



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Caracterización geológica para la
localización de sitios de disposición
final de residuos sólidos de la
construcción en la Ciudad de México**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A

García Bautista Eduardo

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Martín Carlos Vidal García

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2021





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA
TIERRA
COMITÉ DE TITULACIÓN

Designación de sinodales de Examen Profesional

A los señores profesores:

Presidente: **ING. LUIS ARTURO TAPIA CRESPO**
Vocal: **ING. MARTIN CARLOS VIDAL GARCIA**
Secretario: **ING. JOSE LUIS ARCOS HERNANDEZ**
1er. Suplente: **M.C. CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS**
2do. Suplente: **ING. MARCO ANTONIO RUBIO RAMOS**

Conforme a la encomienda que hace el Director de la Facultad a este Comité de Titulación para la integración de jurados, me permito informar a ustedes que han sido designados sinodales del Examen Profesional de: **GARCIA BAUTISTA EDUARDO**, registrado con número de cuenta **308081712** en la carrera de **INGENIERÍA GEOLÓGICA**; quien ha concluido el desarrollo del tema que le fue autorizado.

Ruego a ustedes se sirvan revisar el trabajo adjunto y manifestar a la Dirección de la Facultad, si es el caso, la aceptación mediante la firma en el oficio FEX-2 en el plazo indicado a continuación.

Por indicaciones del Sr. Director, con el fin de asegurar el pronto cumplimiento de las disposiciones normativas correspondientes y de no afectar innecesariamente los tiempos de titulación, les ruego tomar en consideración que para lo anterior cuentan ustedes con un plazo máximo de **cinco días hábiles** contados a partir del momento en que ustedes **acusen recibo de esta notificación**. Si transcurrido este plazo el interesado no tuviera observaciones de su parte, se entendería que el trabajo ha sido aprobado, por lo que deberán **firmar el oficio de aceptación del trabajo escrito**.

Doy a ustedes las más cumplidas gracias por su atención y les reitero las seguridades de mi consideración más distinguida.

Atentamente,

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Ciudad Universitaria, Cd. Mx. a 8 de junio de 2021.

EL PRESIDENTE DEL COMITÉ

Firma no requerida por contingencia sanitaria.
La notificación de la División sustituye este requisito.

DR. ENRIQUE ALEJANDRO GONZÁLEZ TORRES

NOTA: Por instrucciones del Director, deberán entregarse juntos y al mismo tiempo, el presente oficio FEX-1 y su correspondiente oficio FEX-2.

FEX-1
IDT

AGRADECIMIENTOS

A mi padre y madre que me han brindado todo su amor y cariño, estando conmigo a lo largo de mi vida, apoyándome durante todo momento para superarme y ser mejor cada día, por sus consejos y enseñanzas fortaleciéndome a cada instante.

A mi hermano Erick por ser el mejor hermano con sus consejos y apoyo, viviendo las mejores experiencias de la vida, dándome ánimos y estando en todo momento ayudándome a salir a delante.

A mis hermanas Martha, Gaby y Magaly que siempre me han apoyado en la buenas y en las malas, dándome ánimos.

Al Ing. Martín Carlos Vidal García quien me dio la oportunidad de ser parte de este proyecto, apoyándome desde el inicio con sus consejos, conocimientos, tiempo y amabilidad durante todo el desarrollo del proyecto.

A mis profesores que a lo largo de la carrera me compartieron sus conocimientos, habilidades y consejos.

Al proyecto “Plan de aprovechamiento y disposición adecuada de residuos de la construcción y demolición para la Ciudad de México” SECITI/090/2018 de la Secretaria de Ciencia, Tecnología e Investigación de la Ciudad de México por permitirme ser parte del proyecto para la elaboración de la presente tesis.

A mi alma máter la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme un lugar en la Facultad de Ingeniería, viviendo una de las mejores etapas de mi vida con experiencias únicas e inigualables. Por brindarme las herramientas necesarias y el apoyo educativo para salir a competir al mundo laboral.

RESUMEN

La presente tesis tiene como sustento y objetivo la localización de un sitio en la Ciudad de México para realizar la caracterización geológica con la finalidad de almacenar residuos sólidos provenientes de la construcción y que cumplan con la normatividad ambiental vigente nacional, debido a que en la Ciudad de México existen pocos lugares para el depósito o tratamiento de estos residuos.

En el año de 2019 se firmó un convenio de colaboración entre la Facultad de Ingeniería de la UNAM y la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México. Consecuencia de tal convenio se realizó un estudio en el predio del Centro de Desarrollo Ecológico localizado en el Parque Bicentenario (CEDEC-Parque Bicentenario) de la Alcaldía Miguel Hidalgo, para el emplazamiento de una planta de tratamiento y reciclaje de Residuos de la Construcción y Demolición. En el presente estudio participó un grupo interdisciplinario de ingenieros en donde se evalúa las características ambientales, técnicas y socioeconómicas del sitio.

La zona designada para este proyecto fue donada por parte de la Alcaldía Miguel Hidalgo, siendo este proyecto una prueba piloto para llevar a cabo la construcción e instalación de equipos y delimitación de áreas para la disposición final de Residuos de la Construcción y Demolición dentro de la Ciudad de México.

Con base en esto, se realizaron estudios y pruebas para determinar las características geológicas-estratigráficas-estructurales con el fin de determinar los parámetros, requerimientos y adecuaciones necesarias para llevar a cabo esta prueba piloto.

La zona de estudio se localiza en la región identificada como Zona de Transición (Zona II) localizada entre la Zona de Lomas (Zona I) y la Zona de Lago (Zona III). Esta zonificación es de carácter geotectónico y normativo, define a la Zona II como caracterizada por la alternancia de estratos arcillosos depositados en un ambiente lacustre con suelos aluviales de granulometría gruesa y heterogénea. La reciente estratigrafía de la zona consiste de un relleno superficial compuesto por fragmentos de construcciones antiguas, restos de materia orgánica (raíces) y restos de hidrocarburos delimitados por limo arenoso hasta los 2.00 m. de profundidad, posteriormente encontrando arcilla arenosa de consistencia media a firme hasta los 3.00 m., profundidad máxima explorada. Estructuralmente el sitio elegido no presenta fallas o fracturas que pudieran afectar la zona de estudio.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to locate a site in Mexico City to perform the geological characterization in order to store solid waste from construction and comply with current national environmental regulations, since there are few places in Mexico City for the deposit or treatment of this waste

In 2019, a collaboration agreement was signed between the “Faculta de Ingeniería” of the “UNAM” and the “Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación” of the Mexico City. As a result of this agreement, a study was conducted on the site of the Ecological Development Center located in the “Parque Bicentenario” (CEDEC-Parque Bicentenario) of the Miguel Hidalgo distric, for the location of a treatment and recycling plant for Construction and Demolition Waste. An interdisciplinary group of engineers participated in this study to evaluate the environmental, technical and socioeconomic characteristics of the site.

The area designated for this project was donated by the Miguel Hidalgo distric. This project is a pilot test to carry out the construction and installation of equipment and delimitation of areas for the final disposal of Construction and Demolition Waste in Mexico City

Studies and tests were carried out to determine the geological-stratigraphic-structural characteristics whit the purpose to determine the parameters, requirements and necessary adjustments to carry out this pilot test.

The study area is located in the region identified as the “Zona de Transición” (Zone II) located between the “Zona de Lomas” (Zone I) and the “Zona de Lago” (Zone III). This zoning is of a geotechnical and normative nature, defines Zone II as characterized by the alternation of clay layers deposited in a lacustrine environment with alluvial soils of coarse grain size and heterogeneous (size particles and composition particles). The recent stratigraphy of the area consists of a superficial fill composed of fragments of old constructions, remains of organic matter (roots) and hydrocarbon remains enveloped in sandy silt to a depth of up to 2.00 m., later finding sandy clay of medium to firm consistency up to 3.00 m., the maximum depth explored. Structurally, there are no faults or fractures that could affect the study area.

Índice

1. Generalidades	1
1.1 Localización	1
1.2 Población	5
1.3 Vías de comunicación	9
1.4 Geomorfología	13
1.5 Hidrología	16
1.6 Hidrogeología	20
1.7 Clima	21
2. Geología de la Cuenca de México y de la Ciudad de México	31
2.1 Origen de la Cuenca de México	33
2.2 Eventos volcánicos que originaron el cierre de la Cuenca de México	36
2.3 Estratigrafía de la Cuenca de México	38
2.4 Geología Estructural de la Cuenca de México	45
2.5 Estratigrafía de la Ciudad de México	48
2.6 Geología estructural de la Ciudad de México	52
3. Principios de los Residuos de la Construcción y Demolición (RCyD)	55
3.1 Definición y clasificación de los RCyD	55
3.2 Impacto ambiental de los RCyD	56
3.3 Manejo de los RCyD en Europa, Estados Unidos y México	58
3.4 Problemas asociados a los RCyD en México	63
3.5 Metodología para la localización de Sitios de Disposición final para los RCyD	66
4. Caracterización geológica de un sitio de Residuos de la Construcción y Demolición en el predio del Centro de Desarrollo Ecológico (CEDEC) localizado en el Parque Bicentenario de la Alcaldía Miguel Hidalgo	77
4.1 Caracterización estratigráfica de la Alcaldía Miguel Hidalgo	77
4.2 Levantamiento y caracterización de la presencia de fallas y fracturas en la Alcaldía Miguel Hidalgo	86
4.3 Evaluación de la subsidencia en el sitio de estudio	88
4.4 Evaluación de la sismicidad en la Alcaldía Miguel Hidalgo	91
4.5 Evaluación con base a la geología e hidrogeología del predio	94
5. Discusión, Conclusiones y Recomendaciones	98
5.1 Discusión	98
5.2 Conclusiones	98
5.2 Recomendaciones	99
Bibliografía	100
Anexos	112

Índice Figuras

Figura 1.1.1. Localización de la Ciudad de México. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA 2019.....	1
Figura 1.1.2. Localización de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA, 2019.....	2
Figura 1.1.3. Localización del Predio CEDEC-Parque Bicentenario. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA, 2019.....	4
Figura 1.2.1. Población total de la Ciudad de México de 1900 a 2015. Tomada de INEGI, 2018.	5
Figura 1.2.2. Dinámica de crecimiento demográfico para el periodo de 1980-2015. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.....	7
Figura 1.2.3. Porcentaje de población por género. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.	8
Figura 1.2.4. Proyecciones del crecimiento poblacional. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.....	9
Figura 1.2.5. Proyección del porcentaje de población por género del periodo 2010-2030. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.....	9
Figura 1.3.1. Estructura vial de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, 2019 y con base al Programa Delegacional Miguel Hidalgo 2016-2018. ...	12
Figura 1.4.1. Mapa donde se muestra la Ciudad de México que se encuentra en la Subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac (Color Azul) y en la Provincia de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) (Color Rojo). Datos tomados de INEGI, 2019.	14
Figura 1.5.1. Mapa de los ríos entubados y no entubados que pasan por la Ciudad de México. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA, 2019.....	18
Figura 1.7.1. Clima de la Ciudad de México. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA, 2019.	22
Figura 1.7.2. Temperatura Media Promedio Anual del periodo 1985-2019. Datos tomados de CONAGUA. Fecha de la consulta 02 de marzo de 2020.....	23
Figura 1.7.3. Promedio de días con lluvias al mes de la Ciudad de México. Tomada de SACMEX 2017.	23
Figura 1.7.4. Precipitación Anual en la Ciudad de México del periodo de 1985-2019. Con base a datos tomados de Conagua, 2020. Fecha de la consulta 02 de marzo de 2020.....	24
Figura 1.7.5. Mapa de climas de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Tomado del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.....	25
Figura 2.1.1. Mapa de las Sierras que delimitan la Cuenca de México. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, 2019.	32
Figura 2.1.2. Principales episodios de la evolución geológica de la Faja Volcánica TransMexicana. Tomado de González-Torres et al, 2015.	35
Figura 2.3.1. Columna estratigráfica de la Cuenca de México. Tomado de González Torres et al., 2015.	44
Figura 2.4.1. Geología y Tectónica de la Ciudad de México. Tomado de Santoyo et al., 2005.	47

Figura 2.5.1. Columna estratigráfica de los pozos profundos perforados en la Cuenca de México. La litología del pozo San Lorenzo Tezonco se encuentra simplificada para homologar la litología reportada en los pozos. Tomado de González Torres et al., 2015.	48
Figura 2.5.2. Columna estratigráfica de la Zona Lacustre de la Ciudad de México. Tomado de Santoyo Villa et al., 2005.....	50
Figura 2.5.3. Sección Geológica de la Ciudad de México. Tomado de Santoyo et al., 2005.....	51
Figura 2.6.1. Mapa de fracturas que afectan a la Ciudad de México, se muestra el relieve de la ciudad y las fallas geológicas regionales. Elaborado por el Centro de Geociencias de la UNAM. Tomado de Carreón-Freyre, 2017.	53
Figura 2.6.2. Modelo Digital de Elevación de la Cuenca de México, se muestran estructuras geológicas. 1) Pilar (Horts) de Chichinautzin (Siebe et al., 2004b), 2) Sistema de Fallas de Xochimilco y Xicomulco (García-Palomo et al., 2008), 3) Sistema de Fallas de La Pera (Delgado-Granados et al., 1995; Alaniz-Álvarez y Nieto-Samaniego, 2005), 4) Graben de Santa Catarina (Arce et al., 2013a), 5) Falla Mixhuca (Pérez-Cruz 1988), 6) Sistema de Fallas Tenango (Norini et al., 2006), 7) Falla Contreras (Arce et al., 2015), 8) Sistema de Fallas de Ixtlahuaca y Otomí (García-Palomo et al., 2008), 9) Segmento sur del Sistema de Fallas Apan-Tláloc, 10) Falla Texcoco y 11) Sistema de Fallas Tizayuca (García-Palomo et al., 2002). Tomado de González-Torres et al, 2015.....	54
Figura 3.1.1. Clasificación de los RCyD. Adaptada de De Santos, 2011.	56
Figura 3.2.1. Impacto ambiental de los RCyD. Adaptada de Acosta, 2002.	57
Figura 3.3.1. Manejo actual de los RCyD en la Ciudad de México. Adaptada de CMIC, 2013.	62
Figura 3.4.1. Generación anual promedio de RME en México, período 2006-2012. Adaptada de SEMARNAT, 2012.	65
Figura 4.1.1. Localización Geotécnica del Predio CEDEC. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, 2019.	79
Figura 4.1.2. Mapa de la geología de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, 2019.	80
Figura 4.1.3. Geología superficial del predio CEDEC-Parque Bicentenario. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, 2019.	82
Figura 4.1.4. Ubicación en el predio de los cuatro pozos a cielo abierto. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, Google Earth 2019.	84
Figura 4.1.5. Columnas estratigráficas de los cuatro pozos a cielo abierto en el Predio CEDEC-Parque Bicentenario.	85
Figura 4.2.1 Mapa de las fallas y fracturas que atraviesan la Alcaldía Miguel Hidalgo. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, 2019.	87
Figura 4.2.2. Porcentaje del territorio de la Alcaldía Miguel Hidalgo con falla y fracturas. Tomado del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.	88
Figura 4.3.1. Gradiente de subsidencia en la Ciudad de México entre los años 2002 y 2007 con la cartografía del fracturamiento y las fallas principales. Tomado y modificado de Carreón-Freyre, 2017.	90
Figura 4.4.1. Epicentros de los 20 sismos de los días 12 al 18 de julio de 2019. Los círculos naranjas corresponden a la sismicidad histórica en la región de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Las líneas naranjas corresponden al fallamiento cartografiado. El rombo blanco con negro representa la ubicación de una de las estaciones de la Red Sismológica de la Cuenca de México del Servicio Sismológico Nacional, corresponde a la estación más cercana, Miguel Hidalgo (MHVM). Tomado y modificado del Servicio Sismológico Nacional, 2019.	93

Figura 4.5.1. Sección geológica de la ex Refinería 18 de marzo. Tomada de Remediación y Revitalización de Sitios Contaminados: Casos Exitosos en México, 2013.	95
Figura 4.5.2. Localización de las secciones geológicas en la zona de estudio. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, 2019.	96
Figura 4.5.3. Sección geológica PCA-3 PCA-2 del predio CEDEC-Parque Bicentenario.	97
Figura 4.5.4. Sección geológica PCA-3 PCA-1 del predio CEDEC-Parque Bicentenario.	97

Índice de Tablas

Tabla 1.1.1. Extensión territorial de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Tomada del Programa de Gestión de Riesgos y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).	3
Tabla 1.2.1. Densidad Poblacional Municipal por km ² . Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.	6
Tabla 1.2.2. Crecimiento demográfico para el periodo de 1980-2015 de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.	7
Tabla 1.2.3. Proyecciones del crecimiento poblacional. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.	8
Tabla 1.4.1. Tabla donde se muestra la Provincia, subprovincia y Sistema de Geoformas a la que pertenecen. Tomada de Fuentes Menes, 2011.	15
Tabla 1.6.1. Clima de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.	24
Tabla 1.8.1. Insumos para la elaboración de los indicadores de cambios de uso de suelo y vegetación. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.	26
Tabla 1.8.2. Compatibilidad de Leyendas. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.	28
Tabla 1.8.3. Uso de suelo y vegetación de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.	28
Tabla 1.8.4. Hectáreas de cobertura de la tierra. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.	29
Tabla 1.8.5. Especies de árboles comunes en la alcaldía Miguel Hidalgo. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.	29
Tabla 3.1.1. Tabla de la composición promedio de los RCyD. Adaptada de Gutiérrez, 2012.	55
Tabla 3.3.1. Reciclaje de RCyD en algunos países de Europa. Tomada del Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición. Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. , 2017.	59
Tabla 3.3.2. Política de Intervención Seleccionadas en Países de Europa. Tomada del Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición. Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. , 2017.	59
Tabla 3.3.3. Distribución porcentual del PIB por actividad económica en el año 2015. Tomada del Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición. Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. , 2017.	60
Tabla 3.3.4. Impactos ambientales generados por la ejecución de proyectos de infraestructura. Adaptada de Zolfagharian, 2012.	61
Tabla 3.4.1. Exigencias para el manejo de RCyD en las normas NADF-007-RNAT-2013 Y NTEA-011-SMA-RS-2008. Tomado del manual Técnico Para la Localización de Sitios para la Disposición Final de Residuos de la Construcción y Demolición. Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. , 2017.	64
Tabla 3.4.2. Entidades federativas con mayor generación de RCyD en México. Adaptada de CMIC, 2013.	64

Tabla 3.4.3. Estados con formatos de elaboración de Planes de Manejo (RME o RCyD). Adaptada de CMIC, 2013.	65
Tabla 3.5.1. Variables ambientales. Tomada del Manual Técnico para Localización de Sitios para la Disposición Final de Residuos de la Construcción y Demolición. Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. , 2017.....	69
Tabla 3.5.2. Métodos de prospección. Tomada del Manual Técnico para Localización de Sitios para la Disposición Final de Residuos de la Construcción y Demolición. Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. , 2017.....	74
Tabla 4.4.1. Sismos reportados por el Servicio Sismológico Nacional con epicentro en la Ciudad de México del día 12 al 18 de julio de 2019. Tomada del Servicio Sismológico Nacional-UNAM, 2019.....	92
Tabla 4.5.1. Estratos identificados en la caracterización 2006 de la Ex Refinería 18 de marzo, tomada de Remediación y Revitalización de Sitios Contaminados: Casos Exitosos en México, 2013.	94

1. Generalidades

1.1 Localización

La Ciudad de México, capital de los Estados Unidos Mexicanos, representa el 0.08% del territorio nacional (INEGI, 2008). Se localiza en la Cuenca de México a una altitud de 2240 msnm, ocupa una superficie de 1495 km² (Secretaría de Economía, 2015) y se divide en 16 alcaldías (INEGI, 2008). Se ubica en la parte centro sur del país (Secretaría de Economía, 2015), donde prácticamente lo envuelven diversos Municipios del Estado de México, y en la parte sur por el Estado de Morelos, **Figura 1.1.1**.

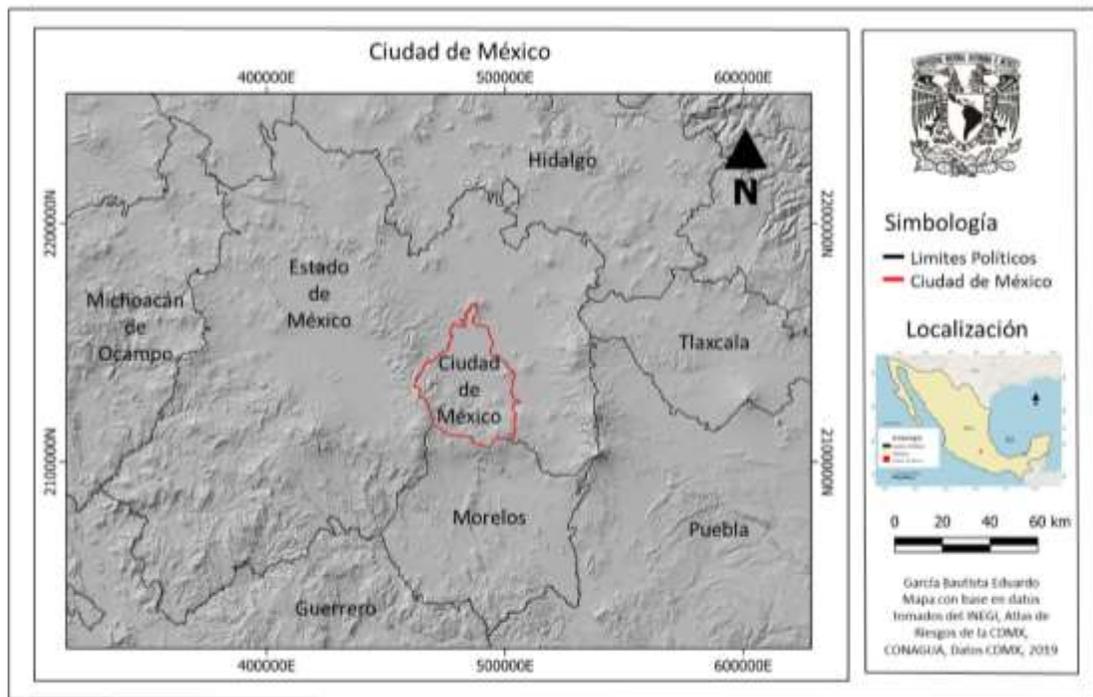


Figura 1.1.1. Localización de la Ciudad de México. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA 2019.

La zona de estudio en la presente tesis se localiza al poniente de la Ciudad de México, en la Alcaldía Miguel Hidalgo entre las coordenadas 19°29' y 19°23' latitud norte y 99°10' y 99°16' longitud oeste, a una altitud de 2250 msnm (**Figura 1.1.2**). La Alcaldía Miguel Hidalgo cuenta con una superficie territorial de 4,635 ha, representa el 3.12% de la superficie de la Ciudad de México, colinda al norte con la Alcaldía Azcapotzalco, al oriente con la Alcaldía Cuauhtémoc, al sur con la Alcaldía Álvaro Obregón, al oeste con la Alcaldía Cuajimalpa y, al poniente con los municipios de Huixquilucan y Naucalpan de Juárez pertenecientes al Estado de México (**Tabla 1.1.1**) (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

Tabla 1.1.1. Extensión territorial de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Tomada del Programa de Gestión de Riesgos y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

Extensión Territorial Alcaldía Miguel Hidalgo			
Concepto	Extensión	Extensión (ha)	Porcentaje (%) que representa a nivel nacional y estatal
Extensión Territorial Nacional	1960189	196018900	100%
Extensión Territorial Ciudad de México	1486.46	148646	0.08%
Extensión Territorial Alcaldía Miguel Hidalgo	46.65	4635	0.002%

La Alcaldía Miguel Hidalgo reviste gran importancia ya que cuenta con servicios de carácter regional como el Bosque de Chapultepec (en sus tres secciones), el Hipódromo de las Américas, el Observatorio de la Ciudad de México, el Conservatorio Nacional de Música, la Secretaría de Turismo, la Secretaría de la Defensa Nacional, el Museo Nacional de Antropología y el de Historia Natural, el Museo Rufino Tamayo, el Museo de Arte Contemporáneo, el Museo de Arte Moderno, y el Museo del Niño, la Escuela Superior para Maestros, la Universidad del Valle de México, la Universidad del Ejército Nacional y la Fuerza Aérea, El Instituto Politécnico Nacional (Casco de Santo Tomas), el Hospital Mocel, Hospital Español, entre otros (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

Dentro del área donde se ubican estos servicios de carácter regional se encuentra el predio CEDEC (sitio en el cual se realizó el trabajo de investigación de la presente tesis), el cual se localiza al lado del Parque Bicentenario entre las coordenadas 19° 28' 16" y 19° 28' 20" latitud norte y las coordenadas 99° 11' 53 y 99° 11' 57 oeste (**Figura 1.1.3**). El predio CEDEC cuenta con un área aproximada de 26,008 m², de los cuales 2,195.17 m² fueron donadas a la Alcaldía Miguel Hidalgo para realizar un proyecto piloto en el cual participa la Facultad de Ingeniería de la UNAM, con el objetivo de determinar un sitio de disposición final para Residuos sólidos de la Construcción y Demolición (RCyD).

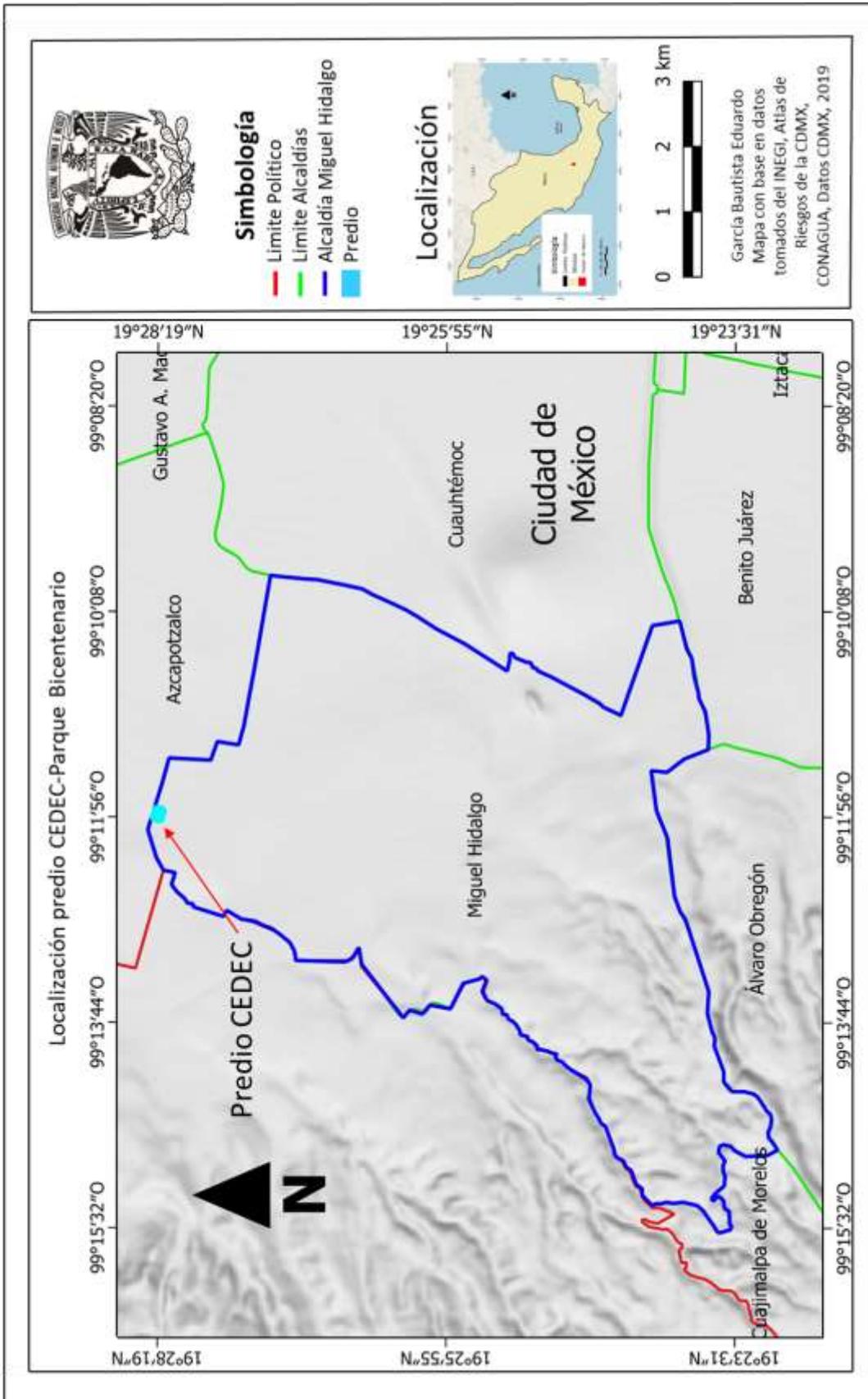


Figura 1.1.3. Localización del Predio CEDEC-Parque Bicentenario. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA, 2019.

1.2 Población

La población de la Ciudad de México se ha ido incrementando a lo largo de las últimas décadas, teniendo como consecuencia de su expansión un gran impacto sobre el ecosistema y de la creciente ocupación del suelo para viviendas, establecimientos industriales, establecimientos comerciales y establecimientos de servicios, además del uso de suelo para la infraestructura y el equipamiento utilizado para cubrir las necesidades de la población y de las empresas (INEGI, 2018).

La expansión poblacional en el territorio normalmente se produce en zonas donde existen las mejores condiciones geográficas, pero actualmente la Ciudad de México ha ido creciendo sobre terrenos inadecuados, desarrollando una estructura urbana más compleja.

En la **Figura 1.2.1**, se muestra la tasa de crecimiento de la población de la Ciudad de México desde el año de 1900 hasta el año de 2015, llegando a 8,918,653 habitantes. Esta información corresponde a una estimación de la población total realizada para los ámbitos nacional y entidad federativa con base en la Encuesta Intercensal (EIC) 2015 y a los censos realizados entre los años 1900 y 2010 (INEGI, 2018).

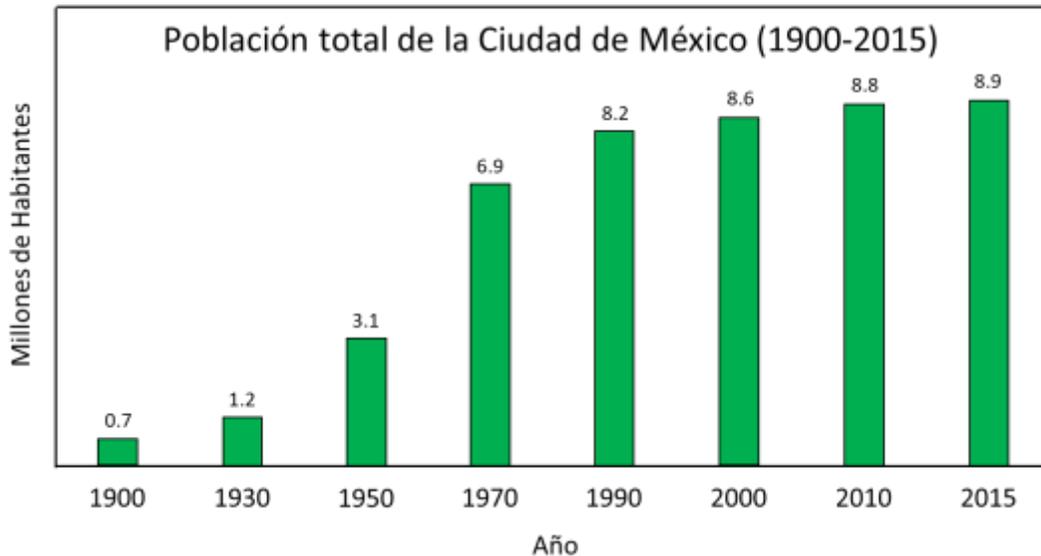


Figura 1.2.1. Población total de la Ciudad de México de 1900 a 2015. Tomada de INEGI, 2018.

El primer censo realizado en el República Mexicana fue en el año de 1895 (INEGI, 2018) y se implementó con el fin de contar solamente el número de habitantes que tenía la República Mexicana (INEGI, 2018).

A partir del siglo XX, en la Ciudad de México aumento el ritmo de crecimiento de la población, habiendo en consecuencia un incremento en la superficie urbana de la ciudad. El aumento demográfico se atribuye a tres factores, el primero la disminución de la mortalidad, debido a los adelantos en la ciencia; el segundo es el mantenimiento de altos niveles de natalidad y el crecimiento social, producido por la oferta de empleo en la ciudad; y el tercero por la ausencia de este en el campo y en poblaciones menores del país (Almanza, 2012).

Entre los años de 1930 y 1950, la migración desde el entorno rural produjo un alto crecimiento en la población de la Ciudad de México, pero a partir de los años setenta, el incremento de la población se debió a la alta tasa de crecimiento natural, llegando a convertir a la Ciudad de México en una metrópoli. Las fuentes de trabajo han sido sin duda uno de los factores principales que han ayudado al crecimiento, otros factores importantes también han sido la administración pública, de las finanzas, de las actividades comerciales y de los servicios. Sin embargo, a partir de la década de 1990 hubo una disminución en el ritmo de crecimiento de la población, inclusive llegándose a convertir en una tasa negativa, asociada a los efectos de los terremotos de 1985 y la migración de sus habitantes hacia áreas periféricas de la Ciudad (Almanza, 2012).

La Alcaldía Miguel Hidalgo, de acuerdo a la Encuesta Intercensal 2015 del INEGI, cuenta con una población total de 364, 439 habitantes, en comparación con el Censo de Población y Vivienda 2010, el número de habitantes se redujo en 2.26%, es decir 8450, significando que la tasa de crecimiento 2010-2015 represento -0.4 (Programa Delegacional Miguel Hidalgo 2016-2018, 2016).

Con base en datos del CENSO de Población y Vivienda, la densidad demográfica de la Alcaldía Miguel Hidalgo en el año 2000 era de 7,608 hab/km². Para el Conteo de Población y Vivienda 2005 se presentó un ligero incremento de la población de 894 habitantes por lo que la densidad poblacional de la Alcaldía Miguel Hidalgo también se incrementó ligeramente a 7,627 hab/km² (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

Con relación al CENSO de Población y Vivienda del año 2010, se dio un aumento de la población de 19,355 habitantes, por lo que la densidad poblacional ascendió a 8,045 hab/km². Finalmente, la Encuesta Intercensal 2015 mostró un decrecimiento de población de 8,450 habitantes quedando una cifra poblacional de 364,439 habitantes y dejando una densidad de población de 7,863 hab/km² como se muestra en la **Tabla 1.2.1.** (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

Tabla 1.2.1. Densidad Poblacional Municipal por km². Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

Año	Superficie municipal	Población total	Densidad de población hab/km²
2000	46.35	352,640	7,608
2005	46.35	353,534	7,627
2010	46.35	372,889	8,045
2015	46.35	364,439	7,863

Aun así, la Alcaldía Miguel Hidalgo es una de las menos pobladas de la Ciudad de México, ocupando el onceavo lugar, de acuerdo al CENSO de Población y Vivienda del año 2000 (como se observa en la **Tabla 1.2.2**) y en la que se estimaba una población total de 372,889 habitantes. En la **Figura 1.2.2** se observa la dinámica del crecimiento demográfico de 1980 al 2015 (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

Tabla 1.2.2. Crecimiento demográfico para el periodo de 1980-2015 de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

Año	Población Total	Hombres	Mujeres
1980	543,062	249,974	293,088
1990	406,868	184,949	221,919
1995	364,398	166,337	198,061
2000	352,640	160,132	192,508
2005	353,534	163,271	190,263
2010	372,889	172,667	200,222
2015	364,439	167,085	197,354

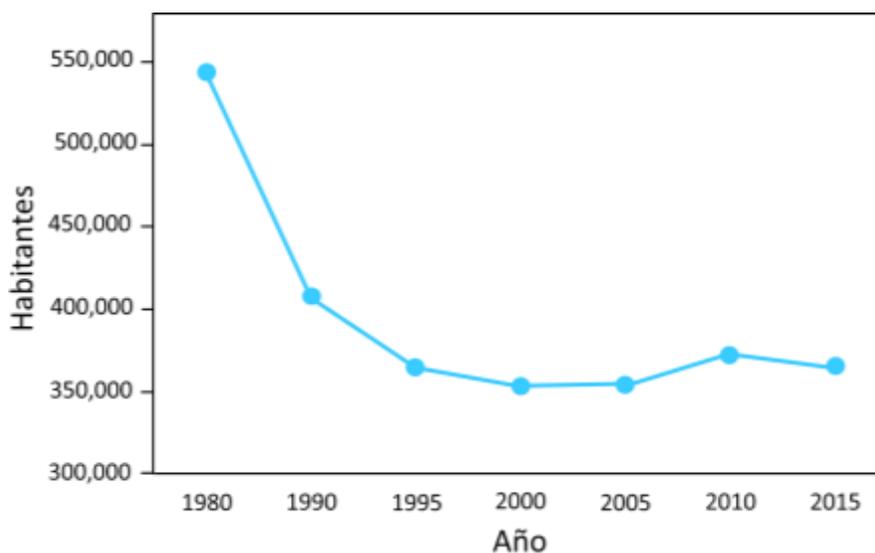


Figura 1.2.2. Dinámica de crecimiento demográfico para el periodo de 1980-2015. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

Hasta el año 2015, la población de la Alcaldía Miguel Hidalgo estaba conformada por 167,085 hombres, representando un 45.85% y 197,354 mujeres que representan el 54.15%, dando un total de 364,439 habitantes, como se puede observar en la **Figura 1.2.3**. (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

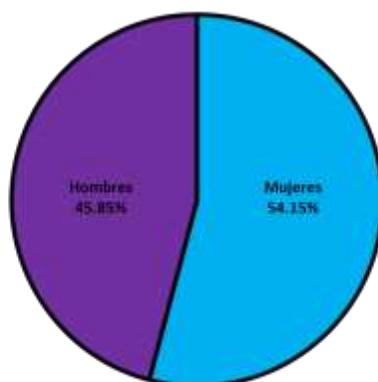


Figura 1.2.3. Porcentaje de población por género. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

Las proyecciones de crecimiento poblacional 2010-2030 de la CONAPO, mostrada en la **Tabla 1.2.3** y en la **Figura 1.2.4**, estiman que habrá un decremento en la población total, donde el género femenino representará un 53.62% del total de la población de la Alcaldía y el masculino un 46.38%. La predominancia de las mujeres será una constante durante estos 20 años (**Figura 1.2.5**) (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

Tabla 1.2.3. Proyecciones del crecimiento poblacional. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

Año	Población Total
2010	376,591
2011	378,724
2012	380,012
2013	380,608
2014	380,661
2015	380,280
2016	379,559
2017	378,567
2018	377,352
2019	375,952
2020	374,398
2021	372,717
2022	370,929
2023	369,054
2024	367,106
2025	365,097
2026	363,043
2027	360,962
2028	358,861
2029	356,745
2030	354,616

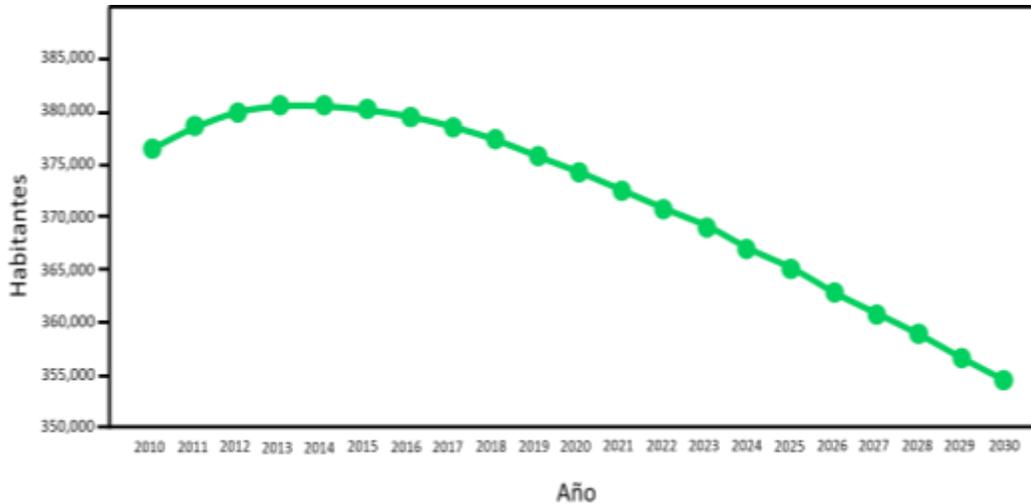


Figura 1.2.4. Proyecciones del crecimiento poblacional. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

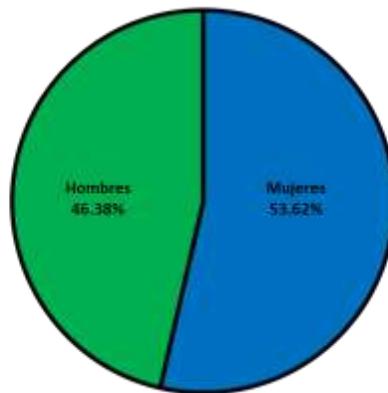


Figura 1.2.5. Proyección del porcentaje de población por género del periodo 2010-2030. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

1.3 Vías de comunicación

A lo largo de los años, la red de vías de transporte de la Ciudad de México se ha ido desarrollando de manera gradual, de acuerdo con su importancia: la red de carreteras se clasifica en red federal, redes estatales, caminos rurales y brechas mejoradas. La red federal de carreteras registra un gran número de desplazamientos de pasajeros y carga entre ciudades, es atendido por el gobierno federal. La red estatal tiene un desplazamiento de pasajeros y de carga más a nivel regional. Los caminos rurales y brechas mejoradas en general no se encuentran pavimentadas, es mas de tipo social que económico.

Las principales carreteras que comunican a la Ciudad de México son las carreteras:

México-Puebla. Cuenta con 130 kilómetros de longitud aproximadamente, desde la Ciudad de México hasta el Estado de Puebla, llegando hasta el Estado de Veracruz, siendo una de las carreteras más transitadas. La México-Querétaro, tiene una longitud de 260 kilómetros, esta carretera conecta también con el Estado de México. La carretera México-Acapulco conformada por 367 kilómetros, conecta a la Ciudad de México con el Puerto de Acapulco, es conocida también como “La Autopista del Sol”. La carretera México-Nogales, la cual conecta con el Estado de México, Michoacán, Jalisco, Sonora, Nayarit y Sinaloa, está conformada por 2378 kilómetros. Por último la Carretera Panamericana con una longitud de 1920 kilómetros, pasando por los estados de Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Durango, Zacatecas, y Chihuahua (El Universal, 2018).

Las vías de comunicación locales con las que cuenta la Ciudad de México es el Sistema de Transporte Colectivo (metro), Transporte urbano RTP y el Metrobús, los cuales permiten que millones de personas se trasporten diariamente dentro de la Ciudad.

De manera particular la Alcaldía Miguel Hidalgo constituye una de las puertas de acceso y salida de los habitantes del Estado de México a la Ciudad de México, ya que se comunica con importantes vías como Anillo Periférico, Avenida Río San Joaquín, Avenida Ejército Nacional. También cuenta con los Centros de Transferencia Modal (CETRAM) más importantes de la zona metropolitana los cuales son Toreo, Tacubaya, y Chapultepec, además de las estaciones del Sistema de Transporte Colectivo Metro como Panteones, Tacuba, Cuitláhuac, Popotla, Colegio Militar, Refinería, San Joaquín, Polanco, Auditorio, Constituyentes, Tacubaya, Patriotismo y Juanacatlán (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

La estructura vial y sistema de transporte de la Alcaldía Miguel Hidalgo son de suma importancia para la movilidad entre Alcaldías del área metropolitana ya que ofrece alternativas para poder conectar a la población con municipios conurbados hacia la zona norte y poniente de la Ciudad de México. El mayor número de viajes que recibe la alcaldía Miguel Hidalgo, provienen de las Alcaldías Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Álvaro Obregón y Benito Juárez, y de los municipios de Naucalpan de Juárez, Ecatepec y Nezahualcóyotl, municipios que registran la mayor cantidad de población flotante emitida hacia la ciudad. Estas vialidades constituyen un espacio donde hay un gran flujo de personas y mercancías, por lo que la infraestructura vial y de transporte público de la alcaldía es un elemento vital para el funcionamiento de la economía de la Ciudad de México (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

La estructura vial de la Alcaldía Miguel Hidalgo se conforma por 4 tipos de vías (Programa Delegacional Miguel Hidalgo 2016-2018, 2016) (**Figura 1.3.1**).

1. Acceso Controlado: Boulevard Adolfo López Mateos (Anillo periférico), Viaducto Miguel Alemán, Avenida Río San Joaquín y Avenida Melchor Ocampo (Circuito Interior).
2. Vías primarias: Avenida Patriotismo, Avenida Revolución, Avenida Constituyentes, Avenida Observatorio, Avenida Benjamín Franklin, Avenida Parque Lira, General Mariano Escobedo, Paseo de la Reforma, Avenida Marina Nacional, Avenida Ejército Nacional, Calzada México Tacuba y Calzada Legaria.
3. Vías Secundarias: Sur 128, Nopalitos, Barranquilla, Avenida Progreso, Avenida Martí, Avenida Jalisco, Vicente Eguía, Avenida Presidente Masarik, Pedro Antonio de los Santos, Horacio, Homero, Newton, Arquímedes, Moliere, Golfo de Adén, Lago Chiem, Lago Ginebra, Miguel de Cervantes Saavedra, Lago Alberto, Santa Bárbara, Felipe Carrillo Puerto, Avenida De los Maestros y Avenida Ingenieros Militares.
4. Vías locales: Todas las vías urbanas menores que se conectan con las vías secundarias.

La Alcaldía Miguel Hidalgo tiene una superficie vial de casi 13.5 millones de m², que representa el 29.28% de la superficie total, las vialidades principales ocupan 2,919,250 m², es decir el 21.63%, el resto son vías secundarias o locales. (Programa Delegacional Miguel Hidalgo 2016-2018, 2016).

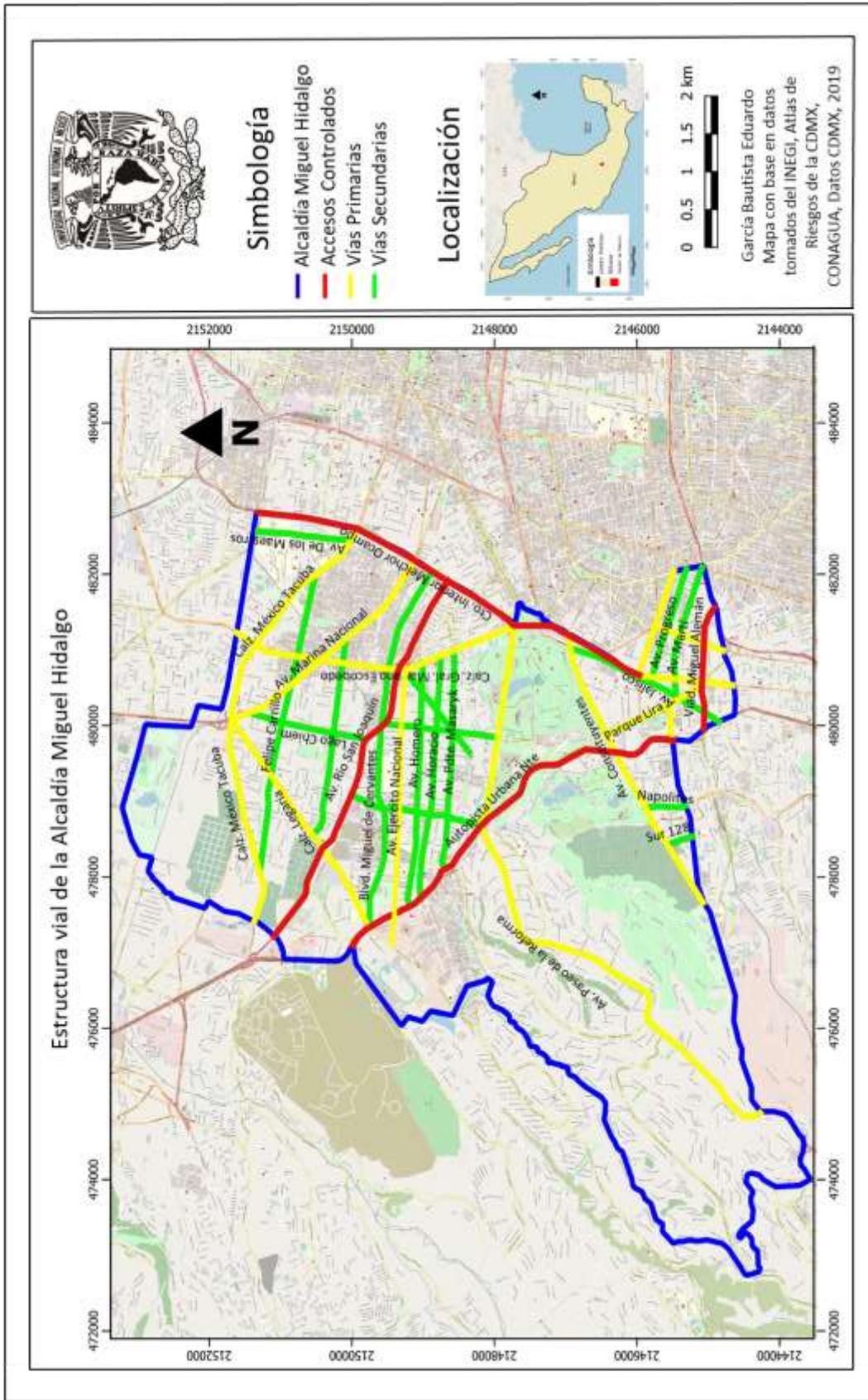


Figura 1.3.1. Estructura vial de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, 2019 y con base al Programa Delegacional Miguel Hidalgo 2016-2018.

1.4 Geomorfología

La Provincia Fisiográfica denominada Eje Neovolcánico, se extiende de oeste a este desde la costa del Océano Pacífico hasta la costa del Golfo de México, colinda al norte con las provincias Llanura Costera del Pacífico, Sierra Madre Occidental, Mesa del Centro, Sierra Madre Oriental y Llanura Costera del Golfo Norte; al sur con las provincias Sierra Madre del Sur y Llanura Costera del Golfo Sur; al oeste con el Océano Pacífico y al este con el Golfo de México; el Eje Neovolcánico abarca parte de los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Veracruz y la Ciudad de México (**Figura 1.4.1**) (INEGI, 2001).

El Eje Neovolcánico (o Franja Volcánica TransMexicana) se caracteriza por ser una enorme masa de varios tipos de rocas volcánicas, acumulada en varios y sucesivos episodios magmáticos que se iniciaron a mediados del Terciario. Se encuentra integrada por sierras volcánicas, coladas de lava, conos dispersos, escudo volcánicos, depósitos de arenas y ceniza. El Eje Neovolcánico comprende una cadena de grandes estratovolcanes: Volcán de Colima, Tancitaro, Nevado de Toluca, Popocatepetl, Iztaccíhuatl, La Malinche y el Pico de Orizaba. También destacan cuencas cerradas ocupadas por lagos como el Pátzcuaro, Cuitzeo, Texcoco y el Carmen; o por depósitos sedimentarios de antiguos lagos como el Lago de Zumpango, Chalco y Xochimilco que se formaron cuando la lava u otros productos volcánicos bloquearon el drenaje original (INEGI, 2001).

El Eje Neovolcánico abarca el 75.65% de la superficie del Estado de México donde se encuentra la Sierra Ajusco-Chichinautzin, se extiende desde el oriente de Toluca hasta el pie de la Sierra Nevada el cual constituye el parteaguas meridional de la cuenca endorreica de la Ciudad de México; y de las Cruces y Monte Alto, sobre ella se encuentra el parteaguas que divide a las cuencas de la Ciudad de Toluca. Esa superficie pertenece a fragmentos de tres subprovincias: Lagos y Volcanes de Anáhuac, Mil cumbres y Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo (INEGI, 2001).

El territorio que comprende la Ciudad de México se encuentra dentro de la subprovincia denominada Lagos y Volcanes del Anáhuac, además de la Ciudad de México, esta subprovincia también abarca los estados de Toluca, Tlaxcala, Pachuca, Puebla y Cuernavaca, se encuentra integrada por grandes sierras volcánicas con amplios vasos lacustres. En esta subprovincia se localizan el volcán Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Nevado de Toluca y La Malinche. Los vasos de antiguos lagos se encuentran distribuidos entre las sierras y demás aparatos volcánicos, los mayores vasos lacustres se encuentran ubicados en la Cuenca de México, siendo estos el conjunto lacustre Texcoco-Chalco-Zumpango-Xochimilco (INEGI, 2001).

Tiene una extensión del 58.59% de la superficie total de la Ciudad de México, colinda al norte con subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo; al oriente se extiende hacia los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla; al sur se interna en la Ciudad de México y el estado de Morelos y limita con la subprovincia Sierras y Valles Guerrerenses; al suroeste colinda con la subprovincia Depresión del Balsas y al oeste con la de Mil Cumbres (INEGI, 2001).

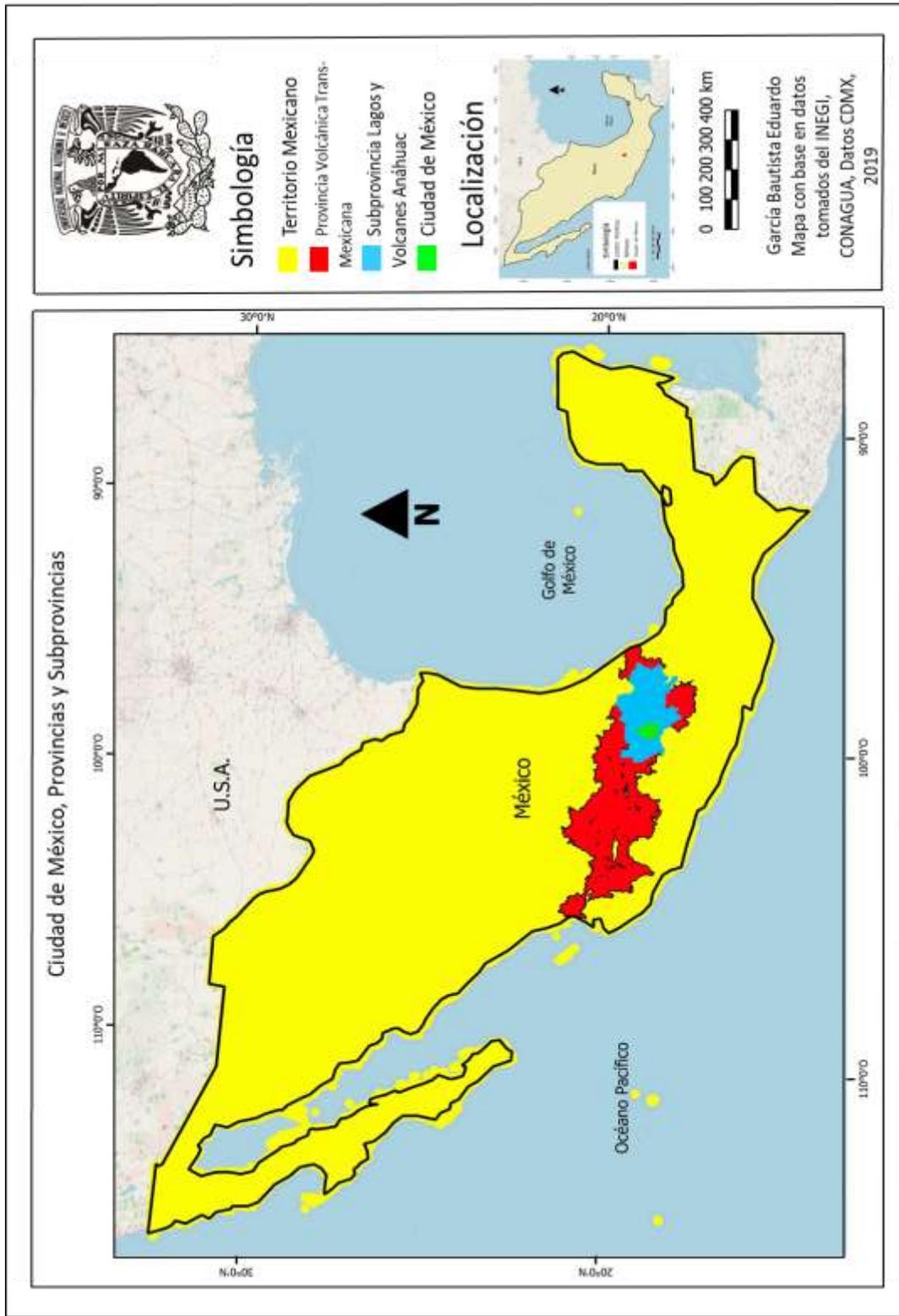


Figura 1.4.1. Mapa donde se muestra la Ciudad de México que se encuentra en la Subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac (Color Azul) y en la Provincia de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) (Color Rojo). Datos tomados de INEGI, 2019.

Esta subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac se encuentra dividido en nueve sistemas de geoformas, **Tabla 1.4.1** (Fuentes Menes, 2011):

- I. Sierra volcánica con estrato volcanes. Distribuida en la parte sur de la Ciudad de México, en la parte centro y oriente de la delegación Iztapalapa.
- II. Sierra volcánica de laderas escarpadas. Se encuentra en las delegaciones Cuajimalpa de Morelos, La Magdalena Contreras, y el sur de la delegación Álvaro Obregón.
- III. Sierra escudo Volcán. Se encuentra en la parte norte de la Ciudad de México.
- IV. Lomerío. Se localiza en la parte norte de la Ciudad de México, representa menos del 1% del territorio de la Ciudad de México.
- V. Lomerío con cañadas. Abarca las Alcaldías Miguel Hidalgo, Cuajimalpa de Morelos y Álvaro Obregón.
- VI. Meseta Basáltica Malpaís. Se localiza en el centro y sureste de la Ciudad de México, comprende las Alcaldías Tlalpan, Xochimilco, Coyoacán, y una parte de Milpa Alta.
- VII. Llanura Aluvial. Es una Franja que va de noroeste a este, parte del norte y este de la Ciudad de México.
- VIII. Llanura Lacustre. Está ubicada en la parte centro, sur y noreste de la Ciudad de México.
- IX. Llanura Lacustre Salina. Se localiza al noreste de la Ciudad de México, al límite con el Estado de Hidalgo.

Tabla 1.4.1. Tabla donde se muestra la Provincia, subprovincia y Sistema de Geoformas a la que pertenecen. Tomada de Fuentes Menes, 2011.

Provincia	Subprovincia	Sistema de Geoformas
Faja Volcánica Trans-Mexicana	Lagos y Volcanes Anáhuac	Sierra volcánica con estrato volcanes
		Sierra volcánica de laderas escarpadas
		Sierra Escudo Volcán
		Lomerío
		Lomerío con cañadas
		Meseta Basáltica Malpaís
		Llanura Aluvial
		Llanura Lacustre
		Llanura Lacustre Salina

1.5 Hidrología

El acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México abarca de manera total a las Zonas Hidrológicas: I Xochimilco; II Churubusco; III Ciudad de México y, de manera parcial la Región Hidrológica VII Texcoco. La infraestructura hidráulica que se localiza en las zonas hidrológicas antes mencionadas está constituida por presas, ríos y canales. Las presas y los ríos se localizan principalmente en la zona poniente del área de estudio, mientras que los canales y ríos entubados se localizan en la porción central de la Ciudad de México (CONAGUA, 2015).

Xochimilco Zona I. Abarca las cuencas de los ríos que descienden de la Sierra de Chichinautzin, la cual presenta formaciones basálticas de gran permeabilidad. Los principales ríos de esta son San Gregorio, Santiago, San Lucas y San Buenaventura. Tiene una superficie aproximada de 522 km². Los principales canales que se encuentran dentro de esta zona son Cuemanco, Nacional, Bordo, Apatlaco, Chalco y de Garat, de los cuales únicamente Cuemanco y Apatlaco no se encuentran entubados.

Churubusco Zona II. Comprende las cuencas de los ríos Eslava, Magdalena, Barranca San Jerónimo, Barranca del Muerto, Tarango y Mixcoac. Los cauces de estos ríos son estables, esto debido a las características topográficas y morfológicas de los suelos, el régimen de la mayoría de estas corrientes es intermitente, sobre todo en su parte alta, ya que aguas abajo las descargas de aguas residuales las han convertido en corrientes perennes, principalmente los ríos Mixcoac, Magdalena y Eslava. Dentro de esta zona se encuentran las presas Texcalatlaco y Tarango (Mixcoac).

Ciudad de México Zona III. Esta consiste por las cuencas de los ríos Becerra, Tacubaya, Tecamachalco, San Joaquín, Tornillo, Hondo, Sordo, Barranca los Cuartos, Totolica, Chico de los Remedios, San Mateo Nopala, Barranca Tepaxtlaxco, Río de los Remedios, Tlanepantla y San Javier. Incluye gran parte del área urbanizada de la Ciudad de México y los ríos que bajan hacia ella desde el poniente de la subregión Valle de México. La gran mayoría de las corrientes son intermitentes, salvo los ríos Tacubaya, San Joaquín, Hondo y Tlanepantla los cuales tienen escurrimientos perennes. Las presas que se encuentran en esta zona son la de Madín, Los Cuartos, El Sordo, San Joaquín, Tecamachalco, Tacubaya y Becerra.

A finales de la década de los 50 del siglo XX, la Ciudad de México comenzó a enfrentar sobrepoblación, falta de servicios públicos, pérdidas de zonas de cultivo, y problemas de salubridad por el mal uso de los ríos y canales que corrían por la capital. Las autoridades se encargaron de realizar proyectos para combatir algunos de estos problemas, así fue como se decidió comenzar a entubar algunos ríos y cuerpos de agua de la Ciudad de México, que comenzaban a ser grandes focos de infección ya que la gente ponía sus desechos en muchos de ellos (El Universal, 2017).

En la década de los años 40, la Ciudad de México no contaba con una gran red de drenaje, generando grandes inundaciones en temporadas de lluvia, al ser esto una problemática recurrente, las autoridades planearon un sistema de drenaje y captación de agua funcional para la Ciudad de México. El “interceptor de Poniente del Valle de México” fue uno de los primero y más importantes proyectos desarrollados entre los años cincuenta y sesenta. Este partía del Río de la Magdalena en Villa Obregón hasta el Río de los Remedios en el Estado de México, formando parte de un sistema que captaba agua de lluvia y además recibía aguas negras de la zona poniente, recoge también las corrientes de doce ríos que desembocan en él (El Universal, 2017).

Para el servicio público del agua, se realizó una red hidráulica que abasteciera a la mayor parte de la población, la otra parte de la población tendrían que ser abastecidos por hidrante públicos o pipas de agua. Para disminuir el hundimiento de la ciudad y resolver las necesidades de una población en rápido crecimiento, se realizó un programa para el abastecimiento de agua potable desde afuera de la Ciudad de México. Los principales sistemas de abastecimiento que se construyeron fueron el de Chiconautla, Chimalhuacán-El Peñón y Tláhuac-Chalco. Catorce años después el 86% de la población de la Ciudad de México contaba con el servicio a domicilio, esto obligo a el gobierno a asegurarse que el agua estuviera libre de microbios y bacterias que pudieran afectar la salud (El Universal, 2017).

El proceso de entubamiento de los ríos fue de manera paulatina, trabajándose por secciones, iniciando en la década de los años 40 y concluyendo casi 50 años después. Estas obras generaron el saneamiento de muchas zonas urbanas, permitiendo que sobre ellos se construyeran amplias avenidas que a hoy día siguen siendo parte del nuevo sistema vial de la ciudad. El primer punto fue el Río Consulado y Calzada de Guadalupe, devinieron Churubusco, La Magdalena, San Ángel, Tequilazco, Barranca del Muerto, Mixcoac, La Piedad, Becerra, Tacubaya, San Joaquín y Miramontes. El Río Magdalena es el último considerado como vivo dentro de la Ciudad, cuenta con un cauce de 20 kilómetros cruzando por cinco alcaldías, actualmente registra grados de contaminación considerables propios del suelo por donde transita, al no contar con un sistema eficiente de captación de agua (El Universal, 2017). En la **Figura 1.5.1** se muestra la red de drenaje de la Ciudad de México

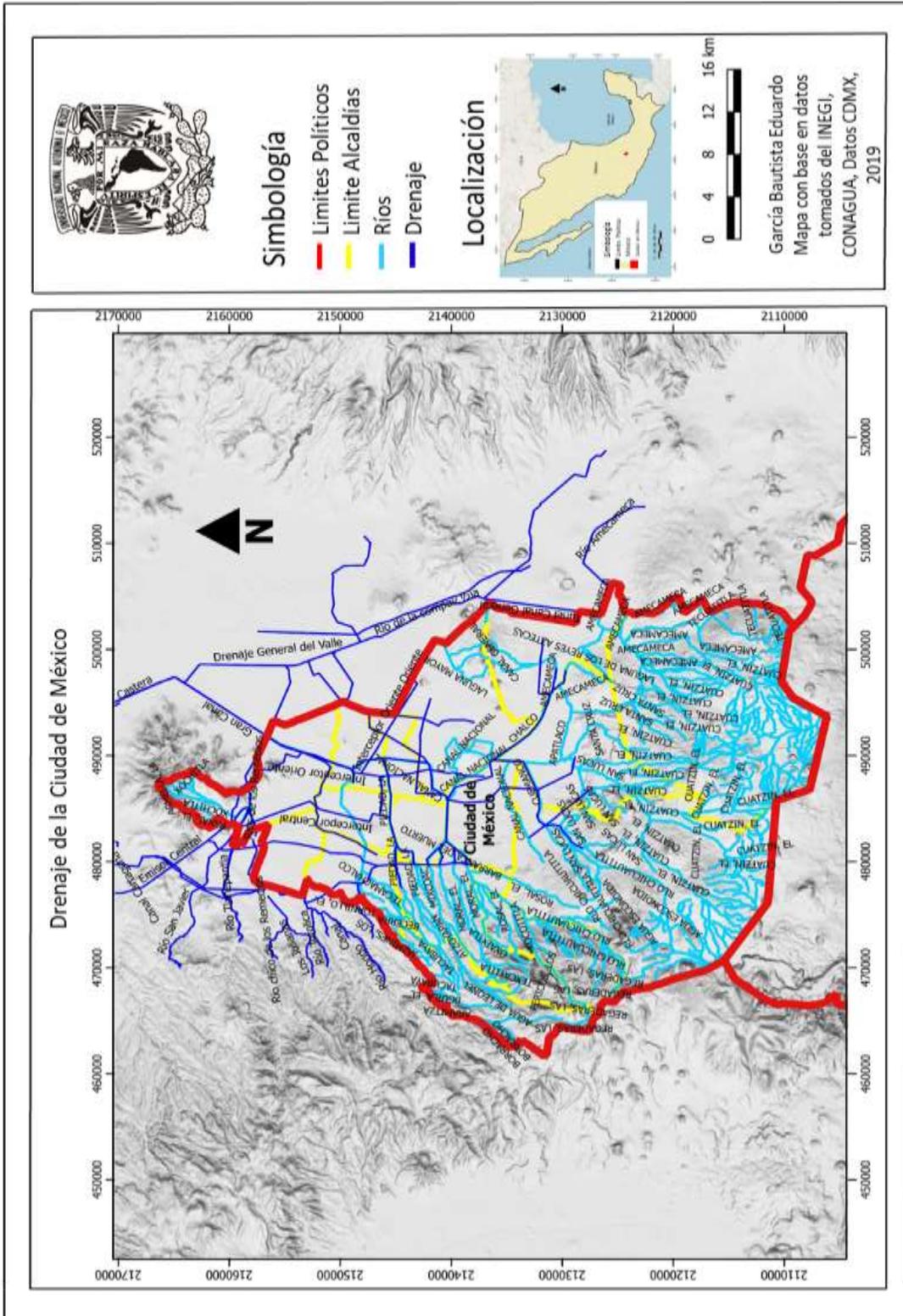


Figura 1.5.1. Mapa de los ríos entubados y no entubados que pasan por la Ciudad de México. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA, 2019.

En lo que respecta a la Alcaldía Miguel Hidalgo se encuentra dentro de la Región Hidrográfica (RH) Pánuco, en la Cuenca del Río Moctezuma, en la Subcuenca Lago de Texcoco y Zumpango y a su vez en las microcuencas de los ríos Tecamachalco, Dolores, Barrilaco, Tacubaya y Becerra. La cuenca es de tipo endorreica y tiene su parte más alta a una elevación de 2250 msnm situada en Lomas Altas. Las corrientes de agua de origen natural que drenan por la alcaldía se encuentran entubadas formando parte del drenaje de la Ciudad de México, siendo estas los ríos de la Piedad, Tacubaya, Becerra, Tecamachalco, Barrilaco y Dolores; existen además dos lagos artificiales en el Bosque de Chapultepec (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

La Alcaldía Miguel Hidalgo se ubica en la Cuenca hidrológica del Río Moctezuma y las corrientes de agua de origen natural que drenan por su interior se encuentran entubadas formando parte del drenaje de la ciudad, siendo estos los ríos de la Piedad, Tacubaya, Becerra y Tecamachalco. La alcaldía tiene como corrientes principales a los ríos de la Piedad y Consulado, ambos pertenecen a la subcuenca del lago de Texcoco-Zumpango y la cuenca del río Moctezuma. Estos ríos actualmente se encuentran entubados pasando sobre ellos vialidades del mismo nombre. Así mismo los cuerpos de agua más importantes corresponden a los lagos artificiales en el Bosque de Chapultepec, una presa ubicada aguas abajo del Panteón Civil de Dolores y otra presa ubicada en la Barranca de Tecamachalco. Al interior de la alcaldía se encuentran los ríos Dolores y Barrilaco, en el caso de las corrientes perennes que llevan flujo todo el año se encuentran los ríos Consulado, Tacubaya, Tecamachalco, San Joaquín y El Tornillo, los cuales se encuentran entubados en su totalidad, excepto el Río El Tornillo que sólo se encuentra entubado en una longitud aproximada de 1,200 m (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016) .

Los principales ríos que transitan por la Alcaldía Miguel Hidalgo son:

- El Río Tacubaya nace en las laderas del Cerro Cuajimalpa, tiene una dirección hacia el noroeste hasta unirse más adelante con el Río Becerra para después formar el Río de la Piedad. Su principal fuente de abastecimiento de agua son los manantiales de Santa Fe, a lo largo del Río Tacubaya se ha construido la presa con el mismo nombre. La cuenca de este afluente tiene una topografía accidentada, lo cual origina grandes escurrimientos (Fuentes Menes, 2011).
- El Río Becerra, al igual que el Río Tacubaya, nace en el Cerro Cuajimalpa, siguiendo una dirección hacia el noreste hasta unirse con el Río Tacubaya, y hacia zonas bajas al occidente formando el Río de la Piedad, cruza la ciudad hasta desembocar en el Lago de Texcoco. Cuenta con una cuenca muy impermeable, sobre él se construyó la Presa Becerra I y Becerra II, donde las principales fuentes de agua son las barrancas de Las Palmas, Tecolocalco, Ojalalpa y Tecolote (Fuentes Menes, 2011).
- El Río Mixcoac está ubicado en la parte central de la Alcaldía Álvaro Obregón, tiene una longitud de 7km y una superficie de 37 km². Nace en los límites con el Estado de México, en las laderas del Cerro de San Miguel, al oeste limita con la Cuenca del Río Borracho y la Barranca de Becerra, al este con las barrancas de Guadalupe y Tarango. Más adelante se desplaza hacia el norte casi hasta llegar al convento del Desierto de los Leones donde cambia de dirección hacia el noreste. Es alimentado por varios manantiales, su principal fuente de agua es la Barranca del Muerto. Posteriormente en la parte de Xoco, se une al Río

Magdalena para formar el Río Churubusco, donde se construyó la Presa y la Primera Represa Mixcoac (Fuentes Menes, 2011).

- El Río Tarango nace a la altura del pueblo de San Jerónimo a los 2670 msnm, se desplaza en dos cauces paralelos, el primero se ubica en Puente Colorado y el segundo en Puerta Grande, finalmente se juntan en la Presa Tarango, donde se deriva el colector Barranca del Muerto que se une al colector del Río Churubusco (Fuentes Menes, 2011).
- El Río Tequilazco nace en las laderas del Cerro Pahueyxiotl, limita al noroeste con la cuenca del Río Mixcoac y al este con la cuenca del Río Texcalatlaco, sigue una dirección hacia el noroeste hasta unirse con el Río Magdalena, a la altura de los Viveros de Coyoacán. A lo largo de su trayectoria capta con los manantiales de San Bartolo Ameyalco y los escurrimientos de Lomas de Axomiatla, Lomas de Guadalupe y Las Águilas, Sobre este río se construyeron las presas Tequilazco y La Mina, en donde se conecta el colector del Río San Ángel (Fuentes Menes, 2011).
- El Río Tetelpan nace en la unión de las calzadas del Desierto de los Leones y Olivar de los Padres, capta los escurrimientos de Tetelpan y el Olivar de los Padres, donde se construyó la Presa Olivar. Nace en las laderas del Cerro Campamentos, está limitado al sureste por las barrancas de Anzaldo, al norte y oeste por las barrancas de Guadalupe y Tetelpan. Tiene una dirección hacia el noreste y se une al Río Magdalena, en su cauce se construyó la Presa Texcalatlaco (Fuentes Menes, 2011).
- El Río Magdalena nace en la base del Cerro de la Palma, 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. Tienen una dirección hacia el noreste, sus principales afluentes son el Río Eslava y la Barranca de la Providencia o Tequilazco. Se une con el Río Mixcoac y forman el Río Churubusco, el cual desemboca en el Lago de Texcoco. Los principales manantiales que lo alimentan son el Hueyatla, Ventanas, La Rosa, y Pericos. Sobre el río se construyó la Presa Anzaldo y a lo largo de este corre el lindero entre las Alcaldías Álvaro Obregón y Magdalena Contreras (Fuentes Menes, 2011).

1.6 Hidrogeología

El acuífero de la zona sur de la Cuenca de México se divide en tres subsistemas de acuerdo con su ubicación y tipo de roca que lo conforman (Hidrología subterránea en el valle de México , 1992):

- 1) Zona metropolitana (incluye Xochimilco). Abarca toda la zona urbana de la capital, se encuentra constituido esencialmente por materiales granulares de permeabilidad media y baja, sus sitios de recarga se ubican básicamente en la Sierra de las Cruces y los alrededores de Tlalpan. Al oriente de la ciudad, a la altura del aeropuerto, existe un flujo subterráneo que corre en dirección este-oeste hacia la zona centro.

- 2) Valle de Chalco. Su esquema de flujo se ha independizado del resto del valle de la cuenca principal. La recarga se realiza por la infiltración del agua de lluvia en las estribaciones de las sierras de Santa Catarina, Chichinautzin y Nevada, que lo limitan al norte, sur y este, respectivamente. Las rocas que forman la sierras al norte y sur del valle corresponden principalmente a basaltos y materiales piroclásticos de alta permeabilidad, algunos presentan prolongaciones hacia el centro del valle intercaladas con aluviones. Al este se encuentran andesitas y materiales piroclásticos de permeabilidad media a baja, el flujo subterráneo se dirige de las elevaciones topográficas mayores hacia el Valle de Chalco.
- 3) Lago de Texcoco. Cuenta con una recarga procedente de la sierra ubicada al oriente de Chicoloapan de Juárez, la cual fluye en dirección al vaso del ex Lago de Texcoco. Los materiales que constituyen esta zona son de baja permeabilidad, se presenta un flujo subterráneo en dirección este-oeste.

En lo que respecta a la Alcaldía Miguel Hidalgo, el acuífero de esta jurisdicción se ubica en la zona geohidrológica II-A, la cual está constituida por la Formación Tarango, presenta espesores máximos de 200 metros en el poniente y hasta 500 m al oriente, donde es cubierto por un estrato de sedimentos finos de origen lacustre. Los pozos construidos en esta zona tienen profundidades variables de 175 m a 300 m, con niveles estáticos de 20 m a 100 m, presentan caudales de extracción de 20 a 80 l/s, y caudales específicos de 1 a 4 l/s por metro de abatimiento. Los pozos municipales se ubican hacia el norte y este de la alcaldía y los pozos particulares generalmente se ubican en la zona industrial para el uso de la misma (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

1.7 Clima

Debido a las características topográficas existente dentro de la Región Hidrológica XIII de la Cuenca de México, se encuentra una gran diversidad de climas. Predomina el clima templado o mesotérmico. Los climas templados se concentran en los valles altos de la parte noroeste del Estado de México, así como en el centro y este de la subregión Valle de México, sigue en importancia los climas secos y semisecos que predominan principalmente en la porción centro-norte del Estado de México.

La mayor parte de la Ciudad de México cuenta con un clima templado subhúmedo, siendo este el 87%, en el resto se encuentra clima seco y semiseco con un 7 % y con un 6% un clima templado húmedo (**Figura 1.7.1.**). La temperatura media anual es de 16°C, la temperatura más alta es de 25°C presentándose en los meses de marzo a mayo, y la temperatura más baja es de 5°C en el mes de enero. La precipitación total anual de la Ciudad de México es variable, en la región seca es de 600 mm y en la parte templada húmeda es de 1200 mm anuales (INEGI, 2008).

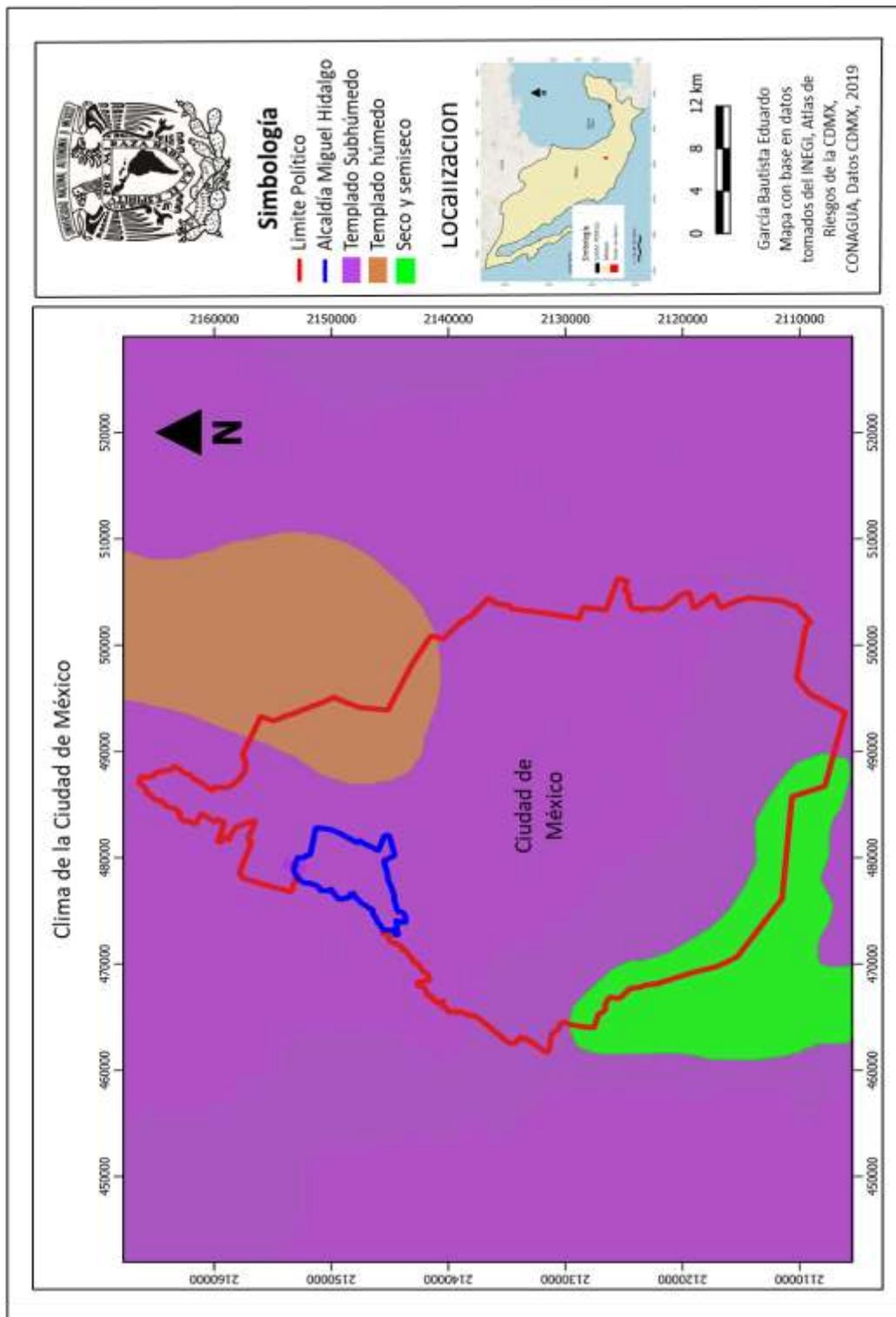


Figura 1.7.1. Clima de la Ciudad de México. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA, 2019.

Un evento/fenómeno importante que ha sufrido la Ciudad de México, es el cambio climático local, el cual incluye fuertes ondas de calor producto del aumento de la temperatura (**Figura 1.7.2**). Así como el aumento de las lluvias con mayor intensidad. La presencia del pavimento transforma el aire y la precipitación de la ciudad, cuando el viento se va haciendo más tibio el calor se comienza a concentrar y las nubes van a la parte alta de la tropósfera ocasionando tormentas extremas. La desaparición de los lagos y de la vegetación de la Ciudad de México ha causado un aumento en la temperatura y en la intensidad pluvial (SACMEX, 2017).

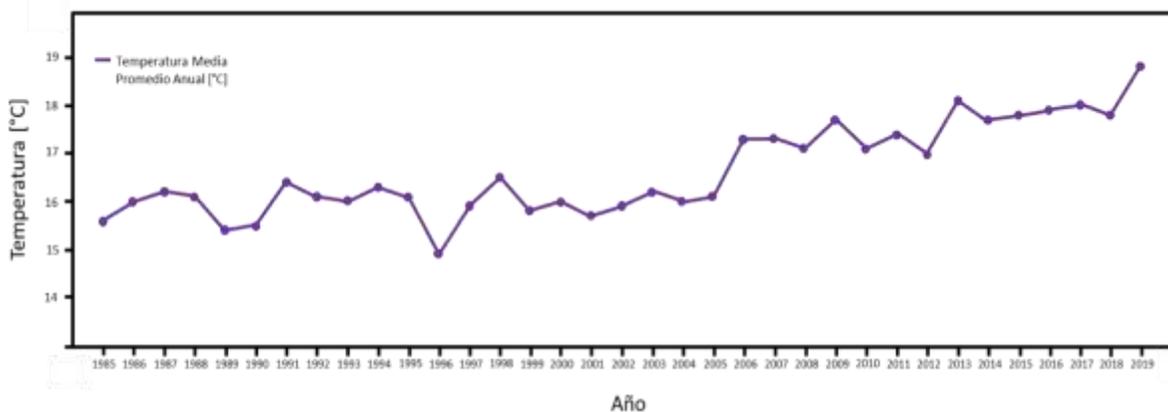


Figura 1.7.2. Temperatura Media Promedio Anual del periodo 1985-2019. Datos tomados de CONAGUA. Fecha de la consulta 02 de marzo de 2020.

El régimen pluvial que se presenta en las zonas con clima Templado Subhúmedo es de entre 500 y 600 mm. La mayor precipitación pluvial se registra en el mes de junio con un valor que oscila entre 100 y 110 mm y la mínima en febrero y diciembre, con valores menores a 5 mm.

Hoy en día las lluvias que consideramos atípicas no lo son, como se muestra en la **Figura 1.7.3**, se presentan en el mismo periodo: mayo, junio y julio. Las lluvias disminuyen su periodo durante el periodo más caluroso del año, y aunque año con año su intensidad es más variable como se observa en la **Figura 1.7.4**, no están fuera de lo común (SACMEX, 2017).

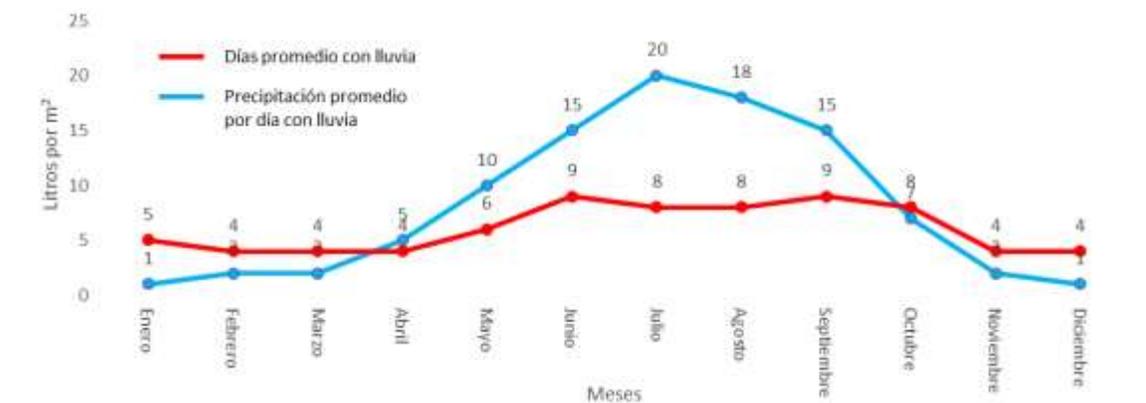


Figura 1.7.3. Promedio de días con lluvias al mes de la Ciudad de México. Tomada de SACMEX 2017.

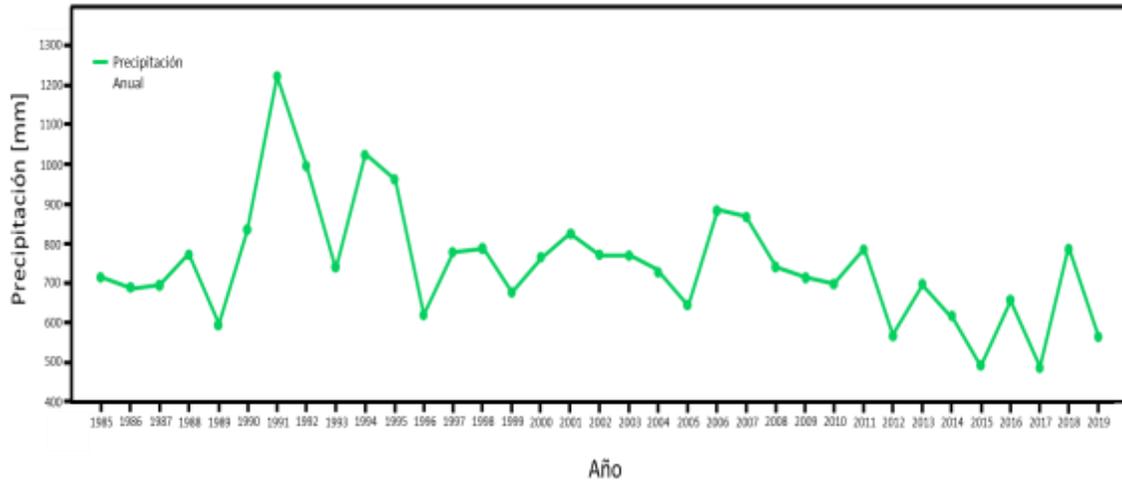


Figura 1.7.4. Precipitación Anual en la Ciudad de México del periodo de 1985-2019. Con base a datos tomados de Conagua, 2020. Fecha de la consulta 02 de marzo de 2020.

La Alcaldía Miguel Hidalgo, se caracteriza por tener un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw), como se observa en la **Tabla 1.6.1** y en el **Figura 1.7.5**. Tomando en consideración la estación climatológica 0000910 COLONIA AMÉRICA y de acuerdo con los datos de las normas climatológicas del periodo 1981-210 (NOM-81-10), presenta una precipitación media anual de 900 mm (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

Tabla 1.6.1. Clima de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

Clima de la Alcaldía Miguel Hidalgo		
C (w) Templado subhúmedo con lluvias en verano		
Temperatura media: 15.4 °C		Precipitación anual: 769.2 mm (Estación Tacubaya 09-049)
C (w₁) Templado subhúmedo: Temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C, subhúmedo, precipitación anual entre 200 a 1800 mm y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano del 5% al 10.2 % anual. Este clima se presenta en 79.97% del territorio de la Alcaldía.	C (w₂) Templado subhúmedo: Temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C temperatura del mes más caliente bajo 22°C, precipitación anual entre 200 a 1800 mm y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano del 5% al 10.2 % anual. Este clima se presenta al sur-poniente con aproximadamente 17.67% del territorio de la Alcaldía.	C (w₀) Temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C temperatura del mes más caliente bajo 22°C, precipitación anual entre 200 a 1800 mm y precipitación en el mes más seco menor a 40 mm, lluvias en verano del 5% al 10.2% anual. Este clima se presenta hacia el nor-orientes con aproximadamente 6.39% del territorio de la Alcaldía.

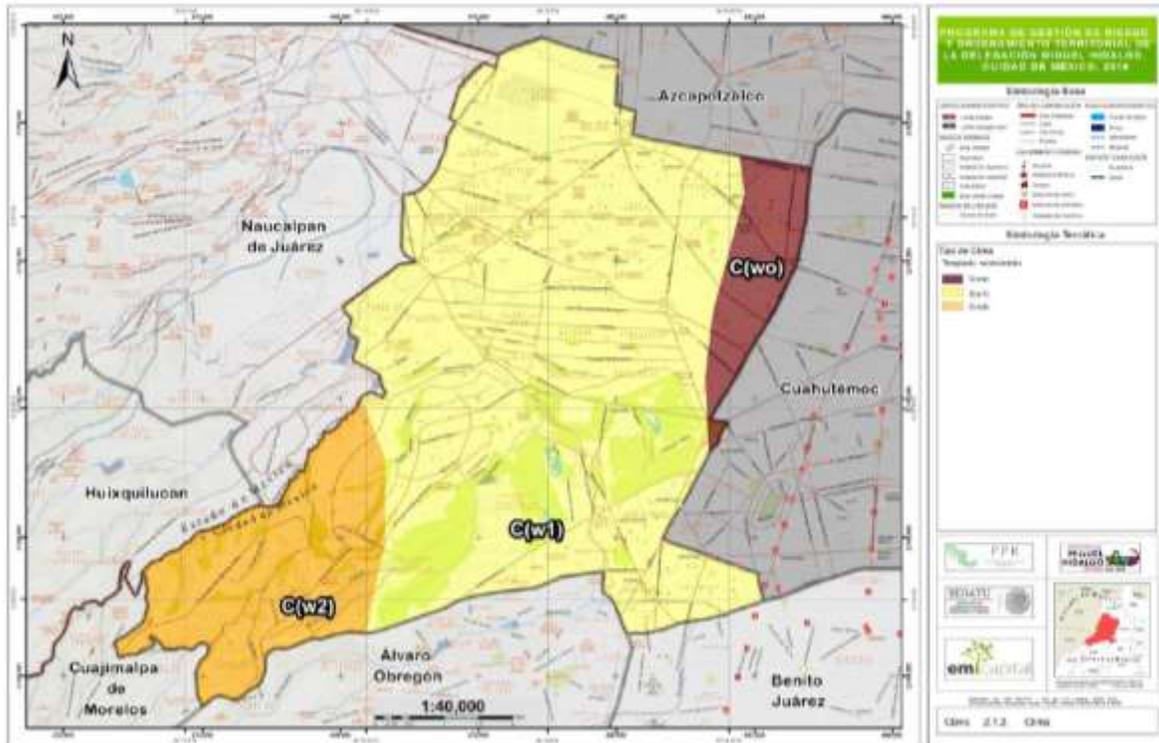


Figura 1.7.5. Mapa de climas de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Tomado del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

Las colonias que se encuentran dentro de la superficie **C (w₂)** son Lomas de Bezares, Real de Lomas, Plan de Barrancas, Lomas de Reforma y Bosques de las Lomas que corresponden todas a las zonas de las barrancas al suroeste de la alcaldía, la superficie que cubre este tipo de clima es de 819 hectáreas. El clima **C (w₁)** cubre 3521 hectáreas del territorio de la alcaldía y corresponden al centro y noroeste de la misma, donde se encuentran sitios como las tres secciones del Bosque de Chapultepec, los panteones Dolores, Francés de San Joaquín y la Ex refinería 18 de marzo, además de la mayoría de las colonias de la alcaldía. Finalmente, el clima **C (w₀)** se encuentra en la parte noreste de la Alcaldía Miguel Hidalgo, en colindancia con la Alcaldía Cuahuhtémoc y Azcapotzalco. Las colonias que se ubican en esta zona son Verónica Anzures, Santo Tomás, Un Hogar Para Todos y una parte de la colonia Nextitla cubriendo tan solo 296 hectáreas de la alcaldía (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

1.8 Vegetación y suelo

El cambio de uso de suelo y vegetación, o en general el cambio de tipos de cobertura del terreno es, en mayor medida, consecuencia de la interacción de las actividades humanas con el medio natural. Dichos cambios indican el impacto de las actividades económicas y el desarrollo de las comunidades humanas sobre el territorio y sus recursos, permiten identificar problemas relativos a la sustentabilidad de las actividades humanas.

La identificación espacial y cuantificación de los cambios contribuyen a la caracterización del territorio y a la ubicación de áreas de atención prioritarias, así como al establecimiento de políticas correctivas y a la formulación de planes de acción respectivos para el mejor manejo de los recursos. Este indicador, y la información estadística y cartográfica resultante de su obtención son útiles en la identificación de otros indicadores derivados directamente de la agregación de los datos. (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

Tabla 1.8.1. Insumos para la elaboración de los indicadores de cambios de uso de suelo y vegetación. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

Serie	Año de elaboración
Cartografía del uso de suelo y vegetación editada por el INEGI (1978-1982, Serie I), escala 1:250,000	Entre 1979 y 1991
Cartografía del uso de suelo y vegetación del INEGI (2009, Serie III), escala 1:250,000	Entre 2002 y 2005
Cartografía del uso de suelo y vegetación del INEGI (2013, Serie V), escala 1:250,000	Entre 2011 y 2013

Con una sobreposición de las fuentes cartográficas corregidas digitalmente t_1 , t_2 y t_3 , se genera cartografía confiable que muestra la magnitud y distribución espacial de la compleja dinámica del cambio de uso de suelo en toda la República Mexicana. Para este análisis se verificó la compatibilidad de las leyendas, **Tabla 1.8.1**, y se realizó la correspondencia entre las series I, III y V de cartografía del uso de suelo de INEGI, considerando los usos de suelo para la Alcaldía Miguel Hidalgo. Para ello se llevó a cabo la revisión de las Guías de Interpretación de Cartografía de Uso de Suelo y Vegetación Series III y V. La compatibilidad de las leyendas se realizó de acuerdo con las definiciones y características de cada tipo de cobertura del terreno en cada una de las guías consultadas (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016), quedando las definiciones de la siguiente manera:

Zona urbana: Zona no considerada como parte de la cobertura vegetal, de tal manera que se le identifica como información complementaria.

Serie I.

- Zona urbana: información complementaria, no forma parte de la vegetación
- Pastizal inducido con erosión
- Pastizal inducido: tipo de vegetación/agrupaciones vegetales
- Bosque cultivado Plantación Forestal: tipo de agro-ecosistema-plantación forestal

Serie III.

- Zona urbana: información complementaria, no forma parte de la vegetación.
- Pastizal inducido con erosión: tipo de vegetación que aparece como consecuencia del desmontaje de cualquier tipo de vegetación, por lo que corresponde a una fase de sucesión normal de comunidades vegetales, en la cual, el clímax a menudo es un bosque o matorral.
- Pastizal inducido: tipo de vegetación inducida como consecuencia de la interrupción del proceso natural de la sucesión vegetal.
- Vegetación inducida: se considera en esta agrupación a las comunidades vegetales que son favorecidas al interrumpirse el proceso natural de sucesión vegetal debido principalmente a las actividades humanas o bien a factores que favorecen su aparición.
- Bosque cultivado plantación forestal permanente: agro-ecosistema cuyo tipo de plantación es de especies arbustivas o arbóreas y en el suelo se inserta una plántula y no una semilla. Así mismo se considera permanente ya que su ciclo vegetativo es mayor a 6 años y la ocupación del terreno para cultivo es mayor a cinco años.

Serie V.

- Zona urbana: información complementaria, no forma parte de la vegetación.
- Vegetación secundaria: tipo de vegetación eliminado o alterado por diversos factores humanos o naturales, el resultado es una comunidad vegetal significativamente diferente a la original y con estructura y composición florística heterogénea.
- Pastizal inducido: tipo de vegetación inducida como consecuencia de la interrupción del proceso natural de la sucesión vegetal.
- Bosque cultivado: se establece mediante la plantación de diferentes especies arboladas realizadas por el hombre sobre todo en aquellas áreas que presentan una perturbación debido a las actividades humanas. Generalmente cumplen un fin productivo que puede ser ornamentales, recreativos, de reforestación y prevención de erosión.

De acuerdo a lo anterior, los pastizales inducidos son considerados como un tipo de vegetación secundaria causada por la remoción de la cobertura vegetal natural (vegetación primaria), por lo que se ve interrumpido el proceso de sucesión.

Respecto a los bosques cultivados se les considera como agro-ecosistemas ya que son plantaciones hechas por el hombre, las cuales ocupan el terreno dispuesto por un tiempo mayor a cinco años y tienen un fin productivo.

La homologación se indica en la **Tabla 1.8.2**, la cual es utilizada para el análisis de tipo de cambios de cobertura de la tierra.

Tabla 1.8.2. Compatibilidad de Leyendas. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

Serie I (1991)	Serie III (2005)
Zona urbana	Zona urbana
Pastizal inducido con erosión	Pastizal inducido
Pastizal inducido	Pastizal inducido
Bosque cultivado plantación forestal	Bosque cultivado forestal permanente
Serie I (1991)	Serie V (2013)
Zona urbana	Zona urbana
Pastizal inducido con erosión	Pastizal inducido
Bosque cultivado plantación forestal	Bosque cultivado
Serie III (2005)	Serie V (2013)
Zona urbana	Zona urbana
Pastizal inducido	Pastizal inducido
Bosque cultivado plantación forestal permanente	Bosque cultivado

Serie I (t₁). En la década de los años ochenta, la Alcaldía Miguel Hidalgo ostentaba cuatro tipos de uso de suelo según lo establecido en la Serie I de INEGI, los cuales son Bosque cultivado plantación forestal, Pastizal inducido, Pastizal inducido con erosión natural y Zona urbana. Para la década de los ochenta la categoría de pastizal inducido al noreste de la alcaldía contemplaba la zona de la Ex refinería 18 de marzo, los panteones Español, el Francés San Joaquín y Sanctorum, y la zona de Lomas de Sotelo donde se ubica el Hipódromo de las Américas. Hacia el sur como pastizal inducido, pastizal inducido con erosión natural y bosque cultivado con plantación forestal, que es parte de las colonias de Lomas de Bezares y Bosque de las Lomas. La mayor parte de Bosque cultivado plantación forestal corresponde al Bosque de Chapultepec en sus tres secciones y al Panteón de Dolores al sureste de la alcaldía, que colinda con las industrias Militares de SEDENA. En la **Tabla 1.8.3** se muestra la cobertura del terreno del uso de suelo y vegetación (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

Tabla 1.8.3. Uso de suelo y vegetación de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

Cobertura del terreno	Área [ha]	Porcentaje [%]
Zona urbana	3652	78.79
Pastizal inducido con erosión	1	0.02
Pastizal inducido	348	7.51
Bosque cultivado plantación forestal	634	13.68
TOTAL	4635	100

Serie III (t₂). Para el 2009 la alcaldía Miguel Hidalgo tuvo cambios en la composición de la cobertura del terreno respecto a t₁ (1978-1982). En 2009 ya no hay presencia de pastizal inducido en la alcaldía, sólo hay dos tipos de cobertura de la tierra que son Zona urbana y Bosque cultivado plantación forestal permanente (**Tabla 1.8.4**).

Las zonas con cobertura de Bosque cultivado corresponden a la primera y segunda sección del Bosque de Chapultepec, a los panteones Sanctorum, Panteón Francés de San Joaquín, Panteón de Dolores y al Jardín de la República de Líbano, el resto de la alcaldía ésta catalogada como cobertura urbana e incluye a la tercera sección del Bosque de Chapultepec y a las colonias del sur que en t₁ poseían una cobertura vegetal y no urbana a diferencia de t₂ donde ya forma parte de la cobertura urbana (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

Tabla 1.8.4. Hectáreas de cobertura de la tierra. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

Cobertura del terreno	Área [ha]	Porcentaje [%]
Zona urbana	3948	85.16
Bosque cultivado plantación forestal permanente	688	14.84
TOTAL	4636	100

Serie V (t₃). En el 2013, los tipos de coberturas del terreno de la Alcaldía Miguel Hidalgo son Bosque cultivado y Zona urbana, de igual manera la primera y segunda sección del Bosque de Chapultepec, el Jardín de la República de Líbano, los panteones de Dolores, Francés de San Joaquín y Sanctorum son las zonas con cobertura de Bosque cultivado, mientras que el resto de la alcaldía posee el tipo de Zona urbana. La zona urbana para 2013 cubre el 85.16% del territorio según la Serie V de cartografía de uso de suelo y vegetación para la alcaldía Miguel Hidalgo (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial (delegación Miguel Hidalgo), 2016).

Como se aprecia en la **Tabla 1.8.5**, los árboles que se pueden encontrar con más frecuencia en la Alcaldía Miguel Hidalgo son el fresno, cedro blanco, trueno, olmo chino y eucalipto rojo, reportando un total de reportan 49 especies. (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

Tabla 1.8.5. Especies de árboles comunes en la alcaldía Miguel Hidalgo. Tomada del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

Flora	
Nombre Común	Especie
Fresno	Fraxinus uhdei
Cedro Blanco	Crupressus lusitanica
Trueno	Ligustrum lucidum
Olmo Chino	Ulmus parvifolia
Eucalipto Rojo	Eucalyptus camaldulensis

Pino de Monterrey	<i>Pinus radiata</i>
Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>
Liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>
Aguacate	<i>Persea americana</i>
Colorín	<i>Erythrina coralloides</i>
Palma Canaria	<i>Phoenix canariensis</i>
Siete Dedos	<i>Schefflera digiata</i>
Aile	<i>Alnus acuminata ssp. arguta</i>
Pirul	<i>Schinus molle</i>
Aralia Arborícola	<i>Schefflera arboricola</i>
Mora	<i>Morus nigra</i>
Dracena	<i>Dracaena sp.</i>
Naranja de Luisiana	<i>Maclura pomifera</i>
Sauce Llorón	<i>Salix babylonica</i>
Acacia Plateada	<i>Acacia retinodes</i>
Jaboncillo	<i>Clethra mexicana</i>
Eucalipto	<i>Eucalyptus robusta</i>
Astronómica	<i>Lagerstroemia indica</i>
Palma Datilera	<i>Phoenix dactylifera</i>
Retama	<i>Senna septemtrionalis</i>
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>
Ayacahuite	<i>Pinus ayacahuite</i>
Chopo	<i>Populus deltoides</i>
Cedro Blanco	<i>Cupressus benthamii</i>
Garra de León	<i>Oreopanax xalapensis</i>
Ricino, Hilguerilla	<i>Yucca filifera</i>
Laurel de la India	<i>Ficus benjamina</i>
Roble australiano	<i>Grevillea robusta</i>
Castaño	<i>Quercus castanea</i>
Mora	<i>Morus celtidifolia</i>
Acacia Negra	<i>Acacia melanoxylon</i>
Ahuehuate	<i>Taxodium mucronatum</i>
Tepozán	<i>Buddleia cordata ssp. cordata</i>
Pimiento Brasileño	<i>Schinus terebinthifolius</i>
Eucalipto Alcanfor	<i>Eucalyptus globulus</i>
Almez	<i>Celtis occidentalis</i>
Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>
Capulín	<i>Prunus serótina ssp. capulli</i>
Retama de tierra caliente	<i>Senna mulglandulosa</i>
Araucaria	<i>Araucaria heterophylla</i>
Duranta	<i>Duranta repens</i>
Laurel de la India	<i>Ficus microcarpa</i>
Gomero Rojo	<i>Eucalyptus tereticornis</i>
Fito laca	<i>Phytolacca dioica</i>

2. Geología de la Cuenca de México y de la Ciudad de México

Marco Geológico de la Cuenca de México.

La Cuenca de México es una entidad geomorfológica endorreica que se localiza en la franja meridional del Altiplano Mexicano en la porción centro-oriental de la Faja Volcánica TransMexicana (FVTM) (Gómez-Tuena et al., 2005; Ferrari et al., 2012), concentrando prácticamente la totalidad del área metropolitana de la Ciudad de México. Cuenta con una superficie aproximada de 9,540 km², la planicie central está a una altura promedio de 2,240 msnm (Lugo-Hubp et al., 1994; de Cserna et al., 1988; Enciso-De la Vega, 1992). La Cuenca Endorreica de México (CEM) incluye una extensa planicie lacustre que está delimitada por cuatro sierras de origen volcánico: la Sierra Chichinautzin al sur, la Sierra de la Cruces al poniente, la Sierra Nevada al oriente y la Sierra de Pachuca y Tezontlalpan al norte (de Cserna et al., 1988; Enciso-De la Vega, 1992; García-Palomo et al., 2002, 2008; Zamorano-Orozco et al., 2002; Siebe et al. 2004; Macias et al., 2012). La CEM también alberga algunos conjuntos volcánicos de diversas dimensiones como la Sierra de Guadalupe y la Sierra de Santa Catarina (de Cserna et al., 1988; Lugo-Hubp et al., 1994; Zamorano-Orozco et al., 2002; García-Palomo et al., 2008). Se considera que la CEM; es una depresión profunda con basamento Cretácico que se originó en respuesta a la actividad magmática y tectónica de la región y los materiales que rellenan son predominantemente volcánicos (Siebe et al., 2004; García-Palomo et al., 2008).

Algunas características de las sierras de origen volcánico que delimitan a la Cuenca de México son las siguientes: la Sierra de las Cruces (limite occidental, **Figura 2.1.1**) tiene una longitud de 110 km y un ancho variable entre 47 km en su parte norte y 27 km en su parte sur (García-Palomo et al., 2008; Arce et al., 2008), sus edades varían entre 3.7 y 0.7 Ma por lo que es la sierra más antigua en la Cuenca de México (González- Torrez et al., 2015). En el Campo Volcánico Chichinautzin (limite meridional, **Figura 2.1.1**), las edades más antiguas varían entre 1.2 y 0.9 Ma en su porción oeste y sur, y son menores de 0.004 Ma en su mayor parte (Siebe et al., 2004 Arce et al., 2013). La Sierra Nevada (limite oriental, **Figura 2.1.1**) tienen una longitud de 45 km y una altura máxima de 5,454 m en el volcán Popocatepetl (Macias et al., 2012); sus edades varían de 1.8 Ma al actual (Macias et al., 2012).

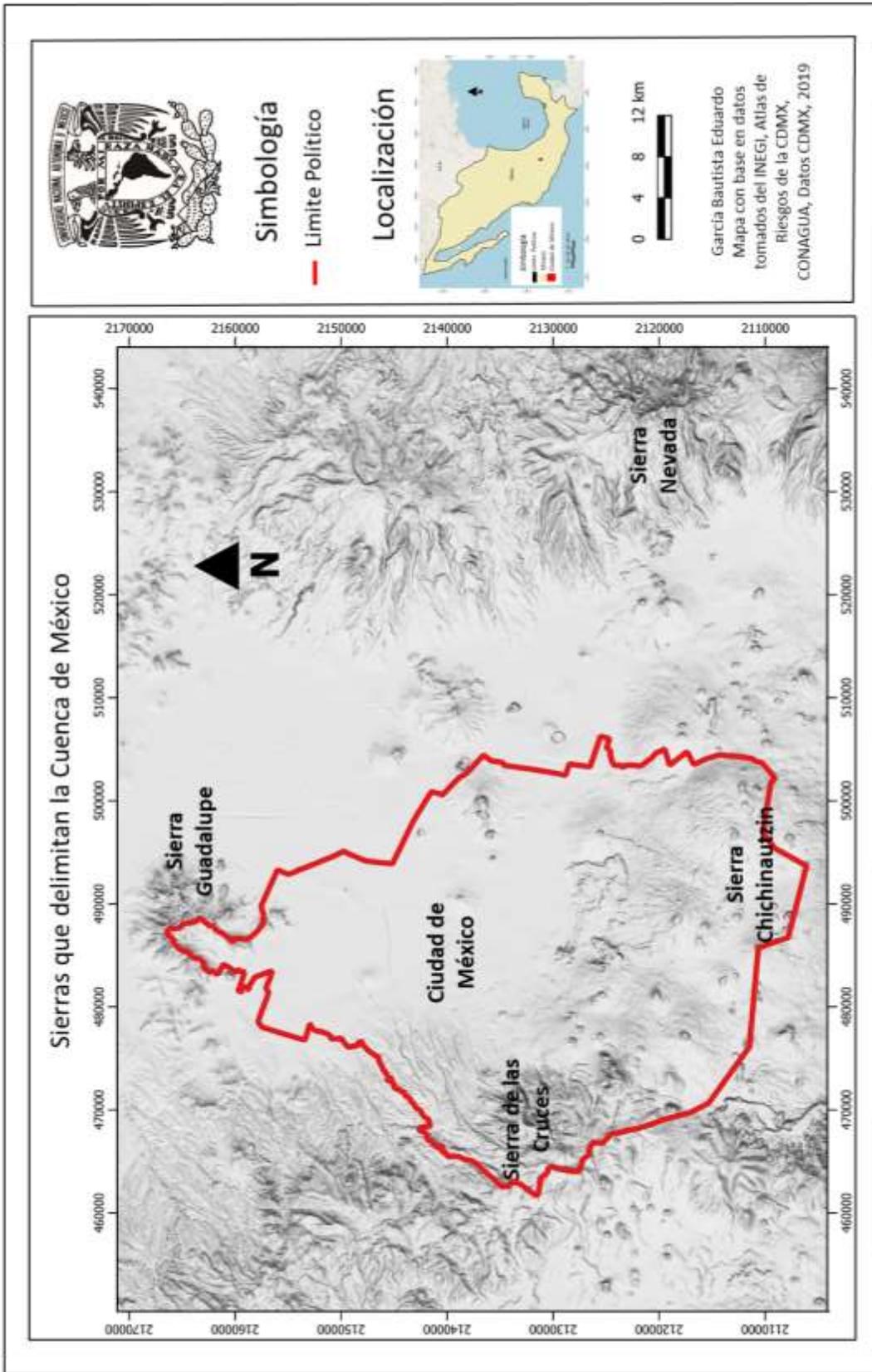


Figura 2.1.1.1. Mapa de las Sierras que delimitan la Cuenca de México. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, 2019.

2.1 Origen de la Cuenca de México

Para comprender el origen y la evolución geológica de la Cuenca de México es importante conocer el contexto tectonoestratigráfico regional del que forma parte.

Evolución geológica de la Faja Volcánica Transmexicana

La formación de la FVTM ocurrió durante el Mioceno Medio y tardío, como resultado de la rotación antihoraria del arco que formó la Sierra Madre Occidental (Ferrari et al 1999). De manera sintética la historia geológica de la FVTM se puede dividir en cuatro episodios principales: 1) la instauración de un arco de composición intermedia en el Mioceno medio y Tardío, 2) un episodio máfico del Mioceno Tardío, 3) posteriormente un episodio silíceo de finales de Mioceno que llega a ser bimodal en el Plioceno temprano, y 4) la reinstauración de un arco con gran variabilidad composicional a partir del Plioceno Tardío (Gómez-Tuena et al., 2005).

1. Arco del Mioceno Medio y Tardío.

El inicio de la actividad volcánica en la FVTM se remonta al Mioceno Medio, cuando un arco con orientación aproximada E-W se emplaza en el centro de México, entre la longitud de Morelia-Querétaro y las costas del Golfo de México. Los vestigios de esta actividad inicial se encuentran en proximidad con el frente volcánico actual del sector central de la FVTM: en los complejos volcánicos de la Sierra de Mil Cumbres y la Sierra de Angangueo en Michoacán (Pascuaré et al., 1991; Capra et al., 1997), en el área de Tenancingo y Malinalco en el Estado de México, y en las rocas de la parte más profunda del relleno de la Cuenca de la Ciudad de México (Ferrari et al., 2003).

Posteriormente el vulcanismo se aleja de la trinchera formando estratovolcanes y conos de lava con edades que varían entre ~13 y 10 Ma. Entre éstos se encuentran el grupo de estratovolcanes Palo Huérfano, La Joya y Zamorano en Querétaro-Guanajuato (Carrasco-Núñez et al., 1989; Pérez-Venzor et al 1996; Valdez-Moreno et al., 1998; Verma y Carrasco-Núñez, 2003), el volcán Cerro Grande en Puebla (Carrasco-Núñez et al., 1997; Gómez-Tuena y Carrasco-Núñez, 2000), la Sierra de Guadalupe y varios centros volcánicos al noroeste de la Ciudad de México (Jacobo Albarrán , 1986), así como el campo volcánico de Apan (**Figura 2.1.2a**) (García-Palomo et al., 2002).

2. Episodio máfico del Mioceno Tardío

El vulcanismo de arco relativamente normal que se desarrolló durante el Mioceno Medio fue interrumpido en el Mioceno Tardío; cuando un extenso episodio de vulcanismo máfico se emplaza de costa a costa, desde Nayarit hasta Veracruz, inmediatamente al norte del arco precedente, con edades que se vuelven progresivamente más jóvenes de oeste a este (**Figura 2.1.2b**) (Ferrari et al., 2000; Ferrari et al., 2004; Ferrari et al. 2005). El vulcanismo máfico del Mioceno Superior que se emplazó desde el Golfo de California hasta el este del estado de Hidalgo (Pathé); tiene las características geoquímicas típicas de la subducción, aunque su composición es ligeramente variable. En cambio, el vulcanismo de la parte oriental de Hidalgo y norte de Veracruz (Tlanchinol, Tantima, Álamo y buena parte de las mesetas de Palma Sola presentan características de vulcanismo tipo intraplaca (Orozco-Esquivel et al., 2003).

3. Vulcanismo silíceo del final del Mioceno y vulcanismo bimodal del Plioceno temprano.

Después del episodio de magmatismo máfico, la actividad magmática decrece significativamente y se vuelve más diferenciado. Hacia el final del Mioceno Superior y durante el Plioceno Temprano se emplazaron complejos de domos dacíticos y riolíticos, así como grandes volúmenes de ignimbritas emitidas por calderas regionales, formando una franja distribuida al sur de las rocas producidas en el episodio máfico anterior (**Figura 2.1.2c**). Grandes volúmenes de coladas riolíticas e ignimbritas se emplazaron entre Santa María del Oro y Plan de Barrancas [Grupo Jala (Ferrari et al., 2000)], en la parte oeste de la FVTM; mientras que entre la Presa de Santa Rosa y San Cristóbal, al norte de Guadalajara [Grupo Guadalajara (Ferrari et al., 2000; Rossotti et al., 2002)], dominan los complejos de domos exógenos y algunos flujos piroclásticos con edades comprendidas entre 7.5 y ~3 Ma (Gilbert et al., 1985; Rossotti et al., 2002; Ferrari et al., 2003; Frey et al. 2004), representando el único vestigio de actividad volcánica en la parte oeste de la FVTM hasta los ~5 Ma. (Ferrari et al., 2001) estimaron un volumen de ~930 Km³ para este episodio volcánico.

4. Arco del Plioceno Tardío-Cuaternario

En casi toda la FVTM el vulcanismo silíceo y bimodal se ve reemplazado por un arco volcánico de composición predominantemente andesítico-basáltica que comienza a desarrollarse a partir del límite del Plioceno Temprano y el Plioceno Tardío (**Figura 2.1.2d**). En la porción occidental de la FVTM, las lavas con características intraplaca siguen emplazándose a partir de 3.6 Ma, pero también existen lavas con características más típicas de subducción en la parte noroccidental del arco (Richter et al., 1995; Ferrari et al., 2000).

Durante el Cuaternario se construyen los principales estratovolcanes de la FVTM occidental. El complejo volcánico de Colima emplazado en la terminación meridional del rift homónimo, representa el mayor volumen de material volcánico emplazado en la región (Robin et al., 1987). El resto de los estratovolcanes tiene volúmenes menores a los 100 km³ y se alinean a lo largo de fallas regionales de orientación WNW-ESE que definen la frontera norte del bloque de Jalisco. El bloque de Jalisco es un cuerpo batolítico de edad Cretácica que aparentemente se levantó durante el Paleógeno (Rosas-Elguera et al., 1996).

Hacia la porción central de la FVTM, el Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato cubre una extensa región entre la Laguna de Chapala y el estado de Querétaro. Este campo volcánico incluye más de 1,000 conos monogenéticos y en menor medida domos de composición intermedia a silíceo (Hasenaka & Carmichael, 1985). El campo también cuenta con más de 400 centros poligenéticos, principalmente volcanes escudo de dimensiones modestas (Hasenaka, 1994). El único estratovolcán es el Cerro Tancítaro que ha sido fechado en ~0.5 Ma (Ban et al., 1992).

Al oriente del campo Michoacán-Guanajuato el vulcanismo se vuelve menos continuo y ligeramente más evolucionado. En la región de Maravatío-Zitácuaro-Valle de Bravo, los conos monogenéticos del Pleistoceno Medio al Holoceno se encuentran generalmente alineados a lo largo de estructuras regionales (Capra et al., 1997; Blatter, 2001) y algunos conjuntos de domos dacíticos de edad Cuaternaria se emplazaron en la periferia de la Caldera de Los Azufres y en la Caldera de Zitácuaro (Ferrari et al., 1991; Capra et al., 1997).

Excluyendo a los basaltos alcalinos de la región de Palma Sola y a la secuencia bimodal de Pachuca-Tlanchinol, el vulcanismo de la porción oriental de la FVTM experimenta un hiato que cubre el final del Mioceno y todo el Plioceno Temprano. El vulcanismo se reestablece a los ~3.7 Ma con el emplazamiento de diferentes centros poligenéticos alineados NNW-SSE, formando la Sierra de las Cruces, al occidente de la Ciudad de México (Mora-Álvarez et al., 1991 et al., Osete, 2000) y algunos centros poligenéticos medianos del Campo Volcánico Apan, ubicado al norte de la CEM (García-Palomo et al., 2002). La mayor parte del vulcanismo del sector oriental de la FVTM se desarrolla durante el Cuaternario. El vulcanismo máfico se concentra en los conos monogenéticos de los campos de la Sierra de Chichinautzin (Martín-Del Pozzo, 1982; Márquez et al., 1999; Siebe et al., 2004) y Apan (García-Palomo et al., 2002); y en la región del Pico de Orizaba y Cofre de Perote (Siebert y Carrasco-Núñez, 2002). Los productos más evolucionados se encuentran en las calderas de Aocolco (Verma, 2001), Los Humeros (Ferriz y Mahood, 1984; Verma, 2000), el centro silíceo de Las Cumbres (Rodríguez-Elizarrarás et al., 2002), y los domos de Las Derrumbadas y el Cerro Pizarro (Riggs & Carrasco Núñez, 2004), todos ubicados en el estado de Puebla. Al oriente de la CEM se desarrolla la Sierra Nevada: una cadena volcánica con orientación N-S constituida por el Cerro Tláloc, el Complejo Volcánico Iztaccíhuatl y el Volcán Popocatepetl, con edades que se vuelven progresivamente más jóvenes hacia el sur (Nixon, 1989). Más al oriente se encuentra el volcán La Malinche y el alineamiento N-S del Pico de Orizaba-Cofre de Perote (Carrasco Núñez & Ban, 1994).

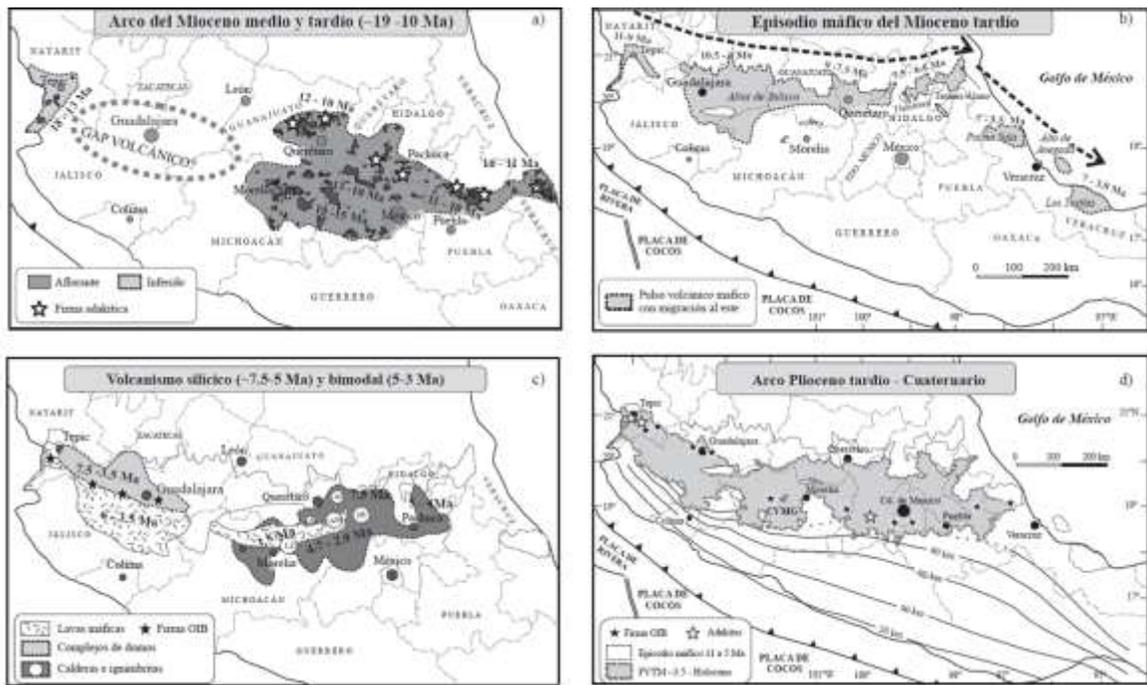


Figura 2.1.2. Principales episodios de la evolución geológica de la Faja Volcánica TransMexicana. Tomado de González-Torres et al, 2015.

A partir del análisis estratigráfico, estructural y petroquímico (Mooser et al., 1956), se propone que la evolución tectónica inicia desde el Cretácico (González Escamilla , 2014). 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. A continuación, se mencionan los eventos geológicos más importantes (González Escamilla , 2014):

- A finales del Cretácico y en Terciario Inferior, los estratos marinos del Mesozoico se plegaron hacia el norte-noroeste, posteriormente se fallaron por los esfuerzos distensivos durante la génesis del Faja Volcánica TransMexicana.
- 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.
- Durante el Oligoceno Superior hubo una efusión volcánica andesítica como resultado de una nueva reactivación tectónica formándose varios grupos de fracturas secundarias.
- En el Neógeno continua las emisiones de corrientes lávicas andesíticas y piroclásticas.
- Durante el Plioceno Superior y el Pleistoceno hay alternancia de rocas basálticas y piroclásticas. Se forman fracturas tensionales con dirección NW-SE, surgen volcanes que coronan la Sierra Nevada y hacia el poniente la Sierra de las Cruces. En este ciclo de vulcanismo se formó el primitivo Valle de México, iniciando a drenar 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 formo los conos aluviales que forman las importantes series conglomeráticas que constituyen la Formación Tarango.
- Del Pleistoceno al Reciente, termina el anterior ciclo tectónico, comenzando uno nuevo con dirección NE-SW, formando una nueva red de fracturas tensionales, perdurando hasta nuestros días y caracterizado por un vulcanismo basáltico. La CEM se conformó debido al desarrollo del umbral hacia el sur de esta; durante la formación de la Sierra Chichinautzin, provocando que se depositaran sedimentos aluviales y fluviales al pie de las sierras, y lacustres hacia el interior de la depresión tectónica. El conjunto de volcanes formo una barrera entre el Valle de México y la Cuenca del Balsas; provocando la obstrucción de la salida de los arroyos, y en consecuencia se dio inicio a la formación de los lagos en las partes bajas en donde se depositaron arenas y cenizas producidas por los nuevos volcanes basálticos.

2.2 Eventos volcánicos que originaron el cierre de la Cuenca de México

El vulcanismo al sur de la CEM entre el Plioceno Tardío y el Holoceno ocurrió en tres diferentes períodos de vulcanismo, principalmente en donde se unen las Sierras de las Cruces, el Ajusco y Chichinautzin. El evento más antiguo, denominado Período Eruptivo Las Cruces, está representado por la actividad del volcán poligenético Los Picachos consistente de flujos piroclásticos dacíticos, lahares y lavas de la Formación Las Cruces, formada principalmente durante el Plioceno Tardío-Pleistoceno Temprano. Durante el Periodo Eruptivo Ajusco, el Volcán Ajusco se formó por el emplazamiento de varios domos de lava andesítica durante el Pleistoceno Medio. La última etapa efusiva y de naturaleza estromboliana en la región fue el Periodo Eruptivo Chichinautzin con vulcanismo monogenético desarrollado durante el Pleistoceno Tardío y el Holoceno, de naturaleza estromboliana (Delgado Granados & Martin del Pozzo , 1993).

El vulcanismo en la porción sur de la Cuenca de México ha sido activado al menos a partir de 2.87 ± 0.15 Ma hasta $8,840 \pm 70$ años. Durante el primer periodo de actividad, el Volcán Los Picachos hizo erupción de flujo de lava dacíticos, flujos piroclásticos y lahares (Formación Las Cruces). Un segundo periodo eruptivo ésta relacionado a la actividad del Volcán Ajusco, cuyo magmatismo tiene una edad mínima de 0.73 Ma. Dataciones que van de $38,590 \pm 70$ años a 2,400 años son reportados de rocas volcánicas del Grupo Chichinautzin (Libby, 1951; Bloomfield, 1975), sugiriendo que la actividad ígnea se expande desde el Pleistoceno Tardío hasta el Holoceno.

Sierra de Las Cruces. Se localiza en la parte este de la Faja Volcánica Trans-Mexicana, constituye el límite entre las Cuenca de México y la Cuenca de Toluca. Se caracteriza por la emisión de derrames de lava, extrusión de domos, emplazamiento de flujos piroclásticos, flujos de detritos y lodo, así como depósitos de avalanchas de escombros (Palomo et al., 2008).

Delgado-Granados y Martin del Pozo (1993), consideran que la formación de la Sierra de Las Cruces inicia en el Plioceno Tardío como consecuencia de tres episodios volcánicos, el último de ellos, activo hasta el Holoceno. Estos eventos tuvieron como escenario la actual frontera entre la Sierra de Las Cruces y la Sierra Chichinautzin. La evolución de la Sierra de Las Cruces está relacionada con episodios de fallas regionales y fracturas, así como la formación de estratovolcanes (Mooser et al., 1974).

La Sierra de Las Cruces está conformada por ocho estratovolcanes traslapados principalmente denominados, de sur a norte, Zempoala, La Corona, San Miguel con una edad que varía entre 0.68 a 1.79 Ma, Salazar, Chimalpa con una edad de 2.8 ± 0.15 , Iturbe con edades entre $38,590 \pm 3,210$ años y 2.90 ± 0.40 Ma, La Bufa, La Catedral con la edad más antigua dentro de la Sierra de Las Cruces que es de 3.71 ± 0.40 Ma. Esta distribución de edades está basada en edades radiométricas publicadas por diferentes autores (Mooser et al., 1974; Mora-Álvarez et al., 1991; Osete et al., 2000; Romero-Terán, 2001; Mejía et al., 2005) e indican una importante actividad volcánica durante el Plioceno Tardío y Pleistoceno, conformada por extensos derrames de lava y domos de composición andesítico-dacítica y afinidad calcialcalina (Gunn & Mooser, 1970). Se alternan con flujos de piroclásticos de bloques y cenizas, flujos de pómez, oleadas piroclásticas, depósitos de caída, flujos de detritos y lodo, así como repetidos colapsos que originaron depósitos de avalanchas de escombros. El basamento de la Sierra de Las Cruces está conformado por una variedad de rocas, al sur de la sierra y en las inmediaciones de la Cuenca de México, sus productos descansan sobre calizas del Cretácico (Fries, 1960), o bien sobre rocas volcánicas de la secuencia máfica basal de 7.1 Ma, sobre la Formación Tepoztlán del Mioceno Medio o la Formación Xochitepec del Oligoceno (Mooser et al., 1956; García-Palomo et al., 2000). Hacia la parte norte, la Sierra de Las Cruces descansa sobre estructuras volcánicas del Mioceno Medio que corresponden con la Sierra Guadalupe, fechada entre 14 y 16 Ma y Sierra Muerta, del Plioceno Tardío (Gutiérrez Palomares, 2005). Al sur la cubren depósitos volcánicos recientes de la Sierra Chichinautzin.

Sierra Chichinautzin. Conforman el límite sur de la Cuenca de México. Incluye la actividad volcánica más reciente y aparentemente constituye la última fase de actividad magmática en la región, la cual culminó la formación de la Cuenca de México (Fries, 1960; Mooser, 1974; Mooser, 1975; Martin, 1982, 1990). La Sierra Chichinautzin está constituida por un extenso campo de volcanes monogenéticos, abarcando una amplia región entre la Ciudad de México y Cuernavaca.

En la parte sur y en el extremo occidental del Campo Volcánico Chichinautzin hay estructuras monogenéticas que se han fechado por medio del método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, obteniendo edades que van de 1.2 Ma en la porción occidental y de 1.0-0.09 Ma en la parte sur, siendo estas mayores a 0.04 Ma, edad que se había establecido previamente para todo el campo volcánico. Estas nuevas edades indican (Arce et al., 2013):

1. Una velocidad de erupción de $0.47 \text{ km}^3/\text{kyr}$, la cual es mucho más inferior que la previamente estimada de $11.7 \text{ km}^3/\text{kyr}$.
2. El magmatismo de la Sierra Chichinautzin coexiste con el de los volcanes monogenéticos Zempoala (0.7 Ma) y La Corona (1.0 Ma) en el borde sur de la cordillera volcánica Las Cruces.
3. El sistema de drenaje entre la Cuenca de México y la Cuenca de Cuernavaca fue cerrado en el Pleistoceno temprano formando el Lago de Texcoco.

El Campo Volcánico Chichinautzin se encuentra en una topografía alta dividiendo la Cuenca de México y Cuernavaca. Basándose en las características morfológicas y polaridad paleomagnética Mooser (1963), sugiere que el sistema de drenaje contenido en la Cuenca de México y la Cuenca de Cuernavaca se cerró en el Pleistoceno durante la formación del Campo Volcánico Chichinautzin. Los datos obtenidos mediante el método de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, confirman que el vulcanismo pudo haber bloqueado ese drenaje conectado durante el Pleistoceno Temprano, dando inicio a la sedimentación en la Cuenca de México (Lago de Texcoco). La actividad volcánica más reciente ha sido concentrada en la parte central más alta, datando una edad de $\sim 1,835$ años, con una recurrencia de $< 1,250$ años durante el Holoceno (Siebe et al. 2005). La distribución de las estructuras volcánicas es discontinua y dispersa a través del campo volcánico, estas afloran en algunas localidades porque no están cubiertas por depósitos más jóvenes, probablemente sugiriendo que no se ha producido un vulcanismo extenso o que existe una cobertura de vulcanismo más joven.

2.3 Estratigrafía de la Cuenca de México

Las unidades litoestratigráficas que pertenecen a la Cuenca de México; se han logrado describir con base a la elaboración de múltiples trabajos con el fin de proponer una estratigrafía de la Cuenca de México. A continuación, se describen estas unidades litoestratigráficas (Enciso De la Vega , 1992).

Cretácico

Formación Xochicalco (Kx). Es la unidad más antigua y fue propuesta por Fries en 1960. Tiene un espesor que excede los 500 m, su base no se encuentra expuesta y está cubierta discordantemente por la Formación Morelos. Se trata de una sucesión de calizas de color gris a negro, principalmente calcilutíticas y calcilimolíticas, en capas que presentan laminación fina, contenido carbonoso variable, abundantes vetillas de calcita y lentes de pedernal, que hacia la cima de la formación se encuentran en mayor cantidad, esta formación se depositó en el Aptiano en ambientes marinos.

Formación Morelos (Km). Propuesta por Fries en 1960, aflora al sur de la Sierra Chichinautzin con un espesor máximo de 900 m, se adelgaza al oriente y poniente, esta formación se detectó en los pozos exploratorios Mixuca 1 y Tulyehualco 1 realizados por PEMEX con profundidades de 2,060 y 2,160 m respectivamente. Presenta calizas con microfósiles conocidos como “Nummoloculina heimi” y “Dyciclina Schulmbergen”. Se presenta cubierta de manera discordante erosional por la Formaciones Cuautla y Mexcala. Esta Formación se encuentra constituida por capas gruesas interestratificadas de calizas y dolomitas concordantes con anhidritas laminares subyacentes del Albiano Medio-Cenomaniano Temprano.

Formación Doctor (Kid). Descrita por primera vez en 1956 por Wilson, esta formación aflora entre Apaxco y Tula, Hidalgo. Son facies calcáreas de banco y cuenca del Albiano Medio-Cenomaniano Temprano. Estas facies forman una secuencia de 200 m de espesor constituida por calizas mudstone en capas delgadas de nódulos y lentes de pedernal con intercalaciones de lutitas.

Formación Cuautla (Kc). Esta formación fue propuesta por Fries en 1960; quien reconoció facies de cuenca, de banco y de litoral del Cenomaniano Tardío al Turoniano Tardío. Las facies de banco predominan en la región y afloran al sur de la Sierra Tepozotlán a una altitud promedio de 1,500 msnm y al norte de Zumpango a una elevación promedio de 2,400 msnm. Está constituida por calizas calcáreas de estratificación gruesa con abundantes biostromas y rudistas, es concordante con la Formación Mexcala y cubierta discordantemente en algunos lugares por el Grupo Balsas y por rocas volcánicas del Terciario y Cuaternario.

Formación Mexcala (Kmx). Descrito por Fries en 1960, esta Formación aflora al sur de la Sierra Chichinautzin y al noroeste de la Cuenca en el Cerro La Palma, el espesor máximo es de 1,500 m, constituye una interestratificación gradual rítmica de turbiditas, limolitas y lutitas con microfósiles Margino-truncana y Archeoglobigerina, representa una secuencia tipo flysch, esta Formación se depositó en aguas someras durante el Conaciano-Campaniano.

Paleógeno-Neógeno

Granito Colotepec (Tgc). Se encuentra en el extremo sudoccidental intrusionando a la Formación Xochicalco en el núcleo del Anticlinal de Colotepec, este tronco granítico está relacionado genéticamente con el tronco Coxcatlán del Eoceno Medio.

Grupo Balsas (Teob). Descrita por Fries en 1960, aflora al sur de la cuenca y de manera local al noreste de Apaxco. Constituido por un conglomerado calizo generalmente compacto con matriz limoarcillosa cementada por calcita y óxido de hierro, presenta estratificación masiva y espesor máximo de 500 m. Estas capas se interdigitan y están cubiertas por una secuencia de 800 a 2,000 m de espesor, formadas por capas deleznable de arcilla, limo y arena, este grupo descansa discordantemente encima de las formaciones del Cretácico y la secuencia superior es discordante con la Riolita Tilzapotla. Localmente contiene interestratificaciones de yeso y caliza lacustre lenticulares, 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). Descrita originalmente por Fries en 1960, es una secuencia volcánica que aflora profundamente erosionada y fracturada en la Sierra de Xochitepec y en los cerros Picacho y Pulpito del Diablo. Este grupo tiene espesores variables entre 390 a 1,750 m, la composición varía de andesítica a riolítica. Se constituye por una secuencia de tobas líticas cristalinas y vítreas, brechas tobáceas y aglomerados. Estas secuencias volcánicas contienen capas de clásticos aluviales de espesor promedio de 6 m que indican tiempo de reposo en la actividad volcánica. En el subsuelo de la Cuenca de México estas rocas volcánicas cubren localmente en forma discordante a unidades cretácicas discordantes con las rocas volcánicas del Mioceno Medio y Mioceno Tardío y por Formaciones del Plio-Cuaternario.

Grupo Pachuca (Tomp). Rocas volcánicas descritas por primera vez por Geyne en 1956 y posteriormente por Fries en 1960. Es un grupo volcánico que representa la actividad volcánica desde el Oligoceno hasta el Plioceno. Aflora en la parte nororiental en la región del Distrito de Pachuca Real del Monte y sus zonas aledañas. 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 predominando 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, Formación Pachuca, Real del Monte, Santa Gertrudiz y Vizcaína, 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 Cerezco y Tezantla están 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.

Rocas Extrusivas del Mioceno Medio y Mioceno Tardío (Tmv). Rocas descritas por Fries en 1960 y posteriormente por Segerstrom en 1961. Se les llama así a las rocas volcánicas que difieren en composición litológica y posición estratigráfica con respecto a las rocas volcánicas del Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano. Sus afloramientos se distribuyen por toda la cuenca en áreas pequeñas, en la mayoría de los casos se encuentran cubiertas por los materiales volcánicos más recientes. En la porción sur de la cuenca se encuentran principalmente en los cerros El Elefante, El Judío, Los Remedios, El Peñón de los Baños, la base de la Sierra Guadalupe, la base de la Sierra de las Cruces, El Cerro Patlachique y en algunos otros afloramientos en el norte de Texcoco. En la porción norte se encuentran ampliamente distribuidos en pequeños afloramientos entre los que destacan la Sierra de Tepozotlán; estas rocas están constituidas por una secuencia de tobas, brechas volcánicas y lavas que en algunos lugares se encuentran interestratificados con brechas volcánicas. En el subsuelo de la porción sur de la Cuenca de México, esta unidad se distribuye ampliamente, cubre discordantemente a las rocas del Oligoceno Tardío al Mioceno Temprano.

Depósitos volcánicos del Plioceno Temprano (Tpv). Descrito originalmente por Segerstrom en 1961, es un conjunto de rocas extrusivas que representan un segundo periodo magmático del Arco Volcánico Transmexicano del Plioceno Temprano, localmente aflora en los flancos de las Sierras Las Cruces, Zempoala y Río Frío, y en cerros aislados en el resto de la cuenca, también coronan las Sierras de Guadalupe y Tepozotlán; sobreyacen discordantemente a rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno y están cubiertas de la misma forma por unidades volcánicas del Plioceno Tardío y Cuaternario. La composición de estos depósitos varía de andesítica a dacítica, las secuencias piroclásticas no son consolidadas, constituyen tobas cristalinas, vítreas, líticas y pumíticas.

Formación Otomí (Tpo). Descrita por Sheridan en 1979, esta formación aflora desde el poblado de Santa María Mazatla en el trayecto de la carretera que va de Naucalpan a Jiquipilco hasta la Sierra de Monte Alto. Esta unidad se encuentra caracterizada por estar formada en su mayor parte por depósitos piroclásticos que se presentan como flujos lobulados, existen varias secuencias volcánicas dentro de esta unidad en la que predominan los flujos piroclásticos de ceniza cristalina y vítrea, también hay brechas volcánicas con las coladas lávicas y presentan una textura fanerítica. Esta unidad se originó de un estratovolcán muy erosionado por lo que es difícil reconocer las estructuras originales, el espesor máximo que se estima es de 1,300 m 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). Estas rocas se distribuyen en la región septentrional de la Cuenca de México, formando mesetas de lava y cono aislados, descrita originalmente por Fries en 1962. 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 m, yace discordantemente a las unidades Terciarias descritas anteriormente y en algunos sitios cubren con discordancia angular y/o erosional a las rocas Mesozoicas.

Formación Las Cruces (Tpc). Definida como un conjunto de rocas volcánicas que forman la Sierra de Las Cruces y Monte Alto, fue descrita por Schlaepfer en 1968. Esta formación se distribuye en el límite sudoccidental de la Cuenca de México, en donde una hilera de tres estratovolcanes, junto con sus depósitos piroclásticos, se orientan de NNW a SSE y dividen la Cuenca de México de la del Río Lerma, aflora en un tramo del Desierto de los Leones-La Marquesa y en afloramientos de la carretera Naucalpan-Jiquipilco. Está conformada por depósitos piroclásticos que consisten de pómez pliniana, cubiertos por flujos piroclásticos generalmente no soldados, de cenizas cristalinas, vítreas y de pómez con y sin fragmentos y bloques de composición heterogénea. El espesor máximo de esta unidad es de 990 m. El conjunto de tres estratovolcanes, alineados en una dirección norte-sur, cuyas características morfológicas y variación de edades de lo más antiguo a lo más reciente, de norte a sur, podrían indicar una migración del vulcanismo en la dirección mencionada; tomando en cuenta lo anterior, podría considerarse este vulcanismo como representativo del Plioceno Tardío en la Cuenca de México. Esta unidad cubre discordantemente a las rocas extrusivas del Mioceno Medio y Mioceno Tardío y está cubierta por depósitos aluviales y lacustres del Cuaternario.

Formación Zempoala (Tpz). Descrita por primera vez por Fries en 1960, esta formación es un conjunto de productos volcánicos de dos centros eruptivos alineados en dirección norte-sur que se encuentran en la porción sudoccidental del área. Se considera como una 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 está 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 es de 1,000 m, se considera de edad del Plioceno Tardío. Cubre discordantemente a los depósitos volcánicos del Plioceno, a las rocas extrusivas del Mioceno Medio-Mioceno Tardío y sobreyace por la formación Chichinautzin e interdigitalizada con los productos piroclásticos del Plioceno en la región de Cuernavaca.

Riolita Navajas (Tpn). Edifica a la Sierra Navajas con un espesor de 500 m, fue descrita por Geyne en 1956. Cubre discordantemente al Grupo Pachuca y a las rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno y está cubierta discordantemente por la formación El Pino. Es una secuencia riolítica de derrames lávicos con estructura fluida con intercalaciones de brechas soldadas y no soldadas de flujo, de cenizas vítreas con fragmentos líticos, pumíticos y obsidiana.

Depósitos piroclásticos y clásticos aluviales del Plioceno (Tppc). Depósitos no diferenciados relacionados genéticamente con la actividad piroclástica y fluvial del Plioceno, descrita por Fries en 1962. Aflora al poniente de Cuautla, el espesor máximo es de 400 m y está 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. Se encuentra cubierta discordantemente por aluvión del Cuaternario y están acumulados en fosas tectónicas (Graben de Chalco) y rellenando amplios valles del Plioceno, su espesor máximo es de 750 m.

Cuaternario

Formación Llano Grande (Qlg). Secuencia eruptiva de composición variable de andesitas y riolacitas, aflora en la base noroccidental de la Sierra Nevada, fue 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 Iztaccíhuatl y Sobreyace a las rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno. La edad de la formación que sobreyace es del Pleistoceno Temprano.

Formación El Pino (Qpp). Descrita originalmente por Sheridan y Wohletz en 1938, son rocas volcánicas máficas que forman los cerros La Estrella, El Pino, Chimalhuacán, Chiconautla y los campos volcánicos de Tezontepec-Otumba. La expresión geomorfológica es de conos cineríticos terminales, de volcanes de escudo y de amplias coladas lávicas, principalmente en bloques. El espesor máximo es de 750 m, se presentan en los centros eruptivos y se acuña en la periferia. Constituido por secuencias de flujos lávicos con intercalaciones de capas delgadas de tefra no consolidada, formada por cenizas cristalinas y vítreas, lapilli lítico y escoria tamaño lapilli. Los flujos de lava son de grano fino a medio con fenocristales de labradorita, olivino, pigeonita, hiperstena y augita; contiene intercalaciones de piroxeno y la matriz es microcristalina. La formación es discordante a las unidades volcánicas del Oligoceno, Mioceno, Plioceno y a la formación Llano Grande y se encuentra cubierta por las formaciones Chichinautzin y Telapón.

Formación Tlálloc (Qt). Esta unidad se refiere a las coladas lávicas que forman parte de la Sierra Río Frío, fue descrita por Sheridan en 1979. La composición de esta formación es andesítica y dacítica, consta de varias sucesiones caracterizadas en su base por pómez y líticos accidentales angulosos, hay “surges” con cristales, pómez y líticos tamaño lapilli. Por encima de los “surges” hay flujos de cristalina y vítrea de composición andesítica y dacítica, presenta flujos piroclásticos que se intercalan y en algunas partes lo cubren derrames lávicos de composición andesítica y dacítica con anfíbol. Esta formación cubre discordantemente rocas volcánicas del Mioceno Tardío y Plioceno Temprano.

Formación Iztaccíhuatl (Qi). Son las rocas de los volcanes Llano Grande, Iztaccíhuatl y Nexpayantla, este último antecesor del volcán Popocatépetl. Esta formación la constituye una secuencia de andesita basáltica dacítica, la secuencia inicia con derrames lávicos y termina en extrusiones dómicas constituido de andesitas de olivino y dacitas de anfíbol; del lado nororiental hay flujos de cenizas cristalinas y vítreas no consolidadas. Esta formación descansa con ligera discordancia encima de las formaciones El Llano Grande y Tláloc, suprayace en discordancia a las formaciones Chichinautzin y Popocatépetl.

Formación Popocatépetl (Qp). La formación Popocatépetl la conforman las cuatro secuencias eruptivas que constituyen el estratovolcán Popocatépetl. 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. La segunda etapa está representada por sucesiones piroclásticas de eventos plinianos compuesto por andesita básica ricas en 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 y lahares. La cuarta secuencia terminó de construir el cono volcánico de secuencias piroclásticas similares a la tercera secuencia. Esta formación cubre discordantemente a la Formación Iztaccíhuatl. Con base a fechamientos isotópicos y polaridad magnética normal hacen suponer una edad del Pleistoceno Tardío-Holoceno.

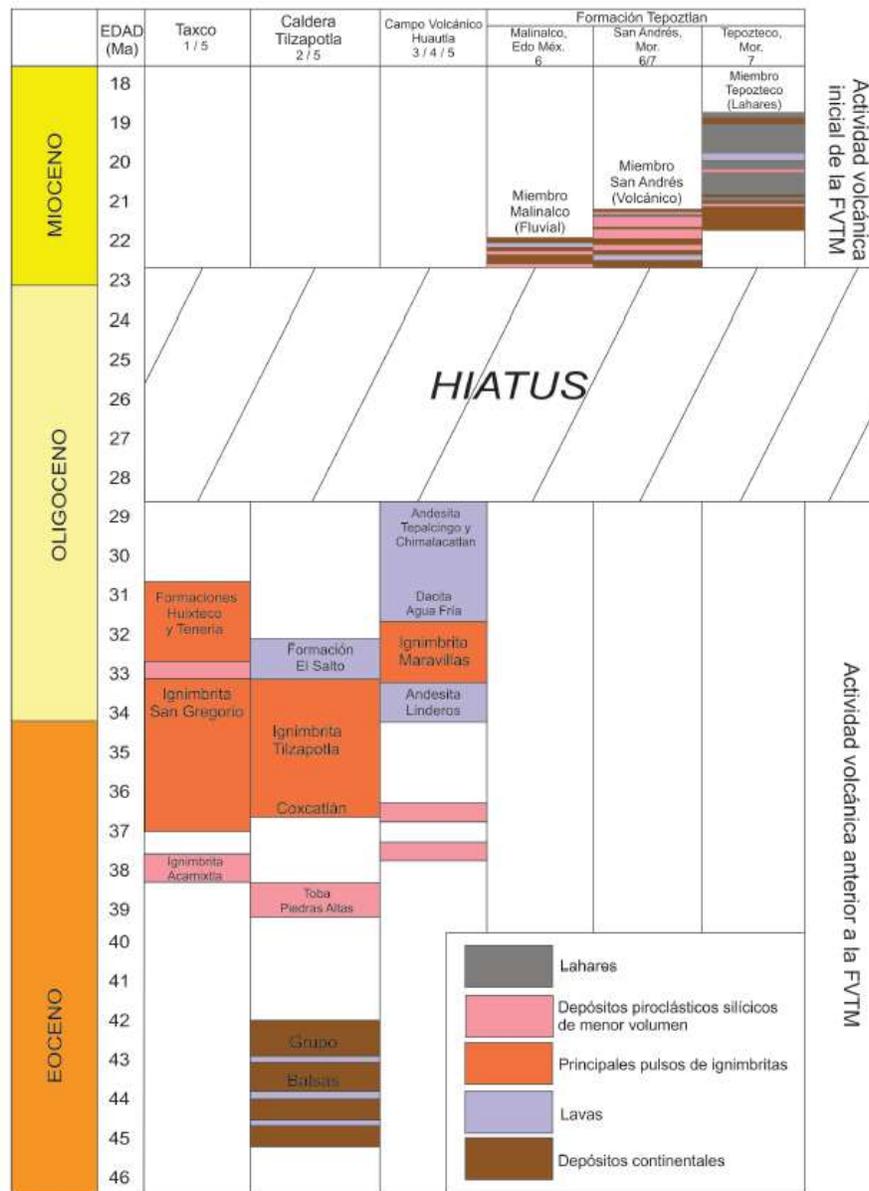
Formación Chichinautzin (Qc). Descrita por Fries en 1960, los afloramientos se encuentran distribuidos por toda la región de la CEM, sin embargo, los afloramientos más importantes se encuentran en la porción meridional en donde alcanzan el mayor espesor. Las lavas de esta unidad en general son extensas, vesiculares, masivas o lajadas, tienen una composición andesítico-basáltico y andesítica, principalmente de grano fino y medio, con fenocristales de olivino y piroxenos en matriz vítrea y microcristalina. El espesor máximo es de 1,800 m, de edad del Pleistoceno al Holoceno, cubre discordantemente a casi todas las unidades Cretácicas y del Terciario y se encuentra interdigitada con depósitos lacustres y aluvión.

Depósitos aluviales (Qal). Estos depósitos fueron descritos por Bryan y De Terra en 1948. Es un material clástico fluvial acumulado casi simultáneo con sedimentos lacustres que afloran formando llanuras aluviales al norte y sur de la cuenca, extensamente distribuido rellenando amplios valles socavados en depósitos piroclásticos y clásticos del Plioceno, así como depresiones tectónicas. Constituido por material poco consolidado con fragmentos de tamaño grava, arena, limos y arcilla con contenido local de marga, tierra diatomácea, turba y travertino. Descansan con discordancia sobre los depósitos piroclásticos y clásticos del Plioceno y localmente sobre rocas volcánicas más antiguas y sedimentarias del Cretácico, se interdigitalizan con las formaciones volcánicas de la misma edad, su edad es del Pleistoceno al Holoceno.

Depósitos Lacustres (Qla). Descritos por Bryan en 1948. Son sedimentos clásticos y productos piroclásticos relacionados con la actividad volcánica del Popocatépetl y de la Sierra Chichinautzin, los cuales se depositaron en ambientes lacustres, estos depósitos se extienden desde Zumpango hasta Chalco y desde Texcoco hasta el Cerro de Chapultepec con espesores de 30 a 300 m, los mayores se presentan en las planicies de la Ciudad de México, Texcoco y Chalco y disminuye hacia los márgenes de las planicies. Está constituido por arcilla bentónicas y montmorillonitas con carbonato de calcio, diatomeas, ostrácodos e interestratificaciones de ceniza y pómez (Bryan ,

1948). El origen de los depósitos se encuentra íntimamente relacionado con la obstrucción definitiva del desagüe de la Cuenca de México a causa de la intensa actividad volcánica que edificó la Sierra de Chichinautzin (Vázquez Sánchez & Jaimes Palomera , 1989).

En la **Figura 2.3.1**, se muestra la síntesis del registro estratigráfico ubicada al sur de la Cuenca de México, donde se muestran los principales eventos de actividad volcánica anterior a la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) de los campos volcánicos de Huautla, Morelos y Taxco, Guerrero, de la Caldera de Tizapotla, Guerrero, así como de la actividad volcánica inicial de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) en el sector de Malinalco, Estado de México y de la región de Tepoztlán, Morelos (González Torres et al., 2015).



1/ Alaniz-Álvarez et al., 2002; 2/ Morán-Zenteno et al., 2004, 2007; 3/ Cerca et al., 2007; 4/ Campa-Uranga et al., 2002; 5/ González-Torres et al., 2013; 6/ García-Palomó et al., 2000; 7/ Lenhardt et al., 2010.

Figura 2.3.1. Columna estratigráfica de la Cuenca de México. Tomado de González Torres et al., 2015.

2.4 Geología Estructural de la Cuenca de México

La Cuenca de México evidencia una fuerte influencia estructural; presentando plegamientos y fallas que van a lo largo de la cuenca, tanto en su superficie como en su profundidad. A continuación, se describen los elementos estructurales profundos de la Cuenca de México.

Pliegues del Maestrichtiano-Eoceno Temprano. Durante el Maestrichtiano al Eoceno, la Orogenia Laramide dejó sobre las rocas cretácicas lineamientos y pliegues recostados al oriente y poniente, algunos con cabalgaduras; los ejes de los pliegues están orientados al N-NE, los esfuerzos laramídicos estaban dirigidos hacia el oriente, en el Oligoceno se tienen registradas algunas estructuras como la Fosa de Mixhuca que aflora en el nororiente de la Cuenca de México, corta la mitad oriental de la Caldera del Cerro del Tigre, es probable que se extienda debajo de la Sierra Chichinautzin, más al sur adquiere un rumbo SSW; la Fosa Texcoco que su límite oriental es una falla que afecta a la Caldera de Tlaixpan, las cuales definió Mooser en 1991; se infiere que fueron producto de la subducción en el Pacífico oriental de la Placa Farallón entre el Oligoceno y principios del Mioceno. En la Cuenca de México, debido a la gran diferencia de altitud de la cima de rocas cretácicas que se documentan en los pozos Mixhuca-1 y Roma-1, se sugiere la presencia de una falla normal con el bloque de techo hundido hacia el poniente, inferida con un rumbo NW (Vázquez Sánchez & Jaimes Palomera, 1989), para el Oligoceno Tardío sitúan una falla del mismo sistema cerca de Xalostoc con rumbo al NE, temporalmente coinciden con la orogenia manifestada en la Sierra Madre Occidental por el plegamiento de la secuencia andesítica inferior del Pleistoceno-Eoceno. (Santiago López, 2018).

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 (Vázquez Sánchez & Jaimes Palomera, 1989):

- 1) Falla Jojutla. Presenta un rumbo hacia el noroeste y una longitud de más de 35 km, se encuentra sepultada por aluvión y por el Grupo Balsas, su existencia, orientación y sentido de desplazamiento es sustentada por la terminación abrupta de los pliegues de rocas cretácicas.
- 2) Falla Cañón de Lobos. Ubicada al suroeste de Yautepec, Morelos, presenta un rumbo hacia el noreste con una longitud de al menos 15 km, en su extremo noroccidental se ramifica en varias fallas normales divergentes, su naturaleza y desplazamiento vertical de orden de 1,500 m son sustentados por abrupto contacto entre las formaciones Mexcala y Morelos.

El arreglo conjugado especial que muestran la Falla Jojutla-Cañón de Lobos, se plantea una elipse de deformación que se interpreta por los esfuerzos compresivos en dirección SW generados, posiblemente, por la paleosubducción de la Placa oceánica Farallón por debajo de la Placa continental norteamericana, provocando esfuerzos de tensión en dirección NW (Vázquez Sánchez & Jaimes Palomera, 1989).

Fallas del Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano. Se han reconocido en la zona meridional del estado de Morelos, aflorando en el Grupo Balsas. Un sistema de fallas de carácter normal se localiza al noreste de Ticumán con rumbo NW con 15 km de longitud; en su extremo noroccidental se ramifica en varias fallas normales con la misma dirección con una longitud promedio de 3 km, mientras que en su extremo sudoriental es cubierto por la Riolita Tilcapotla del Oligoceno Tardío; dentro de este sistema también se encuentra una falla normal al oriente de Xalostoc, es de carácter normal con un rumbo NE y una longitud de 2 km (Vázquez Sánchez & Jaimes Palomera , 1989).

Fallas y Fracturas del Mioceno. Mooser resalta que los fracturamientos y fallas tienen una dirección E-W. Destacan las fosas de Pachuca, Zempoala y Barrientos, así como varios sub arcos volcánicos tales como el de Barrientos-Patlapiche, Zempoala-Singuilucan y el de Ajacuba-Pachuca, teniendo un arreglo E-W subparalelo a la placa de Cocos en el Pacífico sur de México. Fries (1960) cartografía fallas normales con el mismo patrón de dirección E-W que cortan rocas del Cretácico y Oligoceno (Santiago López, 2018).

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. Estas fallas tienen una longitud promedio de 4 km con un desplazamiento que va de centímetros a cientos de metros, buzcan en diferentes direcciones, su echado varía de 60° a 80°, algunas de estas fallas normales forman pequeños grabens en dirección E-W. Existe la presencia de 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 es de carácter normal y desplaza productos piroclásticos de la formación Tláhuac 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 & Jaimes Palomera , 1989).

Otro grupo de falla de tipo normal 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. Estos conos alineados son el Cerro de La Estrella, Peñón de Marqués y Chimalhuacán, estos conos en superficie se alinean con la Falla Contreras; el alineamiento de la Sierra Santa Catarina con el Volcán El Pino; alineamiento hacia el sur de Topilejo de los conos cineríticos y rasgos de efusiones fisurales con el cono de escoria del Cerro Teuhtli; alineación de los conos de escoria al sur de Tlalmanalco; y la alineación de los numerosos conos de tefra y de lava de la Sierra Chichinautzin que se alinean con la falla de Tenango (Vázquez Sánchez & Jaimes Palomera , 1989).

En el Valle de Puebla y Tlaxcala hay un grupo de fallas normales que presentan un rumbo E-W con longitudes de entre 10 a 15 km, se alinean regionalmente al poniente con los volcanes de la Sierra del Río Frío, Llano Grande e Iztaccíhuatl, y al oriente con el estratovolcán la Malinche. En el Estado de México, se localiza la Falla normal Tenango, tiene un desplazamiento hacia el norte, presenta un arreglo escalonado y tiene una longitud de 15 km, se alinea con los conos cineríticos de la formación Chichinautzin y el volcán meridional de la Sierra de Zempoala, al poniente se alinea con el estratovolcán Nevado de Toluca y al sur de la falla se localizan varias fallas normales de este mismo tipo (Vázquez Sánchez & Jaimes Palomera, 1989).

El Sistema Chapala-Acambay se encuentra integrado por fallas de tipo normal en forma escalonada con un rumbo preferencial E-W, las fallas normales del Distrito Minero Pachuca-Real del Monte, las fallas normales en la subcuenca de Apán, la zona circundante y los conos cineríticos del Cuaternario forman parte de este sistema estructural (Vázquez Sánchez & Jaimes Palomera, 1989).

En la **Figura 2.4.1** se puede observar la complejidad tectónica de la Cuenca de México, así como también los sistemas de fallas regionales profundas que la componen.

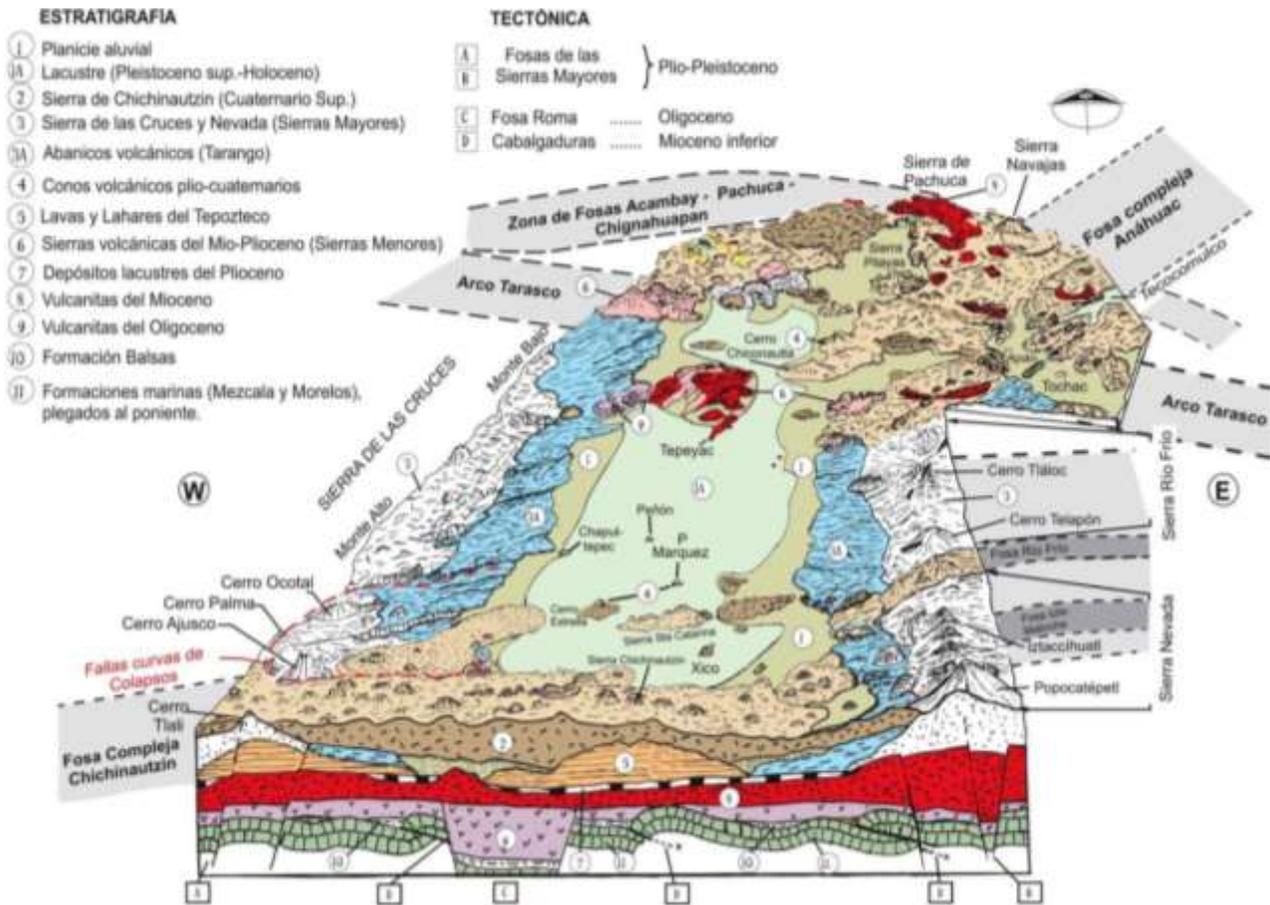


Figura 2.4.1. Geología y Tectónica de la Ciudad de México. Tomado de Santoyo et al., 2005.

2.5 Estratigrafía de la Ciudad de México

La estratigrafía de la Ciudad de México se ha integrado con base a información de los resultados de cinco pozos profundos (Texcoco-1, Copilco-1, Tulyehualco-1, Mixhuca-1 y Roma-1) perforados por Petróleos Mexicanos (PEMEX, 1987a, 1987b) y del pozo profundo San Lorenzo Tezonco perforado en el año 2012 por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) (Arce et al, 2013a).

Los seis pozos profundos cubren un rango de profundidad que desde los 2008 a los 3200 m (Oviedo de León, 1970; PEMEX, 1987a, 1987b, 1987c en Pérez Cruz, 1988; Arce et al, 2013a, 2015). El mayor espesor litológico perforado se obtuvo a partir del pozo Roma-1, que sin embargo no logró alcanzar el basamento de calizas; en cambio, el pozo Mixhuca-1 corta las calizas a ~1600 m de profundidad, (Figura 2.5.1) (González Torres et al., 2015).

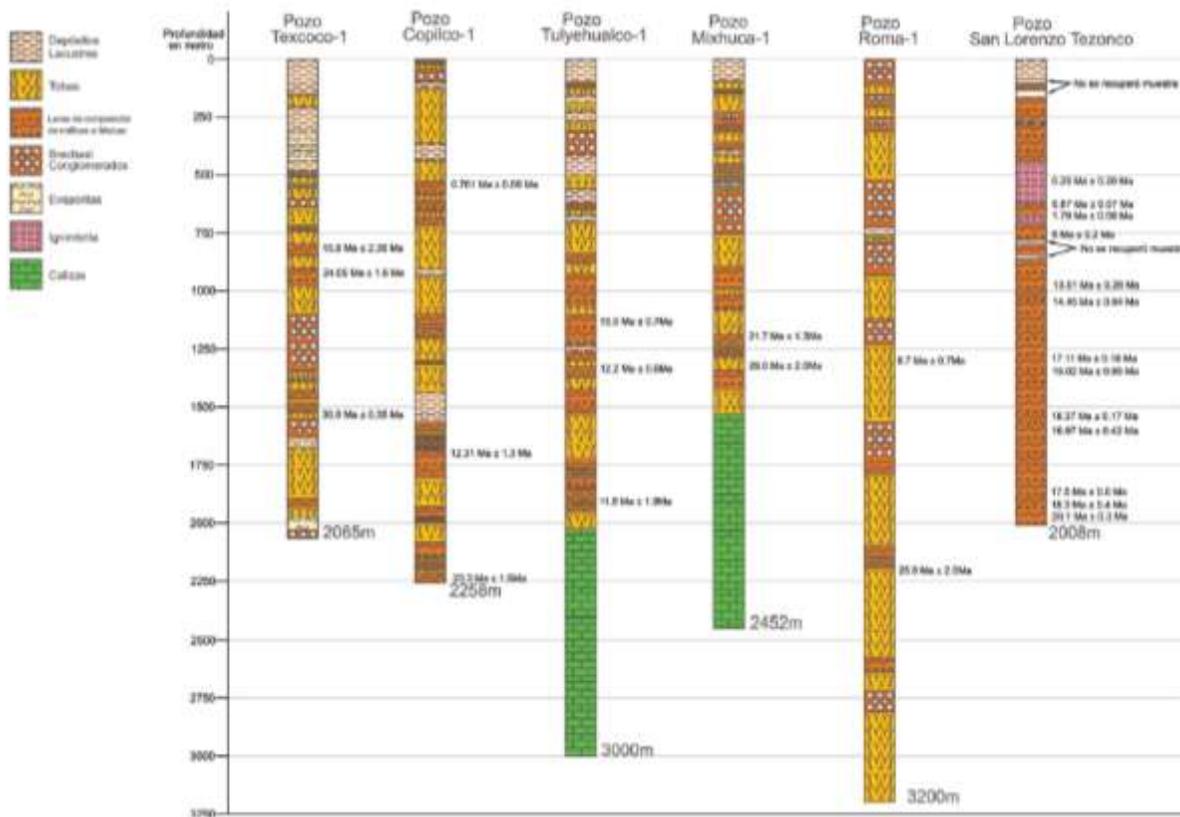


Figura 2.5.1. Columna estratigráfica de los pozos profundos perforados en la Cuenca de México. La litología del pozo San Lorenzo Tezonco se encuentra simplificada para homologar la litología reportada en los pozos. Tomado de González Torres et al., 2015.

El basamento en la Ciudad de México corresponde al Cretácico; representada por calizas y lutitas marianas plegadas de la formación Morelos y la formación Cuautla. Posteriormente hubo un largo periodo en que se erosionaron estas rocas y a principios del Paleógeno los múltiples episodios volcánicos originaron lavas, brechas, tobas y conglomerados de espesores y composiciones variables. En el Terciario Medio, después de un nuevo ciclo de erosión, llegó una nueva etapa de derrames volcánicos dejando lavas, brechas y tobas de composición andesítica, finalizando con un nuevo periodo de erosión (Santiago López, 2018).

A inicios del Mioceno se presenta una nueva actividad volcánica dejando consigo lavas de composición andesítica y dacítica, tobas y brechas, trayendo como consecuencia la formación de la Sierra de Las Cruces, Monte alto y Sierra Guadalupe. Terminando este ciclo volcánico y posterior a un periodo de erosión, las precipitaciones pluviales dieron origen a abanicos aluviales compuestos por tobas y suelos con espesores de hasta 50 m. Al término de este periodo se da un evento volcánico dando lugar a lo que se denomina Formación Tarango con tobas, pómez y brechas de espesores de hasta 200 m. (López Martínez, 2007).

Bryan (1948) describe que la Formación Tarango se compone de depósitos volcánicos que se encuentran expuestos al surponiente de la CEM. Está constituida por depósitos piroclásticos, con pómez que localmente se encuentra cubierta por flujos piroclásticos no soldados de ceniza cristalina y vítreas, cubiertas e interestratificadas con material aluvial y paleocanales fluviales y andesitas, tobas y brechas (Chávez Aguirre , 2008).

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

Los rellenos aluviales y las arcillas Cuaternarias ubicadas en la zona centro de la Ciudad de México fueron clasificadas y descritas por R. Marsal en el laboratorio de ICA entre 1945 y 1955. La secuencia es conocida a profundidades no mayores a los 150 m, de manera resumida consiste de arcillas superiores, capa dura, arcillas inferiores consolidadas y depósitos profundos. La secuencia lacustre se encuentra dividida en dos partes por una capa dura entre los 33 y 37 m de profundidad (**Figura 2.5.2**). Esta capa dura es producto de dos erupciones volcánicas pumíticas provenientes del Cerro de la Palma con una edad aproximada de 120,000 años, se observan horizontes de capas delgadas de ceniza correspondientes a erupciones volcánicas violentas depositadas en el lago y depósitos lacustre arcillosos y areno-arcillosos (Santoyo Villa, Ovando Shelley , Mooser Hawtree , & León Plata , 2005).

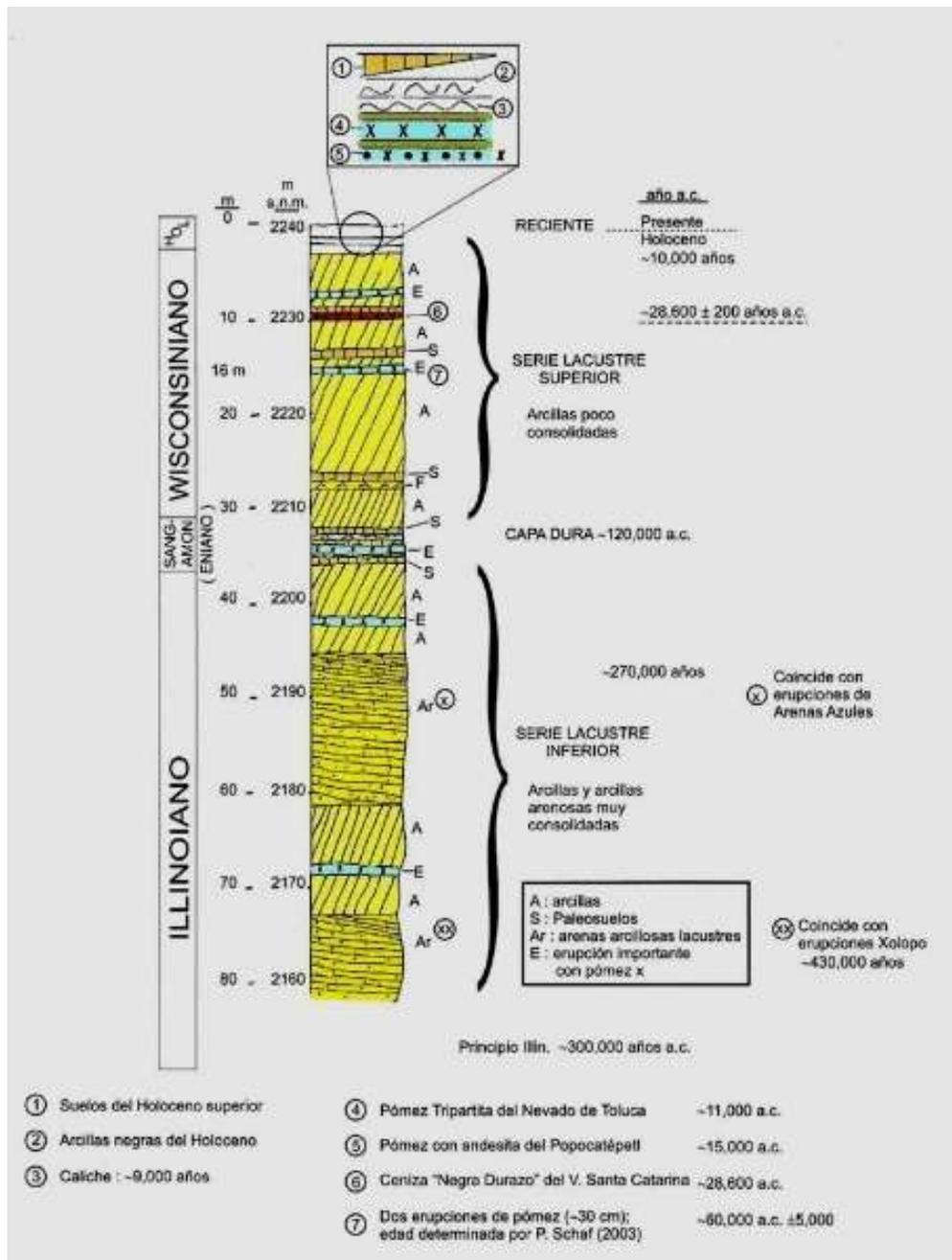


Figura 2.5.2. Columna estratigráfica de la Zona Lacustre de la Ciudad de México. Tomado de Santoyo Villa et al, 2005.

En la **Figura 2.5.3** se observa la sección geológica de la Ciudad de México con diferentes capas litológicas (Santoyo et al., 2005):

- Formación Tarango. Capa de depósitos volcánicos
- Arcillas Superiores. Capa uniforme con un espesor que varía entre 25 y 50 m, tiene intercalaciones de lentes duros de composición basáltica o bien de pómez vítrica con espesores que van de cm hasta los 2 m.
- Capa Dura. Unidad heterogénea compuesta por limos arenosos con arcilla y escasa grava, su espesor varía llegando hasta los 5 m.
- Arcillas inferiores consolidadas. Serie arcillosa separada por lentes duros, su espesor en la parte central del lago es de aproximadamente 15 m, desapareciendo en las orillas del lago.
- Depósitos profundos. Compuesta de arenas y gravas aluviales limosas cementadas con carbonato de calcio y arcillas duras.

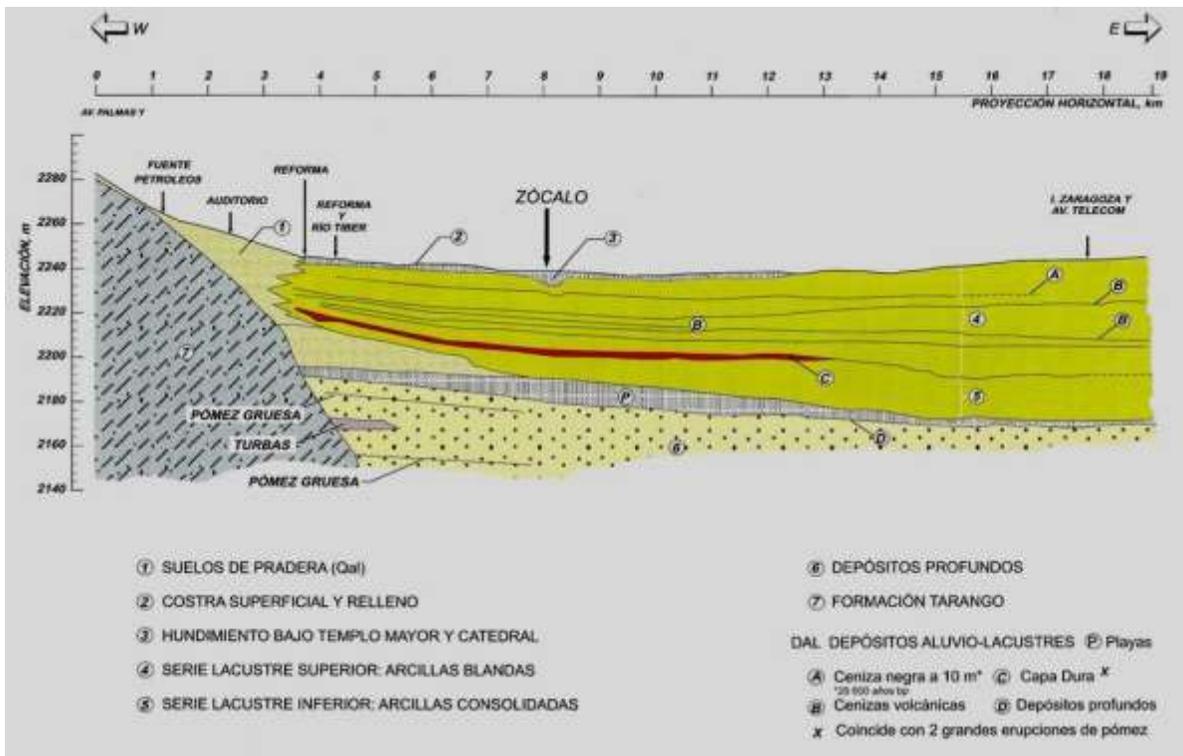


Figura 2.5.3. Sección Geológica de la Ciudad de México. Tomado de Santoyo et al., 2005.

2.6 Geología estructural de la Ciudad de México

La geología estructural en el subsuelo de la Ciudad de México está constituida por un sistema de fosas y pilares escalonados, los cuales definen una depresión con base irregular, el basamento está conformado por una secuencia de rocas calcáreas del Mesozoico a profundidades que van desde los 1600 m hasta los 3200 m, como indican los datos provenientes de los pozos Mixhuca-1 y Roma-1 (Pérez-Cruz, 1988; Aguayo-Camargo et al., 1989; García-Palomo et al., 2008). Se aprecia la geometría del subsuelo mediante fosas y pilares escalonados debido a la presencia de fallas a más de 1,000 m de profundidad. En la parte superficial se observa el relleno lacustre en la parte central y hacia los costados las sierras de origen volcánico que circundan a la Ciudad de México (Facultad de Ingeniería UNAM, 2019).

En la zona poniente de la Ciudad de México hay un intenso fracturamiento superficial confinado a una estructura de graben delimitada entre la falla normal Mixhuca (MI, Pérez-Cruz, 1988; González-Torres et al., 2015), con orientación NNW-SSE e inclinación hacia el poniente, cruzando el centro de la CEM. La falla normal Copilco propuesta por Carreón et al., (2017), presenta una orientación NNW-SSE con una inclinación hacia el oriente, delimitando las zonas de deformación y fracturamiento presentes en las alcaldías Cuauhtémoc, Benito Juárez y Coyoacán, se encuentra definida por la alineación epicentral de 12 sismos en el borde oriental de la Sierra de Las Cruces (Lermo et al., 2016). Esta falla se infiere por el alineamiento de los patrones de deformación.

En la zona oriente esta la presencia de las fallas que conforman el Graben de Santa Catarina, definido por Arce et al., (2013), estas estructuras se confirmaron a partir de la perforación del pozo profundo de San Lorenzo Tezonco. La parte sur del graben está delimitado por una falla con orientación ENE-WSW, se encuentra alineada con la Sierra de Santa Catarina y presenta una inclinación al norte. En la parte norte, se encuentra delimitado por una falla que presenta una orientación ENE-WSW y una inclinación al sur, fue identificada por la correlación entre los pozos profundos Mixhuca y San Lorenzo Tezonco (Arce et al., 2013).

En la **Figura 2.6.1**, se observa como los patrones de deformación y fracturamiento en la CEM están determinados por estructuras regionales, contactos litológicos y cambios en la morfología del terreno. Se muestra la cartografía de fracturas y fallas normales reportadas como Falla Mixhuca (MI), Falla Santa Catarina (CA), Falla San Lorenzo Tezonco (SLT) y Falla Copilco (CO).

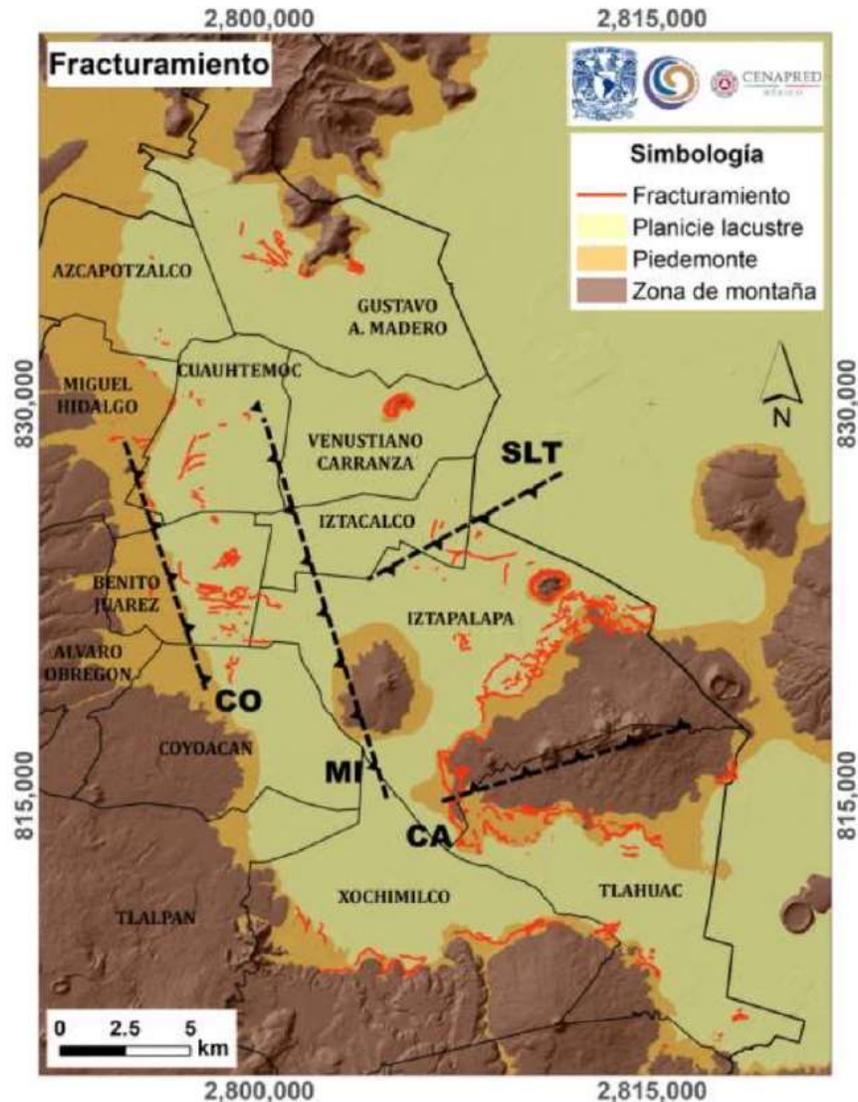


Figura 2.6.1. Mapa de fracturas que afectan a la Ciudad de México, se muestra el relieve de la ciudad y las fallas geológicas regionales. Elaborado por el Centro de Geociencias de la UNAM. Tomado de Carreón-Freyre, 2017.

Asociados a las cadenas montañosas de origen volcánico que limitan la Cuenca de México, existen sistemas de fallas que muestran orientaciones preferenciales E-W y NE-SW. La parte sur de la Ciudad de México se encuentra limitada por los sistemas de falla normales Xochimilco y Xicomulco, presentando una orientación E-W cuyo bloque caído está en el norte (García-Palomo et al., 2008). En la parte interna de la Cuenca de México se encuentra la Falla de Mixhuca con dirección preferencial NW-SE, esta falla cruza la Ciudad de México, el bloque caído corresponde al segmento poniente (**Figura 2.6.2**) (Pérez Cruz , 1988).

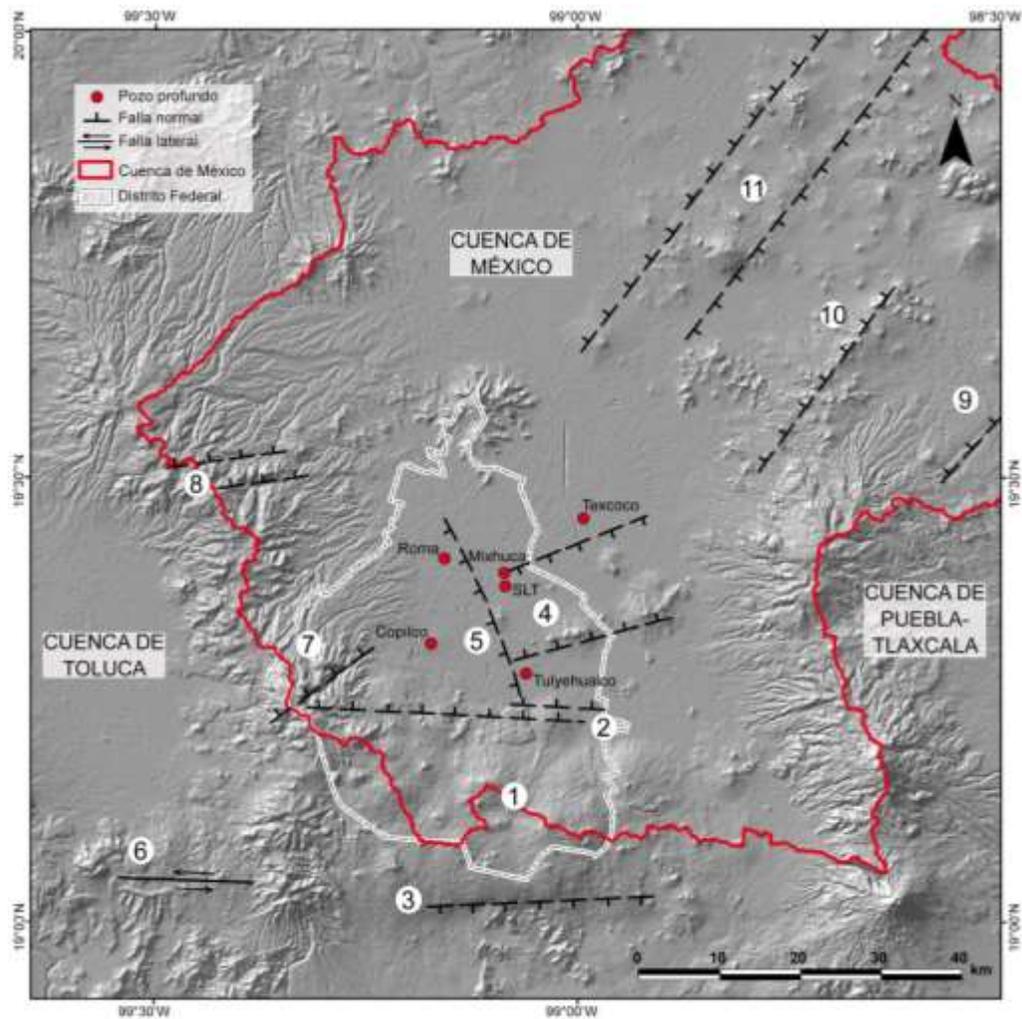


Figura 2.6.2. Modelo Digital de Elevación de la Cuenca de México, se muestran estructuras geológicas. 1) Pilar (Horts) de Chichinautzin (Siebe et al., 2004b), 2) Sistema de Fallas de Xochimilco y Xicomulco (García-Palomo et al., 2008), 3) Sistema de Fallas de La Pera (Delgado-Granados et al., 1995; Alaniz-Álvarez y Nieto-Samaniego, 2005), 4) Graben de Santa Catarina (Arce et al., 2013a), 5) Falla Mixhuca (Pérez-Cruz 1988), 6) Sistema de Fallas Tenango (Norini et al., 2006), 7) Falla Contreras (Arce et al., 2015), 8) Sistema de Fallas de Ixtlahuaca y Otomí (García-Palomo et al., 2008), 9) Segmento sur del Sistema de Fallas Apan-Tláloc, 10) Falla Texcoco y 11) Sistema de Fallas Tizayuca (García-Palomo et al., 2002). Tomado de González-Torres et al, 2015.

3. Principios de los Residuos de la Construcción y Demolición (RCyD)

3.1 Definición y clasificación de los RCyD

Los Residuos de la Construcción y Demolición (RCyD) se generan durante las actividades de demolición, ampliación, remodelación, modificación o construcción, tanto pública como privada, y coloquialmente se les denomina cascajo o escombro (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2015).

De acuerdo con la (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010), los componentes de los RCyD varían “considerando que, dentro de esta actividad, se aplican diversos métodos constructivos, además de existir una gama muy amplia de actividades tales como: demolición, desmantelamiento, excavaciones, ampliaciones, remodelaciones y otras actividades”. No obstante, Gutiérrez et al., (2012) clasifica a los RCyD en los materiales de mayor generación dentro de las obras de construcción del país, como se muestra en la **Tabla 3.1.1**.

Tabla 3.1.1. Tabla de la composición promedio de los RCyD. Adaptada de Gutiérrez, 2012.

Residuo de la construcción y demolición	Composición promedio (% del total de RCyD)
Material de excavación	43.16
Concreto	24.38
Block tabique	23.33
Tabla roca yeso	4.05
Madera	1.52
Cerámica	0.85
Plástica	0.72
Piedra	0.62
Papel	0.49
Varilla	0.48
Asfalto	0.25
Lámina	0.09
Otros	0.06

La Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC, 2013), considera que los residuos generados en las actividades de despalme no forman parte de los RCyD, a pesar de que “se consideran incidentalmente relacionados con los que se generan como producto de la actividad de la construcción, ya que estos se generan en los trabajos preliminares para el acondicionamiento de terrenos o predios”.

Sin embargo, diversos autores clasifican a los RCyD en un número menor de grupos y, en algunos casos consideran que los residuos peligrosos generados dentro de las actividades de construcción y demolición forman parte de este tipo de residuos. De Santos (2011) clasifica según su origen y su naturaleza como se observa en **Figura 3.1.1**.

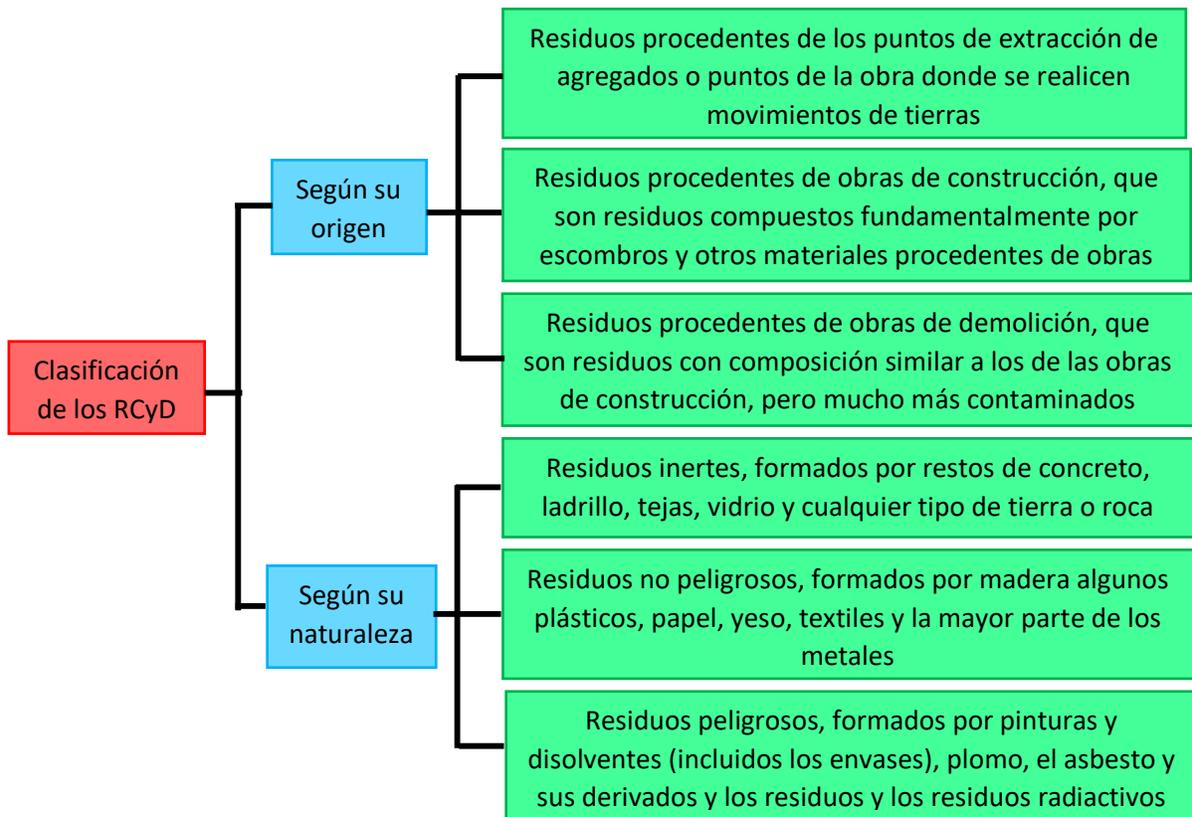


Figura 3.1.1. Clasificación de los RCyD. Adaptada de De Santos, 2011.

3.2 Impacto ambiental de los RCyD

Llatas (2011) expone las causas de la generación de los residuos procedentes de obras de construcción:

- En la recepción de materiales: se producen cuando es necesario deshacerse de productos cuya calidad no es la especificada, cuando han sufrido daños durante su transporte o porque se han suministrado cantidades mayores a las necesarias. En resumen, por errores de gestión y control de calidad.
- En el almacenaje: durante y como consecuencia del almacenaje en obra de los materiales suministrados, se producen residuos por una defectuosa organización o gestión de la empresa constructora.
- En la ejecución: la generación de residuos depende de factores organizativos de la empresa constructora, de la calidad de especificación del proyecto, de las tecnologías aplicadas y de las cualidades de los trabajadores.

Por lo anterior, Acosta (2002) recomienda evaluar los posibles impactos ambientales de las distintas actividades envueltas durante todo el ciclo de la vida de la edificación u obra construida. Especialmente sobre los RCyD; el mismo autor señala que el problema de los residuos de la construcción tiene consecuencias importantes. En primer lugar, el impacto ambiental de lo que se arroja al entorno, en términos de pérdida de recursos naturales, contaminación y desechos tóxicos (Figura 3.2.1).

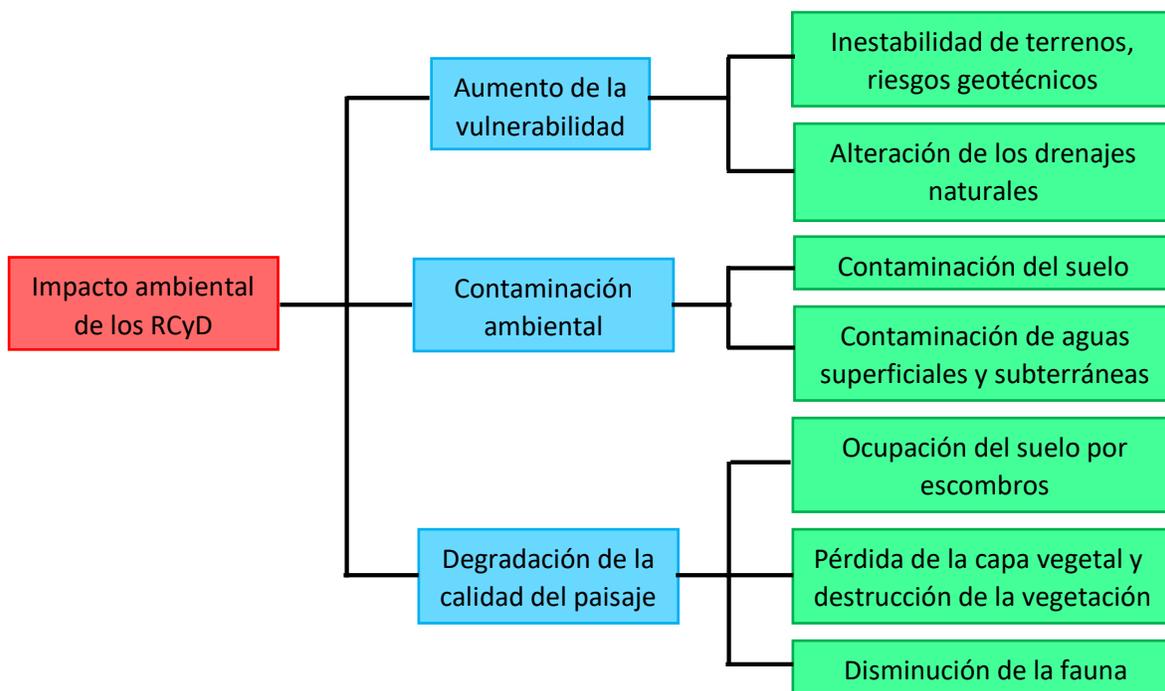


Figura 3.2.1. Impacto ambiental de los RCyD. Adaptada de Acosta, 2002.

Como respuesta al manejo inadecuado de los RCyD, se han identificado diversos problemas ambientales, de imagen urbana y salud (CMIC, 2013):

- Obstrucción de arroyos, cañadas y barrancas.
- Afectación al drenaje.
- Azolve de las partes bajas e inundación de zonas aledañas en temporada de lluvias.
- Afectación al medio biótico (flora y fauna).
- Focos de contaminación por mezcla de residuos, incluso de acuíferos.
- Afectación de zonas de recarga de agua subterránea.
- Impacto visual del entorno.
- Proliferación de polvo (contaminación del aire).
- Proliferación de fauna nociva.

3.3 Manejo de los RCyD en Europa, Estados Unidos y México

Con el crecimiento acelerado de las ciudades, desde comienzos del siglo XX, el tema de los residuos de la construcción ha inquietado a los gobiernos de los distintos países en la procura de reducir el impacto ambiental que generan, especialmente en la etapa de disposición. Sin embargo, no es sino hasta pasada la segunda guerra mundial, que se inician acciones relacionadas con el manejo y aprovechamiento de estos residuos en diferentes lugares del mundo, particularmente en Europa (CMIC, 2013).

Por sus características, la disposición de los RCyD conlleva a una serie de dificultades técnicas y económicas si se considera que, aunque no acarrear grandes problemas sanitarios, son residuos de gran volumen y peso que demandan una logística costosa para ser movilizados y grandes extensiones de terreno para ser dispuestos, como consecuencia han sido depositados por décadas de manera irregular en zonas de reserva o zonas inundables con potencial urbanístico en aquellos países donde la regulación es blanda o no existe. El Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición (2017), expone la situación de los RCyD en la Unión Europea, Estados Unidos y México:

- Unión Europea. En Europa, la investigación relacionada con el aprovechamiento de los RCyD inició después de la Segunda Guerra Mundial, debido a la gran cantidad de residuos generados con estas características y que debían ser usados en la reconstrucción de las ciudades al no contar con los recursos económicos y naturales para hacerlo exclusivamente con materiales de primer uso.

De acuerdo con los datos de la Agencia Ambiental Europea (EEA, por sus siglas en inglés), para 2012, entre el 1% y el 3% del total de generadores de residuos corresponden a generadores de RCyD, pero la cantidad producida por estos representa tres veces lo generado de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), proporción que resalta la importancia de su gestión y optimización en el uso de recursos.

Antes los RCyD eran dispuestos en conjunto con los RSU; sin embargo, al implementarse el manejo controlado de los residuos en la segunda mitad del siglo XX, por sus características inertes se procedió a separarlos y disponerlos en sitios con menor control que los destinados a los RSU. En la actualidad, la aplicación de la jerarquía de las 3R (reducir, reusar y reciclar) obliga a implementar nuevas acciones encaminadas a priorizar la prevención y minimización, fomentar la reutilización y el reciclaje y dejar como última opción la disposición final; esto implica la separación de los residuos y el desarrollo de plantas capaces de procesar los RCyD. En la **Tabla 3.3.1** y **Tabla 3.3.2**, se muestra algunos datos de generación y el porcentaje de reciclaje de los RCyD en Europa.

Las tarifas a la disposición en rellenos sanitarios es una política aplicada ampliamente en toda la región para impulsar el reciclaje. Esta estrategia se aplica en algunos países en combinación con otras iniciativas, como la obligación de la separación en la fuente, el planteamiento de metas específicas de reciclaje o la prohibición de los rellenos sanitarios. La separación obligatoria en la fuente parece ser una buena opción en aquellos países en los que no se implementan las tarifas a los rellenos sanitarios. Sólo algunos países cuentan con estándares para la reutilización y reciclaje de los RCyD.

Tabla 3.3.1. Reciclaje de RCyD en algunos países de Europa. Tomada del Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición. Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. , 2017.

RCyD País	Concreto, ladrillos y tejas		Asfalto		Madera, vidrio, metal, plástico y yeso		Suelo dragado, balasto férreo		Otros minerales		Total reciclado	
	Toneladas per cápita	% del total	Toneladas per cápita	% del total	Toneladas per cápita	% del total	Toneladas per cápita	% del total	Toneladas per cápita	% del total	Toneladas per cápita	% del total
Países Bajos	0.34	22.1	0.00	0	0.00	0	0.00	0	1.14	74	1.55	98.1
Dinamarca	0.31	29.0	0.18	17	0.02	1.6	0.41	39	0.00	0	1.07	94.9
Estonia	0.16	10.1	0.06	3.7	0.34	21.0	0.88	54	0.00	0	1.64	91.9
Alemania	0.38	19.6	0.22	12	0.00	0.1	1.37	71	0.38	20	1.93	86.3
Irlanda	0.00	0	0.00	0	0.00	0	1.88	60	0.45	14	3.14	79.5
Bélgica											0.75	67.5
Reino Unido											1.22	64.8
Francia	0.00	0	0.00	0	0.03	0.9	0.00	0	3.39	99	3.42	62.3
Noruega	0.13	79.3	0.00	0	0.02	14	0.00	0	0.01	4.3	0.16	61.0
Lituania											0.11	59.7
Austria	0.12	26.0	0.12	25	0.00	0	0.03	6.2	0.21	44	0.48	59.5
Letonia											0.02	45.8
Polonia	0.00	0.6	0.00	0	0.12	93	0.01	5.2	0.00	0.1	0.13	28.3
Finlandia											0.41	26.3
República Checa	0.04	14.3	0.00	0	0.00	0.1	0.00	0	0.00	0	0.27	23.0
Hungría	0.01	15.3	0.01	7.1	0.04	51	0.02	19	0.01	7.1	0.08	15.5
España											0.12	13.6
Chipre											0.01	0.7

Tabla 3.3.2. Política de Intervención Seleccionadas en Países de Europa. Tomada del Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición. Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. , 2017.

País	% de reciclaje de RCyD	Políticas de Intervención Seleccionadas					
		Prohibición de rellenos sanitarios	Separación en la fuente obligatoria	Metas de re uso	Metas de reciclaje	Reintegro al proceso por el productor	Tasa a los Rellenos Sanitarios
Países Bajos	98.1	Fracción Combustible		Si	Si		Si
Dinamarca	94.9	Fracción Combustible	Si		Si		Si
Estonia	91.9						Si
Alemania	86.3		Si				
Irlanda	79.5				Si	Si	Si
Bélgica	67.5						Si
Reino Unido	64.8		Si				Si
Noruega	61.0		Si				
Lituania	59.7		Si				Si
Letonia	45.8	Si	Si		Si		Si
Finlandia	26.3		Si				Si
República Checa	23.0						Si
España	13.6			Si	Si		Si

- Estados Unidos. Los RCyD no están considerados dentro de la lista de residuos peligrosos ni tampoco como residuos municipales, por esta razón los lugares donde se tiraban los escombros o cualquier tipo de desperdicios provenientes de la construcción, no contaban con regulación para su construcción y operación; los rellenos que aceptaran los provenientes de usuarios municipales o de pequeños generadores, debían cumplir las regulaciones incluidas en el Resource Conservation and Recovery Act (RCRA). La normativa de estos lugares de disposición es muy reciente y se encuentra en etapa de revisión e implementación. Del lado de la prevención, por una orden ejecutiva, el Gobierno Federal de Estados Unidos está obligado a utilizar productos reciclados y ambientalmente favorables, lo que afecta la corriente de los RCyD ya que la lista incluye un gran número de materiales como los tapetes y aislamientos.
- Manejo de los RCyD en México. La industria de la construcción es una de las actividades económicas más importantes del país. En 2015, aportó el 7.3% del Producto Interno Bruto (PIB), siendo la cuarta con la mayor contribución (Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM., 2017). En la **Tabla 3.3.3**, se muestra el porcentaje del PIB por sector de actividad económica a nivel nacional.

Tabla 3.3.3. Distribución porcentual del PIB por actividad económica en el año 2015. Tomada del Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición. Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. , 2017.

Concepto	Porcentaje (%)
Producto Interno Bruto, a precios de mercado	100
Impuestos a los productos, netos	2.7
Valor agregado bruto	97.3
Industrias manufactureras	16.8
Comercio	15.7
Servicios inmobiliarios y de alquiler y de bienes muebles e intangibles	11.9
Construcción	7.3
Minería	6.8
Transportes, correos y almacenamiento	5.9
Servicios financieros y de seguros	4.6
Actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales	3.6
Información en medios masivos	3.5
Servicios educativos	3.5
Servicio de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	3.1
Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza	3.0
Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final	2.3
Servicios profesionales, científicos y técnicos	2.2
Servicios de alojamientos temporal y de preparación de alimentos y bebidas	2.1
Otros servicios, excepto actividades gubernamentales	2.0
Servicios de salud y de asistencia social	1.8
Corporativos	0.6
Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	0.4

El sector de la construcción es parte fundamental de la economía nacional, sin embargo, los proyectos de infraestructura también son los principales generadores de impactos negativos sobre el ambiente, entre los más relevantes se encuentran los listados en la **Tabla 3.3.4**.

Tabla 3.3.4. Impactos ambientales generados por la ejecución de proyectos de infraestructura.
Adaptada de Zolfagharian, 2012.

Clasificación	Impactos
Impacto público	Cambios en las condiciones de higiene del sitio
	Efectos a la salud pública
Impacto a recursos naturales	Consumo de energía del sitio
	Transporte de recursos
	Consumo de recursos naturales
Impacto a ecosistemas	Destrucción o disminución de hábitats
	Contaminación luminosa
	Contaminación auditiva
	Generación de polvo
	Contaminación del suelo
	Sustancias suspendidas en el agua, como plomo y arsénico
	Contaminación del aire
	Afectación a flora y fauna
	Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles y Clorofluorocarbonos (CFC)
	Erosión de suelos
	Contaminación del agua
	Generación de residuos
	Contaminación química
	Alteración del paisaje
	Emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

En 1988 se publicó la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) con el fin de regular las actividades que, como ésta, tienen potencial de dañar el ambiente. De este modo, se vuelve obligatoria la realización de evaluaciones de impacto ambiental (EIA) al realizar obras de construcción, con el fin de autorizar la ejecución de dicho proyecto. Martínez et al., (1999), expone algunos beneficios de realizar una evaluación ambiental efectiva, como:

- Proporciona un grado apropiado de protección a los recursos naturales, la calidad del ambiente y la salud pública.
- Unifica la información relevante sobre la acción propuesta, el estado del ambiente afectado, y los tipos de impactos ambientales potenciales que pueden resultar de la ejecución de las alternativas propuestas a la acción.
- Promueve la selección de las alternativas más apropiadas, prevención de contaminación, y el uso de mejores prácticas de manejo y tecnología para reducir la magnitud de los impactos ambientales que resultan de las acciones que se ejecutan.

Sin embargo, en materia de RCyD no existe suficiente regulación a nivel nacional para su correcta gestión. Hasta el momento, solo se han podido identificar cuatro entidades federativas que cuentan con sitios de disposición final autorizados: Guanajuato, Baja California, la Ciudad de México y el Estado de México; estos dos últimos cuentan con sistemas de recolección y transporte, al igual que de 14 sitios de disposición final especializados para este tipo de residuos, ubicados dentro del territorio mexiquense (CMIC, 2013).

La Ciudad de México dentro del contexto nacional, es la entidad que mayormente resalta cuando se aborda la temática de los RCyD, ya que además de ser una zona densamente poblada, constantemente se desarrollan obras de construcción tanto de carácter público como privado. En la actualidad no se dispone de datos reales y comparables en el país sobre la generación de los RCyD, por lo anterior, las pocas cifras que son publicadas se generan a partir de estimaciones, comparaciones o métodos indirectos. Derivado de los programas de registro de transportistas que colectan los RCyD de la CDMX, elaborado tanto por la SEDEMA como por la CMIC, se ha podido construir un esquema de manejo de residuos en el cual se destaca que el 76% de estos materiales proviene de obra pública, el restante proviene de obras pequeñas o privadas (**Figura 3.3.1**) (Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM., 2017).

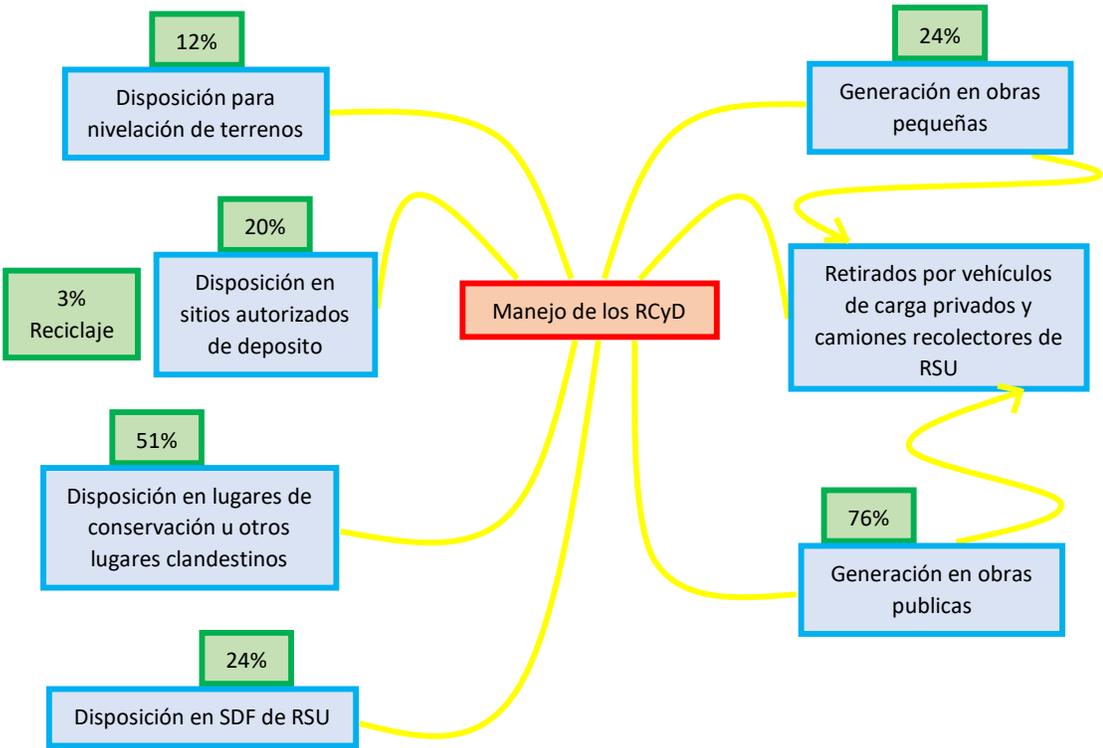


Figura 3.3.1. Manejo actual de los RCyD en la Ciudad de México. Adaptada de CMIC, 2013.

3.4 Problemas asociados a los RCyD en México

La administración y el manejo de los RCyD en México es deficiente, la mayor parte de las entidades federativas se encuentran atrasadas respecto a la promulgación de leyes y reglamentos enfocados al control de estos residuos. La Ciudad de México cuenta con un sistema de gestión adecuado de RCyD con un sistema de recolección y transporte que deposita estos materiales en sitios autorizados del Estado de México, los cuales, aunque no cumplen en gran medida con criterios de disposición, es un primer avance en el marco del control de los RCyD (Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM., 2017).

El 20 de diciembre del 2004 entro en vigor la NOM-083-SEMARNAT-2003, norma obligatoria que deben cumplir las entidades públicas como privadas responsables de la disposición de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en México, en donde se establece: “Las especificaciones de protección ambiental no sólo en la etapa de selección del sitio, sino también en las etapas de diseño, construcción operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un Sitio de Disposición Final (SDF) de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y de manejo especial”. Además, que los sitios destinados a la ubicación de infraestructura, diseño, construcción, clausura, monitoreo y obras complementarias, se realicen cumpliendo con los lineamientos técnicos que tendrían que construirse si fuese el caso, para que garanticen la protección del ambiente, la preservación del equilibrio ecológico y de los recursos naturales, minimizando los efectos contaminantes provocados por la inadecuada disposición de los residuos sólidos urbanos, así como los de manejo especial. (Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM., 2017).

La Ciudad de México cuenta con la norma NADF-007-RNAT-2013 destinada al manejo de los RCyD y el Estado de México con la norma NTEA-011-sma-rs-2008 (Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM., 2017). En la **Tabla 3.4.1** se comparan las especificaciones y los procedimientos para el manejo de los RCyD de las normas mencionadas.

Tabla 3.4.1. Exigencias para el manejo de RCyD en las normas NADF-007-RNAT-2013 Y NTEA-011-SMA-RS-2008. Tomado del manual Técnico Para la Localización de Sitios para la Disposición Final de Residuos de la Construcción y Demolición. Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. , 2017.

Norma	Especificaciones y procedimientos
NAD-007-RNAT-2013	-Separación en la fuente generadora de residuos -Almacenamiento temporal -Recolección y transporte -Tratamiento -Aprovechamiento -Disposición final
NTEA-011-SMA-RS-2008	-Separación en la fuente -Almacenamiento -Recolección y transporte -Aprovechamiento -Disposición final -Instrumentos de control

La emisión de estas normas se debe a la gran generación de RCyD dentro de la Zona Metropolitana de la Cuenca de México dado que, específicamente en la Ciudad de México, esta entidad es una de las mayores generadoras de estos residuos, mientras los sitios de disposición final autorizados están ubicados en el Estado de México. En la **Tabla 3.4.2** se muestran las entidades federativas con mayor generación de RCyD en el año 2011.

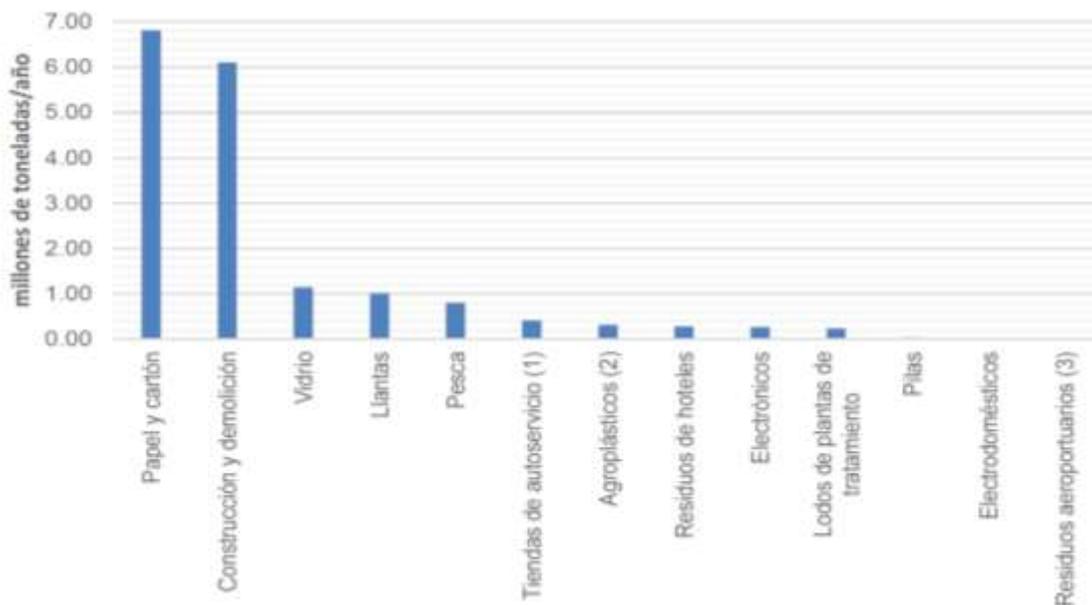
Tabla 3.4.2. Entidades federativas con mayor generación de RCyD en México. Adaptada de CMIC, 2013.

Entidades Federativas	Generación de RCyD (ton)
Nuevo León	850,215.29
Ciudad de México	499,406.60
Chihuahua	485,416.54
Guanajuato	426,537.41
Jalisco	423,079.19

La **Tabla 3.4.2** se realizó a partir de datos relativos a la superficie total construida por tipo de obra y a los principales indicadores de las empresas constructoras. Esto se debe a que actualmente no se dispone de datos reales y comparables en el país sobre generación de los residuos de la construcción por entidad.

Los RCyD forman un gran porcentaje del total de residuos generados. En peso promedio, representan el 17.5% de los RSU. Para el sexenio 2006-2012, dentro del grupo de Residuos de Manejo Especial (RME), este tipo de residuos fue el tercero con mayor generación en el país, con un promedio de 6.11 millones de toneladas al año, por debajo de las excretas de ganado con 66.71 millones de toneladas al año, y papel y cartón con 6.82 millones de toneladas al año (Secretaría del

Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012). En la **Figura 3.4.1** se muestra la generación anual promedio de RME en México, dentro del periodo 2006-2012.



Notas:

1. Los residuos de las tiendas de autoservicio solo incluyen a Walmart.
2. Los agroplásticos son los desechos como malla sombra, mallas antigranizo y bolsas para cultivo hidropónico, entre otros, provenientes de actividades agrícolas.
3. Los residuos aeroportuarios solo incluyen los producidos en el Aeropuerto de la Ciudad de México.

Figura 3.4.1. Generación anual promedio de RME en México, período 2006-2012. Adaptada de SEMARNAT, 2012.

La gestión de los RCyD en nuestro país es deficiente y presenta problemas de planeación; por lo que, en materia de legislación, la mayor parte de las entidades federativas se encuentran rezagadas en cuanto a la formulación e implementación de leyes y reglamentos enfocados a la gestión integral de los RCyD, e incluso algunas presentan incongruencias a la hora de definir a los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME). No obstante, algunas entidades cuentan con formatos para la elaboración de Planes de Manejo de RME o RCyD. En la **Tabla 3.4.3** se muestra las entidades que cumplen con lo anterior y las observaciones de dichos formatos (Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición, 2017).

Tabla 3.4.3. Estados con formatos de elaboración de Planes de Manejo (RME o RCyD). Adaptada de CMIC, 2013.

Estado	Observaciones
Ciudad de México	Se utiliza para la evaluación de impacto ambiental, pero contempla los RCyD
Guerrero, Tamaulipas, Oaxaca, Puebla, Morelos, Estado de México, Quintana Roo	El formato es para RME, pero cuenta con un apartado para RCyD

3.5 Metodología para la localización de Sitios de Disposición final para los RCyD

Ambientales

Debido a que existen diversas metodologías y propuestas para la evaluación ambiental de proyectos, de acuerdo con el listado incluido en el artículo 28 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), y siempre que no genere cambio de uso de suelo forestal, se decidió tomar como base el listado de aspectos ofrecido por la Guía de Autoevaluación Ambiental de la PROFEPA, la Guía para la Presentación del Informe Preventivo de la SEMARNAT y complementado con la Guía para la Presentación de MIA, también de la SEMARNAT; ya que son instrumentos emitidos por entidades de carácter nacional y que son reconocidos por autoridades y particulares. Así mismo se puede contar con diversas propuestas para realizar estudios de impacto ambiental, algunas integran el componente socioeconómico y otras no. Para la evaluación de este tipo de proyectos se considera pertinente considerar los dos aspectos separadamente, por una parte, el aspecto ambiental y por otra el socioeconómico (Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM., 2017).

VARIABLES Ambientales. Los aspectos ambientales que deben ser considerados para emplazar un sitio de disposición final (SDF) de RCyD son los siguientes (Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM., 2017):

- Aire. El aire tiene un papel fundamental a la hora de emplazar un SDF de RCyD, ya que las corrientes de aire traen consigo emisiones de contaminantes (i.e.: COVs, compuestos orgánicos volátiles) y se asocian con frecuencia a la hora de su ubicación.

La lista de contaminantes puede ser muy extensa, sin embargo, la fuente también determina el tipo de contaminante: si proviene de la quema de combustibles fósiles (transporte o generación de energía) o de procesos industriales específicos. Estos contaminantes pueden ser primarios, si tienen la misma composición con la que fueron descargados o secundarios, cuando son producto de una reacción posterior en el ambiente. Con relación al ruido, es importante considerar el receptor: el ruido puede provenir de actividades humanas, si son trabajadores en su jornada laboral, o ruido ambiental si se refiere a los habitantes de una determinada zona.

Las emisiones de gases y partículas, así como la generación de ruido ambiental debido al uso de maquinaria, transporte y movilización de materiales parte del proyecto se consideran iguales, independiente del lugar de emplazamiento; sin embargo, el impacto generado dependerá de la proximidad de las áreas pobladas y la presencia de otras fuentes de contaminación en el sitio. Con esta condición, el escenario más favorable para emplazar este tipo de proyectos corresponde a una zona con otros usos de facto de tipo industrial o de dotación urbana que generan impactos similares relacionados con emisiones y ruido, de preferencia en zonas despobladas.

La información puede ser obtenida a través de mapas de calidad de aire, mapas de ruido o a través de medición directa in situ de ser necesario.

- Agua. Para ubicar un SDF de RCyD, un aspecto de suma importancia que hay que considerar es el aspecto hidrológico por los impactos negativos que esta infraestructura pudiera ocasionar. Se recomienda abstenerse de emplear terrenos que corresponden a zonas de recarga de acuíferos, así como evitar zonas con riesgos de inundación.

Los cuerpos de agua pueden ser afectados al ubicar inadecuadamente un SDF de RCyD, esta afectación puede ser por captación de aguas para consumo, el vertimiento de aguas residuales o la presencia de contaminantes por vía aérea que lleguen al agua.

Los vertimientos consistirán principalmente en aguas servidas y materiales de escorrentía o lixiviación, que se espera que sean entregadas a la red de alcantarillado con el tratamiento necesario. Así, lo más favorable será que no haya cuerpos de agua superficiales o subterráneos que se puedan ver afectados por la actividad; y que se cuente con acceso a la red de alcantarillado y de suministro de agua para consumo básico de las áreas administrativas.
- Suelo. La alteración de este aspecto ambiental a la hora de emplazar un SDF de RCyD puede darse por cambios en su estructura o por contaminación con sustancias nocivas. Las principales fuentes de contaminación corresponden a actividades industriales, por entendimiento del aire o agua que terminan depositando materiales en el suelo e incluso su remoción o el cambio en su estructura y composición.

Por esta razón, es importante considerar el uso actual del suelo al emplazar un SDF de RCyD, tanto el establecido en los planes de ordenamiento regionales o locales, así como el que se da de facto; también si el sitio está inmerso en un área natural protegida (ANP) o cualquier otra declaratoria de suelo de conservación y sus alcances en cuanto a actividades permitidas o infraestructura proyectada a futuro. Otra condición importante a tener en cuenta es la presencia de pasivos ambientales, como impactos ambientales de la minería, sitios contaminados o cualquier otra condición que genere que el proyecto asuma riesgos ambientales adicionales.

La mejor condición para emplazar el sitio de disposición será que el uso de suelo sea de tipo industrial de acuerdo con el plan de ordenamiento territorial del municipio, sin pasivos ambientales.
- Residuos. Antes este aspecto se incluía en la evaluación del suelo, debido a que los residuos se disponían básicamente en el suelo. En la actualidad se da prioridad a la gestión de los residuos, desde la prevención hasta su reincorporación a los procesos y tomando como última opción su disposición final en el suelo.

El control y minimización de los riesgos generados por los residuos, particularmente de los RCyD son la razón de ser del proyecto, por lo tanto, el plan de manejo debe estar en sintonía con el plan municipal de residuos y el predio debe permitir el acceso de los sistemas de recolección de aquellos que no son recibidos, tanto peligrosos como no peligrosos. Por esta razón es suficiente con evaluar si el predio se encuentra conectado por vías de acceso que permiten el ingreso de los sistemas de recolección municipal.

El no contar con Sitios de Disposición de RCyD autorizados, origina que los planes de manejo para el control de estos residuos no se cumplan y por consecuencia estos residuos se encuentren presentes en sitios a cielo abierto, como camellones, barrancas, cerca de ríos etc., ocasionando afectaciones al medio ambiente.

- **Energía.** La generación y consumo de energía tiene implicaciones ambientales, que están relacionadas principalmente con la fuente de energía: la más común que proviene de los combustibles fósiles quemados con tecnología convencional, que resulta ser de las más contaminantes.

Para el uso de energía eléctrica en los servicios de alumbrado y de oficina, se espera contar con acceso a la red pública, de no contarse con el acceso a la red, es necesario evaluar fuentes alternas que permitan el suministro de preferencia que sean limpias. Si el consumo excederá los 0.5 MW se debe considerar la exigencia de los permisos por parte de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) en atención a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento.

Por otra parte, contar con redes de energía existentes al ubicar un sitio de disposición de RCyD, implicaría un ahorro económico, es decir, no se invertiría en alguna otra fuente alterna de energía para proveer de energía a la infraestructura, por eso será conveniente que los sitios de disposición de RCyD a ubicar, se encuentren los más cerca posible de las redes de energía.
- **Recursos forestales y vida silvestre.** Al emplazar un SDF de RCyD, se debe considerar la extensión y distribución de los recursos forestales y vida silvestre, lo estratégico en un ecosistema, según Herrera en 2014 se puede dar por varias razones: la urgencia y razones para su preservación dada la escasez de recursos naturales, su representatividad o sus atributos ecológicos destacados, como panorámicas, entornos de lúdica acuática, senderos, bosques periurbanos y las formas de intervención a razón de los bienes y servicios ambientales (emergencia por valores de existencia de la naturaleza).

La condición más favorable para este tipo de proyectos será un sitio en el cual no exista la capa vegetal virgen porque ha sido removida para otros usos anteriores al emplazamiento, que no se encuentren especies o ecosistemas endémicos de la región y sea una zona natural altamente modificada que no ofrezca servicios ambientales de gran valor.

En caso de que las únicas áreas disponibles correspondan a zonas vírgenes o poco intervenidas, es conveniente contar con un inventario de flora y fauna para identificar especies protegidas, de dominio vital y las relaciones entorno-especies para caracterizar el riesgo de alterar el ecosistema con el emplazamiento.
- **Riesgo, Emergencias y Gestión Ambiental.** El control y gestión del riesgo industrial y ambiental endógeno son aspectos inherentes al diseño, ejecución y desarrollo del proyecto. Sin embargo, para esta etapa es importante considerar si el lugar de emplazamiento se encuentra en zonas de riesgo natural como inundaciones, sismos o deslizamientos; lo que se puede determinar con ayuda de los mapas de riesgo, existentes para algunas zonas del país; de no existir dicha información, es necesario evaluarla a partir de información histórica. También es importante considerar si el sitio permite la atención y contención de las posibles emergencias que se presenten, por eso será conveniente que el predio cuente con acceso adecuado, para los cuerpos de emergencia y que se encuentren lo más cercana posible a una distancia de los centros de atención que permita una respuesta oportuna.

En la **Tabla 3.5.1** se incluye el total de variables analizadas y algunos de los indicadores que se deben tener en consideración.

Tabla 3.5.1. Variables ambientales. Tomada del Manual Técnico para Localización de Sitios para la Disposición Final de Residuos de la Construcción y Demolición. Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. , 2017.

Aspecto Ambiental	Variable	Indicadores
Aire	Contaminantes atmosféricos	Generación de contaminantes atmosféricos (partículas, gases, vapores y humos) por fuentes fijas o móviles.
	Ruido	Generación de ruido por maquinaria y remoción de materiales
Agua	Cuerpos de agua	Presencia de cuerpos de agua superficiales y subterráneos potencialmente afectados
	Aguas de uso	Disponibilidad de red pública, requerimiento de uso y necesidad de permisos
	Aguas servidas	Disponibilidad de la red, requerimientos de descarga y necesidad de permisos
Suelo	Conservación	Uso actual de suelo, legal y de facto. ANP
	Condiciones especiales	Presencia de pasivos ambientales
Residuos	No peligrosos	Plan de manejo, inclusión en el plan municipal
	Peligrosos	Plan de manejo
Energía	Fuente de energía	Disponibilidad de la red pública
	Generación	Generación de energía por fuentes alternativas
Recursos forestales y vida silvestre	Vegetación	Inventario/Especies protegidas, áreas sensibles
	Fauna	Inventario/Especies protegidas, dominio vital
	Ecosistemas estratégicos	Relaciones entorno-especies
Riesgo, emergencias y gestión ambiental	Riesgos ambientales	Riesgos naturales: sismos, deslizamientos e inundaciones. Riesgos antrópicos: Industriales, delincuenciales.
	Atención de emergencias	Capacidad de atención y respuesta interna y externa, presencia de cuerpos de socorro
	Gestión ambiental	Manejo interno del riesgo

Geología

Dentro de la metodología para la instalación de un RCyD mencionada se considera en la presente tesis la geología del sitio seleccionado. Se aborda el aspecto geológico que es indispensable a considerar cuando se propone un sitio para la instalación de un RCyD en nuestro país. Los estudios se enfocan en el conocimiento de la superficie terrestre, lo que implica conocer su origen, forma y evolución. Para lograrlo es necesario en primera instancia desarrollar un análisis previo mediante un reconocimiento preliminar (trabajo de gabinete), el cual consiste en recopilar información disponible (topografía, cartografía geológica, imágenes satelitales, estudios previamente realizados por instituciones gubernamentales, artículos de boletines, revistas y tesis de índole geológica).

La información geológica de estudios realizados en el país pueden ser consultados en diversos portales electrónicos de diferentes instituciones gubernamentales y universidades nacionales. Los mapas geológicos pueden ser consultados en plataformas específicas incluyendo aquellas que han utilizado la técnica de Percepción Remota (Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM., 2017).

Posteriormente a la etapa de reconocimiento preliminar, es necesario realizar una etapa de trabajo de campo programado en el sitio elegido con la finalidad de conocer la geología del área en estudio y el entorno de este.

Para un estudio geológico con el detalle que se requiere para emplazar un Sitio de Disposición Final y Residuos de la Construcción (RCyD), existe una base cartográfica a escala 1: 50,000 editada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) o las del Servicio Geológico Mexicano (SGM). Es preciso mencionar que existe la cartografía topográfica que cubre todo el país; sin embargo, aún no se encuentra cubierta la totalidad de la cartografía geológica del territorio mexicano, aunque para las ciudades importantes, como la Ciudad de México, existe la geología a detalle que corresponde a la carta con clave E14 A39 editada en el año de 1978. La información se analiza y se sintetiza para obtener información acerca del origen geológico, litología, estratigrafía y fenómenos asociados a la geodinámica (sismicidad, presencia de fallas y fracturas). (Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM., 2017).

Posteriormente se realiza un reconocimiento más detallado al área en estudio, que permite evaluar la información geológica recopilada y fundamentar un programa de exploración e investigación geotécnica en el área de interés. Como producto se tendrá un informe geológico preliminar del sitio RCyD (Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM., 2017).

Explotación e investigación geológica a detalle

En esta etapa el objetivo es determinar y comprender la geología del área en estudio y de su entorno, por lo tanto; la extensión de los trabajos del sitio seleccionado, dependerá de las dimensiones del sitio de RCyD, de tal manera que el informe pueda ser utilizado para fines de diseño. Las actividades que se realizan durante esta etapa son las siguientes (Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición, 2017):

1.- Elaboración de un mapa geológico. Se considera la superficie del terreno del área en estudio del sitio de RCyD a una escala adecuada. En un primer acercamiento se apoya con imágenes de satélite que cubra la superficie total y los alrededores del sitio en estudio, con la finalidad de tener información geológica a nivel local, primordialmente para el conocimiento a profundidad y laterales en las unidades de roca y/o suelos. Es importante mencionar que, para la generación de la cartografía geológica, es conveniente y muy recomendable apoyarse en la herramienta de la percepción remota (Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición, 2017):

- Definición de la litología y estratigrafía. Se logra mediante la obtención de muestras de las diferentes unidades de suelo y roca, que sean representativas para su descripción y realización de pruebas in situ para conocer su clasificación y origen geológico. Se seleccionarán algunas muestras para su análisis posterior en laboratorio y la determinación de la mineralogía y petrología.
- Suelos. La clasificación de los suelos debe de realizarse en el sitio de estudio de manera macroscópica, se determina su espesor, distribución y posición estratigráfica mediante un perfil de campo que muestre los diferentes tipos de suelo con sus respectivos espesores (que pueden variar desde milímetros hasta varios metros). Se colectan muestras representativas de los suelos y posteriormente son analizadas en el laboratorio, en donde el objetivo es realizar su clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), adicionalmente se determinan sus propiedades índice y el origen del suelo en estudio (Comision Federal de Electricidad , 1981).
- Rocas. La clasificación y distribución de la diferentes unidades de rocas se verifica (en caso de existir información geológica preliminar), y se realiza en aquellos sitios en donde se encuentren afloramientos en el terreno, primeramente se hace un reconocimiento en toda la superficie del sitio de RCyD con la finalidad de conocer cuántos tipos de unidades de rocas afloran, posteriormente se realiza un muestreo de cada roca, con la finalidad de realizar una clasificación macroscópica de la muestra considerando su origen, se colectarán muestras representativas de las diferentes unidades de roca para realizar un análisis de la mineralogía y petrología de la roca y determinar su clasificación y origen.
- Estratigrafía. Los objetivos de la estratigrafía son la identificación de los materiales, delimitación de unidades lito estratigráficas, ordenación relativa de las unidades (mediante la elaboración de columnas y secciones estratigráficas), interpretación genética de las unidades, levantamiento de secciones estratigráficas y su correlación estratigráfica. Dentro de las actividades de índole geológica para el emplazamiento de un sitio de RCyD, es necesario determinar la estratigrafía en la superficie de estudio, mediante la realización de una columna estratigráfica que define como fueron depositadas las diferentes unidades de roca. Se miden los espesores de las rocas y suelos presentes en el subsuelo, en la base

quedará ubicada la unidad de roca o suelo más antigua y en la cima las unidades de roca o suelo más reciente. Es preciso mencionar que la edad para los suelos se mide en miles de años y para las rocas la escala varía desde miles de años hasta millones de años. La estratigrafía además nos ayuda a definir el espesor, distribución y posición en la secuencia de las diferentes unidades de roca y suelo presentes en el sitio de RCyD, para comprender como ha sido la evolución histórica de las rocas y suelos en el área de estudio desde el punto de vista geológico.

2.- Geología Estructural y discontinuidades. Para mejor comprensión del comportamiento del sitio de RCyD, es primordial reconocer las estructuras geológicas y discontinuidades de las rocas y/o suelos como son: fallas, fracturas, diaclasas, planos de estratificación, contactos litológicos, pliegues y discordancias. A continuación, se hace una descripción de estas estructuras y discontinuidades geológicas haciendo énfasis en las características que deben de considerarse en el área de estudio (Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición, 2017):

- Falla. Es una estructura geológica donde existe un rompimiento y desplazamiento apreciable de las rocas en la corteza terrestre (Arellano et al., 2002). Estos accidentes tectónicos pueden ser de diferentes longitudes, llegan a medir hasta decenas de kilómetros según la edad y desde luego determinar si es activa. Una falla activa es aquella que se ha movido en el pasado geológico, en el presente y que puede moverse en el futuro. Los sismos pueden provocar fallas, así como también las fallas, al reactivarse pueden generar sismos a lo largo del lineamiento. Un ejemplo de una falla activa es el sistema regional de Fallas de San Andrés. Los datos estructurales que se deben de recopilar en el área de estudio son los siguientes: Orientación (rumbo y buzamiento), longitud (del orden de metros hasta kilómetros), desplazamiento neto de la falla (centímetros, metros y decenas de metros) y de ser posible sus componentes del desplazamiento, tipo de material de relleno en la falla y en la pared (determinar si es lisa, alabeada, rugosa, con presencia de estrías o relieves), edad geológica (reciente, antigua) y determinar si es activa o inactiva, el estado mecánico, es decir si se trata de una falla tensional, compresional o de cizalla, y finalmente la clasificación de la falla: si es normal, inversa o de transcurrencia (Arellano et al., 2002).
- Fractura. Término que se aplica generalmente para cualquier ruptura en la roca sin presencia de desplazamiento, originado por esfuerzos de tensión. Las fracturas por lo general presentan aberturas del orden de milímetros a centímetros. El fracturamiento en las rocas es una manifestación de la intensidad y dirección de los movimientos tectónicos (Ramsay, 1997). Para determinar el comportamiento de las fracturas en un sitio en estudio, se toma con precisión y orden de los datos de su orientación (rumbo y buzamiento) y localización de cada fractura georreferenciando a un mapa geológico. Posteriormente con la cuantificación de los datos estructurales obtenidos en las fracturas se determina los patrones con la ayuda de la roseta de fracturas y su densidad; un dato importante es determinar si presentan relleno en la abertura de las fracturas y que tipo de material es desde el punto de vista mineralógico.

- Diaclasas. Son fracturas originadas por un súbito enfriamiento en las rocas ígneas, generalmente son más o menos verticales, mediante las cuales no ha ocurrido un movimiento apreciable, se estudian de la misma manera que las fracturas (Ramsay, 1997).
- Discordancias. Son accidentes estructurales que presentan ausencia de correspondencia entre unidades de roca con presencia o ausencia de plegamiento, horizontales, inclinadas y verticales, de modo que expresan diversos ángulos de contactos. Las discordancias son evidencias que han existido movimientos tectónicos, periodos de erosión en las rocas y también posterior depósito por procesos de sedimentación y pueden corresponder a zonas de debilidad y que por lo general están asociadas a cambios notables en la litología (Ramsay, 1997).
- Modelo geológico del subsuelo. Una vez definida la distribución espacial y de las unidades de roca y suelo en el sitio de RCyD, y se cuenta con información geológica suficiente y conocimiento de la litología y de las estructuras existentes, debe considerarse que este conocimiento esta certeramente referido a la superficie, sin embargo, hipotético a el subsuelo, por esta razón es necesario llevar a cabo actividades complementarias, que permitan corroborar el modelo geológico del subsuelo. En este sentido, la forma más exacta de obtener información complementaria, es mediante la perforación de pozos, obteniéndose muestras de la litología (suelos y rocas). Aun así, tal información es puntual y por lo tanto limitante. Lo más adecuado sería tener una gran cantidad de pozos para tener un buen conocimiento del subsuelo. Para tener un modelo más preciso del subsuelo, se pueden emplear métodos indirectos, que de forma rápida y económica permiten tener un modelo más preciso del subsuelo, estos métodos son conocidos como métodos de prospección geofísica. Algunas de los más conocidos y más empleados se describen en la **Tabla 3.5.2:**

Tabla 3.5.2. Métodos de prospección. Tomada del Manual Técnico para Localización de Sitios para la Disposición Final de Residuos de la Construcción y Demolición. Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. , 2017.

Método de Prospección	Descripción
Sísmico	Se basa en determinar los tiempos de recorrido de las ondas Primarias (P) y Secundarias (S) en el subsuelo, desde un punto conocido (fuente sísmica no natural), hasta una serie de receptores (geófonos), localizados a lo largo de una línea de adquisición de datos. El resultado obtenido mediante el método sísmico permite que los estratos de diferentes tipos de roca en el subsuelo puedan ser medidos y definidos mediante la determinación de la velocidad de la onda (metros/segundo) medida en una unidad de roca (Del Valle Toledo , 1986).
Eléctrico resistivo	Determina las variaciones que generan las propiedades eléctricas de las rocas y minerales, especialmente su resistividad, mediante la inducción de un campo artificial eléctrico creado en superficie al hacer pasar una corriente eléctrica en el subsuelo. De tal manera que se puede interpretar los cambios que se producen en el subsuelo, como presencia de agua subterránea o al contenido mineralógico que presentan las unidades de roca, es decir el método utiliza la distribución del subsuelo en términos de homogeneidad, basados en la caracterización de la resistividad (Del Valle Toledo , 1986).
Electromagnético	Se emplea cuando se desea conocer la distribución de la resistividad eléctrica con la profundidad. La trayectoria de la profundidad de la corriente se usa para estimar la profundidad, es decir los voltajes de corta duración proveen información de la resistividad de las capas superficiales y los de mayor duración proporcionan la resistividad de las capas situadas a mayor profundidad (Consultores en Ingeniería Geofísica S. A. de C. V., 2000).
Gravimétrico	Consiste en la medición de la aceleración de la gravedad en una superficie, con el objetivo de detectar las variaciones de la densidad en las unidades de roca en el subsuelo (Consultores en Ingeniería Geofísica S. A. de C. V., 2000).

Los resultados de los estudios geofísicos en el subsuelo y su correlación con la exploración geológica en superficie son ampliamente recomendados y establece un modelo geológico acoplado en la superficie y en el subsuelo, el cual se calibra a través de los cortes litológicos obtenidos con la perforación de algunos pozos. De esta forma, las secciones geoeléctricas y sísmicas realizadas durante la fase de interpretación geofísica son fácilmente calibradas y transformadas en secciones geológicas, permitiendo establecer un modelo geológico 2D o 3D a detalle en el sitio de estudio, en el cual se muestra la distribución geométrica de las unidades de roca y suelos, así como los espesores de las unidades de roca en el subsuelo.

La información geológica obtenida de las actividades anteriores dará como resultado un mapa geológico y secciones geológicas representativas que muestran la distribución en el subsuelo de las diferentes unidades de suelo y roca, con la finalidad de que sea de máxima utilidad en el diseño del sitio de RCyD (Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición, 2017).

Evaluación geológica por la presencia de fallas y fracturamiento en un sitio para RCyD de su entorno

En México, y considerando la Teoría de la Tectónica de Placas, se reconoce que su geología es diversa y por ende el comportamiento de las unidades de roca en el subsuelo dependerá de los esfuerzos a los que se encuentran sometidos. Por este motivo es necesario considerar en un estudio geológico la presencia de fallas (determinar si es activa o inactiva) y su área de influencia a nivel regional, ya que la presencia de estas discontinuidades geológicas en una obra civil no se pueden omitir, al contrario, habrá que cartografiarla y georreferenciarla en el mapa geológico elaborado para el estudio en el caso particular para el emplazamiento de un sitio para RCyD y de su entorno. Las fallas se encontrarán rompiendo y desplazando la secuencia estratigráfica de las unidades de roca, desde la superficie hasta el subsuelo y esta situación puede ocasionar la presencia de sismicidad (liberación de energía debido a que las unidades de roca están sometidas a esfuerzos) durante un tiempo indefinido. Así mismo la presencia de fallas en una obra civil puede propiciar inestabilidad en el subsuelo o incluso en taludes debido a movimientos diferenciales frecuentes y presentar aberturas en las unidades de roca fácilmente observables y medibles en la superficie del terreno en donde se consideraría emplazar la obra civil. (Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición, 2017).

La presencia de fallas en un sitio de RCyD funcionaría como un conducto natural para la migración de contaminantes y lixiviados en los planos de la falla (con solo centímetros de abertura); desde la superficie del terreno hasta decenas de metros en el subsuelo, es importante definir la presencia de fallas y en caso de presentarse, tratar de evitar en lo posible el asentamiento de un sitio de RCyD. Hasta el momento no existe un mecanismo mediante el cual se pueda pronosticar su comportamiento, solo se puede monitorear como el sistema de Fallas de San Andrés, que durante décadas ha propiciado una serie de terrenos que han afectado obras civiles de todo tipo en el estado de California, USA (Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición, 2017).

En lo que respecta al fracturamiento presente en los suelos y rocas, se hace necesario la evaluación de su intensidad en un área donde se pretenda emplazar un sitio de RCyD, además de tener conocimiento de la continuidad del fracturamiento en el subsuelo y de su abertura en la fractura. El fracturamiento es un reflejo de la manifestación de los eventos tectónicos presentes en un sitio. En nuestro país las rocas de manera particular presentan generalmente fracturamiento en el cual se debe de cuantificar y determinar el comportamiento y los patrones en que se orientan las fracturas, ya que el emplazamiento de una obra civil en rocas fracturadas puede traer consigo la inducción de esfuerzos que originen el rompimiento de la roca induciendo que el fracturamiento se haga más intenso. La carga de los materiales depositados en la superficie puede ocasionar la abertura de las fracturas en el subsuelo y el macizo rocoso puede desarrollar debilitamiento para soportar la carga de materiales depositados en la superficie. (Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición, 2017).

De manera particular en las rocas volcánicas es importante definir la continuidad en el subsuelo, ya que el fracturamiento puede llegar a decenas de metros en profundidad y esta propicia que sean conductos potenciales para la migración de contaminantes y lixiviados que estén presentes en la superficie del terreno y que puedan viajar por las fracturas. La experiencia en excavaciones de taludes en carretas, túneles de gran diámetro y taludes en tajos mineros han demostrado que la estabilidad de estas obras depende de realizar un estudio detallado del fracturamiento para que no ocasionen daños en la vida activa de la obra civil (Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición, 2017).

4. Caracterización geológica de un sitio de Residuos de la Construcción y Demolición en el predio del Centro de Desarrollo Ecológico (CEDEC) localizado en el Parque Bicentenario de la Alcaldía Miguel Hidalgo

En el año de 2019 se firmó un convenio de colaboración entre la Facultad de Ingeniería de la UNAM y la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México. Mediante tal convenio se realizó el estudio en el predio CEDEC para el emplazamiento de una planta de tratamiento y reciclaje de RCyD. En el desarrollo participó un grupo interdisciplinario de ingenieros en donde se evalúa las características ambientales, técnicas y socioeconómicas del sitio. Para el desarrollo de la presente tesis de manera particular hace referencia a la caracterización geológica.

4.1 Caracterización estratigráfica de la Alcaldía Miguel Hidalgo

De acuerdo con las características geotécnicas de la Cuenca de México, este se ha dividido en tres zonas principales, con las siguientes características (Temez, Santoyo Villa , Mooser Hawtree , & Gutiérrez , 1987), como se observa en la **Figura 4.1.1**.

Zona de Lomas (Zona I). Formado por suelos firmes areno-limosos (tepetate), tobas compactas de alta capacidad de carga y baja deformabilidad, y por materiales rocosos. La mayor parte de esta zona se encuentra localizada al poniente de la Ciudad de México, incluye las faldas de la Sierra de Guadalupe, la Sierra de las Cruces, partes altas de los cerros del Peñón de los Baños, Peñón del Marqués y Cerro de la Estrella.

Zona de transición (Zona II). Constituye el cambio, generalmente gradual, entre la Zona de Lomas y la Zona de Lago. Se clasifica estratigráficamente como:

- 1) Progresiva. La formación rocosa está cubierta por depósitos de origen aluvial, subyacen a las capas más recientes de arcilla lacustre.
- 2) Interestratificada. Las facies aluvial y lacustre se suceden de forma alternada, dando lugar a la intercalación de mantos blandos arcillosos con otros de matriz más granular contaminados por finos, generalmente duros y más resistentes.
- 3) Abrupta. Los depósitos lacustres están en contacto con la formación rocosa con interfase de suelo residual.

Zona de Lago (Zona III). Constituida por diferentes capas de arcillas de origen volcánico, transportadas por el aire y las corrientes hacia las aguas de los lagos existentes de la cuenca. En esta zona se asienta gran parte de la Ciudad de México.

Como se observa en el **Figura 4.1.1**, el predio CEDEC en estudio se localiza en la región identificada como Zona de Transición (Zona II). Se caracteriza por la alternancia de estratos arcillosos depositados en un ambiente lacustre con suelos aluviales de granulometría gruesa y errática; los espesores de cada capa dependen de transgresiones y regresiones que experimentaba el antiguo lago, y de la cercanía con los cerros y lomeríos de la zona poniente, lo cual le da una condición de erraticidad a la región, con materiales cuyos espesores y propiedades pueden tener variaciones importantes en cortas distancias, dependiendo de la ubicación del sitio en estudio respecto a las corrientes de antiguos ríos y barrancas (Facultad de Ingeniería UNAM, 2019).

Para comprender el entorno geológico de la Alcaldía Miguel Hidalgo, se hace referencia al límite geotécnico que limita la zona de lomas en su porción poniente y sur de la alcaldía. La zona lacustre se encuentra distribuida en la parte norte, oriente y centro como se muestra en la **Figura 4.1.2**. En esta zona se localiza el predio CEDEC en el Parque Bicentenario (Facultad de Ingeniería UNAM, 2019).

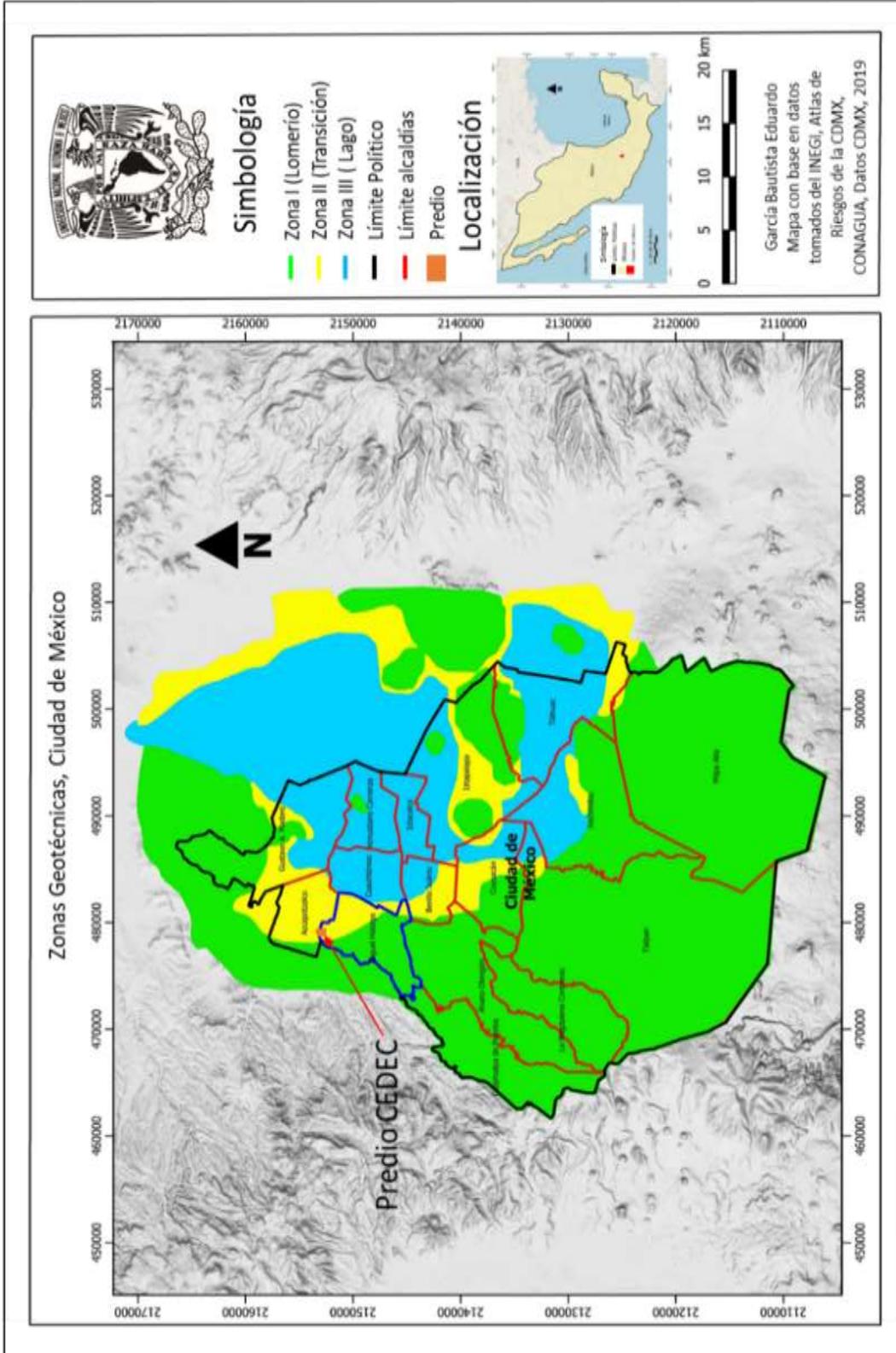


Figura 4.1.1.1. Localización Geotécnica del Predio CEDEC. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, 2019.

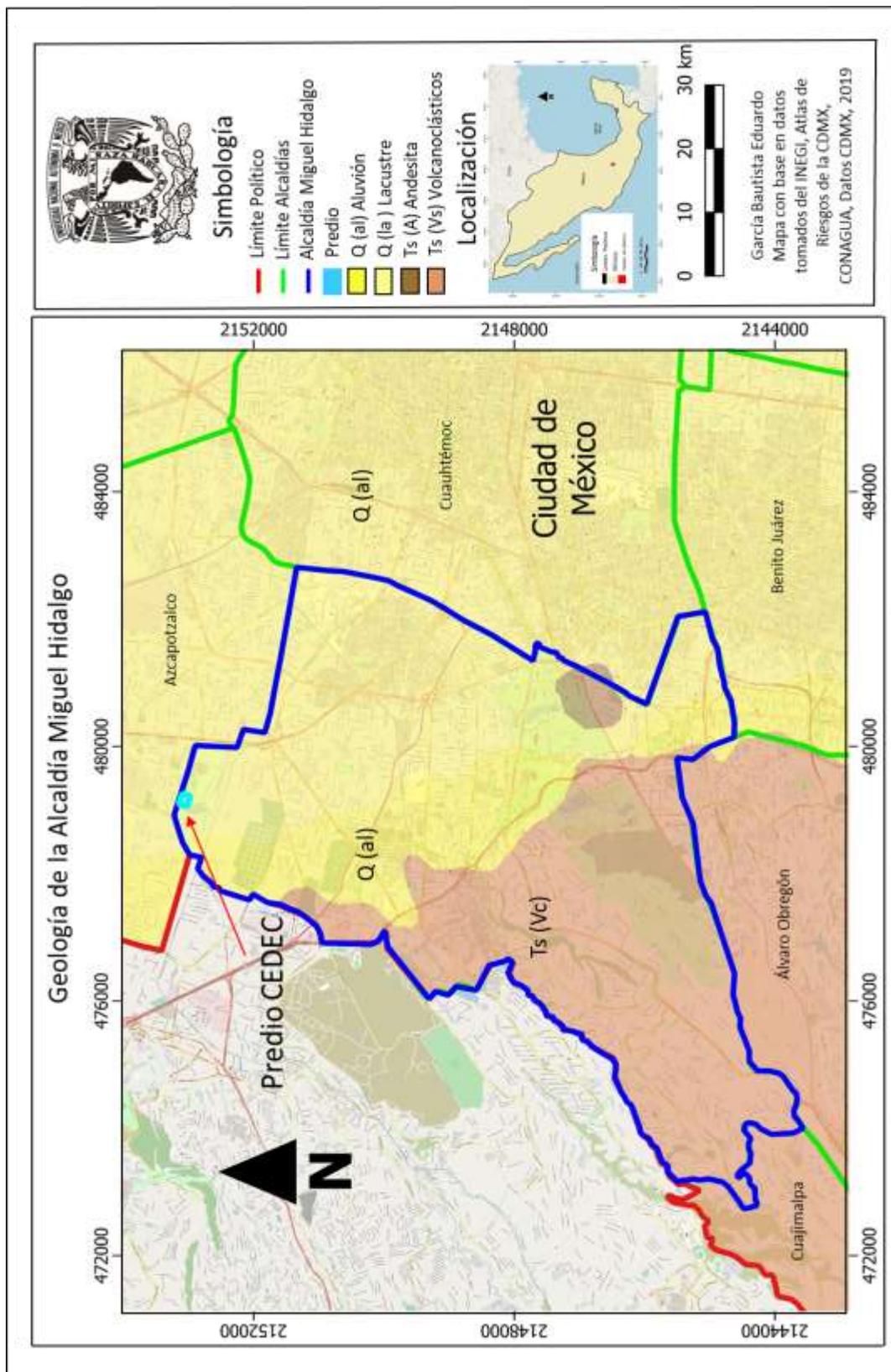


Figura 4.1.2. Mapa de la geología de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, 2019.

La Alcaldía Miguel Hidalgo se encuentra situada sobre una planicie lacustre dentro de la Cuenca de México, la cual se caracterizan por estar formada por rocas o suelos generalmente firmes, depositados fuera del ambiente lacustre, como es el caso de Lomas de Chapultepec y la Sierra de la Cruces del poniente; pero existen también depósitos arenosos no compactos relativamente blandos, con la presencia de cavernas y oquedades, como es el caso de las colonias América y Daniel Garza. En las colonias Polanco, Anzures, Verónica Anzures, Tlaxpana, Anáhuac y Casco de Santo Tomás, los depósitos profundos están constituidos de estratos arenosos y limo-arenosos, intercalados con capas de arcilla lacustre y se localizan a 20 m de profundidad (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

Las unidades litológicas en la zona de las lomas son de origen volcánico, constituida por depósitos de material piroclástico, depósitos de ceniza y tobas que forman parte de la Formación Tarango Ts (Vc), la cual se encuentra expuesta en Lomas de Chapultepec, Polanco, Anzures, entre otras. En contra parte, la zona centro, oriente y norte de la alcaldía está constituida por suelos firmes de origen lacustre Q (la) y suelo aluvial Q (al) en la superficie, los suelos se encuentran expuestos en las colonias Ángel Zimbrón, Ignacio Manuel Altamirano, Pensil y Tacuba, y parcialmente en el Parque Bicentenario (Facultad de Ingeniería UNAM, 2019).

El predio CEDEC está situado en donde se encontraba la Refinería 18 de marzo la cual operó desde 1933 hasta el año 1991, en una zona cuyo uso de suelo se modificó drásticamente. Actualmente se encuentra sobre una capa de suelo vegetal restaurado, **Figura 4.1.3**. El terreno en estudio tiene forma rectangular y presenta una pendiente en su topografía de sur a norte, siendo el sur (parte trasera del predio) el punto más alto.

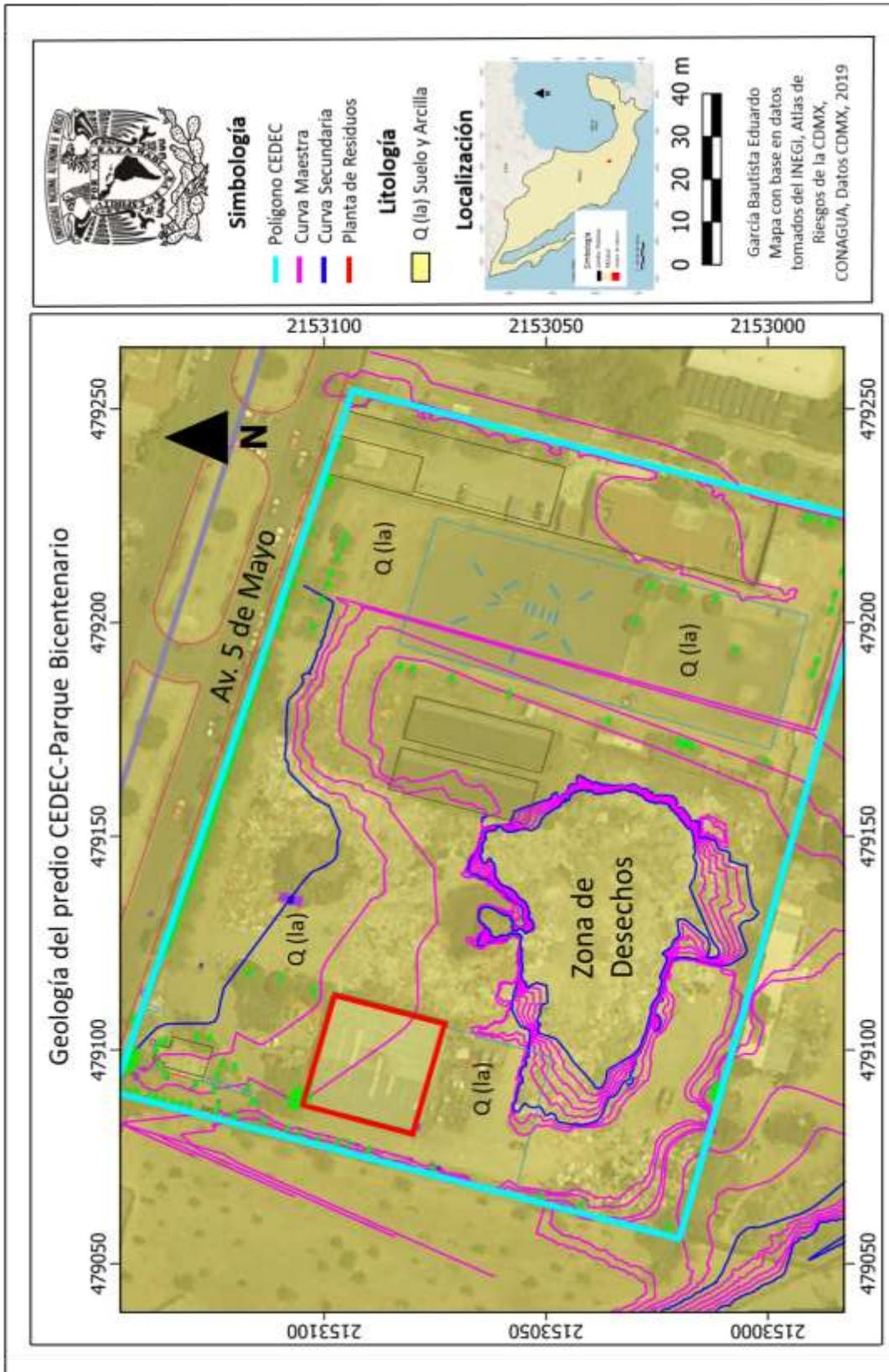


Figura 4.1.3. Geología superficial del predio CEDEC-Parque Bicentenario. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, 2019.

Estratigrafía

Para definir la estratigrafía del Predio CEDEC, se realizaron cuatro pozos a cielo abierto con claves: PCA-1, PCA-2, PCA-3 y PCA-4, excavados a una profundidad entre 2.50 y 3.00 m. La profundidad de exploración estuvo limitada por la inestabilidad de las paredes del pozo y por la presencia de lixiviado en los pozos donde no se llegó a alcanzar los 3.00 m de profundidad. En la **Figura 4.1.4** se muestra la ubicación de los pozos. A continuación, se detalla la estratigrafía de cada uno de los pozos realizados:

POZO A CIELO ABIERTO PCA-1

Prof. [m]	Descripción
0.0 - 1.90	Relleno compuesto por raíces, fragmentos de construcciones antiguas empaquetados en limo arenoso de consistencia dura, con la presencia de lentes de asfalto, con un contenido de agua que varía de 16% a 25%.
1.90 – 3.00	Arcilla arenosa en grumos de consistencia media de color gris oscuro, con un material fino de 70% y un contenido de agua de 33%. El subsuelo se clasificó como un CL (arcilla de baja plasticidad) conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

POZO A CIELO ABIERTO PCA-2

	Descripción
0.00 – 2.50	Relleno compuesto por raíces, fragmentos de construcciones antiguas, empaquetados en arcilla arenosa de consistencia media con presencia de gravas, arena e hidrocarburo, el contenido natural de aguas oscila entre el 25% y el 29%.

POZO A CIELO ABIERTO PCA-3

	Descripción
0.00 – 2.50	Relleno compuesto por abono y lixiviado, con la presencia de limo arenoso, con un contenido natural de agua que oscila entre el 19% y 34%.

POZO A CIELO ABIERTO PCA-4

	Descripción
0.00 – 0.30	Cama de piedra.
0.30 - 0.60	Relleno de cascajo empaquetados en arcilla de consistencia dura.
0.60 – 3.00	Arcilla arenosa en grumos de consistencia firme de color gris oscuro, con un material fino de 68% y un contenido de agua de 19% a 41%. El suelo se clasifica como un CL (arcilla de baja plasticidad) conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

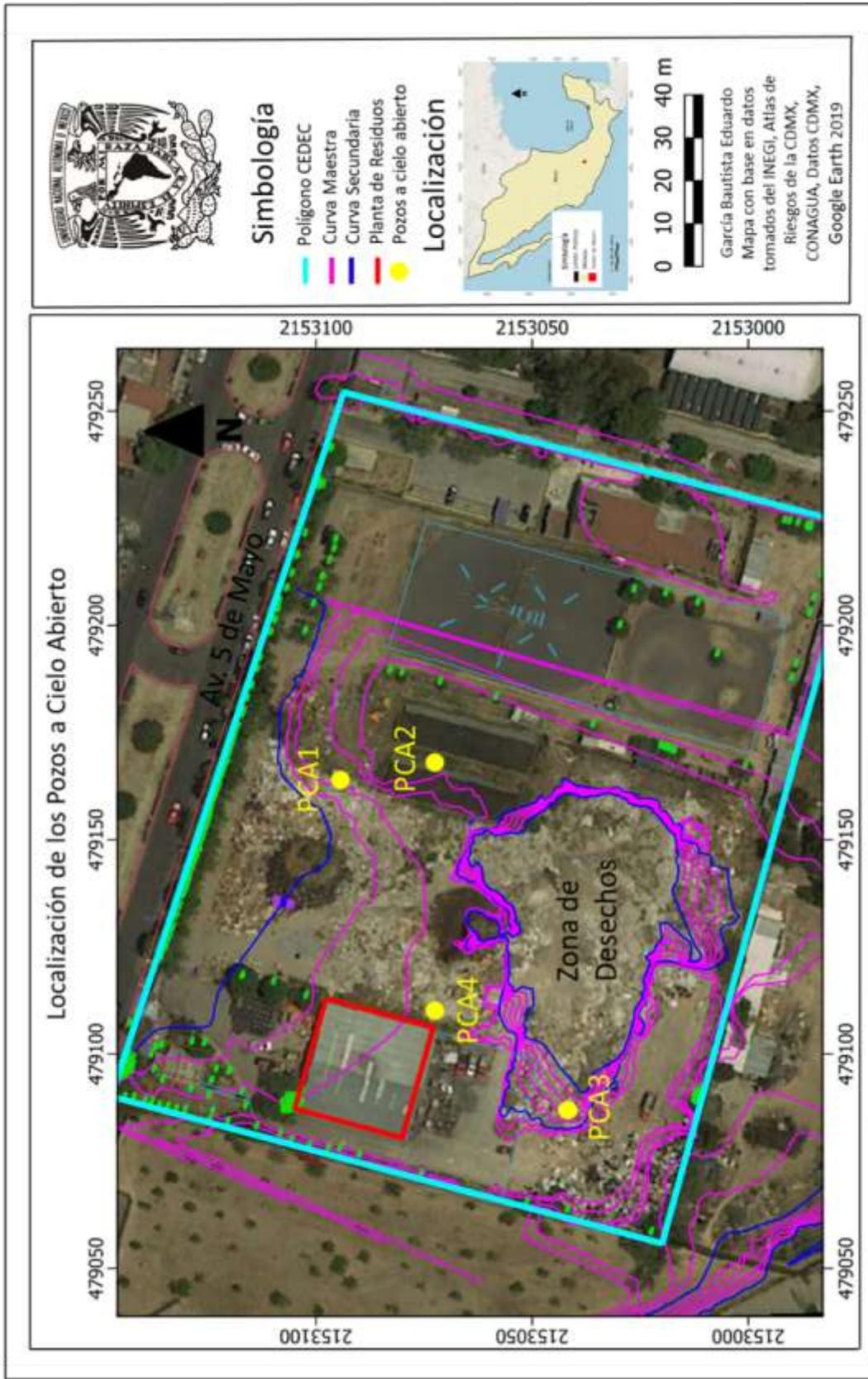


Figura 4.1.1.4. Ubicación en el predio de los cuatro pozos a cielo abierto. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, Google Earth 2019.

La estratigrafía del predio CEDEC-Parque Bicentenario se pudo distinguir con base a la columna estratigráfica, como se muestra en la **Figura 4.1.5**:

Estrato 1. Consiste en un estrato superficial compuesto por un relleno heterogéneo.

Estrato 2. Consiste de una arcilla arenosa de consistencia media a firme.

El nivel freático no fue detectado a una profundidad de 3.00 m (profundidad máxima explorada).

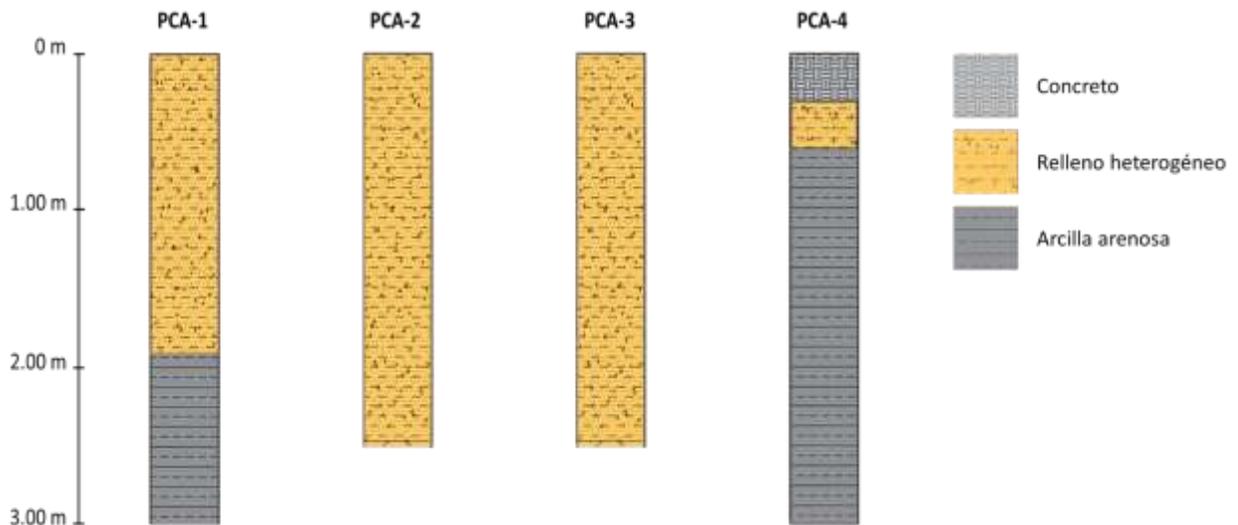


Figura 4.1.5. Columnas estratigráficas de los cuatro pozos a cielo abierto en el Predio CEDEC-Parque Bicentenario.

Desde el punto de vista geotécnico el Estrato 2 (arcilla arenosa) es el que presenta las mejores condiciones para servir como suelo de apoyo a cimentaciones o como capa subrasante para rellenos y pavimentos. En todos los pozos se encontró una consistencia aceptable y es el material considerado para recibir las cargas de la nueva cimentación. Para los pozos PCA-2 y PCA-3, este estrato no fue detectado debido a la inestabilidad de cada una de las paredes del pozo excavado a cielo abierto.

Los resultados de los pozos a cielo abierto concuerdan con la información obtenida del estudio denominado "Remediación de la Ex Refinería 18 de Marzo, en Miguel Hidalgo, Distrito Federal" realizado y publicado por SEMARNAT en el año 2013. Ya que en las actividades para restaurar el suelo del Parque Bicentenario; se realizaron sondeos para caracterizar la estratigrafía del subsuelo; la conforman una secuencia de arcillas lacustres constituidas por un relleno de suelo granular, posteriormente una secuencia de depósito lacustre en estratos constituidos por horizontes de limo, arcilla, arena limosa y arena de origen volcánico con cuarzo y feldespatos a una profundidad de diez metros (SEMARNAT, 2013).

4.2. Levantamiento y caracterización de la presencia de fallas y fracturas en la Alcaldía Miguel Hidalgo

En la Alcaldía Miguel Hidalgo las fallas y el fracturamiento se presentan en la parte central y noreste de la alcaldía, **Figura 4.2.1**, donde en la parte noreste se observa el mayor fracturamiento y hacia los límites disminuye.

Dentro de la Alcaldía Miguel Hidalgo hay dos fallas inferidas que la cruzan, una al sureste paralela a la Avenida Constituyentes, atravesando las colonias América, Daniel Garza, Observatorio, Ampliación Daniel Garza y San Miguel Chapultepec. La segunda falla se localiza al noreste de la alcaldía, comenzando a la altura del Metro San Joaquín, cruzando por las colonias Modelo, Lago Sur, Lago Norte, Anáhuac Peralitos y Popotla. Otra falla que se observa en el **Figura 4.2.1** es la que va de suroeste a norte, esta falla atraviesa las colonias Lomas de Sotelo, Lomas Hermosa, Argentina Antigua, México Nuevo, 10 de abril, pasando por la calzada Tacuba hasta llegar al metro Tacuba; esta es la falla que se encuentra más cercana al predio en estudio. Como se puede observar, la alcaldía Miguel Hidalgo presenta poco fracturamiento y pocas fallas. En lo que se refiere al predio CEDEC-Parque Bicentenario y sus alrededores, no se observa ninguna estructura de origen geológico como fallas o fracturas que pudieran afectar al predio, es importante mencionar que no hay evidencia de este tipo de estructuras geológicas.

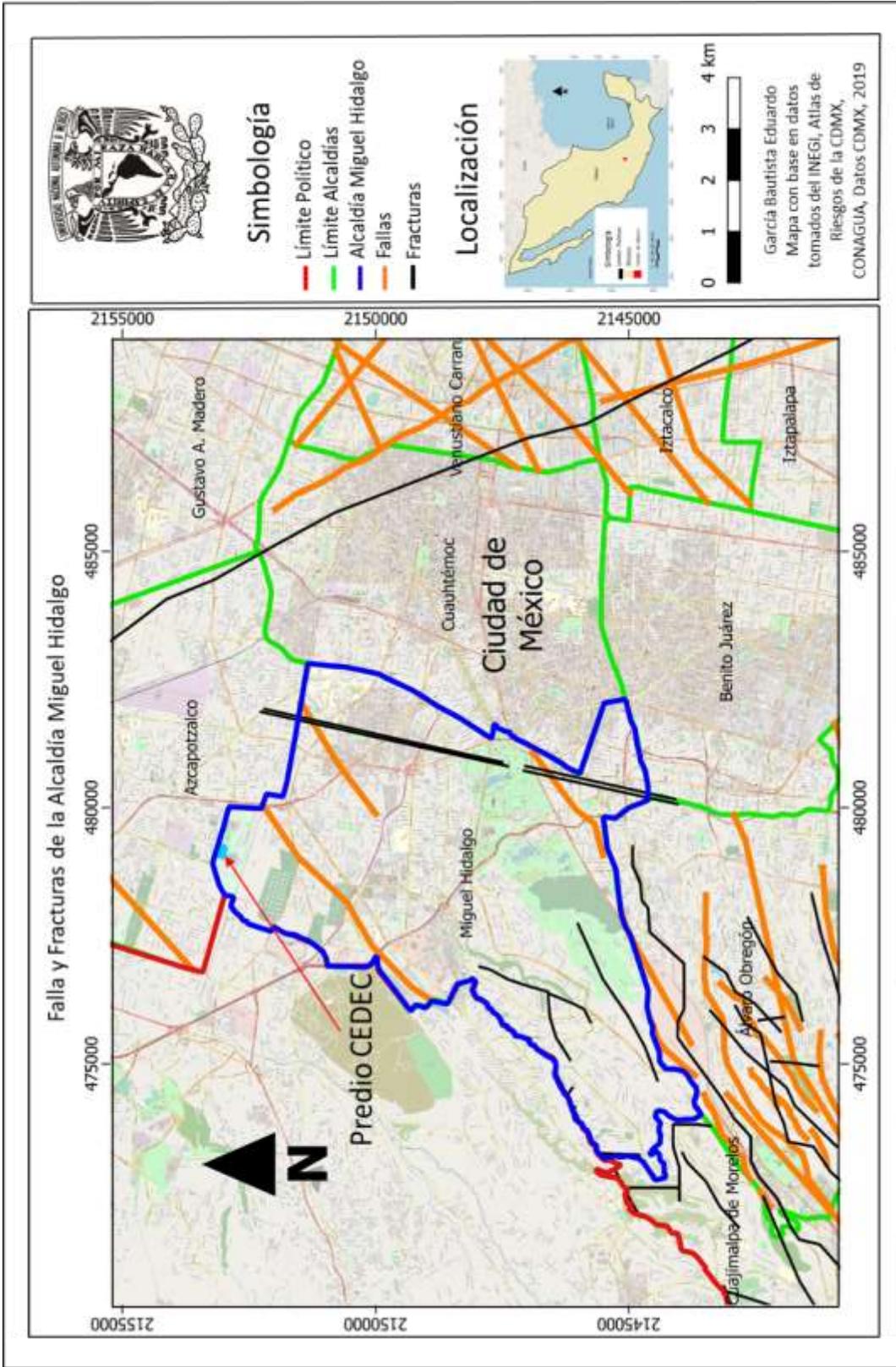


Figura 4.2.1 Mapa de las fallas y fracturas que atraviesan la Alcaldía Miguel Hidalgo. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, 2019.

En la **Figura 4.2.2** se observa el porcentaje del territorio de la Alcaldía Miguel Hidalgo que presenta fallas y fracturas. El porcentaje territorial afectado por fallas y fracturas es del 22.98%, lo cual corresponde a 10165.26 hectáreas de la superficie total de la alcaldía. (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016).

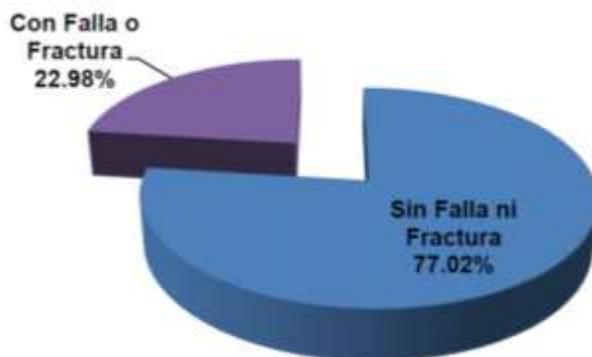


Figura 4.2.2. Porcentaje del territorio de la Alcaldía Miguel Hidalgo con falla y fracturas. Tomado del Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016.

4.3. Evaluación de la subsidencia en el sitio de estudio

El término subsidencia hace referencia al hundimiento paulatino de la superficie terrestre. Este fenómeno implica el asentamiento diferencial en un área extensa debido a varios factores, ya sea de forma naturales o causados por el impacto de una gran variedad de actividades humanas. La subsidencia es un fenómeno geológico que por lo general no suele ocasionar víctimas mortales, pero los daños materiales que llegan a ocasionar pueden ser cuantiosos (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016)

La subsidencia se puede definir desde un punto de vista genético como (Programa Delegacional Miguel Hidalgo 2016-2018, 2016):

- Endógena: hace referencia a movimientos de la superficie terrestre que están asociados a procesos geológicos internos, por ejemplo, pliegues, fallas, vulcanismos, etc.
- Exógena: Se refiere a procesos de deformación superficial con la compactación natural o antrópica de los suelos.

La Cuenca de México representa una región de suma importancia debido a que en el sector suroccidental se encuentra la Ciudad de México y sus zonas conurbadas, teniendo una superficie aproximada de 1500 km², y aunque solo representa el 16% de la superficie de la Cuenca de México, esta región alberga una de las mayores concentraciones de habitantes del planeta. Una metrópoli de tal magnitud se encuentra vinculada a problemas asociados a factores geológicos, mostrando una alta tasa de subsidencia, la cual excede los 350 mm/año en promedio en las zonas críticas; a este proceso se han vinculado procesos de fracturamiento y fallamiento (Santoyo-Villa et al., 2005; Cabral-Cano et al., 2008).

Scott (1979) clasifica la subsidencia en función de los mecanismos que la desencadenan, por ejemplo, la extracción de fluidos (agua, petróleo o gas) acumulados en el subsuelo, el descenso del nivel freático, la disolución natural del terreno y el lavado de materiales por efecto del agua, etc. (Programa Municipal de Gestión de Riesgo y Ordenamiento Territorial. Delegación Miguel Hidalgo, 2016). En la Cuenca de México las tasas de extracción de agua subterránea han ido provocando un abatimiento de su nivel estático que va de 0.1 a 1.5 m/año (Committee on the Mexico City Water Supply , 1995) , dejando como consecuencia la reducción de la presión de fluido en los poros, compactación de arcillas y la subsidencia del suelo; los efectos de este proceso se han ido incrementado en los últimos 50 años, debido a la rápida urbanización en la Cuenca de México.

La subsidencia asociada a la extracción excesiva de agua subterránea se puede catalogar como un proceso destructivo para el entorno urbano con tres manifestaciones importantes (Santoyo Villa et al., 2005; Carreón Freyre et al., 2006; Cerca et al., 2012, Carreón Freyre et al., 2014; Hernández Espriú et al., 2013):

- Hundimiento regional. Distorsiona y desestabiliza a un enorme número de edificios y monumentos del patrimonio arquitectónico.
- Abatimiento del nivel del agua subterránea. Con la consecuente reducción de la reserva hídrica.
- Contaminación del acuífero. Con la infiltración de aguas negras o residuales provenientes de drenajes rotos, lixiviados de los rellenos de residuos sólidos sin protección.

En la Ciudad de México los patrones espaciales de subsidencia indican un marcado control estructural provocado por la presencia de fallas regionales que afectan a la cuenca. La subsidencia regional combinada con los terremotos puede llegar a incrementar la vulnerabilidad de la infraestructura urbana en la Ciudad de México (Cerca, y otros, 2012). En la **Figura 4.3.1** se muestra un mapa de fracturamiento y lineamientos regionales sobrepuesto a un mapa de gradiente de subsidencia para los años entre 2002 y 2007. Este gradiente de subsidencia indica donde ocurre la deformación diferencial mayor y se encuentra asociado con el desarrollo de fracturas en el terreno. También se muestra la cartografía de las fracturas y las fallas normales reportadas como la Falla Mixhuca (MI), la Falla Santa Catarina (CA), la Falla San Lorenzo Tezonco (SLT) y la Falla Copilco (CO). Los gradientes de deformación y las fallas definen tres zonas (Carreón Freyre, y otros, 2017):

- 1) Franja Norte-Sur en el centro de la Ciudad de México, la cual comprende gran parte de las alcaldías Cuauhtémoc y Benito Juárez con fracturas de orientación variable.
- 2) Zona al sur de la Falla San Lorenzo Tezonco que comprende gran parte de la Alcaldía Iztapalapa y parte de Tláhuac y Xochimilco en donde el fracturamiento se observa alrededor de las estructuras volcánicas.
- 3) Zona de menor fracturamiento hacia el norte de la Falla San Lorenzo Tezonco en las alcaldías Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza y el norte de Iztacalco.

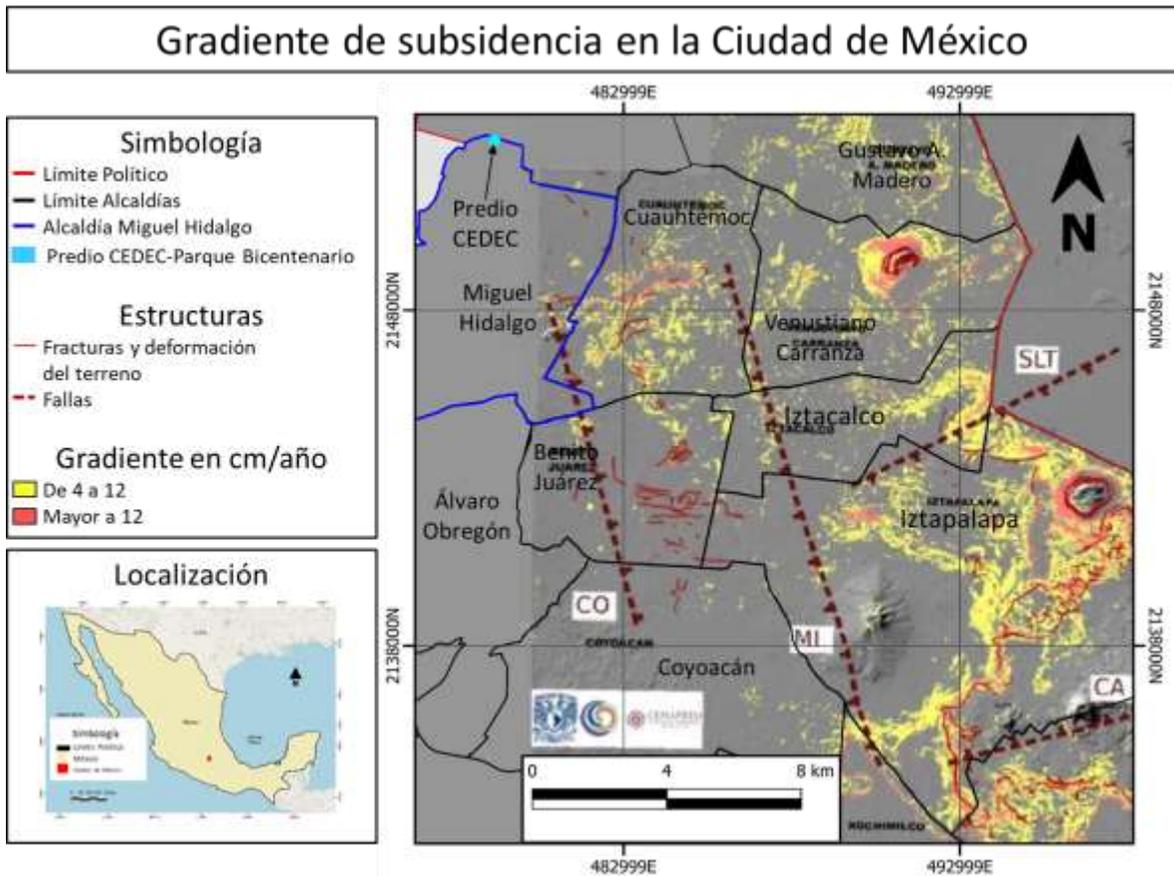


Figura 4.3.1. Gradiente de subsidencia en la Ciudad de México entre los años 2002 y 2007 con la cartografía del fracturamiento y las fallas principales. Tomado y modificado de Carreón-Freyre, 2017.

Los estudios de subsidencia en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México utilizando Interferometría de Radar de Apertura Sintética Diferencial (DInSAR) y GPS (Cabral Cano et al., 2007, 2008), indican que la subsidencia en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México desde el inicio de los datos SAR, en 1996, presenta tasas que rebasan los -370 mm/año en la zona oriente, mientras que en el área del centro histórico muestra tasas de hundimiento que varían de -92 a -115 mm/año.

La Alcaldía Miguel Hidalgo presenta pocas zonas de subsidencia, debido a que se encuentra cerca de las elevaciones topográficas más altas (Sierra de las Cruces).

4.4. Evaluación de la sismicidad en la Alcaldía Miguel Hidalgo

La actividad sísmica de la Cuenca de México y su vecindad es poco numerosa y de baja magnitud. Sin embargo, sí se llegan a registrar varios sismos al año. Con base en los eventos registrados se tienen indicios que la mayor parte de la actividad sísmica local se concentra en los márgenes occidentales al poniente de la Cuenca de México. Aunque se han llegado a registrar eventos importantes en las cercanías de la misma, como el ocurrido en Acambay, Estado de México, en 1912 (magnitud ~7.0). (Servicio Sismológico Nacional, 2019)

En cuanto al origen de los sismos en la región existe la hipótesis de que los grandes sismos generados en la costa pudieran dar lugar a condiciones de desequilibrio y desencadenar sismos locales (Singh et al., 1988). La Cuenca de México tiene una geología y tectónica compleja, por lo que no es de extrañarse la ocurrencia de sismos de pequeñas magnitudes en la zona. También se piensa que son generados por el reactivamiento de antiguas fallas. Havskov (1982), considera que estos eventos pueden ocurrir como resultado de la acumulación de tensión regional o que el hundimiento de la Cuenca de México podría originar tensiones que, si bien no generan propiamente a los sismos, sí pudiera dispararlos (Servicio Sismológico Nacional, 2019).

Chavacán (2007) conformó un catálogo de sismos locales con epicentros en la Cuenca de México, en él analiza 218 sismos con magnitudes entre 0.8 y 4.4, siendo esta última magnitud la mayor calculada para sismos en esta zona. Bello Segura (2013) analizó los mecanismos de sismos ocurridos en la Cuenca de la Ciudad de México entre los años 2008 y 2012, reportando mecanismos de tipo normal y algunos compuestos. La tendencia en el rumbo de los mecanismos es variada dependiendo de la región, la profundidad promedio se encuentra a 8 km, indicando la existencia de fallas de poca profundidad, lo que es importante desde el punto de vista del riesgo sísmico (Servicio Sismológico Nacional, 2019).

Los días del 12 al 18 de julio de 2019, el Servicio Sismológico Nacional (Servicio Sismológico Nacional, 2019) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) reportó 20 sismos localizados en la Alcaldía Miguel Hidalgo. Los primeros cuatro se registraron el 12 de julio a las 04:47 horas con una magnitud de 2.1; a las 07:38 horas con una magnitud de 2.5 sentido en varias demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, a las 07:51 horas con una magnitud de 2.0 y a las 10:08 horas con una magnitud de 2.3. El día 13 de julio se registraron dos sismos más, uno a las 01:35 y el otro a las 11:39 horas, ambos con magnitud de 2.3. El 14 de julio se registró otro sismo a las 02:16 horas con magnitud de 2.1. El día 16 de julio se registraron cuatro sismos más, el primero a la 01.36 con magnitud de 2.5, los siguientes tres ocurrieron a las 22:59, 23:10 y 23:18 horas, con magnitudes de 3.0, 2.7 y 2.6, respectivamente (Servicio Sismológico Nacional, 2019). Siendo el primero de ellos el más grande que se registró en esta secuencia desde el 12 de julio. Las coordenadas de su epicentro son 19.406° latitud N y 99.214° longitud W. el día 17 de julio se registraron los siguientes eventos a las 13:54, 15:43 y 16:32, con magnitudes de 2.2, 1.5 y 1.8 respectivamente (Servicio Sismológico Nacional, 2019). Los parámetros de los sismos se muestran en la **Tabla 4.4.1**.

Tabla 4.4.1. Sismos reportados por el Servicio Sismológico Nacional con epicentro en la Ciudad de México del día 12 al 18 de julio de 2019. Tomada del Servicio Sismológico Nacional-UNAM, 2019.

No. evento	Fecha	Hora (Local)	Magnitud	Latitud [°]	Longitud [°]	Profundidad [km]	Referencia de localización*
1	12/07/2019	04:47:42	2.1	19.409	-99.213	2	1 km al SUR de MIGUEL HIDALGO, CDMX
2	12/07/2019	07:38:28	2.5	19.405	-99.229	3	1 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
3	12/07/2019	07:51:14	2	19.405	-99.229	3	1 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
4	12/07/2019	10:08:05	2.3	19.400	-99.210	2	2 km al OESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
5	13/07/2019	01:35:37	2.3	19.407	-99.215	3	2 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
6	13/07/2019	11:39:20	2.3	19.405	-99.226	2	3 km al OESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
7	14/07/2019	02:16:41	2.1	19.410	-99.227	4	4 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
8	16/07/2019	01:36:45	2.5	19.410	-99.214	3	2 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
9	16/07/2019	22:59:51	3.0	19.406	-99.214	2	3 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
10	16/07/2019	23:10:53	2.7	19.404	-99.225	2	3 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
11	16/07/2019	23:18:47	2.6	19.404	-99.227	1.6	3 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
12	17/07/2019	00:33:13	2.2	19.403	-99.216	2	3 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
13	17/07/2019	00:41:36	2.4	19.404	-99.210	2	3 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
14	17/07/2019	00:45:54	2.4	19.399	-99.232	2	3 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
15	17/07/2019	01:04:25	2.4	19.405	-99.219	2	3 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
16	17/07/2019	14:28:07	2.1	19.406	-99.216	3	2 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
17	17/07/2019	22:30:07	2.0	19.410	-99.210	2	2 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
18	18/07/2019	13:54:51	2.2	19.410	-99.217	2	2 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON
19	18/07/2019	15:43:49	1.5	19.410	-99.215	1.6	2 km al NOROESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX
20	18/07/2019	16:32:53	1.8	19.404	-99.217	1.8	2 km al OESTE de V ALVARO OBREGON, CDMX

En general las magnitudes de los sismos son bajas, fueron sentidos en varias zonas de la Ciudad de México debido a la cercanía al lugar del epicentro y su poca profundidad. El más ampliamente sentido fue el más grande de la secuencia, ocurrido el 16 de julio a las 22:59. Cabe recordar que, a mayor cercanía con el epicentro, las ondas sísmicas se atenúan menos y el sismo se siente más fuerte, como fue el caso de estos eventos (Servicio Sismológico Nacional, 2019). En la **Figura 4.4.1** se observan los registros de los epicentros para el mes de julio de 2019.

Epicentros de 20 sismos ocurridos entre los días 12 y 18 de julio de 2019

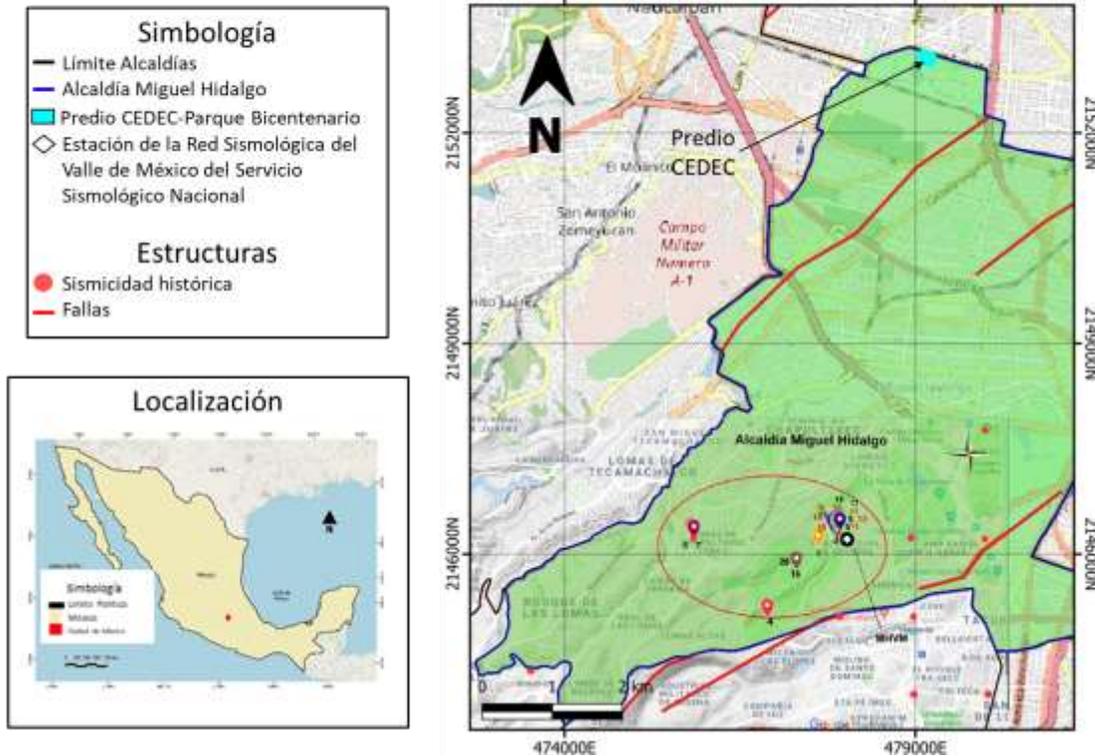


Figura 4.4.1. Epicentros de los 20 sismos de los días 12 al 18 de julio de 2019. Los círculos naranjas corresponden a la sismicidad histórica en la región de la Alcaldía Miguel Hidalgo. Las líneas naranjas corresponden al fallamiento cartografiado. El rombo blanco con negro representa la ubicación de una de las estaciones de la Red Sismológica de la Cuenca de México del Servicio Sismológico Nacional, corresponde a la estación más cercana, Miguel Hidalgo (MHVM). Tomado y modificado del Servicio Sismológico Nacional, 2019.

4.5. Evaluación con base a la geología e hidrogeología del predio

Las instalaciones que ocupa el Parque Bicentenario fueron anteriormente propiedad de PEMEX, en donde se alojaba la Refinería 18 de marzo. Para su modificación de uso de suelo se realizaron actividades de restauración ambiental que fueron realizados en el año 2006, de acuerdo a la información publicada por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2013).

En la **Figura 4.5.1** se presenta una sección geológica, la cual abarca el área de lo que fue la ex Refinería 18 de marzo. En la **Tabla 4.5.1** se muestran los estratos agrupados según su granulometría predominante. Esta información se obtuvo con base a la perforación de 13 pozos de 10 m de profundidad, extrayendo muestras continuas a lo largo de toda la columna del suelo para su clasificación y así conseguir su secuencia estratigráfica (SEMARNAT, 2013).

Tabla 4.5.1. Estratos identificados en la caracterización 2006 de la Ex Refinería 18 de marzo, tomada de Remediación y Revitalización de Sitios Contaminados: Casos Exitosos en México, 2013.

Estrato / Unidad	Descripción	Espesor Profundidad [m]
Concreto	Losas variables armadas y simples	0.1 - 0.4 / 0.1 - 1.0
Superficial: Unidad 1	Suelo vegetal y material de relleno artificial muy heterogéneo. <i>Relleno</i>	0.1 – 2.0
Estrato 1: Unidad 2	Limo arcilloso y limo arenoso, con algunos lentes de arena fina limosa y arcillosa. <i>Limo arcilloso arenoso</i>	2.0 – 4.5
Estrato 2: Unidad 3	Arena fina limosa. <i>Arena fina</i>	4.5 – 8.0
Estrato 3: Unidad 4	Arcilla limosa, con restos de madera. <i>Arcilla limosa</i>	8.0 – 11.0

Los depósitos presentes en la **Figura 4.5.1** corresponden a un relleno compuesto de suelo vegetal y material de relleno artificial muy heterogéneo, el depósito siguiente se trata de limo arcilloso arenoso con algunos lentes de arena fina limosa y arcillosa, en esta capa se tiene detectado un nivel de lixiviados de hidrocarburos a una profundidad de 1 a 2 metros, posteriormente se encuentra un depósito de arena fina limosa, la cual presenta cuarzo y feldespatos, por último a profundidades de entre 8 y 10 metros se encuentra un estrato de arcilla limosa con restos de materia orgánica (madera) (SEMARNAT, 2013).

El Nivel Freático de la zona se caracteriza por presentar variaciones importantes en la profundidad, variando entre 4.00 y 9.50 m de profundidad, mostrando ascensos y descensos estacionales, tratándose de un acuífero colgado. También existe la presencia de un acuífero profundo, del cual se obtuvo información a partir de diez pozos profundos, cuyo nivel de agua fue monitoreado periódicamente por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), extrayendo agua de la parte superior del acuífero profundo a 85 m en promedio. Para el periodo de 1995 a junio de 2003 el nivel del agua en el acuífero varió de 59.1 a 64.2 m. (SEMARNAT, 2013).

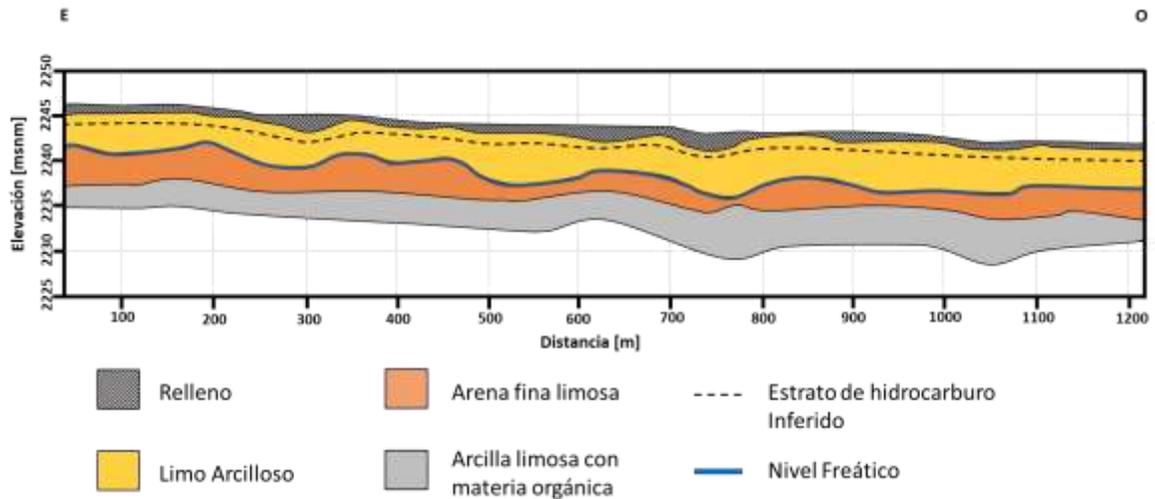


Figura 4.5.1. Sección geológica de la ex Refinería 18 de marzo. Tomada de Remedación y Revitalización de Sitios Contaminados: Casos Exitosos en México, 2013.

Para la evaluación del predio CEDEC-Parque Bicentenario se construyeron dos secciones geológicas, seleccionando dos trazos representativos con base a información generada a partir de cuatro pozos exploratorios a cielo abierto con profundidades de 2.50 y 3.00 m. En la **Figura 4.5.2** se observa la ubicación de los pozos y los dos trazos correspondientes a cada sección geológica.

La primera sección geológica abarca del pozo PCA3 al pozo PCA1 en dirección NE, pasando a un lado de la planta de residuos (**Figura 4.5.2**). Los depósitos presentes a esta primera sección geológica corresponden a arcilla arenosa en color gris oscuro, clasificada como una arcilla de baja plasticidad. Finalmente, en la cima los depósitos corresponden a un relleno heterogéneo. En la parte del pozo PCA1 el relleno está compuesto por raíces, fragmentos de construcciones antiguas empaquetados en limo arenoso, con presencia de lentes de asfalto. En la zona del pozo PCA3 el relleno consiste de abono y lixiviados con presencia de limo arenoso, **Figura 4.5.3**.

La segunda sección geológica va del pozo PCA-3 al pozo PCA-2 en dirección NE, pasando por la zona de desechos e invernaderos, **Figura 4.5.2**. Los depósitos presentes corresponden a un relleno heterogéneo. En el pozo PCA3 el relleno está constituido por abono y lixiviados con presencia de limo arenoso. Hacia la parte del pozo PCA2 el relleno se compone de raíces, fragmentos de construcciones antiguas empaquetados en arcilla arenosa con presencia de gravas, arena y petróleo (**Figura 4.5.4**).

Por debajo de los dos metros de profundidad se encontró presencia de trazas de hidrocarburos, por lo que se infiere que hay un estrato de hidrocarburo en esta zona. A estas profundidades no se detectó el Nivel Freático.

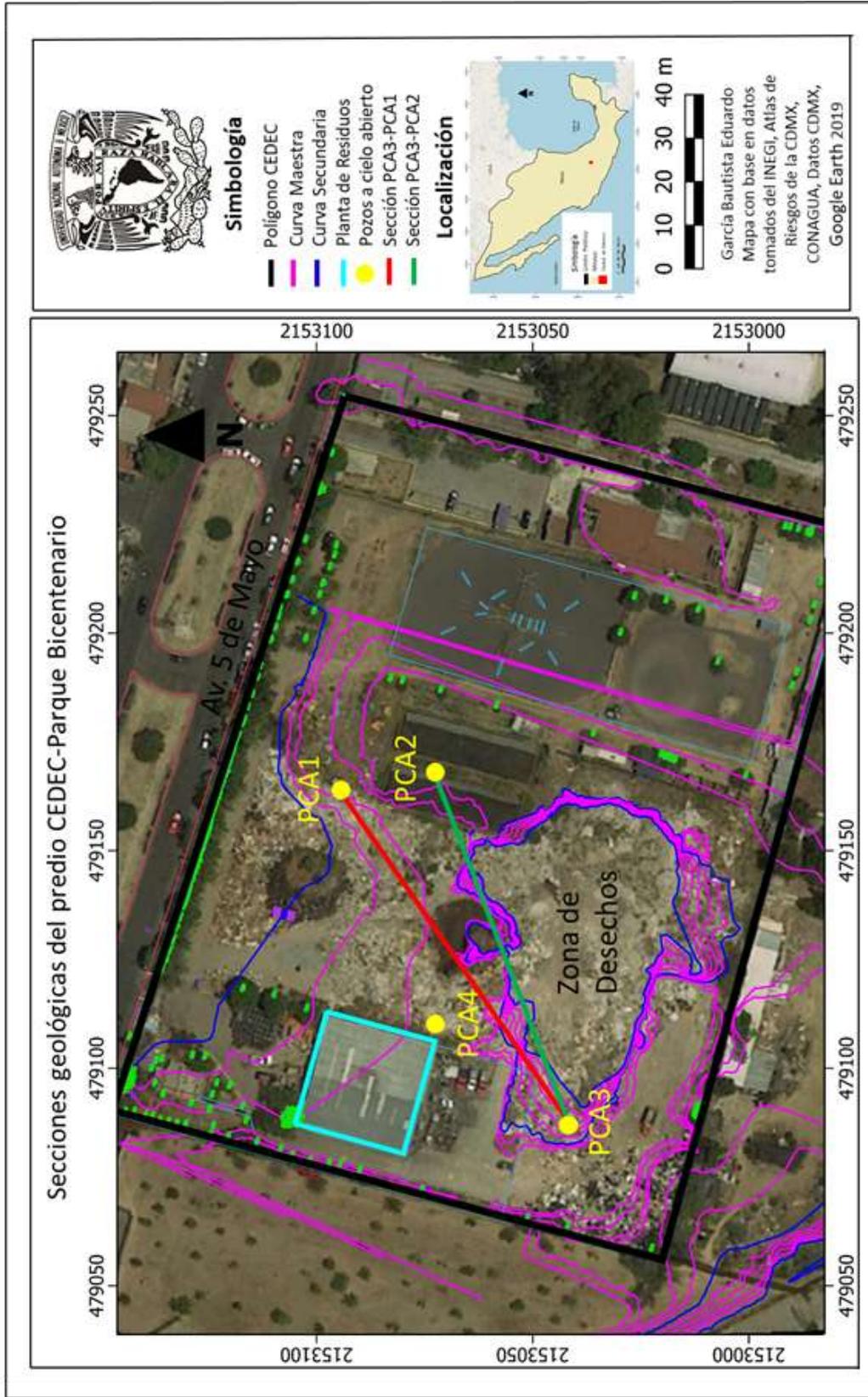


Figura 4.5.2. Localización de las secciones geológicas en la zona de estudio. Datos tomados de INEGI, Atlas de Riesgos de la CDMX, CONAGUA y Datos CDMX, 2019.

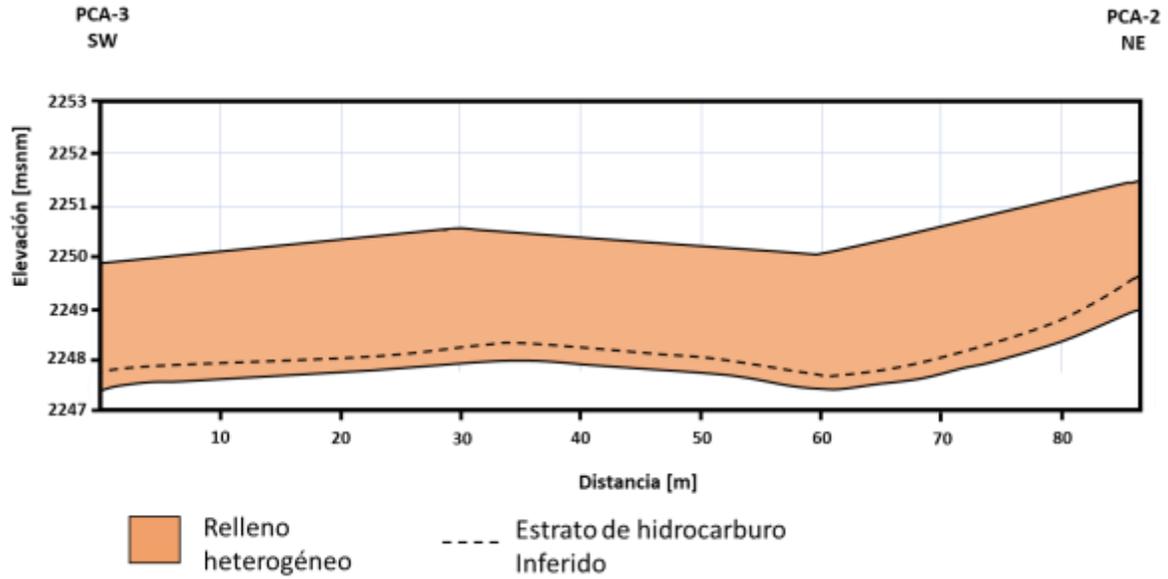


Figura 4.5.3. Sección geológica PCA-3 PCA-2 del predio CEDEC-Parque Bicentenario.

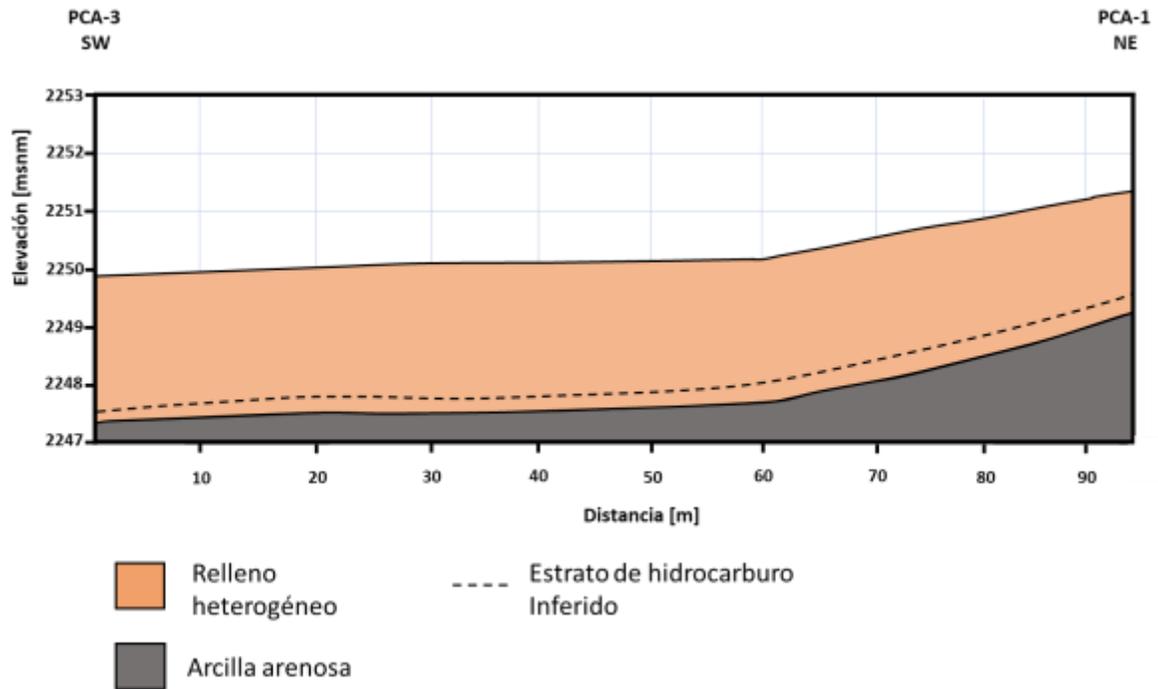


Figura 4.5.4. Sección geológica PCA-3 PCA-1 del predio CEDEC-Parque Bicentenario.

5. Discusión, Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Discusión

De acuerdo a la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2013 en la Ciudad de México se generan alrededor de 7,000 toneladas diarias de Residuos de Construcción y Demolición (RCyD), contando únicamente con dos sitios oficiales para los RCyD en la ciudad, situación que tomó mayor importancia debido a las caídas de edificios y casas durante el sismo del 19 de septiembre del 2017. Uno de los lugares que existe para el manejo de los RCyD es el de la planta privada “Concretos reciclados” en la Alcaldía Iztapalapa fundada en 2004. En esta planta se procesa el 3% de esos residuos. El otro espacio para el manejo de los RCyD se encuentra en la Alcaldía Xochimilco, la cual solo recibe los desechos para enviarlos a algunos de los 14 sitios autorizados en el Estado de México de acuerdo al convenio entre la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México y dicha entidad. Debido a que son lugares que se localizan a gran distancia producen un mayor costo en su transporte y contaminación (Martínez Q., 2017).

La presente tesis muestra un nuevo proyecto acerca de los RCyD, realizando trabajos de la geología de la zona de estudio, la cual sirve para la toma de decisiones para garantizar la estabilidad del subsuelo en donde se colocará la planta que procesará los RCyD en la Ciudad de México. Esto junto con el estudio de la geohidrología se garantiza que no existe contacto alguno de contaminación en el agua subterránea por debajo y a los alrededores de la zona evitando con esto la contaminación de los acuíferos en la zona y cercanos a la zona. Con el estudio de la geología estructural se realiza un mejor análisis sobre las cimentaciones de la obra y con la sismicidad de la zona se garantiza la estabilidad de la infraestructura de la planta de residuos sólidos.

Este proyecto es una nueva actividad profesional en México, que con el incremento de las construcciones y la disminución de la contaminación hacia el medio ambiente va tomando mayor importancia en el país, requiriendo así información geológica detallada para garantizar la vida útil de la obra civil y evitar la contaminación con RCyD.

5.2 Conclusiones

1. Se proyecta la construcción de dos equipos que servirán para reutilizar los RCyD dentro del predio denominado CEDEC-Parque Bicentenario.
2. Topográficamente se localiza en un terreno con una pendiente suave, lo que podría favorecer los escurrimientos superficiales.
3. La zona de estudio se localiza en la zona geotécnica de transición correspondiente al límite entre la zona Lacustre y la zona de Lomas; caracterizada por tener suelos aluviales y arcillosos, de disposición y espesores variables.
4. Se realizó la investigación del subsuelo a través de cuatro pozos a cielo abierto (PCA) con profundidades de entre 2.50 y 3.00 m, encontrando la presencia de hidrocarburo entre 1 a 2 metros de profundidad.

5. La estratigrafía del predio CEDEC-Parque Bicentenario está compuesta por un estrato de relleno heterogéneo con un espesor promedio de 2.00 m, seguido de una arcilla arenosa de consistencia firme. Este estrato de arcilla arenosa es el que presenta mejores condiciones para servir como suelo de apoyo para cimentaciones.
6. Estructuralmente, el predio CEDEC-Parque Bicentenario y sus alrededores no presentan ningún tipo de fallas, fracturas o estructuras que puedan afectar al predio.
7. El predio está dentro de un área de amenaza baja a desastres naturales y con un riesgo sísmico bajo.
8. La profundidad del Nivel Freático es variable, localizándose entre los 4.00 y 9.50 m de profundidad.
9. El predio se localiza sobre un acuífero colgado.
10. En el sitio de estudio existe un cuerpo de aguas subterráneo, cuyo Nivel Freático varía estacionalmente dependiendo de la temporada de estiaje y lluvia.
11. El predio presenta buenas vías de acceso para transportar los RCyD

5.2 Recomendaciones

1. Realizar limpieza del terreno, retirando restos de construcciones antiguas, vegetación, escombros y basura.
2. El retiro de material debe ser al menos de 2.00 m de espesor en promedio, retirando por completo la vegetación, raíces superficiales y suelo con petróleo.
3. Hacer mejoramientos en el subsuelo ya que se detectó la presencia de hidrocarburos, por lo que este material se debe retirar y ser sustituido por material tipo tepetate.
4. Localizar una zona estable que no sea afectada por futuras construcciones o por el paso de vehículos pesados con el fin de ser usado como banco de nivel.
5. Realizar un monitoreo permanente del Nivel Freático de la zona con el fin de corroborar y determinar su variación.
6. La disposición y manejo de materiales reciclables, de residuos de construcción y demolición son aspectos que deben ser más regulados para disminuir las transferencias de estos residuos a otras localidades.
7. Implementar un sistema de drenaje para el desalojo de agua pluvial y así evitar que se formen charcos de agua e infiltraciones.
8. Monitorear subsidencia del terreno si la tendencia en extracción hídrica de la CEM no se detiene

Bibliografía

- Acosta , D. (2002). Reducción y gestión de residuos de la construcción y demolición (RCD). *Tecnología y Construcción*, 18(2), 49-68.
- Aguayo Camargo , J. E., Marín Córdova , S., & Sánchez Díaz , F. (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.
- Almanza, A. S. (2012). *evalua.cdmx.gob.mx*. Recuperado el 21 de abril de 2019, de https://evalua.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/files/Atribuciones/inf-est/evo_cmexico.pdf
- Arce, J. L., Layer, P. W., Lassiter , J. C., Benowitz , J. A., Macías , J. L., & Ramírez Espinosa , J. (2013). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, geochemistry, and isotopic analyses of the quaternary Chichinautzin volcanic field, south of Mexico City: implications for timing, eruption rate, and distribution of volcanism. *Bull Volcano*, 25.
- Arce, J. L., Layer, P. W., Morales Casique , E., Benowitz , J. A., Rangel , E., & Escolero , O. (2013a). 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*, 366, 34-49.
- Arce, J. L., Layer, P., Martínez, I., Salinas, J. I., Macías Romo, M. C., Morales Cacique, E., . . . Lenhardt, N. (2015). Geología y estratigrafía del pozo profundo San Lorenzo Tezonco y sus alrededores, sur de la Cuenca de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(2), 123-143.
- Arce, J. L., Macías , R., García Palomo , A., Capra , L., Macías , J. L., Layer , P., & Rueda , H. (2008). Late Pleistocene flank collapse of Zempoala volcano (Central Mexico) and the role of fault reactivation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 177, 944-958.
- Arellano Gil, J., De la Llata Romero , R., Carreón Méndez , M. A., Morales Barrera , W. V., & Villareal Morán , J. C. (2002). Ejercicios de Geología Estructural. *editados por la Facultad de Ingeniería-UNAM*.
- Ban, M., Hasenaka , T., Delgado Granados, H., & Takaoka, N. (1992). K-Ar ages of lavas from shield volcanoes in the Michoacán-Guanajuato volcanic field, Mexico. *Geofísica International*, 31, 467-473.
- Bannister, S., & Raymond , R. B. (2004). Alfa Omega Grupo Editor .
- Bello Segura , D. I. (2013). *Parámetros de la fuente de sismos con epicentro en el Valle de México durante 2008-2012*. 91: Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM.
- Berrios Mena , J. (1992). Cartografía Digital . RA-MA.

- Blatter , D., Carmichael , I., Deino , A., & Renne , P. (2001). Neogeno volcanism at the front of the central Mexican volcanic belt: basaltic andesites to dacites, with contemporaneous shoshonites and high-TiO₂ lava. *Geological Society of America Bulletin*, 113(10), 1324-1342.
- Bloomfield , K. (1975). A late Quaternary monogenetic volcano field in central Mexico. *Geol. Rundschau*, 64, 476-497.
- 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*, 13, 1-20.
- Cabral Cano , E., Dixon , T. H., Miralles Wilhelm , F., Díaz Molina , O., Sánchez Zamora , O., & Carande , R. E. (2008). Space geodetic imaging of rapid ground subsidence in Mexico City. *Bulletin of the Geological Society of America*, 120, 1556-1566.
- Cabral Cano , E., Dixon , T., & Diaz Molina , O. (2007). InSAR derived horizontal subsidence gradient as a tool for hazard assessment in urban areas (abstract). *en Eos Transactions, American Geophysical Union 88 Joint Assembly Supplement*, G43B-13.
- Capra , L., Macías , J., & Garduño , V. (1997). The Zitácuaro Volcanic Complex, Michoacán, México: magmatic and eruptive history of a resurgent caldera. *Geofísica Internacional*, 36(3), 161-179.
- Carrasco Núñez , G., & Ban, M. (1994). Geologic map and structure sections of the summit area of Citlaltépetl volcano, México with summary of the geology of the Citlatepetl volcano summit area . *Mexico D. F. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas Geológicas y Mineras* .
- Carrasco Núñez , G., Gómez Tuena , A., & Lozano Velázquez , L. (1997). Geologic map of Cerro Grande volcano and surrounding area, central Mexico: Boulder, CO. *Geological Society of America, Map and Chart Serie MCH081*, 10.
- Carrasco Núñez, G., Milán , M., & Verma , S. (1989). Geología de volcán El Zamorano, estado de Querétaro. *Revista Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México* , 194-201.
- Carreón Freyre, D. C., Hidalgo Moreno , C. M., & Hernández Marín , M. (2006). Mecanismos de fracturamiento de depósitos arcillosos en zonas urbanas. Caso de deformación diferencial en Chalco, Estado de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, numero especial de geología urbana, tomo LVIII(2)*, 237-250.
- Carreón Freyre, D., Cerca, M., Gutiérrez Calderón , R., López Quiroz, P., Alcántara Durán , C., González Hernández , M., & Centeno Salas , F. (2017). Posible influencia de la subsidencia y fracturamiento en la Ciudad de México en las construcciones dañadas por el sismo del 19 de Septiembre de 2017.

- Carreón Freyre, D., Gutiérrez Calderón , R., González Hernández, M., Cerca Martínez, M., & Zacarias Ramírez , S. (2014). Capítulo 4. Subsistencia - Una amenaza de origen natural y antropogénica poco conocida - ejemplos de México. pp133-143. Ed. Theofilos Toulkeridis. Amenazas de origen natural y Gestión de Riesgo en el Ecuador. Tomo I. . *Algunos Elementos fundamentales en el Manejo de Reducción de Riesgo de Desastres. Publicado pro el Centro de Geología, Volcanología y Geodinámica (CGVG)-GEO1 de la ESPE, Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador. ISB: 978-9942-20-688-6, 285.*
- Cepeda Dávila , L. (1993). Apuntes de Petrología Ígnea . *Editados por la Facultad de Ingeniería-UNAM ,* Clave: 433.
- Cerca, M., Carreón Freyre, D., López Quiroz , P., Ovando Shelley , E., Doin , M. P., Gutiérrez Calderón , R., . . . Blancas Dominguez , D. (2012). Engineering geology approach to the effects of land subsidence in Mexico City, in Aranda Gómez, J.J, Tolson, G., and Molina Garza, R.S., eds., The Southern Cordillera and Beyond. *Geological Society of America Field Guide, 25, 115-134.*
- Chavacán Avila , M. R. (2007). Caálogo de sismicidad local para la Cuenca de México. *Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México , 160.*
- Chávez Aguirre , J. (2008). Atlas Multidisciplinario y de Riesgo Geotécnico de la zona Conurbana al Norponiente del Valle de México.
- CMIC. (2013). Plan de manejo de Residuos de la Construcción y la Demolición. *Consultado en Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. 2017. Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición.*
- Comision Federal de Electricidad . (1981). *Manual de Diseño de Obras Civiles. Sección B: Geotecnia, Tema 2: Mecánica de Suelos, Capítulo B.2.4: Cimentaciones en suelos .*
- Comisión Federal de Electricidad. (1993). Manual de diseño de obras civiles. Sección C: Estructuras, Tema 1: Criterios de diseño, Sección C.1.3: Diseño por sismo.
- COMMERCIAL BUSINESS BUFFET. (2019). *Estudio de mecánica de suelos. Plan de aprovechamiento y disposición adecuada de residuos de la construcción y demolición para la Ciudad de México.* Estudio de mecánica de suelos , México.
- Committee on the Mexico City Water Supply . (1995). Mexico City's water supply, improving the outlook for sustainability. *Washington, D. C., National Academy Press, 256.*
- CONAGUA. (20 de Abril de 2015). *www.gob.mx.* Recuperado el 4 de Marzo de 2020, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102942/DR_0901.pdf
- Consultores en Ingeniería Geofísica S. A. de C. V. (2000). *Integración de los estudios de resistividad eléctrica por SEV, tendidos de refracción sísmica y gravimetría levantados en la Cuenca de México .* (Informe Inédito).

- Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. 2017. (2017). Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición.
- de Cserna, Z., de la Fuente Duch, M., Palacios Nieto, M., Triay, L., Mitre Salazar, L. M., & Mota, P. R. (1988). Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín*, 104, 71.
- De Santos, D., Monercillo, B., & García, A. (2011). Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición. Consultado en Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. 2017. Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición.
- Del Valle Toledo, E. (1986). *Apuntes a la introducción a los métodos geofísicos de exploración*. Editados por la Facultad de Ingeniería-UNAM. Clave 92.
- Delgación Miguel Hidalgo. (2016). www.miguelhidalgo.gob.mx. Recuperado el 02 de Junio de 2019, de https://www.miguelhidalgo.gob.mx/transparencia2019/uploads/archivos/programa_delegacional_miguelhidalgo_2016-2018.pdf
- Delgado Granados, H., & Martín del Pozzo, A. L. (1993). Pliocene to Holocene volcanic geology at the junction of Las Cruces, Chichinautzin and Ajusco ranges, southwest of Mexico City. *Geofísica Internacional*, 32(3), 511-522. Recuperado el 06 de abril de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/237841341_Pliocene_to_Holocene_volcanic_geology_at_the_junction_of_Las_Cruces_Chichinautzin_and_Ajusco_ranges_southwest_of_Mexico_City
- Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica/Secretaría General de Obras/DDF. (Abril de 1992). Hidrología subterránea en el valle de México. *Ingeniería Hidráulica en México*, 90-98. Recuperado el 19 de Marzo de 2020, de <http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/viewFile/695/586>
- Domínguez García, T. F. (1993). *Topografía Abreviada*. Madrid: Mundi-Prensa.
- El Universal. (21 de Junio de 2017). eluniversal.com.mx. Recuperado el 25 de Febrero de 2020, de <https://www.eluniversal.com.mx/entrada-de-opinion/colaboracion/mochilazo-en-el-tiempo/nacion/sociedad/2017/06/21/los-rios-de-la>
- El Universal. (21 de Septiembre de 2018). www.eluniversal.com.mx. Recuperado el 12 de Febrero de 2020, de <https://www.eluniversal.com.mx/autopistas/las-carreteras-mas-importantes-de-mexico>
- Enciso De la Vega, S. (1992). Propuesta de nomenclatura estratigráfica para la cuenca de México. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista*, 10(1), 26-36. Recuperado el 09 de abril de 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=281939>

- Facultad de Ingeniería UNAM, 2. (2019). *Plan de aprovechamiento y disposición adecuada de residuos de la construcción y demolición para la Ciudad de México.*
- Ferrari , L., López Martínez , L., González Cervantes , N., Jacobo Albarrán , J., & Hernández Bernal , M. S. (2003). Volcanic record and age of formation of the Mexico city basin. *en Reunión Annual Resúmenes: GEOS , 23(2).*
- Ferrari , L., Orozco Esquivel , T., Manea , V., & Manea, M. (2012). The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone . *Tectonophysics, 522-523, 122-149.*
- Ferrari , L., Tagami , T., Eguchi , M., Orozco Esquivel , M. T., Petrone , C., Jacobo Albarrán , J., & López Martínez , M. (2005). Geology, geochronology and tectonic setting of late Cenozoic volcanism along the southwestern Gulf of Mexico: the Eastern Alkaline Province revisited. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 146, 284-306.*
- Ferrari , L., Vaggelli , G., Petrone C., Manetti , P., & Conticelli , S. (2000). Late Miocene volcanism and intra-arc tectonics during the early development of the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Tectonophysics, 318, 161-185.*
- Ferrari Pedraglio, L., 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, 303-307.*
- Ferrari, L. (2004). Slab detachment control on mafic volcanic pulse and mantle heterogeneity in central Mexico: *Geology. 32(1), 77-80.*
- Ferrari, L., Garduño, V., Pasquaré, G., & Tibaldi , A. (1991). Geology of Los Azufres cladera, Mexico, and its relations with regional tectonics. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 47, 129-148.*
- Ferrari, L., Pasquaré , G., Venegas , S., & Romero , F. (2000). Geology of the western Mexican Volcanic Belt and adjacent Sierra Madre Occidental and Jalisco block, en Delgado Granados, H., Aguirre Díaz, G., Stock, J., (eds), Cenozoic tectonics and volcanism of Mexico: Boulder, CO. *Geological Society of America, Special Paper, 334, 65-84.*
- Ferrari, L., Petrone , C., & Francalanci , L. (2001). Generation of oceanic-island basalt-type volcanism in the western Trans-Mexican volcanic belt by slab rollback, asthenosphere infiltration and variable flux melting. *Geology, 20(6), 507-510.*
- Ferrari, L., Petrone , C., Francalanci , L., Tagami , T., Eguchi , M., Conticelli , S., . . . Venegas Salgado , S. (2003). Geology of the San Pedro Ceboruco graben, western Trans-Mexican Volcanic Belt. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 20, 165-181.*
- Ferriz , H., & Mahood , G. (1984). Eruption rates and compositional trends at Los Humeros Volcanic Center Puebla, Mexico. *Journal of Geophysical Research, 89, 8511-8524.*
- Frey , H., Lange , R., Hall , C., & Delgado Granados , H. (2004). Magma eruption rates constrained by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology and GIS for the Ceboruco San Pedro volcanic field, western Mexico . *Geological Society of America Bulletin , 259-276.*

- Fries , C. (1960). Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero. Región central medioronal de México. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín*, 60, 236.
- Fuentes Menes, A. O. (2011). *Elaboración de un sistema de información geográfica para definir el peligro en las zonas minadas en la delegación Álvaro Obregon, México D.F.* Tesis. Recuperado el 28 de Marzo de 2019, de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/108>
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2015). Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2013. Clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición, en el Distrito Federal. *Gaceta Oficial del Distrito Federal* .
- García Palomo , A., Macías , J. L., & Garduño , V. H. (2000). Miocene to Recent structural evolution of Nevado de Toluca Volcano Region, Central México. *Tectonophysics*(318), 218-302.
- García Palomo, A., Macías, J., Tolson, G., Valdez, R., & Mora, C. J. (2002). Volcanic stratigraphy and geological evolution of the Apan region, east-central sector of the Transmexican Volcanic Belt. *Geofísica Internacional*, 41(2), 133-150.
- García Palomo, A., Zamorano, J. J., López Miguel, C., Gálvan García, A., Carlos Valerio, V., Ortega, R., & Macías, J. L. (2008). El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25(1), 158-178.
- Gilbert, C., Mahood, G., & Carmichael, I. (1985). Volcanic stratigraphy of the Guadalajara area, Mexico. *Geofísica Internacional*, 24, 169-191.
- Gómez Tuena , A., & Carrasco Núñez, G. (2000). Cerro Grande Volcano: The evolution of a Miocene stratocone in the Early Transmexican Volcanic Belt. *Tectonophysics*, 318, 249-280.
- Gómez Tuena, A., Orozco Esquivel, M. T., & Ferrari Pedraglio, L. (2005). Petrogénesis Ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, Temas Selectos de la Geología Mexicana*, 57(3), 227-283. Recuperado el 11 de mayo de 2019, de <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca04/5703/%282%29Gomez.pdf>
- González Escamilla , C. (2014). Condiciones Geológico-Estructurales del Bosque de Chapultepec y su entorno al poniente de la Ciudad de México. *Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México* .
- González Torres , E. A., Morán Zenteno, D. J., Mori, L., & Martiny, B. M. (2015). Revisión de los últimos eventos magmáticos del Cenozoico del sector norte-central de la Sierra Madre del Sur y su posible conexión con el subsuelo profundo de la Cuenca de México. *Bolletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(2), 285-297.
- Gunn, B. M., & Mooser , F. (1970). Geochemistry of the volcanics of Central Mexico. *Bulletin of Volcanology*, 34, 577-616.

- Gutiérrez , V., Ramírez, I., Encarnación, G., & Medina , A. (2012). Diagnostico básico para la gestión integral de los residuos. Versión Extensa. *en Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. 2017. Manual Tecnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición.*
- Gutiérrez Palomares , I. (2005). La ignimbrita San Miguel Cañadas, Tepozotlan, Estado de México, y su relación con la Caldera La Muerta. *Tesis de Licenciatura, 77.*
- Hasenaka , T., & Carmichael , I. (1985). The cinder cones of Michoacan-Guanajuato, central Mexico: their age, volumen, and distribution, and magma discharge rate. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 25, 105-124.*
- Havskov, J. (1982). *Geofísica Internacional, 17, 22-229.*
- Hernández Espriú , J. A. (2013). Modelo DRASTIC-Sg: una nueva herramienta para mejorar la gestión del acuífero de la Ciudad de México. *Academia de Ingeniería, 1-41.*
- Higashida Miyabara , S. (1971). Topografía General. Editado por el mismo.
- INEGI. (2001). *Sintesis de información geográfica del estado de México.* Recuperado el 24 de abril de 2019, de internet.contenidos.inegi.org.mx:
http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224028/702825224028_4.pdf
- INEGI. (2008). *www.cuentame.inegi.org.mx.* Recuperado el 20 de Mayo de 2019, de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/>
- INEGI. (2008). *www.inegi.org.mx.* Recuperado el 20 de Febrero de 2020, de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09>
- INEGI. (2018). *Población - INEGI.* Recuperado el 25 de Mayo de 2019, de <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>
- INEGI. (2018). *www.inegi.org.mx.* Recuperado el 25 de Mayo de 2019, de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1895/>
- Jacobo Albarrán , J. (1986). Estudio petrogenetico de las rocas igneas de la porción central del Eje Neovolcánico: México, D. F. *Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración, Reporte Interno, 47.*
- Lermo, J., Santoyo , M. A., Antayhua , Y., & Chavacán , M. (2016). Local Earthquakes of the Mexico Basin in Mexico City: K, Q, Source Spectra, and Stress Drop. *Bulletin of the Seismological Society of America, 106(4), 1423-1437.*
- Libby , W. F. (1951). Radiocarbon datin Chicago . 124.
- Llatas , C. (2000). Residuos generados en la construcción de viviendas. Propuestas y evaluación de procedimientos y prescripciones para su minimización . *Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla, Sevilla España, 14-15.*

- López Martínez, F. (2007). Metodología de Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidad de Suelos por Actividades no Industriales en el Distrito Federal. *Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional, México.*
- López, M., Martínez, E., & Blasco, J. J. (2009). Topografía para estudios de grado: geodesia, cartografía, fotogrametría, topografía. BELLISCO.
- Lugo Hupp, J., Mooser, F., Pérez Vega, A., & Zamorano Orozco, J. (1994). Geomorfología de la Sierra de Santa Catarina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 11(1)*, 43-52.
- Lugo Hupp, J., Cordero Estrada, M., & Zamorano Orozco, J. J. (1995). Relieve, litología y riesgos en la zona urbana de la Delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal, México. *Revista Mexicana de Ciencia Geológicas. Instituto de Geología, UNAM, 12(1)*.
- Macías, J. L., Arce, J. L., García Tenorio, F., Layer, P. W., Rueda, H., Reyes Agustín, G., . . . Avellán, D. (2012). Geology and geochronology of Tlaloc, Telapón, Iztaccíhuatl and Popocatepetl volcanoes, Sierra Nevada, central México, en Aranda Gómez, J. J., Tolson, G., Molina Garza, R. S., (eds), The southern Cordillera and Beyond. *Geological Society of America, Field Guide, 25*, 163-193.
- Macías, J. L. (2005). Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57(3)*, 379-424.
- Márquez, A., Verma, S., Anguita, F., Oyarzun, R., & Brandle, J. (1999). Tectonics and volcanism of Sierra Chichinautzin: extension at the front of the central transmexican volcanic belt. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 93*, 125-150.
- Martin, A. L. (1990). Paleomagnetismo y Geoquímica de la Sierra Chichinautzin. *Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias.*
- Martín Del Pozo, A. (1982). Monogenetic volcanism in Sierra Chichinautzin, Mexico. *Bulletin of Volcanology, 45*, 9-24.
- Martínez Q., C. (31 de 10 de 2017). ¿A dónde van los residuos de la construcción y la demolición. *Ciencia UNAM, DGDC*. Recuperado el 15 de 06 de 2019, de <http://ciencia.unam.mx/leer/666/-a-donde-van-los-residuos-de-la-construccion-y-la-demolicion->
- Martínez, A., & Damián, S. (1999). Catálogo de impactos ambientales generados por las carreteras y sus medidas de mitigación.
- Mason, B. (1990). Petrology of the Metamorphic rocks. Uniwin Hyman. 230.
- Mejía, V., Bohnel, H., Opdyke, N. D., Ortega Rivera, M. A., Lee, J. K., & Aranda Gómez, J. J. (2005). Paleosecular variation and time-averaged field recorded in late Pliocene-Holocene lava flows from Mexico. *Geochemistry Geophysics Geosystems, 6*, 1-19.
- Mooser, F. (1975). Historia geológica de la Cuenca de México. *Memoria obras del Drenaje Profundo, 7-38.*

- Mooser , F., Nair , A. E., & Negendank, J. F. (1974). Paleomagnetic investigations of Tertiary and Quaternary igneous rocks; VII, A paleomagnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of Mexico. *Geologische Rundschau*, 63, 451-483.
- Mooser , F., White , S. E., & Lorenzo , J. L. (1956). La Cuenca de México. Consideraciones Geológicas y Arqueológicas. *Instituto Nacional de Antropología e Historia de México*.
- Mora Álvarez , G., Caballero Miranda , C., Urrutia Fucugauchi, J., & Uchiumi , S. (1991). Southward migration of volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, basin of Mexico? -a preliminary K-Ar dating and paleomagnetic study. *Geofísica Internacional*, 30, 61-70.
- Nixon , G. T. (1989). The geology of Iztaccíhuatl Volcano and adjaent areas of The Sierra Nevada and Valley of Mexico. *Boulder, CO, Geological Society of America, Special Paper(219)*, 58.
- Orozco Esquivel , M. T., Ferrari , L., Eguchi, M., Tagami, T., Petrone , C., & Jacobo Albarran , J. (2003). The Eastern Alkaline Province (Mexico) revised: geology, geochronology and geochemistry of Neogene volcanism in Veracruz State. *99a Reunión Anual, Geological society of America, Cordilleran Section, Puerto Vallarta, Jal., Libro de resúmenes* , 58.
- Osete , M., Ruiz Martínez , V., Cabellero , C., Galindo , C., Urrutia Fucugauchi, J., & Tarling , D. (2000). Southward migration of continental volcanic activity in the Sierra de las Cruces, Mexico: paleomagnetic and radiometric evidence. *Tectonophysics*, 318, 201-215.
- Ovideo de León , A. (1970). El conglomerado Texcoco y el posible origen de la Cuenca de México. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, 2, 5-20.
- Paniagua, Z. W., Valle, J. A., & Elvira, A. (2010). Pantalla flexo-impermeable para remediación de suelos contaminados en la Refinería 18 de marzo, en la Ciudad de México. *XXV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica A. C.*, 1-6. Recuperado el 06 de mayo de 2019, de http://www.pilotec.com.mx/sites/pilotec.com.mx/files/pdf-publicaciones/pantalla_flexo-impermeable.pdf
- Pasquaré , G., Garduño, V., Tibaldi, A., & Vezzoli, L. (1991). Geology of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacan: Boulder, CO. *Geological Society of America* , 22.
- Pérez Cruz , G. (1988). Estudio sismológico de reflexión del subsuelo de la Ciudad de México. *Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México*, 83.
- Pérez Cruz, G. A. (1988). Estudio sismológico de reflexión del subsuelo de la Ciudad de México. *México, D.F, Univesidad Nacional Autónoma de México, Tesis de Maestría, División de Posgrado de la Facultad de Ingeniería*, 83.
- Pérez Venzor , J. A., Aranda Gómez , J. J., McDowell, F. W., & Solorio Munguía , J. G. (1996). Geología del Volcán Palo Huérfano, Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13(2), 174-183.

- Petróleos Mexicanos, PEMEX. (1987a). Interpretación geológica del subsuelo de la Ciudad de México . 66.
- Petróleos Mexicanos, PEMEX. (1987b). Estudio geofísico del subsuelo de la Ciudad de México . 71.
- Petróleos Mexicanos, PEMEX. (1987c). Informe geológico final del pozo Tulyehualco-1.
- Programa de Prevención de Riesgos, Miguel Hidalgo y em capital. (2016). www.miguelhidalgo.gob.mx. Recuperado el 03 de mayo de 2019, de https://www.miguelhidalgo.gob.mx/transparencia/files/PROTECCION_CIVIL/2016/PMGRO_T_ACTUAL_FINAL_23_02_2017.pdf
- Ramsay, G. J. (1997). *Plegamiento y fracturación de las Rocas*. Editorial Mc Graw Hill, Book Company 1a Edition ISBN 84-7214-100-4.
- Riggs , N., & Carrasco Núñez , G. (2004). Evolution of a complex isolated dome system, Cerro Pizarro, central Mexico. *Bulletin of Volcanology*, 66, 322-335.
- Righter , K., Carmichael , I., Becker , T., & Renne , R. (1995). Pliocene to Quaternary volcanism and tectonics at the intersection of the Mexican Volcanic Belt and the Gulf of California. *Geological Society of America Bulletin*, 107, 612-626.
- Robin, C., Mossand, C., Camus, G., Cantagrel , J., Gourgaud, A., & Vincent, P. (1987). Eruptive history of the Colima volcanic complex. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 31, 99-114.
- Rodríguez Elizarrarás , S., Siebe , C., Komorowski , J., & Abrams, M. (2002). The Quetzalapa pumice: a voluminous late Pleistocene rhyolite deposit in the eastern Trans-Mexican Volcanic Belt. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 113, 177-212.
- Romero Terán , E. (2001). Geología del Complejo Volcánico San Miguel al sur-poniente de la Cuenca de México. *Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, México*, 63.
- Rosas Elguera , J., Ferrari, L., Garduño Monroy , V., & Urritia Fucugauchi , J. (1996). Continental boundaries of the Jalisco Block in the Pliocene-Quaternary kinematics of western Mexico. *Geology*, 24, 921-924.
- Rossotti , A., Ferrari , L., López Martínez , M., & Rosas Elguera , J. (2002). Geology of the boundary between the Sierra Madre Occidental and the Trans-Mexican Volcanic Belt in the Guadalajara region, western Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 19, 1-15.
- Ruíz Vázquez , M., & González Huesca , S. (2000). Geología aplicada a la Ingeniería Civil. México, D.F.: LIMUSA .
- Russel Brinker, C., & e Wolf , P. (1999). Topografía Moderna . Thomas y Crowell Company.
- SACMEX. (2017). El agua RECURSO NATURAL DE GRAN TRASCENDENCIA PARA LA VIDA. *El agua*, 34-39.

- Santiago López, D. (2018). Análisis de la información geológica, geofísica e hidrogeológica en la evaluación de un acuífero profundo (Caso Santa Catarina 3A). *Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.*
- Santoyo Villa, E., Ovando Shelley, E., Mooser Hawtree, F., & León Plata, E. (2005). Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México.
- Schenk, T. (2002). Fotogrametría Digital (GEOMATICA VOL. I). MARCOMBO.
- Schmidt, O., Milton, O., & Rayner William, H. (1997). Fundamentos de Topografía. México: Continental.
- Secretaría de Economía. (2015). *www.gob.mx*. Recuperado el 24 de abril de 2019, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/194616/ciudad_de_mexico_2017_02.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). Estudio de análisis, evaluación y definición de estrategias de solución de la corriente de residuos generados por las actividades de la construcción en México. *en Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. 2017. Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición.*
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). Residuos del manejo especial. *Consultado en Convenio SECITI/062/2016 y convenio modificado CM-SECITI/042/2017, Facultad de Ingeniería, UNAM. 2017. Manual Técnico para la construcción de sitios para la disposición final de residuos de la construcción y demolición.*
- SEMARNAT. (2013). Remediación de la Ex Refinería 18 de Marzo, en Miguel Hidalgo, Distrito Federal. *Remediación y Rehabilitación de Sitios Contaminados: Casos Exitosos en México*, 245. Recuperado el 03 de mayo de 2019, de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001789.pdf>
- Servicio Sismológico Nacional. (12 de julio de 2019). *Servicio Sismológico Nacional*. Recuperado el 22 de enero de 2020, de <http://www.ssn.unam.mx>
- Siebe, C., Rodríguez Lara, V., Schaaf, P., & Abrams, M. (2004). Radiocarbon ages of Holocene Pelado, Guespalapa, and Chichinautzin scoria cones, south of Mexico City: implications for archaeology and future hazards. *Bulletin of Volcanology*, 66, 203-225.
- Siebe, C., Arana Salinas, L., & Abrams, M. (2005). Geology and radiocarbon ages of Tláloc, Tlacotenco, Cuauhtzin, Teuhtli, and Ocusacayo monogenetic volcanoes in the central part of the Sierra Chichinautzin. *J Volcanol Geotherm Res*, 141, 225-243.
- Siebe, C., Rodríguez Lara, V., Schaaf, P., & Abrams, M. (2004). Radiocarbon ages of Holocene Pelado, Guespalapa, and Chichinautzin scoria cones, south of Mexico City: implications for archaeology and future hazards. *Bulletin of Volcanology*, 66, 203-225.

- Siebert , L., & Carrasco Núñez , G. (2002). Late-Pleistocene to precolumbian behind-the-arc mafic volcanism in the eastern Mexican Volcanic Belt: implications for future hazards. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 115, 179-205.
- Singh , S. K., Anderson , J. G., & Rodríguez , M. (1988). *Geofísica Internacional*, 37(1), 3-15.
- Temez, E., Santoyo Villa , E., Mooser Hawtreé , F., & Gutiérrez , C. (1987). Manual de Diseño Geotécnico. *Comisión de Vialidad y Transporte Urbano, Departamento del Distrito Federal*.
- Terzaghi . (1967). Measurement of stress in rock. *Gestechnique*, 17(1).
- Torres , A., & Villate, B. E. (1995). Topografía. Norma.
- Toscano , R. (1955). Métodos topográficos . México : Porrúa .
- Valdez Moreno , G., Aguirre Díaz , G., & López Martínez , M. (1998). El Volcán La Joya, Edos. de Querétaro y Guanajuato. Un estratovolcán antiguo del cinturón volcánico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15(2), 181-197.
- Vallin , J. (1994). La Demografía. *Publicación de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL*, 7-15.
- Vázquez Sánchez , E., & Jaimes Palomera , L. R. (1989). Geología de la Cuenca de México. *Geofísica Internacional* , 28(2), 133-190.
- Verma , S. (2000). Geochemical evidence for a lithospheric source for magmas from Los Humeros caldera, Puebla, Mexico. *Chemical Geology*, 164, 35-60.
- Verma , S. (2001). Geochemical evidence for a lithospheric source for magmas from Acozulco caldera, eastern Mexican Volcanic Belt. *International Geology Review*, 43, 31-51.
- Verma , S., & Carrasco Núñez, G. (2003). Reappraisal of the geology and geochemistry of Volcán Zamorano, central Mexico: implications for discriminating the Sierra Madre Occidental and Mexican Volcanic Belt provinces. *International Geology Review*, 45, 724-752.
- Vidal García , M. (2009). Presentación de Rocas Sedimentarias para la asignatura de Geología de Yacimientos de Fluidos, carrera de Ingeniería Petrolera . *Facultad de Ingeniería-UNAM*.
- Zamorano Orozco , J. J., Tanarro García , L. M., Lugo Hubp, J., & Sánchez Rubio , G. (2002). Evolución geológica y geomorfología del complejo dómico Los Pitos, norte de la Cuenca de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 19(1), 66-79.

Anexos



Fotografía 1. Puerta de acceso al predio CEDEC-Parque Bicentenario.



Fotografía 2. Oficinas localizadas a un costado de la entrada al predio CEDEC-Parque Bicentenario.



Fotografía 3. Planta de residuos.



Fotografía 4. Invernaderos, vegetación, basura y restos de escombros.



Fotografía 5. Escombros y basura dentro del predio CEDEC-Parque Bicentenario.



Fotografía 6. Zona de Equitación.



Fotografía 7. Zona de establos.



Fotografía 8. Pozo a cielo abierto PCA-1.



Fotografía 9. Pozo a cielo abierto PCA-2.



Fotografía 10. Pozo a cielo abierto PCA-3.



Fotografía 11. Pozo a cielo abierto PCA-4.