zona Poniente de la Cuenca de México (García Palomo, et. al., 2008).
7. El análisis estructural escala 1:50 000 se determinaron cuatro familias de fracturamiento orientados todas ellas al NE-SW (NE45°SW, NE55°SW, NE65°SW y NE75°SW) con origen de tipo tectónico. Según García Palomo las asocia a la zona de cizallamiento Tenochtitlán ubicada entre Petatlán, Guerrero y parte norte de la Cuenca de México; es una estructura reactivada actuando como un sistema de fallas laterales izquierdas durante el Mioceno Tardío en la región de Apan, Estado de Hidalgo y posteriormente, en el Pleistoceno como fallas normales controlando el vulcanismo y deformación desde las inmediaciones de Toluca (García-Palomo, et al, 2008); hay otro sistema de fracturas en menor cantidad dirección E-W que su origen también es de tipo tectónico en el que según García-Palomo (2008) se encuentran asociadas al sistema de fallas llamado Acambay-Morelia. Con este análisis estructural se verifica que lo que describe Palomo sobre el estudio de la Sierra de las Cruces, se puede extrapolar hacia el poniente de la Ciudad de México y que corresponde al mismo origen tectónico.





8. En el análisis estructural a detalle realizado a escala 1:10 000 se midieron tres familias de fracturamiento orientados todas ellas al NE-SW (NE45°SW, NE55°sw y NE65°SW) donde su origen es de tipo tectónico. que se encuentra activo al menos desde el Pleistoceno hasta nuestros días debido a esfuerzos compresivos y tensionales (García-Palomo, et al, 2008); el diagrama de roseta muestra una serie de fracturas con mucha menor frecuencia en dirección E-W que están asociadas al sistema de fallas Acambay-Morelia (García-Palomo, et al, 2008) y fracturas que no presentan una dirección preferencial en su conjunto en el que su origen es de tipo de subsidencia a causa del hundimiento diferenciado del subsuelo. Con el análisis de esta zona, en la parte baja de la Sierra de las Cruces se comprueba lo que García-Palomo (2008) sugiere en su estudio de la Sierra de las Cruces sobre extender el análisis y resultados hacia la zona Poniente de la Ciudad de México.
9. De manera particular, en el Bosque de Chapultepec, el análisis estructural realizado a escala 1:10 000 en los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec (Facultad de Ingeniería, UNAM, 2013), las fracturas no muestran una dirección preferencial en su conjunto lo que indica que tiene un origen de tipo subsidencia debido al hundimiento diferenciado del subsuelo por lo que no se encuentra relacionado con el comportamiento estructural de la Sierra de las Cruces (García-Palomo, 2008). Sin embargo, en los taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, muestran inestabilidad que se presenta con bloques caídos debido a su bajo grado de consolidación y granulometría, su composición mineralógica y sus alteraciones, y por la intervención humana debido a las excavaciones realizados en ellos con el objetivo de obras civiles como edificios, carreteras y antiguamente por extracción de material para construcción (Remigio Morales, 2013).
10. En el análisis estructural de la zona Poniente de la Ciudad de México a escala 1:50 000 y escala 1:10 000 muestra fracturamiento en menor frecuencia en dirección N-S, en este caso debido a que su origen se asocia a la subsidencia del Valle de México. El límite donde se origina este fracturamiento es entre la zona de Lomas y la Zona de Lagos, entre ellas hay una marcada diferencia en la velocidad de hundimiento del subsuelo dando origen al fracturamiento N-S.





11. La influencia de las fallas y fracturas se refleja de manera clara en la topografía actual alcanzando un grado de evolución determinado en las barrancas que se generan. El control estructural en ríos y arroyos es evidente interpretándose que los ríos de mayor longitud, en su mayoría, corresponde a una falla o zona de fractura. (García Palomo, et. al., 2008).
12. El drenaje natural tiene claramente un patrón que obedece la dirección NE siguiendo su flujo intermitente a través de las barrancas presentes en la zona Poniente de la Ciudad de México. La mayor parte de los materiales que constituyen el subsuelo son permeables; los filtros de recarga se inicia en la parte alta de la Sierra de las Cruces que está constituido por rocas andesíticas del Plio-Cuaternario que presenta permeabilidad secundaria mediante el fracturamiento, evidencia de ello es la presencia de manantiales con gastos máximos en épocas de lluvias de 2 a 130 litros por segundo presentando un grado de permeabilidad de 6 (alta permeabilidad) y en su movimiento hacia el acuífero principal, el agua de recarga debe atravesar la Formación Tarango en donde experimenta cambios hidrogeológicos considerables presentando una permeabilidad de 4 (permeable) (Secretaría del Medio Ambiente, 2002).

Recomendaciones

1. Hoy en día se han realizado múltiples estudios sobre la geología del subsuelo de la Ciudad de México, sin embargo, aun falta conocer de manera detallada la estratigrafía de la Ciudad de México por medio de sondeos profundos, información de este tipo faltó para este trabajo de tesis y poder realizar secciones representativas del Bosque de Chapultepec y de la zona circundante hacia el Poniente.
2. La zona Poniente de la Ciudad de México presenta un alto grado de fracturamiento de origen tectónico con dirección NE-SW primordialmente, por lo que se recomienda realizar un estudio detallado de cada una de las colonias que pudieran presentar indicios de fracturas con dimensiones considerables que pudieran aportar información nueva al entendimiento del mismo. El área requiere de constantes estudios que pudiesen ayudar a predecir futuros fracturamientos en la infraestructura de las viviendas.





3. En cuanto al entorno social, las barrancas de la zona Poniente de la Ciudad de México, que están asociadas a los lineamientos con dirección NE-SW, presentan problemas asociados a la presencia de asentamientos irregulares en laderas, taludes y cauces; teniendo como consecuencia viviendas en riesgo y barrancas deterioradas y contaminadas (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial, 2012). Las barrancas juegan un papel importante en la conservación de la vida silvestre y humana, así como en la filtración de agua hacia el manto acuífero de la Cuenca de México; se cuenta con dos plantas de tratamiento, una ubicada en las inmediaciones del río Becerra y la segunda en el Río Tarango, sin embargo, su vida útil ha caducado, lo que significa que ya no tienen la capacidad para regular las avenidas extraordinarias dejando a las comunidades aledañas en riesgo latente.





ANEXOS

Tabla I. Fracturas de la carta de la Ciudad de México

Número	Dirección	Longitud (m)
1	NW47°SE	450
2	NW21°SE	550
3	NW15°SE	700
4	NE85°SW	600
5	NE69°SW	550
6	NW21°SE	350
7	NW37°SE	250
8	NE36°SW	550
9	NE72°SW	600
10	NE83°SW	400
11	NE67°SW	600
12	NE41°SW	300
13	NE83°SW	400
14	SE57°NW	150
15	NE83°SW	450
16	SE81°SW	550
17	SE70°NW	700
18	E-W	750
19	SE82°NW	500
20	SE72°NW	850
21	SE53°NW	750
22	NE59°SW	700
23	E-W	1025
24	SE51°NW	400
25	NE71°SW	750
26	NE72°SW	450
27	NE19°SW	400
28	NE23°SW	400
29	SE73°NW	400
30	NE67°SW	550
31	NE07°SW	350
32	NE10°SW	350
33	SE58°NW	650
34	NE70°SW	550
35	NE60°SW	500
36	NE64°SW	800
37	NE85°SW	650
38	NE84°SW	700
39	SE62°NW	850
40	E-W	450
41	SE69°NW	900
42	NE72°SW	650
43	SE67°NW	750
44	NE30°SW	500
45	SE14°NW	400
46	SE73°NW	450
47	NE05°SW	400
48	NE55°SW	850
49	NE45°SW	950
50	NE53°SW	700
51	NE26°SW	600
52	NE21°SW	700
53	NE75°SW	550
54	NE38°SW	300
55	NW22°SE	250
56	NW24°SE	350
57	NE52°SW	300
58	NE17°SW	350
59	NE17°SW	350
60	SE26°NW	300
61	SE54°NW	450
62	NE22°SW	300





63	NE33°SW	350
64	NE18°SW	400
65	NE25°SW	950
66	NE30°SW	800
67	NE18°SW	400
68	NE12°SW	350
69	NE33°SW	450
70	NE32°SW	1100
71	NE39°SW	550
72	NE35°SW	950
73	NE84°SW	500
74	NE62°SW	750
75	NE53°SW	600
76	E-W	500
77	NE87°SW	700
78	NE68°SW	450
79	NW20°SE	250
80	NE35°SW	500
81	NE20°SW	350
82	NE34°SW	450
83	NE15°SW	600
84	NE15°SW	350
85	N-S	600
86	SE41°NW	300
87	SE44°NW	300
88	SE69°NW	250
89	NE25°SW	400
90	SE34°NW	250
91	NW12°SW	2200
92	NE11°SW	550
93	NE05°SW	1000
94	NW27°SE	350
95	NW18°SE	500
96	NE21°SW	800
97	NW10°SE	400
98	NE37°SW	1400
99	NE19°SW	1050
100	NE39°SW	850

101	NE59°SW	450
102	NE45°SW	450
103	NE28°SW	900
104	NE70°SW	950
105	NE46°SW	550
106	NE51°SW	1100
107	NE48°SW	950
108	NE60°SW	1250
109	NE60°SW	650
110	NE84°SW	800
111	SE36°NW	350
112	SE44°NW	400
113	NW15°SE	400
114	NE28°SW	300
115	NE44°SW	800
116	NE50°SW	600
117	NE70°SW	900
118	NE60°SW	700
119	NE84°SW	550
120	NE61°SW	800
121	NE77°SW	800
122	NE46°SW	450
123	NE56°SW	850
124	NE52°SW	600
125	SE32°NW	250
126	NE75°SW	700
127	E-W	1150
128	NE75°SW	700
129	NE69°SW	950
130	NE52°SW	800
131	NE70°SW	850
132	NE67°SW	700
133	NE68°SW	550
134	NE50°SW	600
135	NE31°SW	800
136	NE05°SW	500
137	SE04°NW	700
138	SE63°NW	450





139	SE23°NW	400
140	E-W	550
141	NW52°SE	600
142	NE14°SW	350
143	NW46°SE	600
144	NE10°SW	600
145	NE63°SW	400
146	N-S	1000
147	NE21°SW	600
148	NW18°SE	550
149	NE40°SW	450
150	NE18°SW	1150
151	NE19°SW	450
152	NE54°SW	500
153	NE45°SW	650
154	NE37°SW	600
155	SE44°NW	400
156	E-W	350
157	NE44°SW	500
158	NE44°SW	700
159	SE47°NW	250
160	E-W	650
161	NE48°SW	650
162	E-W	500
163	NE13°SW	500
164	NW21°SE	250
165	NE20°SW	600
166	NE35°SW	550
167	NE55°SW	450
168	NE70°SW	400
169	NE35°SW	700
170	NE41°SW	350
171	NE64°SW	800
172	NE40°SW	500
173	NE44°SW	550
174	NE73°SW	1250
175	E-W	400
176	NE79°SW	400

177	E-W	300
178	NE75°SW	700
179	E-W	400
180	NE78°SW	400
181	NE52°SW	500
182	NE08°SW	500
183	NE50°SW	850
184	NE35°SW	550
185	NE47°SW	400
186	NE08°SW	400
187	NE17°SW	550
188	NE62°SW	750
189	NE70°SW	1000
190	NE72°SW	750
191	NE32°SW	650
192	NE35°SW	350
193	NE11°SW	300
194	NE84°SW	350
195	NE48°SW	1300
196	SE57°NW	850
197	NE72°SW	1000
198	SE71°NW	1200
199	NE74°SW	1650
200	NE87°SW	1600
201	NE46°SW	1700
202	NE58°SW	1900
203	NE55°SW	2100
204	NE57°SW	1450
205	E-W	1400
206	NE08°SW	1250
207	NE08°SW	2150
208	NE82°SW	950
209	NE45°SW	2050
210	NE86°SW	1000
211	NE10°SW	1100
212	NE25°SW	1950
213	NE50°SW	1700
214	NE50°SW	750





215	NE33°SW	1600
216	NE45°SW	1750
217	NE16°SW	700
218	NE60°SW	2350
219	NE66°SW	1250
220	NE43°SW	1900
221	NE70°SW	2450
222	NE72°SW	1900
223	E-W	2100
224	NE60°SW	650

225	NE60°SW	2150
226	NE67°SW	2150
227	NE40°SW	1600
228	NE58°SW	1300
229	NE70°SW	2000
230	NE76°SW	1200
231	NE58°SW	1800
232	NE69°SW	1850
233	NE48°SW	2700

Tabla II. Fracturas de la carta Bosques de las Lomas.

Número	Dirección	Longitud (m)
1	NW10°SE	110
2	NE08°SW	120
3	NW15°SE	70
4	NW28°SE	120
5	NE03°SW	170
6	NE60°SW	95
7	NW18°SE	90
8	NE07°SW	50
9	NE10°SW	70
10	NW23°SE	80
11	NW05°SE	75
12	NW15°SE	70
13	NE47°SW	160
14	NE09°SW	85
15	NE74°SW	140
16	NE57°SW	80
17	SE85°NW	75
18	NE81°SW	240
19	NE84°SW	70
20	NE58°SW	65
21	NE77°SW	70
22	SE81°NW	70
23	NE87°SW	165

24	SE69°NW	140
25	SE28°NW	160
26	E-W	95
27	SE86°NW	170
28	NE49°SW	100
29	NE62°SW	80
30	NE53°SW	100
31	SE65°NW	150
32	SE11°NW	60
33	SE34°NW	90
34	NE26°SW	80
35	NE55°SW	120
36	NE80°SW	170
37	NE17°SW	80
38	E-W	110
39	NE78°SW	100
40	SE78°NW	135
41	NE49°SW	100
42	SE07°NW	90
43	NE15°SW	470
44	NE72°SW	190
45	SE88°NW	260
46	SE79°NW	100
47	NE65°SW	130
48	NE21°SW	260





49	NE15°SW	110
50	NE17°SW	110
51	NE82°SW	130
52	NE85°SW	110
53	NE55°SW	190
54	NE85°SW	65
55	NE75°SW	260
56	NE74°SW	170
57	SE82°NW	190
58	NE49°SW	90
59	SE45°NW	60
60	NE79°SW	70
61	NE84°SW	290
62	E-W	250
63	SW07°NE	60
64	NE45°SW	250
65	NE24°SW	140
66	SE87°NW	160
67	NE25°SW	110
68	SE25°NW	100
69	SE70°NW	85
70	NE40°SW	90
71	NE46°SW	90
72	NE09°SW	100
73	NE48°SW	130
74	NE02°SW	120
75	SE18°NW	140
76	NE12°SW	75
77	SE12°NW	130
78	SE14°NW	65
79	NE10°SW	110
80	NE55°SW	100
81	NW14°SE	110
82	SE42°NW	190
83	SE19°NW	110
84	NE09°SW	85
85	NE40°SW	140
86	SE58°NW	170

87	SE50°NW	70
88	NE34°SW	150
89	NE50°SW	100
90	NE72°SW	110
91	SE11°NW	110
92	NE37°SW	85
93	NW26°SE	90
94	SE56°NW	130
95	SE75°NW	85
96	NW30°SE	95
97	NW24°SE	65
98	SE11°NW	110
99	NE21°SW	100
100	NE57°SW	80
101	NW52°SE	50
102	NE34°SW	80
103	NW12°SE	140
104	NE44°SW	120
105	SE34°NW	210
106	NE77°SW	80
107	SE05°NW	40
108	SE87°NW	140
109	NE12°SW	120
110	NW34°SE	105
111	NE64°SW	100
112	NE74°SW	125
113	NE77°SW	130
114	NE57°SW	160
115	NE73°SW	350
116	SE11°NW	95
117	SE39°NW	85
118	NE12°SW	120
119	SE62°NE	60
120	SE54°NW	90
121	SE36°NW	100
122	NE84°SW	45
123	SE26°NW	75
124	SE30°NW	120





125	SE71°NW	75
126	NE52°SW	260
127	NE64°SW	190
128	NE50°SW	290
129	NE31°SW	95
130	NE50°SW	180
131	NE54°SW	65
132	NE64°SW	140
133	NE48°SW	195
134	NE66°SW	80
135	NE44°SW	195
136	NE47°SW	160
137	NE47°SW	90
138	NE34°SW	110
139	NE70SW	50
140	NE05°SW	100
141	NE75°SW	60
142	SE60°NW	80
143	SE51°NW	65
144	SE27°NW	90
145	SE25°NW	105
146	NE31°SW	80
147	NE39°SW	80
148	NE60°SW	150
149	NE52°SW	100
150	SE66°NW	180
151	NE47°SW	95
152	SE04°NW	90
153	NE56°SW	90
154	E-W	110
155	NE27°SW	120
156	SE41°NW	65
157	NE46°SW	55
158	NE76°SW	125
159	NE60°SW	140
160	NE13°SW	110
161	NE22°SW	120
162	E-W	110

163	NE38°SW	160
164	NE79°SW	140
165	NE43°SW	185
166	NE77°SW	85
167	E-W	115
168	SE38°NW	97
169	NW13°SE	80
170	SE23°NW	140
171	NE57°SW	90
172	NE51°SW	300
173	SE12°NW	95
174	NE23°SW	65
175	SE75°NW	235
176	NE36°SW	70
177	NE74°SW	170
178	SE62°NE	150
179	NE75°SW	65
180	NE22°SW	85
181	N-S	95
182	NE42°SW	40
183	NE48°SW	170
184	NE62°SW	75
185	NE68°SW	140
186	SE26°NW	65
187	SE37°NW	200
188	NE40°SW	140
189	NW27°SE	190
190	NE10°SW	80
191	SE51°NW	85
192	NE32°SW	190
193	NE84°SW	195
194	NE40°SW	380
195	SE68°NW	100
196	NE42°SW	290
197	NE76°SW	110
198	NE05°SW	290
199	NE28°SW	110
200	NE81°SW	280





201	NE07°SW	160
202	NE40°SW	220
203	SE56°NW	80
204	NE28°SW	150
205	N-S	95
206	NE14°SW	150

207	NE30°SW	110
208	NE20°SW	100
209	SE34°NW	115
210	NE46°SW	70
211	NE62°SW	250
212	NE81°SW	110

Tabla III. Fracturas de la carta Bosque de Chapultepec.

Número	Dirección	Longitud (m)
1	NW10°SE	220
2	NE36°SW	230
3	NE85°SW	85
4	NE76°SW	140
5	NE63°SW	380
6	NE49°SW	190
7	E-W	215
8	NE47°SW	390
9	SE52°NW	110
10	SE81°NW	310
11	NE45°SW	360
12	NE57°SW	320
13	NE20°SW	130
14	NE45°SW	240
15	NE54°SW	130

16	NE10°SW	140
17	NE63°SW	180
18	NE20°SW	210
19	SE37°NW	70
20	SE24°NW	140
21	NE81°SW	90
22	SE35°NW	160
23	NE28°SW	75
24	NE33°SW	170
25	NW11°SE	60
26	E-W	200
27	NE81°SW	290
28	NE63°SW	100
29	NW38°SE	60
30	NE50°SW	50
31	NE47°SW	235
32	NE85°SW	80

Tabla IV. Fracturas de la carta Santa Fé.

Número	Dirección	Longitud (m)
1	NW25°SE	270
2	NE18°SW	190
3	NE19°SW	220
4	NE13°SW	280
5	NE17°SW	210
6	NE07°SW	210

7	NE15°SW	180
8	NW72°SE	60
9	NW80°SE	100
10	NW74°SE	115
11	NE12°SW	250
12	NE58°SW	160
13	NE55°SW	120





14	NE45°SW	110
15	NW42°SE	105
16	NW37°SE	100
17	NW42°SE	90
18	NE53°SW	180
19	NW52°SE	50
20	NW46°SE	80
21	NE48°SW	200
22	NE77°SW	270
23	SE10°NW	100
24	NE80°SW	90
25	NE78°SW	120
26	NE37°SW	130
27	NE68°SW	110
28	NE10°SW	120
29	E-W	175
30	NW50°SE	70
31	NW67°SE	70
32	NW48°SE	85
33	NW31°SE	60
34	NE39°SW	90
35	NW62°SE	60
36	NW48°SE	120
37	NE38°SW	90
38	NE52°SW	710
39	NE55°SW	80
40	NE47°SW	120
41	NW34°SE	150
42	NE64°SW	215
43	NE70°SW	85
44	E-W	70
45	NE53°SW	125
46	NE56°SW	200
47	NE84°SW	110
48	E-W	120
49	SE52°NW	160
50	NE78°SW	240
51	NE54°SW	160

52	NE27°SW	140
53	NE37°SW	170
54	E-W	110
55	NE59°SW	200
56	NW20°SE	135
57	NE60°SW	300
58	NW17°SE	85
59	SE65°NW	145
60	SE83°NW	110
61	NE50°SW	360
62	NE47°SW	240
63	NE32°SW	200
64	NE45°SW	230
65	NE52°SW	345
66	NE66°SW	160
67	NW15°SE	245
68	NE18°SW	425
69	NE47°SW	420
70	NE64°SW	110
71	NE40°SW	290
72	NE72°SW	160
73	NE22°SW	180
74	NE74°SW	380
75	NE58°SW	285
76	NE30°SW	150
77	NE24°SW	460
78	NE42°SW	640
79	NE63°SW	585
80	NE60°SW	410
81	NE50°SW	150
82	NE31°SW	150
83	NE47°SW	180
84	NE50°SW	280
85	NE82°SW	210
86	NE60°SW	65
87	NE55°SW	395
88	SE67°NW	90
89	NE52°SW	210





90	NE84°SW	280
91	NE36°SW	250
92	SE50°NW	130
93	SE34°NW	140
94	SE21°NW	200
95	NE74°SW	300
96	SE30°NW	110
97	NE25°SW	90
98	NW66°SE	195
99	NE34°SW	100
100	NE70°SW	125
101	NE45°SW	260
102	NE55°SW	110
103	NE54°SW	65
104	NE13°SW	150
105	NW41°SE	90
106	NE14°SW	115
107	SE15°NW	70
108	NE58°SW	450
109	SE45°NW	120
110	NE26°SW	120
111	NE60°SW	110
112	SE80°NW	90
113	NE40°SW	860
114	NE50°SW	190
115	SE34°NW	90
116	NE56°SW	230
117	NE73°SW	50
118	NE72°SW	170
119	NE65°SW	180
120	NE31°SW	145
121	NE70°SW	200
122	NE40°SW	320
123	NE30°SW	320
124	NE77°SW	90
125	NW05°SE	100
126	NW33°SE	55
127	NE46°SW	190

128	NE68°SW	140
129	NE06°SW	100
130	NE66°SW	170
131	NW18°SE	130
132	NW29°SE	90
133	NE51°SW	260
134	NE54°SW	200
135	NE12°SW	100
136	SE28°NW	70
137	NW42°SE	70
138	NW51°SE	105
139	NE31°SW	190
140	NE34°SW	170
141	NE23°SW	140
142	NE58°SW	165
143	NE59°SW	670
144	NE50°SW	300
145	NE78°SW	70
146	NE63°SW	130
147	NE12°SW	160
148	NW49°SE	50
149	NE41°SW	210
150	NE37°SW	210
151	NE40°SW	215
152	NE45°SW	190
153	NE61°SW	330
154	NE37°SW	270
155	NW12°SE	130
156	NE76°SW	160
157	NE68°SW	280
158	SE39°NW	60
159	SE16°NW	210
160	NE78°SW	180
161	NE60°SW	160
162	NW02°SE	240
163	SE75°NW	120
164	NE44°SW	170
165	NE60°SW	570





166	NE69°SW	190
167	NE86°SW	150
168	E-W	120
169	SE29°NW	110
170	NE35°SW	130
171	NE45°SW	180
172	SE17°NW	75
173	NE66°SW	70
174	NE27°SW	170
175	NE71°SW	250
176	NE66°SW	360
177	NE62°SW	245
178	NE50°SW	455
179	SE49°NW	40
180	SE58°NW	145
181	SE28°NW	110
182	SE06°NW	80
183	SE10°NW	95
184	SE11°NW	160

185	SE12°NW	110
186	SE53°NW	130
187	SE37°NW	115
188	NE48°SW	250
189	SE79°NW	105
190	NE55°SW	290
191	SE17°NW	90
192	SE25°NW	120
193	NE26°SW	85
194	NE57°SW	385
195	SE41°NW	130
196	SE54°NW	340
197	SE81°NW	370
198	NE66°SW	330
199	SE51°NW	140
200	NE50°SW	490
201	SE61°NW	85
202	SE45°NW	75

Tabla V. Fracturas de la carta Mixcoac.

Número	Dirección	Longitud (m)
1	NE49°SW	290
2	NE49°SW	40
3	NE64°SW	100
4	NE79°SW	270
5	SE45°NW	125
6	N-S	135
7	NE11°SW	100
8	N-S	80
9	NE34°SW	150
10	SE30°NW	140
11	E-W	100
12	NE54°SW	50
13	NE34°SW	45

14	N-S	40
15	NW52°SE	40
16	E-W	120
17	SE50°NW	110
18	NE58°SW	60
19	NE63°SW	145
20	NW15°SE	100
21	NW26°SE	60
22	SE15°NW	120
23	NE48°SW	100
24	NE25°SW	170
25	NW43°SE	110
26	NW18°SE	60
27	NE05°SW	75
28	NE14°SW	155





29	SE10°NW	80
30	E-W	90
31	E-W	70
32	NE82°SW	100
33	SE50°NW	80
34	SE75°NW	90
35	SE45°NW	120
36	NE70°SW	65
37	E-W	115
38	NE71°SW	80
39	SE78°NW	55
40	SE40°NW	65
41	SE57°NW	295
42	NE58°SW	190
43	NW09°SE	150
44	NE75°SW	130
45	SE79°NW	160
46	NE10°SW	105
47	NW11°SE	110
48	NE66°SW	75
49	NE58°SW	390
50	NE63°SW	120
51	NW86°SE	250
52	NE84°SW	460
53	NE33°SW	50
54	NE50°SW	60
55	SE43°NW	65
56	SE29°NW	70
57	SE34°NW	55
58	SE55°NW	70
59	NE45°SW	100
60	SE78°NW	100
61	NE69°SW	80
62	NE63°SW	130

63	SE71°NW	150
64	NE63°SW	130
65	SE71°NW	160
66	E-W	110
67	NE76°SW	190
68	NE66°SW	130
69	NE63°SW	235
70	E-W	130
71	NE30°SW	320
72	SE43°NW	130
73	NE43°SW	260
74	NE68°SW	170
75	NE46°SW	140
76	SE36°NW	95
77	SE23°NW	90
78	NE66°SW	130
79	SE86°NW	115
80	NE76°SW	70
81	NE84°SW	270
82	SE63°NW	140
83	SE75°NW	140
84	NE63°SW	100
85	E-W	115
86	NE 74°SW	145
87	NW31°SE	65
88	NE82°SW	130
89	NE05°SW	120
90	NE24°SW	230
91	NW11°SE	120
92	NW86°SE	70
93	E-W	150
94	NW82°SE	260
95	NE39°SW	25





BIBLIOGRAFÍA

1. Aguayo Camargo, J. Eduardo, Marín Córdova, Salvador, Sánchez Díaz, Felipe, 1989, "Evolución Geológica de la Cuenca de México", Simposio sobre Tópicos Geológicos de la Cuenca del Valle de México, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A.C.
2. Arce, J. L., Layer, P.W., Morales Casique, E., Benowitz, J. A., Rangel, E., Escolero, O., 2013, "New Constraints on the subsurface geology of the Mexico City Basin: The San Lorenzo Tezonco deep well, on the basis of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology and whole-rock chemistry", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 266, 34-49.
3. Bieniawski, Z. T., 1989, "Engineering Rock Mass classifications", John Wiley & Sons, Inc. Canada. 250 pp.
4. Bryan, K., 1948, "Los Suelos Complejos y los Fósiles de la Altiplanicie de México, en Relación a los Cambios Climáticos", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, núm. 13, pp. 1-20.
5. Campos, Rubén M., 1992, "Chapultepec: su Leyenda y su Historia", Talleres de Gráficos del Gobierno Nacional de México.
6. Chávez Aguirre, José María, 2008, "Atlas Multidisciplinario y de Riesgo Geotécnico de la zona Conurbada al Norponiente del Valle de México", ia México.
7. Consultores de Ingeniería Geofísica, S.A de C.V, Noviembre del 2000, "Integración de los Estudios de Resistividad Eléctrica por SEV, Tendidos de Refracción Sísmica, Cross-hole y Gravimetría Levantados en la Cuenca del Valle de México", CIGSA.
8. Damon, E. P., Muhammand Shafigullah y Clark, F.K., 1981, "Evolución de los Arcos Magmáticos en México y su Relación con la Metalogénesis", *Revista del Instituto de Geología, UNAM*, vol. 5 número 2, pp. 233-238.
9. De la Llata Romero, Rolando, 2011, "Síntesis de la Geología de México", *Jornada técnica: Túneles en México, UNAM*.
10. Enciso de la Vega, Salvador, 1992, "Propuesta de Nomenclatura Estratigráfica para la Cuenca de México", *revista volumen 10 número 1, Instituto de geología, UNAM*, p 26-36.





11. Enríquez Santillán, Carlos Adrián, 2012, "El Bosque de Chapultepec y la Transformación de su Entorno", Facultad de Ingeniería, tesis de Licenciatura UNAM.
12. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (esia), 2006, "Geología de la Cuenca de México", México.
13. Facultad de Ingeniería, 2011, Informe "Estudios Geológicos, Geofísicos y Geotécnicos para caracterizar y determinar la presencia de inestabilidades en el subsuelo, en los taludes de la 2ª y 3ª Sección del Bosque de Chapultepec, Fondo Mixto CONACYT-GDF", UNAM.
14. Facultad de Ingeniería, Junio del 2011, "Estudio Geohidrológico en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec", UNAM.
15. Facultad de Ingeniería, 2013, "Informe de las Condiciones Geológicas y Geotécnicas en los Taludes de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec", UNAM.
16. Ferrari Pedraglio, Luca, López Martínez, M., Aguirre Díaz, G., Carrasco Nuñez, G., 1999, "Space-Time Patterns of Cenozoic Arc Volcanism in Central Mexico: From the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt", *Geology* 27, pág. 303-307.
17. Ferrari Pedraglio, Luca, 2000, "Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década", boletín de la Sociedad geológica Mexicana, volumen 53, pp. 84-92.
18. Ferrari Pedraglio, Luca, 2011, "Tectónica y Volcanismo en el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano", Centro de Geociencias e Instituto de Geología, UNAM.
19. Fuentes Menes, Adrián Octavio, 2011, "Elaboración de un Sistema de Información Geográfica para definir el peligro en las zonas minadas en la Delegación Álvaro Obregón", México D.F., UNAM.
20. García Palomo, Armando, Zamorano Orozco, José Juan, López Miguel, Celia, Galván García, Adriana, Víctor Carlos, Valerio, Ortega, Roberto, Macías, José Luis, 2008, "El arreglo morfoestructural de la Sierra de las Cruces, México central", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, volumen 25, páginas 158-178.
21. Garza, Gustavo, Programa de Intercambio Científico y Capacitación Técnica, Noviembre de 1987, "Atlas de la Ciudad de México", Colegio de





- México DDF y Departamento del Distrito Federal, primera edición.
22. Gómez Tuena, A, Orozco Esquivel, M. T., Ferrari Pedraglio, Luca, 2005, "Petrogénesis Ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana", boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, número 3, pp. 227-283.
 23. González Reynoso, Arsenio Ernesto, Hernández Muñoz, Lorena, Perló Cohen, Manuel, Zamora Saenz, Itzkauhtli, 2010, "Rescate de Ríos Urbanos. Propuestas Conceptuales y Metodológicas para la Restauración y Rehabilitación de Ríos", UNAM, 1ª edición.
 24. Guerrero Mothelet, Verónica, noviembre 2005, "De cómo se Rescató un Bosque", ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la Ciencia de la UNAM, número 84.
 25. Herrera Hernández, Dimitris, Febrero 2011, "Estratigrafía y Análisis de Facies de los Sedimentos Lacustres del Cuaternario Tardío de la Cuenca de Chalco, México", Tesis de Maestría, UNAM.
 26. Hueytletl Torres, Alfonso, Gutiérrez Salinas, Sonia A., Martínez Sánchez, José Antonio, Julio 2004, "Proyecto Bosque de Chapultepec 1ra. Sección".
 27. INEGI, 2002, "Asentamientos Humanos y Sustentabilidad", Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
 28. INEGI, 2005, "Perfil Sociodemográfico del Distrito Federal", Censo de Población y Vivienda, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
 29. INEGI, 2010, "Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010", Secretaría de Desarrollo social.
 30. Jiménez Cisneros, Blanca Elena, Marín Stillman, Luis Ernesto, Escolero Fuentes, Oscar Arnoldo, Alcocer Durand Javier, Morán Zenteno, Dante, 2004, "El gua en México Vista desde la Academia", Academia Mexicana de Ciencias, Primera edición, pág. 15.
 31. Juárez Arriaga, E., López Palomino, I., 2009, "Tarango, Formación Neógeno, Mioceno Tardío? Cuaternario, Pleistoceno", Léxico Estratigráfico de México, Servicio Geológico Mexicano.
 32. López Martínez, Felipe, Octubre 2007, "Metodología de Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidad de Suelos por Actividades no Industriales en el Distrito Federal", Tesis de Licenciatura, IPN.





33. Lugo Hubp, José, Cordero Estrada, Maricarmen, Zamorano Orozco, José Juan, 1995, "Relieve, Litología y Riesgos en la Zona Urbana de la Delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal, México", Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, volumen 12 número 1, Instituto de Geología, UNAM.
34. Mooser Hawtree Federico, Sidney, E. White, Lorenzo Pérez, José, 1956, "La Cuenca de México, Consideraciones Geológicas y Arqueológicas", Instituto Nacional de Antropología e Historia de México, México.
35. Mooser Hawtree, Federico, Tamez González, Enrique, Santoyo Villa, Enrique, Holguín Beplat, Jorge Ernesto, Gutiérrez Alfonso, Carlos, Septiembre 1986, "Características Geológicas y Geotécnicas del Valle de México", Secretaría General de Obras, Comisión de Vialidad y Transporte Urbano, México.
36. Mooser Hawtree, Federico, Montiel, A., Zuñiga, A., 1992, "Nuevo Mapa Geológico del surponiente del Valle de México", Simposio Experiencias Geotécnicas en la zona poniente del Valle de México, Sociedad Mexicana de Mecánica de Rocas.
37. Mooser Hawtree, Federico, et. al., 1996, "Nuevo Mapa geológico de la Cuenca de México, Toluca y Puebla, México", Comisión Federal de Electricidad.
38. Morales Casique, Erick, Escolero A., Oscar, Arce, José L., 2014, "Resultados del Pozo San Lorenzo Tezonco y sus Implicaciones en el Entendimiento de la Hidrogeología Regional de la Cuenca de México", Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 31, número 1, pp 64-75.
39. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT), 2012, "Información de los Estudios Realizados por la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial en las Barrancas del D.F.", México, Distrito Federal.
40. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT), 2010, "Actualización Estadística Espacial como Fuente de un Ordenamiento Territorial en la Región de la Zona Sur de la Ciudad de México, en las Delegaciones Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón, Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco", México, Distrito Federal.
41. 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, UNAM.

42. Rodríguez Chávez, F. M., 2003, "Modelado Gravimétrico de la Estructura de la Cuenca de México", Tesis de Licenciatura, UNAM.
43. Santoyo Villa Enrique, Ovando Shelley, Efraín, Mooser Hawtree, Federico, León Plata, Elvira, febrero 2005, "Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México", tgc.
44. Secretaría General de Obras, 1988, "Estudios sobre Sismicidad en el Valle de México", Primera Edición.
45. Secretaria del Medio Ambiente, 2002, "Diagnostico Geológico y Geohidrológico Preliminar de la Microcuenca del Río Magdalena", Gobierno del Distrito Federal.
46. Segerstrom, K., 1962, "Geology of South-Central Hidalgo and Northeastern Mexico", United States Geological Survey Bulletin, 1104-C, 87-162.
47. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C., 1992, "Experiencias Geotécnicas en la zona Poniente del Valle de México", México, Distrito Federal.
48. Tamez E., Santoyo Villa; Enrique, Mooser Hawtree, Federico, Gutiérrez, C, 1987, "Manual de Diseño Geotécnico" Vol 1 . Metro en Cajón. México, Comisión de Vialidad y Transporte Urbano, Departamento del Distrito Federal.
49. Velázquez Ángeles Omar, 2013, "Análisis de Estabilidad de Taludes en la 3ª Sección del Bosque de Chapultepec", Tesis de Licenciatura, UNAM.
50. Vázquez Sánchez, Eliseo, Jaimes Palomera, L. Ricardo, 1989, "Geología de la Cuenca de México", Simposio sobre Tópicos Geológicos de la Cuenca del Valle de México, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A.C.
51. www.chapultepec.org.mx
52. www.agua.org.mx
53. www.cuentame.inegi.org.mx
54. www.dao.gob.mx

