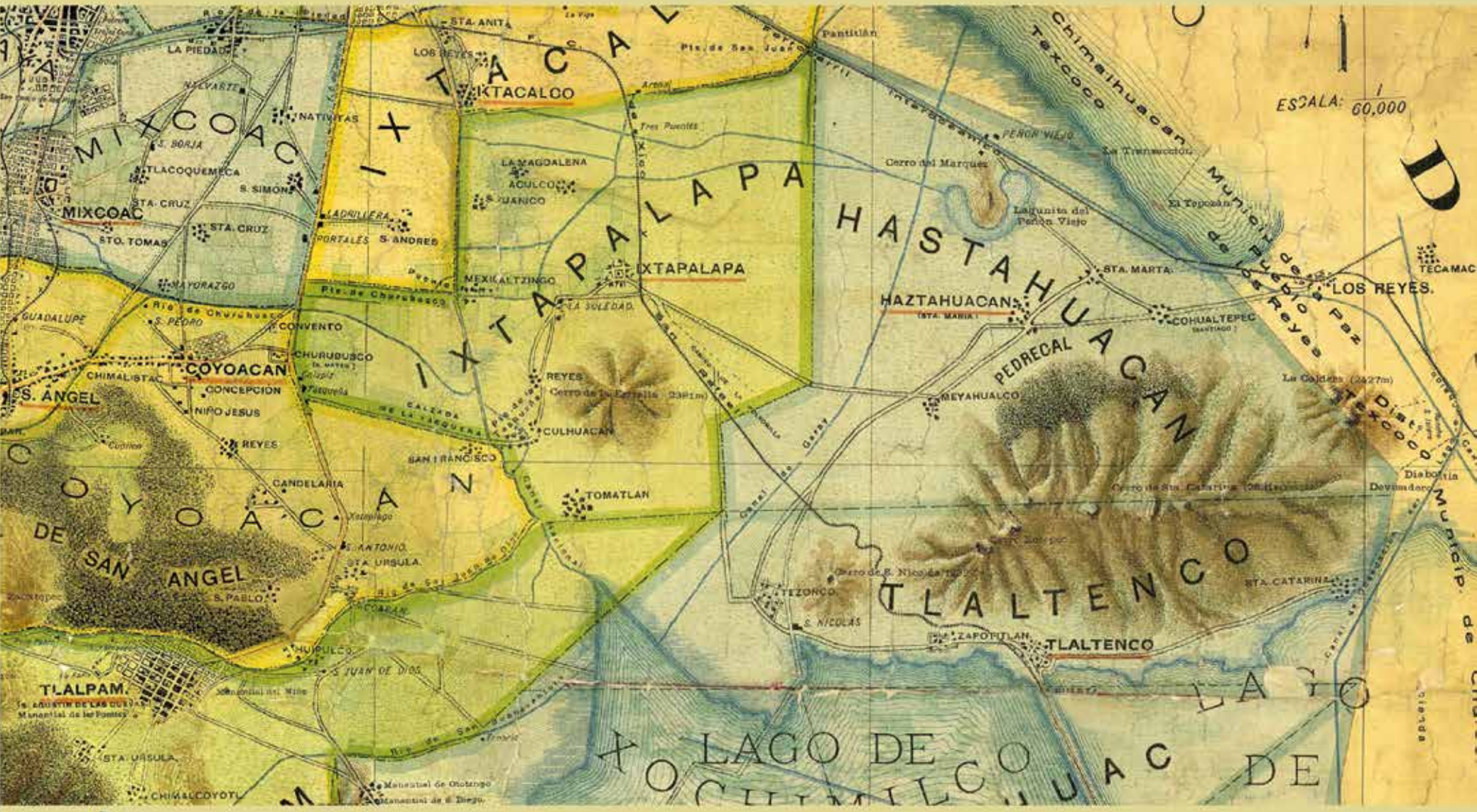
SUBSIDENCIA Y FRACTURAMIENTO DEL SUELO EN IZTAPALAPA:

UN MODELO DE GESTIÓN GEOLÓGICO-URBANO



Alcaldía IZTAPALAPA

DGODU | DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y DESARROLLO URBANO

Clara Marina Brugada Molina
Alcaldesa de Iztapalapa

Raúl Basulto Luviano
Director General de Obras y Desarrollo Urbano

Adrián Hernández Molina
Coordinador de Servicios y Mantenimiento

Raúl Iván Gutiérrez Calderón
Subdirector del Centro de Evaluación de Riesgos

Carlos Felipe Alcántara Durán
J. U. D. Estudios de riesgos

Baltazar Jiménez Cervantes
J. U. D. Atención a Riesgos

Dora Celia Carreón Freyre
Investigadora Titular en el Centro de Geociencias de la UNAM; Responsable del Laboratorio de Mecánica de Geosistemas; Miembro de la Iniciativa Internacional de Subsidencia del Terreno (LASII) de la UNESCO

Mariano Cerca Martínez
Investigador Titular en el Centro de Geociencias de la UNAM; Responsable del Laboratorio de Física de Rocas (LAFIR)

Agradecimientos especiales a:

Gabriel Yves Armand Auvinet Guichard
Investigador Titular en el Instituto de Ingeniería de la UNAM; Presidente del Comité de Grietas del Gobierno de la Ciudad de México Subsidencia y Fracturamiento del Suelo en Iztapalapa: Un Modelo de Gestión Geológico-Urbano

Primera Edición, Iztapalapa 2022

Impreso por la Alcaldía Iztapalapa

Distribución Gratuita

Índice

1. Contexto histórico y geográfico de Iztapalapa .... pág 04

1.1 Aspectos generales
1.2 Geomorfología y geología general
1.3 Geomorfología y geología local
1.4 Crecimiento urbano del siglo XX en Iztapalapa
1.5 Escasez de agua potable en la Ciudad de México

2. Subsidencia y fracturamiento del subsuelo .... pág 14

2.1 Subsidencia
2.2 Fracturamiento
2.3 Una problemática en la actualidad

3. Experiencia de Iztapalapa para la atención de suelos afectados por el fracturamiento .... pág 18

3.1 Convenio con UNAM 2007
3.2 Creación del Centro de Evaluación de Riesgos Geológicos (CERG)2009
3.3 SCER Dirección General de Obras y Desarrollo Urbano

4. Acupuntura Urbana, una acción de gobierno .... pág 25

4.1 Atribuciones del Comité de Grietas de la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México
4.2 Políticas en acción, avance del programa
4.3 Coordinación gubernamental
4.4 Soluciones integrales

5. OIHFRA, visibilizando el riesgo geológico .... pág 36

5.1 Historia de la UTOPÍA Tecoloxtitlán
5.2 OIHFRA

6. Iztapalapa: perspectivas y aportes a la agenda urbana .... pág 41

6.1 Logros en Políticas Públicas
6.2 Perspectivas

Bibliografía .... pág 43

1. Contexto histórico y geográfico de Iztapalapa

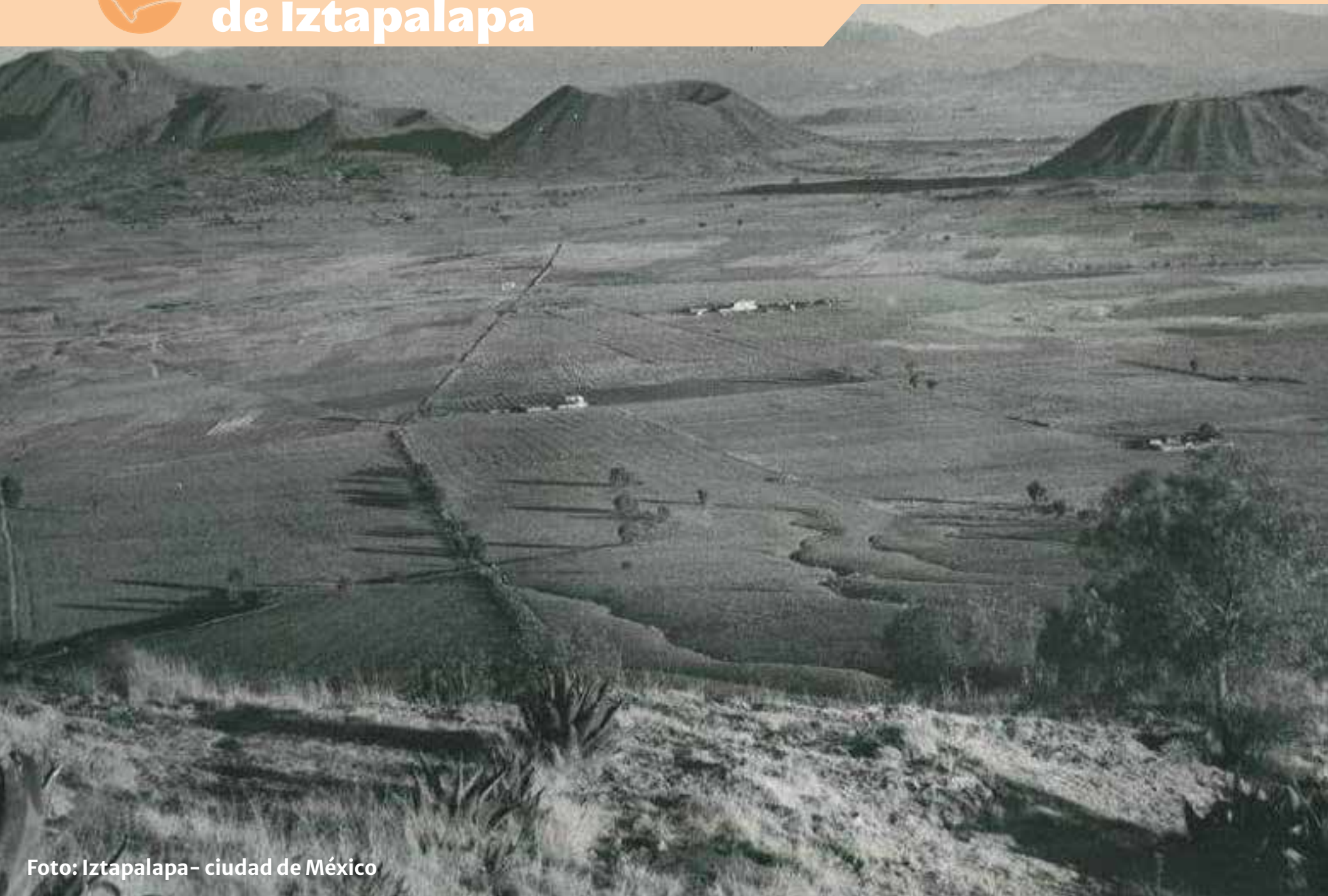


Foto: Iztapalapa- ciudad de México

1.1 Aspectos generales

La Cuenca de México se encuentra delimitada por la Provincia Fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana. Se ubica desde el Golfo de México hasta las costas de Nayarit y Jalisco, está conformada por volcanes tipo escudo,calderas, estratovolcanes, domos de lava y conos cineríticos. La distribución y geometría de esta provincia se debe a su origen tectónico, ya que la subducción de la placa de Farallón y Cocos ha provocado la formación de un Arco Volcánico continental (Ferrari et al., 2000).

Durante el periodo de formación de los volcanes más jóvenes (700 mil a 400 mil años) se formó la Sierra de Chichinautzin, delimitando la parte sur de la Cuenca de México, así, bloqueando el paso natural hidrológico, se formaron diversos lagos que durante su sedimentación almacenaron algunos depósitos limo-arenosos, limo-arcillosos y piroclásticos.

En la actualidad, la Cuenca de México se encuentra delimitada al Sur por la Sierra de Chichinautzin, al Norte por la Sierra de Pachuca, al Este por la Sierra de Río Frío y la Sierra Nevada, y al Oeste por la Sierra de las Cruces (Figura 1).

Figura 1. Mapa de la Cuenca de México. Datos tomados del INEGI

1.2 Geomorfología y geología general

Geomorfología

La geomorfología de la Cuenca de México es dominada principalmente por cuatro grandes tipos de relieve: 1) Laderas montañosas, 2) Lomeríos, 3) Piedemontes y 4) Planicies (Tapia-Varela et al., 2002). Las unidades morfogenéticas de la Cuenca de México, se dividen en porcentajes:

El 21% corresponde a las planicies aluviales, que pertenecen al Cuaternario, generalmente con sedimentos de origen aluvial y depósitos de ladera, así mismo, se pueden encontrar depósitos de lahar, junto con secuencias de piroclástos por caída y algunas tobas (Lugo-Hubp, 1994).

El 19% del área es de unidad morfogenética de piedemonte del Cuaternario, su composición es ígnea al ser roca volcánica efusiva y piroclástica como basaltos y tobas respectivamente (De Cserna et al., 1988; Mooser et al., 1996). Las laderas de Montaña representan el 17% del área con una edad del Terciario-Cuaternario (Tapia-Varela et al., 2002), su estructura principal está formada por domos, conos volcánicos y derrames de lava de composición máfica a intermedia (De Cserna et al., 1988; Mooser et al., 1994).

El 15% del área de la cuenca corresponde a las planicies lacustres del Cuaternario, con componentes sedimentarios lacustres que provienen de los depósitos piroclásticos de las explosiones recientes de los volcanes cuaternarios de la Cuenca de México (Tapia-Varela et al., 2002).

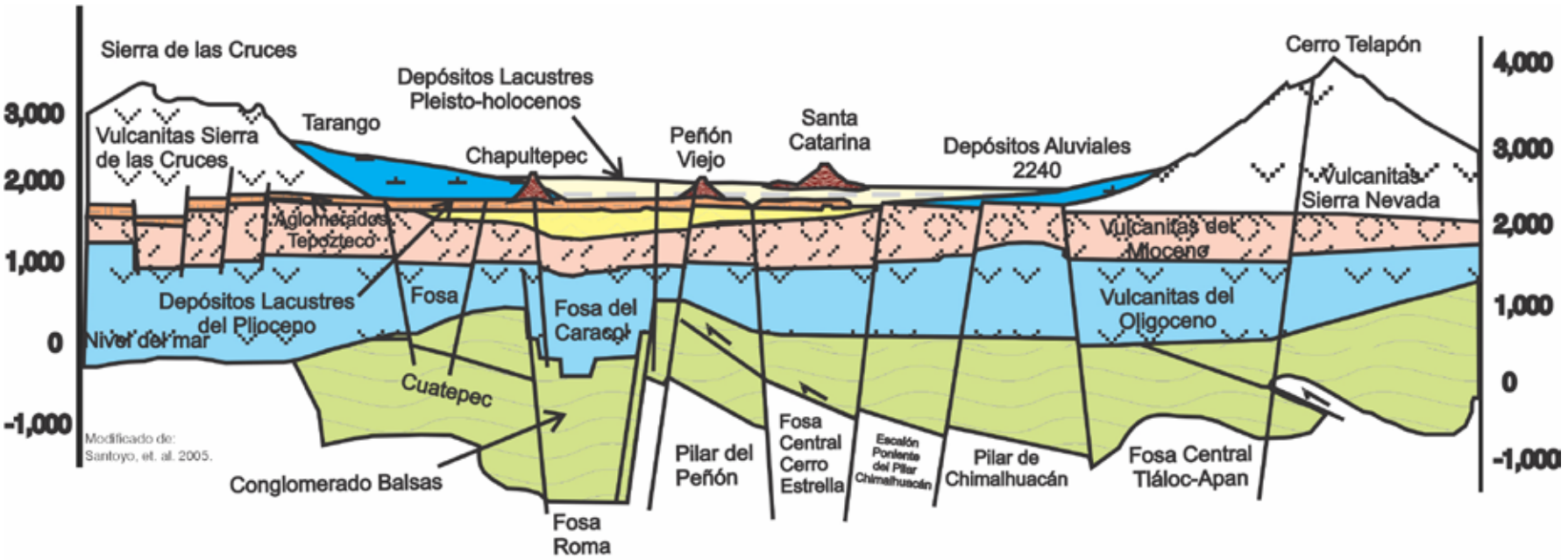
Por último, la Unidad Morfogenética de lomeríos solo tiene el 7% del área, estas unidades morfogenéticas generalmente están conformadas por una litología de tobas, tefra e ignimbritas con algunos basaltos y andesitas (Mooser et al., 1994).

Geología

La geología de la Cuenca de México se compone de un basamento rocoso calcáreo del Cretácico, estructurado en grades paquetes de estratos, posteriormente subyacen secuencias pseudoestratificadas de depósitos volcánicos del Paleógeno, finalmente del Neógeno al Cuaternario se depositaron grandes secuencias aluviales, fluviales y lacustres (Vázquez et al., 1989).

Las rocas superiores del basamento en la Ciudad de México pertenecen a la formación Morelos, esta formación se encontró en las perforaciones de los pozos profundos Mixhuca-1 y Tulyehualco-1 a 1,550 y 2,100 m de profundidad respectivamente (González et al., 2005).

La Cuenca de México tiene un basamento más complejo de acuerdo a los reportes de Segerstrom en el que se describe la roca calcárea llamada “El Doctor” como una secuencia de Facies las cuales varían en su contenido textural. La formación Mexcala también ha sido reportada como parte de las rocas profundas de la Cuenca de México, compuesta por una secuencia terrígena de rocas clásticas entre las que se encuentran areniscas, limos y arcillas (Fries et al., 1956 y 1960). Así mismo al sur se encuentra parte de la formación Zicapa, constituida por conglomerados y rocas clásticas polimicticas (Campa, 1978), y al norte la formación “El Morro” que está constituida por una secuencia de rocas continentales conglomeráticas que se encuentra en discordancia con rocas volcánicas (Carrasco et al., 2009). La geología se puede observar en la sección geológica tomada de la Síntesis Geotécnica de la Cuenca de México (Figura 2).



**Sección geológica poniente-oriente de la Cuenca de México.
Sierra de las Cruces se localiza a la izquierda y Sierra Nevada a la derecha.**

Figura 2. Sección geológica poniente-oriente de la Cuenca de México. Tomada de Síntesis Geotécnica de la Cuenca de México (Santoyo et al., 2005)

1.3 Geomorfología y Geología local

La Alcaldía Iztapalapa se encuentra dentro de una zona de llanura aluvial, sin embargo, en la periferia hay otras geoformas características. Cabe mencionar que los procesos de formación del relieve se dividen en endógenos y exógenos, así podremos enlistar todas las geoformas presentes en el territorio.

Al SE - NE y NW de la Alcaldía se puede encontrar un relieve de lomerío y laderas montañosas, ya que parte de los edificios volcánicos de la Sierra de Santa Catarina, compuestos principalmente por rocas volcánicas de composición basáltica y depósitos piroclásticos (Yuhualixqui, Xaltepec, Tetecón, Mazatepec y Guadalupe) con geometría similar el Peñón del Marqués, que es un domo volcánico, está compuesto de rocas andesíticas y basálticas intercaladas con depósitos de escoria y piroclástos, este cuerpo volcánico es independiente de la Sierra de Santa Catarina (García, 2015).

Además, existen otras formas como edificios volcánicos efusivos, como ejemplo claro se tiene al Cerro de la Estrella, que está mayoritariamente dispuesto por lavas basálticas y andesíticas con algunos depósitos de brechas piroclásticas (García, 2015).

La forma que domina mayoritariamente es la planicie lacustre que se encuentra topográficamente debajo del pie de monte, su composición es muy variable de acuerdo al origen de formación del depósito sedimentario, pero principalmente se trata de arcillas y limos no consolidados con comportamiento plástico y compresible, intercaladas con capas de arena volcánica (García, 2015). La distribución se observa en el mapa litológico de la Alcaldía (Figura 3).

Figura 3. Mapa litológico de la Alcaldía Iztapalapa. Simplificado de CGEO-UNAM, 2011.

1.4 Crecimiento urbano del siglo XX en Iztapalapa

Los orígenes de la Ciudad de México se remontan a la fundación de México-Tenochtitlan, alrededor de 1325, con la llegada de los mexicas. Se instalaron sobre la parte baja de la cuenca a los 2,200 msnm, entre el lago de Texcoco y el lago de México, el primero de agua salada y el segundo de agua dulce, donde se situaba una isla (centro de México-Tenochtitlan). Tanto esta última como el lago de México, se encontraban a un nivel más alto que el lago de Texcoco, esto derivó en una albarrada construida por Nezahualcóyotl a petición de Moctezuma I, para impedir las inundaciones periódicas de la ciudad durante las lluvias, y también la separación del agua dulce del lago de México y la salada del lago de Texcoco. De esta manera se inicia con la modificación del sistema hidráulico prehispánico (SACMEX, 2012).

Con la llegada de los españoles, a partir del siglo XVII, se comenzaron a construir las grandes obras que desecaron el lago de la Cuenca de México: el tajo de Nochistongo, el Gran Canal, los túneles de Tequisquiac y el sistema de drenaje profundo.

Antes y durante la época colonial, a pesar de todas las obras de drenaje que hasta el siglo XIX se construyeron, la navegación por canales fue un medio de transporte popular.

El establecimiento y crecimiento urbano se dio a partir de la conquista, cuando la ciudad tenía una superficie de 1.9 km² en el año 1524 y contaba con una población de 30 mil habitantes.

El factor determinante durante finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX (Figura 4) se debió a la dictadura de Porfirio Díaz, con la cual la revolución industrial se instaló en México. Tal revolución demandó servicios básicos, entre los cuales el acceso al agua fue uno de los primordiales, tanto para las industrias que se establecieron en la capital como para uso doméstico.

Figura 4. Plano Topográfico del Distrito Federal, Antonio Linares, 1902.

En la época de Lázaro Cárdenas, surgió un interés por la creación de parques nacionales, especialmente en las montañas que rodean a la cuenca de México, además de la creación de áreas verdes en el perímetro urbano. En el sexenio de Miguel Alemán Valdés, de 1946-1952 se registró una importante mejora en las vialidades centrales y al sur se descentralizaron las actividades urbanas, sobre Insurgentes y Calzada de Tlalpan, desarrollando así empresas, comercios e instituciones sobre la traza de estas dos avenidas. Derivado de este proceso de urbanización, durante el periodo de 1940 y 1950 se registró una tasa de crecimiento anual de 5.8%, la más alta del siglo XX (Ezcurra, 1992). Sin embargo, en la zona oriente no se registró un aumento importante de su población, principalmente en los pueblos originarios de Iztapalapa, que mantuvieron hasta la primera mitad del siglo XX su número de habitantes.

Por su parte y antecediendo el crecimiento urbano de inicios del siglo XX, la extracción de agua del acuífero subyacente a las arcillas se inició en 1847, Pane y Molteni abrieron los primeros pozos de hasta 105 m de profundidad (Santoyo et al., 2005), hacia 1857 había 168 pozos, para 1870 funcionaban 1,000, cabe señalar que hasta ese año los pozos operaban de manera artesanal, lo cual hacía subir el agua hasta el segundo nivel de las casas. Al agotarse el artesianismo se comenzó el bombeo para extraer el agua, desde ese entonces se inició el dramático problema del hundimiento regional, originado por la pérdida de la presión del agua intersticial (Santoyo et al., 2005).

Para finales del siglo XIX ya se tenían los primeros registros sobre hundimientos en el centro de la ciudad, las nivelaciones realizadas de 1891 a 1895 marcan 5 centímetros por año. Hacia el año 1925, algunos ingenieros sostenían la teoría de que el lago de Texcoco se estaba azolvando. Para el periodo de 1936-1944, se perforaron los primeros 93 pozos profundos que provocaron hundimientos en el centro de la ciudad de hasta 18 centímetros por año. (Lesser, 1998).

Durante el año de 1965, el hundimiento de la Ciudad de México provocó que la metrópoli quedara por debajo del nivel del lago de Texcoco, lo cual marcó un peligro debido a las potenciales inundaciones y a que el gran canal de desagüe quedó por debajo de ese nivel, por lo que era necesario bombear las aguas negras para sacarlas por el túnel de Tequixquiac.

Al llegar la segunda mitad del siglo XX, se acentuó el crecimiento urbano de la ciudad, entre los años 1930 y 1960 la superficie ocupada pasó de 66.8 a 383.8 km² y la población llegó a los 5.1 millones de habitantes.

El aumento en las viviendas y la industria ocasionó el aumento en la red de abastecimiento de agua, esto generó la perforación de una mayor cantidad de pozos de agua en el centro y las periferias de la ciudad. Para el periodo de 1947-1996 se registraron velocidades de hundimiento de 40 cm o mayores por año al inicio de la etapa y que disminuyeron hasta llegar a los 10 cm anuales. El impacto de la extracción de agua se aceleró y en esta época el centro de la ciudad sufrió la mayor deformación. (Figura 5)

Hasta el año de 1960 se marcó un parteaguas en la disminución y restricción de la extracción de agua en el centro de la Ciudad de México, y así mismo, el inicio de la explotación del acuífero sur (Xochimilco-Chalco). Este cambio de extracción en el centro no erradicó el problema de hundimiento solo marcó una reducción, lo que significó una baja considerable a partir de 1960 hasta 1990. Por otra parte inició la problemática del hundimiento de la zona sur-oriente de la ciudad, generando problemas que hasta la actualidad se mantienen, ya que ha funcionado como el principal abastecedor de agua de la zona más poblada de la ciudad.

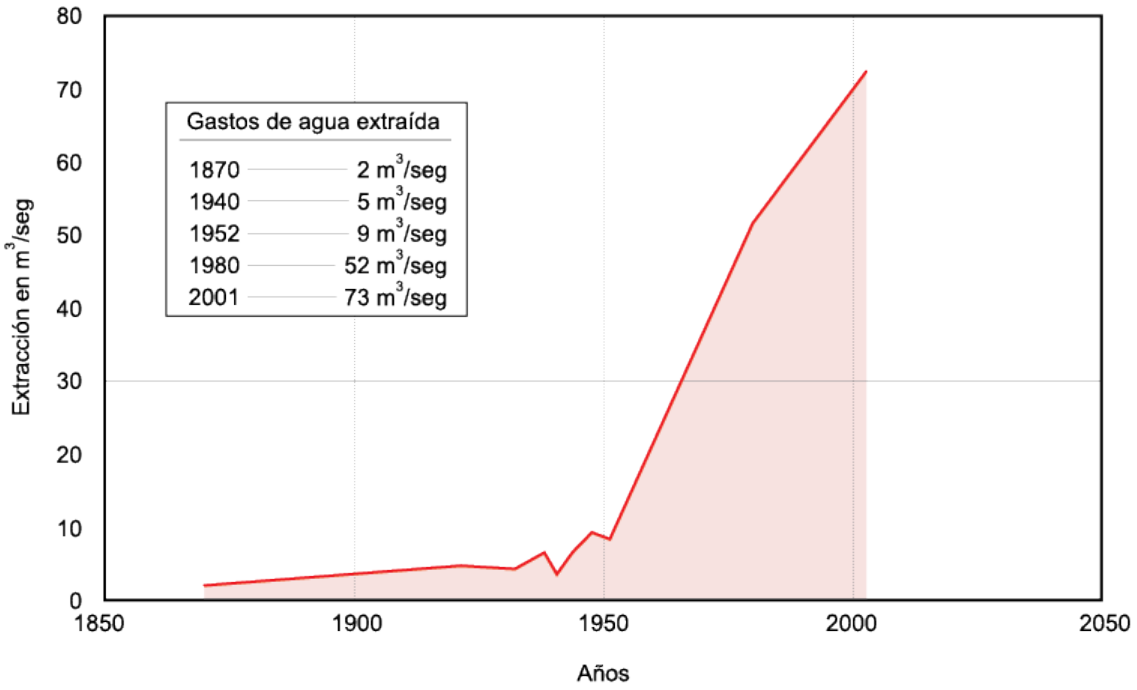


Figura 5. Cuantificación de la extracción de agua del subsuelo en m3/seg. Tomada de Síntesis Geotécnica de la Cuenca de México (Santoyo et al., 2005).

1.5 Escasez de agua potable en la Ciudad de México

La extracción del agua comenzó en el siglo XIX con los pozos artesianos y posteriormente se intensificó la demanda a causa de la urbanización. Hasta mediados del siglo XX (alrededor de 1965) se proporcionaba la suficiente agua para abastecer a la población, desde entonces se necesita extraer agua de cuencas aledañas para abastecer la demanda actual: la de Lerma en el Estado de México, la de Cutzamala en los estados de México, Michoacán y Guerrero, entre otras.

Actualmente la Ciudad de México obtiene el agua a través de pozos de extracción, cauces y manantiales en sistemas hidráulicos como Lerma-Cutzamala. En cuanto a la distribución del agua, en Iztapalapa una tercera parte del territorio se abastece por medio de pipas. Por otro lado con información del SACMEX proporcionada por la Dirección General de Servicios Urbanos de la Alzaldía Iztapalapa, el total de agua es de 32.5 m^3/s de los cuales 13.7m^3/s proviene de los pozos, 9.5 m^3/s de Cutzamala, 3.8 m^3/s de Lerma y los restantes 5 m^3/s de otras cuencas y sistemas (Figura 6).

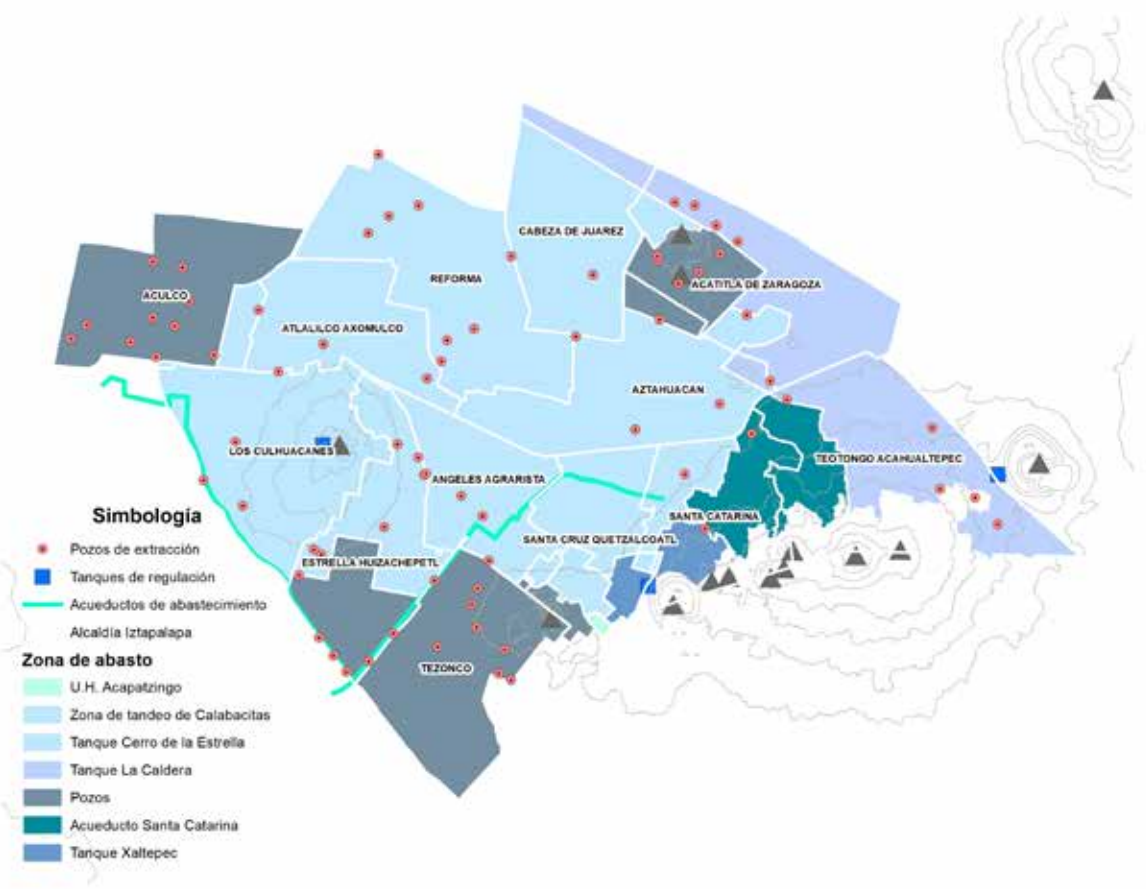


Figura 6. Mapa de abastecimiento de agua de la Alcaldía Iztapalapa. Datos proporcionados por la DGSU (2022).

A pesar de las políticas de las últimas administraciones de la CDMX para contener el avance de la mancha urbana y proteger las áreas para la recarga del acuífero, su balance sigue siendo negativo ya que la recarga total es de 11.2m³/s, esto por medio de la recarga natural, fugas, recarga inducida e infiltración. Por otra parte la extracción es de 18.1 m³/s, ya sea para uso doméstico y no doméstico, pozos particulares y zonas agrícolas. Esto se traduce en, que se extraen 6.9m³/s más de lo que se recarga.

Figura 7. Mapa de fuentes de abastecimiento de Agua Potable de la CDMX. Datos proporcionados por la DGSU (2014).

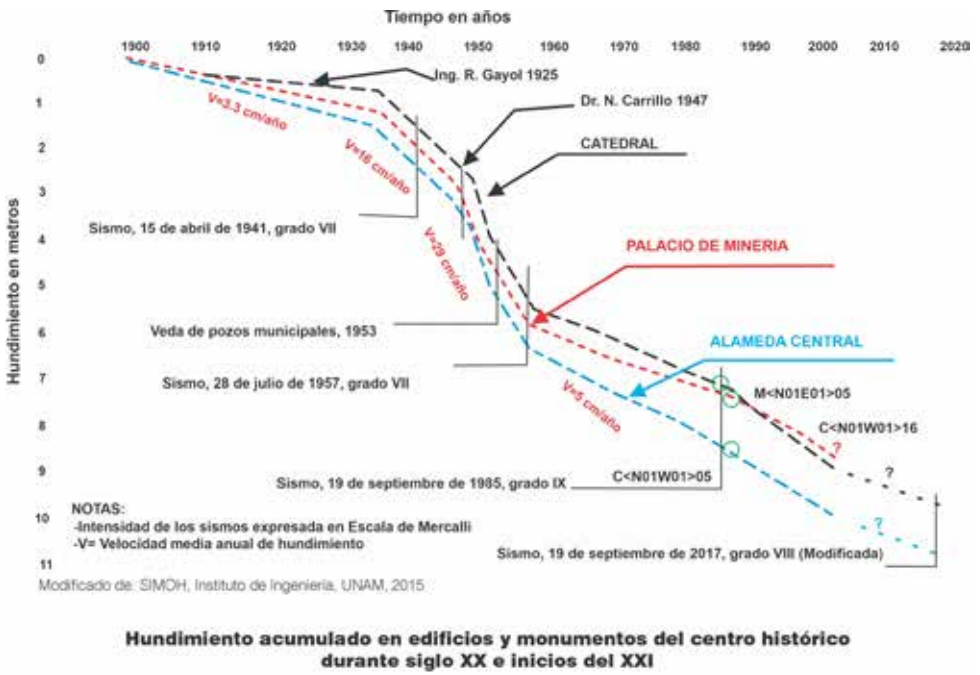
2. Subsidencia y fracturamiento del subsuelo

2.1 Subsidencia

La subsidencia es el descenso de la superficie del terreno debido a la extracción de fluidos del subsuelo (Carreón, 2021), este es un peligro geológico gradual y persistente, que generalmente afecta a los sedimentos blandos (limoarcillosos) cuando el agua subterránea se bombea en exceso de los acuíferos (LASII UNESCO). Los efectos de la subsidencia incluyen: reducción de la capacidad de almacenamiento de los acuíferos, generación de fracturamiento del terreno, incremento del peligro de inundación y daños en edificios e infraestructura urbana.

En la Ciudad de México los efectos de este fenómeno han sido reconocidos por más de un siglo, reflejados actualmente en edificios y monumentos del centro histórico que tienen registro de hasta 9 metros de hundimiento acumulado. A partir de 1953 por medio del Diario Oficial de la Federación, cuando se decretó la veda de los pozos del centro de la ciudad con lo que comienza un proceso de migración de pozos de extracción a la zona oriente, favorecido por el crecimiento urbano (Figura 8).

En Iztapalapa se tiene conocimiento del problema de hundimiento desde la década de los sesenta, en 1957 se inicia la operación de los primeros pozos de bombeo, con un caudal de 0.5 m³/s en los alrededores del Peñón del Marqués. Las primeras fracturas se formaron a inicios de 1960 en el flanco suroeste del mismo (CGEO, 2008).



Hundimiento acumulado en edificios y monumentos del centro histórico durante siglo XX e inicios del XXI

Figura 8. Hundimiento acumulado en edificios y monumentos del centro histórico durante el siglo XX e inicios del siglo XXI

2.2 Fracturamiento

El fracturamiento es la ruptura del subsuelo debido al contraste de resistencia entre los diversos materiales geológicos, entre los factores que pueden provocar el hundimiento y fracturamiento asociado están:

1) Abatimiento del nivel de agua subterránea.

2) Heterogeneidad de las capas del subsuelo (principalmente en las zonas de transición).

3) Sobrecarga estática y dinámica en superficie.

4) Colapso por socavamiento asociado a rupturas de tuberías de agua.

5) Drenaje y reactivación por actividad sísmica (Carreón, 2021).

Las zonas más comunes en donde se presentan fracturas en la Ciudad de México es en los bordes de la cuenca y por encima de estructuras volcánicas cubiertas por sedimentos.

2.3 Una problemática en la actualidad

Como se mencionó con anterioridad, el inicio de la extracción del acuífero sur-oriente (Xochimilco-Chalco) en los años sesenta, fue el detonante para el aumento de la subsidencia en esta zona. Iztapalapa, al estar ubicado sobre los remanentes de los antiguos lagos, ha sufrido un cambio su superficie con respecto a su topografía de décadas anteriores.

Esto ha sido factor de la actual problemática de subsidencia y deformación diferencial, lo que origina el fracturamiento en superficie.

La subsidencia que se registra en la alcaldía no es homogénea y se encuentra influenciada por los edificios volcánicos y sus depósitos. Sin embargo, las mayores zonas de este proceso no se encuentran en la demarcación, en 2008 y 2009 se reportó un máximo de 39 cm/año en el Municipio de Nezahualcóyotl mientras que en Iztapalapa se registró desde 0 cm/año hasta alrededor de 30 cm/año, por lo cual es posible establecer una relación directa entre la cantidad de agua que se extrae en el subsuelo con el hundimiento del terreno, esto derivado por la heterogeneidad del medio geológico.

Así mismo, el patrón de subsidencia está relacionado de manera cercana con la distribución de las secuencias lacustres. Aunque la mayoría de los hundimientos se presentan en la parte lacustre de la Cuenca de México, existen también hundimientos de menor escala en las zonas de transición, donde se presentan secuencias piroclásticas de diversa génesis y composición, así como en los flancos de la Sierra de Santa Catarina.

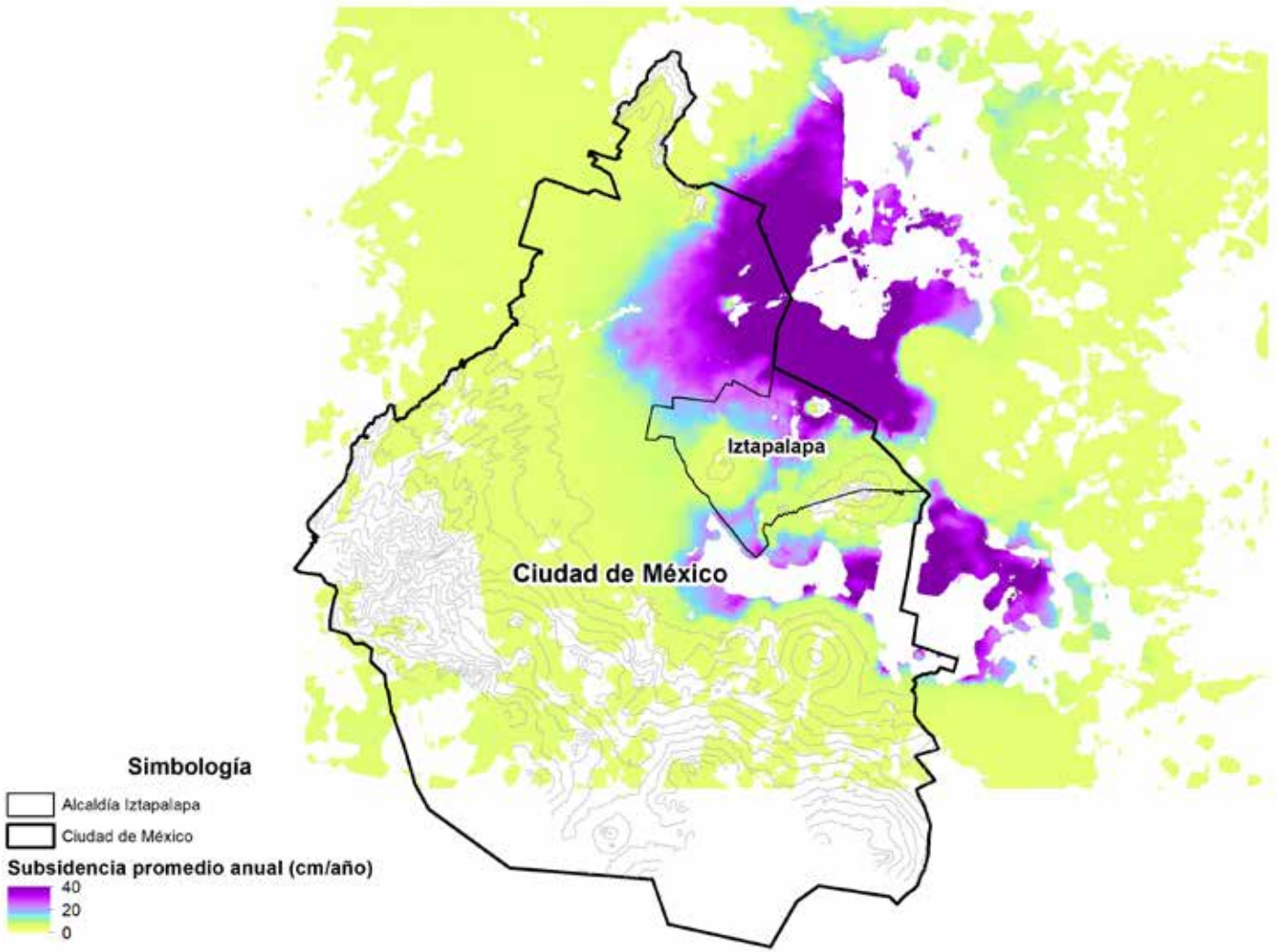


Figura 9. Mapa de subsidencia de la CDMX (López-Quiroz et al., 2009)

3. Experiencia de Iztapalapa para la atención de suelos fracturados

El Centro de Evaluación de Riesgos Geológicos surgió a partir de las necesidades presentes en el territorio de Iztapalapa, a raíz de la aguda problemática de fracturamiento del subsuelo a principios del siglo XXI. Existen antecedentes documentados por habitantes de las colonias con problemáticas de fracturamiento y hundimiento, entre ellas, San Lorenzo Tezonco, UH Santa Cruz Meyehualco, Ejidos de Santa María Aztahuacan I y II, Pueblo de Santa Martha Acatitla, Santa Martha Acatitla Norte y Sur.

3.1 Convenio con UNAM 2007

En el año 2007 en la colonia Lomas de San Lorenzo, se suscitó un socavón causante de la perdida de una vida humana, debido a las condiciones geológicas del subsuelo en conjunto con la ruptura de las redes hidráulicas causaron el transporte de los materiales de grano arenoso, dejando un espacio entre ellos lo que causaría el socavón (Figura 10). Este fenómeno también es conocido como mecanismo de fracturamiento por piroclástos colapsables.

A partir del siniestro, la entonces Delegación Iztapalapa en conjunto con la UNAM, firmaron el primer convenio de colaboración para la identificación del fracturamiento en la Alcaldía. La importancia de este acercamiento entre ambas instituciones radica en la creación de recursos humanos propios, para darle autosuficiencia técnica mediante la capacitación de los profesionistas, creando así un grupo de trabajo especializado en Ciencias de la Tierra adscritos a la Delegación Iztapalapa. A partir de esta relación academia-gobierno, durante la gestión de la Delegada Clara Marina Brugada Molina, se crea en el año 2009 el Centro de Evaluación de Riesgos Geológicos (CERG) dotado de instrumentos geofísicos, geoinformáticos y un laboratorio de suelos, todo esto albergado en un edificio expresamente construido para este fin en la sede de la Delegación. Durante este periodo el CERG permaneció como un proyecto de la Unidad Departamental de Información Geoestadística.

Figura 10. Socavón ubicado en la colonia Lomas de San Lorenzo, Iztapalapa, 2007

3.2 Centro de Evaluación de Riesgos Geológicos 2009

El Centro de Evaluación de Riesgos Geológicos inició un acervo de información sobre cartografía geológica del fracturamiento, también se realizaron estudios al subsuelo mediante métodos indirectos para detectar el fracturamiento y zonas potenciales con desarrollo de riego geológico, implementando técnicas geofísicas de prospección en multifrecuencia. Así mismo, se emprendió el monitoreo de puntos de movimiento crítico, a partir de levantamientos topográficos, Estaciones de Monitoreo de Deformación Superficial (Figura 11) ubicadas en sitios estratégicos y percepción remota mediante interferometría satelital, toda esta información se administró en un Sistema de Información Geográfica para generar cartografía temática empleada como base en la toma de decisiones.

Figura 11. Estación de Monitoreo de Deformación Superficial ubicada en el Deportivo La Cascada, 2015

Los estudios puntuales realizados por personal del CERG y el CGEO de la UNAM, permitieron generar investigación mediante la publicación de artículos nacionales e internacionales, debido a la relevancia y los procesos geológicos que caracterizan a la demarcación de Iztapalapa. Aunado a esto, tomó relevancia generar consciencia y apoyo en la comunidad a partir de la emisión de diagnósticos de zonas afectadas por riesgos geológicos que van desde cuevas, fracturamiento, laderas inestables, hundimientos diferenciales y puntuales, mediante el análisis de procesos de remoción en masa (Figura 12, 13, 14 y 15). Para la elaboración de estos estudios, el Centro de Evaluación de Riesgos Geológicos contaba con un Laboratorio de Suelos donde se ensayaban muestras para la caracterización de suelos, este espacio fue asesorado por el Laboratorio de Mecánica Multiescalar y de Geosistemas del CGEO con el fin de emitir informes y resultados al área de la Dirección de Protección Civil.

Figura 12. Análisis de estabilidad de taludes en el Pueblo San Sebastián Tecoloxtitlán, 2010

Figura 13. Asamblea informativa en la U.H. Ermita Zaragoza, 2010

Figura 14. Recorrido en colonia Jacarandas posterior al sismo Ometepec, 2012

Figura 15. Estudio mediante método geofísico para análisis de subsuelo en U.H. Albarradas, CERG 2014

3.3 SCER Dirección General de Obras y Desarrollo Urbano 2018

Para el año 2018 en la gestión de la Primera Alcaldía Iztapalapa, la Lic. Clara Marina Brugada Molina, tomó la decisión de unir al CERG con la Dirección General de Obras y Desarrollo Urbano (DGODU) creando la Subdirección del Centro de Evaluación de Riesgos (SCER), esto con el fin de garantizar una posición dentro de la estructura de la Primera Alcaldía y consolidar al CERG como un área estratégica en la DGODU y realizar acciones de mitigación de riesgos geológicos en la demarcación.

A partir de esta consolidación de la SCER se materializó el primer programa masivo para la mitigación de fracturamiento del subsuelo el programa de Acupuntura Urbana: para la mitigación de grietas inició operaciones en mayo de 2019 convirtiéndolo, a nivel nacional, en el primer programa desarrollado por un gobierno local, que tiene como fin disminuir el riesgo geológico por medio de intervenciones en el espacio público históricamente afectado por fracturas. La base metodológica de este proyecto es la aplicación de una propuesta desarrollada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, que consiste en la construcción de cajones disipadores de deformación unitaria, establecidos en las Notas Técnicas G-09 y G-20.

Así mismo, este programa en conjunto con una serie de estudios geofísicos, geológicos, topográficos y geotécnicos ayudaron a diagnosticar el tipo de suelo, lo que derivó en recuperación de espacios públicos como camellones deteriorados, parques que se quedaron en pobres condiciones para operar, estacionamientos poco funcionales y escuelas abandonadas entre otros (Figuras 16, 17, 18, 19, 20 y 21). Estas recuperaciones posteriormente se convirtieron en Unidades de Transformación y Organización Para la Inclusión y la Armonía Social (UTOPÍAS), sitios de recreación y transformación donde los visitantes pueden aprovechar el espacio público.

La participación de la SCER mediante la recuperación de espacios públicos en riesgo, coadyuva a la realización de los diversos proyectos que realiza la Alcaldía Iztapalapa como Caminos Mujeres Libres y Seguras, Presupuesto Participativo, Parques por Colonia, Macro Parques, Comunidad Segura y Casa X Casa.

Figura 16. Delimitación de zonas a intervenir para mitigación de grietas, 2020

Figura 17. Asignación de obras de mitigación a grietas, 2020

Figura 18. Estudios geofísicos en Utopía Cascada, 2020

Figura 19. Exploración en calas para reconocimiento del subsuelo SCER, 2020

Figura 20. Sondeos geotécnicos tipo PANDA para conocer la resistencia del suelo, 2021

Figura 21. Estudios de laboratorio de caracterización de suelos, 2021

Figura 22. Diagrama de Evolución de los Mecanismos de Gestión Urbano-Geológico en Iztapalapa

4. Acupuntura Urbana, una acción de gobierno

Ante la problemática presente durante décadas de rezago acumulado en el deterioro de espacios públicos debido a fenómenos geológicos y gracias al conocimiento científico generado a través de una década de estudios integrales, la Alcaldía Iztapalapa decide crear una política pública para la atención al rezago en los servicios, así nace el programa de "Acupuntura Urbana" para la atención de suelos fracturados, el cual se encarga de la mitigación de grietas en las áreas afectadas por este fenómeno geológico, especialmente sobre vialidades y espacio público.

El programa se puso en marcha el 1ro de mayo de 2019 en la colonia Jacarandas, sitio históricamente afectado por fracturamiento, donde la Alcaldesa Clara Marina Brugada Molina dio el banderazo a las cuadrillas que conforman este gran equipo de trabajo, el cual atiende diariamente una problemática aguda en el oriente de la ciudad.

El programa de Acupuntura Urbana tiene como objetivo primordial ubicar y recuperar los sitios afectados por agrietamiento del suelo, aplicando políticas públicas integrales que revitalizan el entorno mediante la curación de las zonas agrietadas, la atención al rezago en los servicios y el fomento de la participación social para apropiarse del territorio, además de promover un cambio en la visión del desarrollo urbano y un nuevo modelo en la gestión hídrica.

¿Y cómo se logró esta iniciativa? Esta política arrancó a través del acercamiento y vinculación entre dos actores principales, la Dirección General de Obras de la Alcaldía Iztapalapa, a través de la Subdirección del Centro de Evaluación de Riesgos, y el Instituto de Ingeniería de la UNAM que comprobó la viabilidad de modelos teóricos desarrollados por el mismo Instituto y ejecutados por la Alcaldía.

Figura 23. Inicio del programa Acupuntura Urbana, 1 de mayo de 2019

La mitigación del fenómeno de fracturamiento se realiza aplicando la técnica de la caja disipadora de deformaciones unitarias, la cual tiene como finalidad eliminar el escalón en la superficie de una vialidad, causada por el agrietamiento, y reemplazarlo por una superficie inclinada tolerable. Lo anterior se consigue colocando por debajo de los materiales típicos de un pavimento, una caja disipadora de material granular, este dentellón granular constituye el cuerpo de la caja disipadora.

Un material granular como la arena o la grava no transmite tensiones, por tanto, el escalón vertical se distribuye en una distancia horizontal que depende principalmente de la profundidad de la caja disipadora. La caja debe tener un ancho suficiente para permitir el libre reacomodo del material granular.

Estas especificaciones se encuentran detalladas en la Nota Técnica No. G-09, "Recomendaciones para la construcción de cajas de arena disipadoras de deformaciones para grietas con escalón", elaborada para el Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Gobierno de la Ciudad de México por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, en el marco del Comité de Grietas.

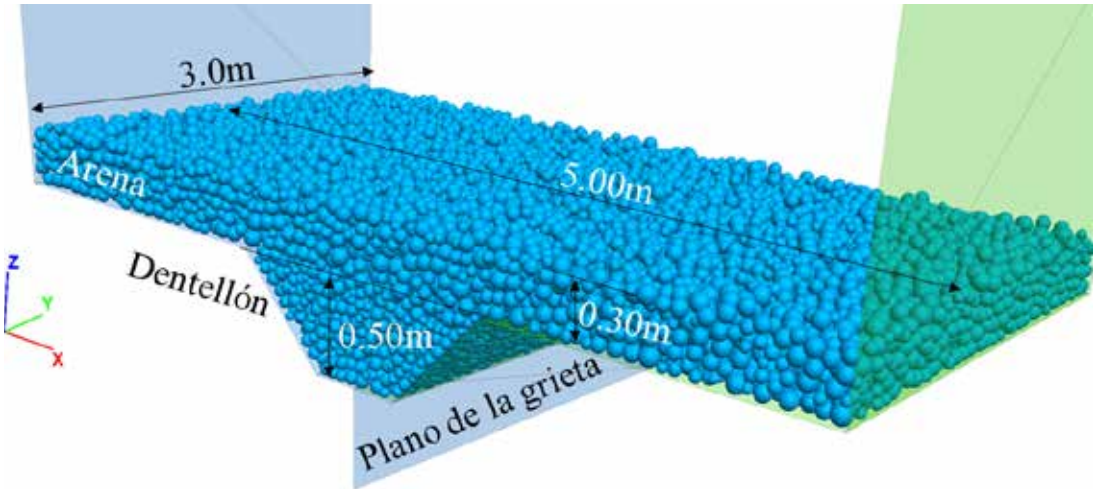


Figura 24. Modelo base para la caja disipadora de deformaciones diseñado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM

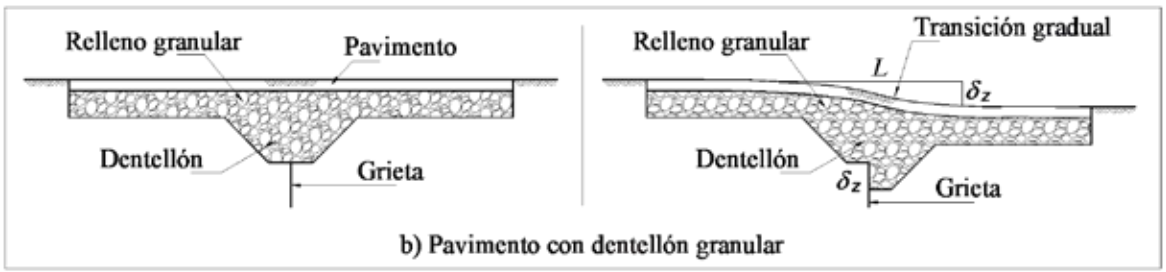


Figura 25. Perfil de la caja disipadora para la mitigación de grietas

4.1 Atribuciones del Comité de Grietas de la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México

En enero de 2019 se constituye este Comité como un órgano colegiado que tiene como objetivo conjugar a la Academia y Gobierno para que a partir del estudio científico y con rigor metodológico, se propongan acciones de gobierno a las instancias competentes, y que además sumen tecnología, ciencia, profesionalización y sensibilidad para atender y mitigar los daños ocasionados por el sismo del 2017, en confluencia con las grietas preexistentes en las zonas afectadas.

A través de la Comisión para la Reconstrucción, este Comité logró establecer convenios de colaboración con instituciones científicas, académicas y/o profesionales, para monitorear y dar seguimiento a la actividad de las grietas registradas.

Se establecieron mesas de trabajo encabezadas por el presidente del Comité de Grietas, Dr. Gabriel Yves Armand Auvinet Guichard en representación del Instituto de Ingeniería de la UNAM, con diversas instancias de gobierno involucradas en la reconstrucción para emitir opiniones sobre afectaciones de las grietas. Entre las instancias participantes se puede nombrar:

- Instituto de Ingeniería, Laboratorio de Geoinformática
- Comisión para la Reconstrucción
- Secretaria de Obras y Servicios
- Instituto para la Seguridad de la Construcciones
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México
- Secretaria de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil
- Centro Nacional de Prevención de Desastres
- Alcaldía Iztapalapa
- Alcaldía Tláhuac
- Alcaldía Xochimilco
- Alcaldía Milpa Alta

La participación de la Alcaldía Iztapalapa fue sobresaliente en estas mesas de trabajo, siendo la única en destinar presupuesto para la mitigación y atención de estos daños ocasionados por el agrietamiento del suelo. Estas acciones fueron ejecutadas por la Dirección General de Obras y Desarrollo Urbano de la Alcaldía a través de la Subdirección del Centro de Evaluación de Riesgos.

Los avances de este programa se aceleraron debido a la inversión de equipo y maquinaria que destinó la Alcaldía Iztapalapa y, coadyuvando con el Instituto de Ingeniería, se identificaron mejorías que se pudieran realizar al modelo teórico elaborado por la Academia y ejecutado por esta dependencia de gobierno, de esta forma se logra emitir la Nota Técnica No. G-20 “Recomendaciones complementarias para la construcción de cajas disipadoras en casos especiales”, para el mejoramiento de esta técnica de mitigación; en esta nota se sugieren medidas determinadas para cada expresión de agrietamiento en superficie de acuerdo a su escalón vertical y disposición geométrica, la nota fue publicada en febrero de 2020 a 1 año de la instalación de este comité, en el cual la Alcaldía Iztapalapa ya tenía un trabajo sobresaliente.

4.2 Políticas en acción, avance del programa

Desde su arranque, el 1ro de mayo de 2019 hasta la fecha, el programa de Acupuntura Urbana avanza de manera ininterrumpida para la atención y mitigación de grietas en toda la demarcación, la meta es rehabilitar los 2 mil 433 puntos identificados realizando monitoreo periódico a estos sitios y a toda la demarcación, mitigando las afectaciones ordinariamente. Para llegar a estos puntos se llevó a cabo un diagnóstico general de toda la demarcación, tomando como base los estudios y el catálogo de sitios generado por el entonces Centro de Evaluación de Riesgos Geológicos a lo largo de 10 años de trabajo. Además se clasificaron las fracturas identificadas en el espacio público en 4 escalas de intensidad, siendo el número IV el más severo con daños en infraestructura mayor y el número I menos perjudicial, generando en superficie rupturas del suelo menores, las cuales serán monitoreadas para su posible evolución.

Escala de Intensidad del fracturamiento		
Escala I		Agrietamiento leve en banquetas, guarniciones y/o pavimento
Escala II		Agrietamiento desarrollado en banquetas, guarniciones y/o pavimento
Escala III		Fuerte rompimiento de banquetas, guarniciones y pavimento
Escala IV		Daños estructurales severos

Figura 27. Grieta escala I ubicada en calle Luis García, colonia Santa Martha Acatitla

Figura 28. Grieta escala II ubicada en calle Constitución de Apatzingan, colonia Ejército Constitucionalista

Figura 29. Grieta escala III ubicada en Avenida Texcoco, U. H. Ermita Zaragoza

Figura 30. Grieta escala IV ubicada en calle Derechos Democráticos, colonia El Molino

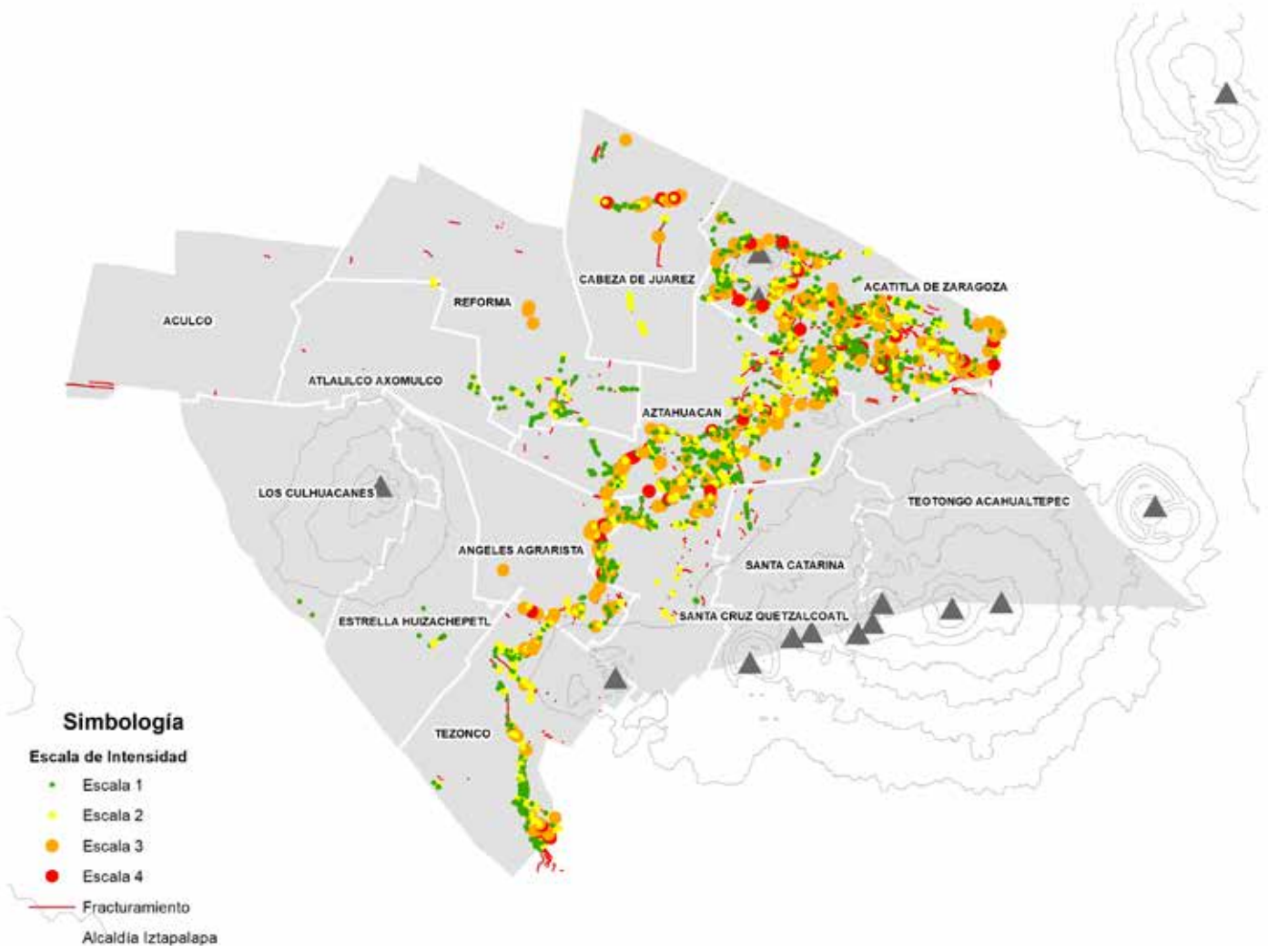


Figura 30. Mapa de Escalas de intensidad, SCER (2022)

A la fecha se ha logrado un avance exitoso, obteniendo un 60% de puntos mitigados de los identificados en 2018. Se tiene contemplada la dinámica natural de suelo y que los fenómenos geológicos se deben mantener en monitoreo, por lo cual este diagnóstico de sitios afectados debe mantenerse en constante actualización.

Figura 31. Número de grietas identificadas en el diagnóstico realizado en 2018 de acuerdo a la escala de intensidad asignada

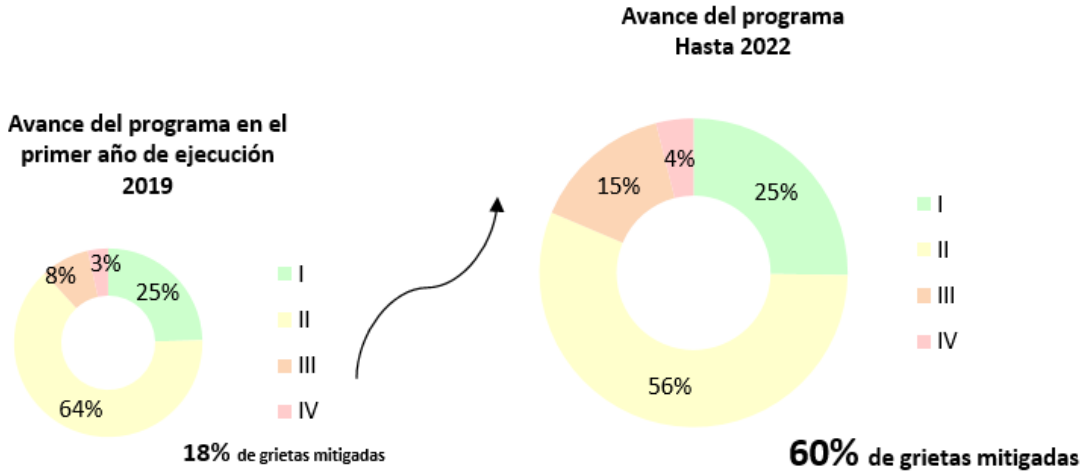


Figura 32. Avance del programa en porcentajes comparativos al inicio del programa y luego en el año 2022

Para el reconocimiento de las obras realizadas se implementó una nomenclatura a cada punto intervenido, con esto se lleva un monitoreo periódico de cada sitio verificando su evolución, además de la implementación de un balizado especifico en cada zona, contribuyendo con el arte urbano y la expresión grafica de la población, socializando el fenómeno geológico con la comunidad que habita en sitios intervenidos.

Figura 33. Mitigación de grietas, apertura de la caja disipadora, relleno con material granular y bacheo para reanudar el tránsito vehicular y peatonal en la vialidad.

Figura 34. Balizado de grietas mitigadas con la nomenclatura asignada y expresión artística para su monitoreo constante.

4.3 Coordinación gubernamental

Estos avances se han logado con la ejecución del programa durante 4 años, el trabajo se ha realizado en su mayoría por la Alcaldía Iztapalapa, pero gracias a la aplicación de estas políticas públicas en materia de fenómenos geológicos y en el marco del Comité de Grietas, se ha logrado el trabajo colaborativo con el Gobierno de la Ciudad de México encabezado por la Jefa de Gobierno, Claudia Sheinbaum Pardo, a través del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX).

El SACMEX realiza intervenciones en sitios donde la problemática de agrietamiento afecta servicios de agua potable y drenaje, realizando intervenciones integrales mediante el cambio de tuberías hidrosanitarias, mitigación de grietas con las Notas Técnicas G-09 y G-20, rehabilitación de banquetas y repavimentación de vialidades. Estas labores se realizan en comunicación con la Dirección General de Obras de la Alcaldía Iztapalapa a través de la SCER, realizando un óptimo diagnóstico y diseño de obra para cada sitio a intervenir.

Desde el 2019, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, realiza rehabilitaciones en los distintos puntos de la Alcaldía logrando resultados en mejora de la ciudadanía.

Antes **Después**

Figura 35. Mitigación de grietas en calle Benito Juárez, Pueblo Santa Martha Acatitla

Figura 36. Mitigación de grietas en calle cerrada Jarabe, colonia El Rosario

Figura 37. Mitigación de grietas en calle Lucio Blanco

4.4 Soluciones integrales

La SCER, adicionalmente a la labor realizada en el marco del programa Acupuntura Urbana, colabora con la DGODU en el diagnóstico de diversos espacios públicos que presentan una complejidad geológica,entre estos espacios se encuentran los predios que hoy ocupan las UTOPÍAS.

Las UTOPIAS están distribuidas en toda la demarcación, para que todos lo pobladores de la Alcaldía puedan tener acceso a las mismas, en estos sitios se realizaron diagnósticos del suelo mediante estudios geofísicos, geológicos y geotécnicos para la viabilidad del desplante y las estructuras de estas nuevas edificaciones, logrando la conjugación del programa Acupuntura Urbana y la robusta propuesta de las UTOPIAS.

- UTOPIA OLINI
- UTOPIA TEZONTLI
- UTOPIA MEYEHUALCO
- UTOPIA LA CASCADA XICOHTENCATL
- UTOPIA TECOLOXTITLÁN
- UTOPIA LIBERTAD

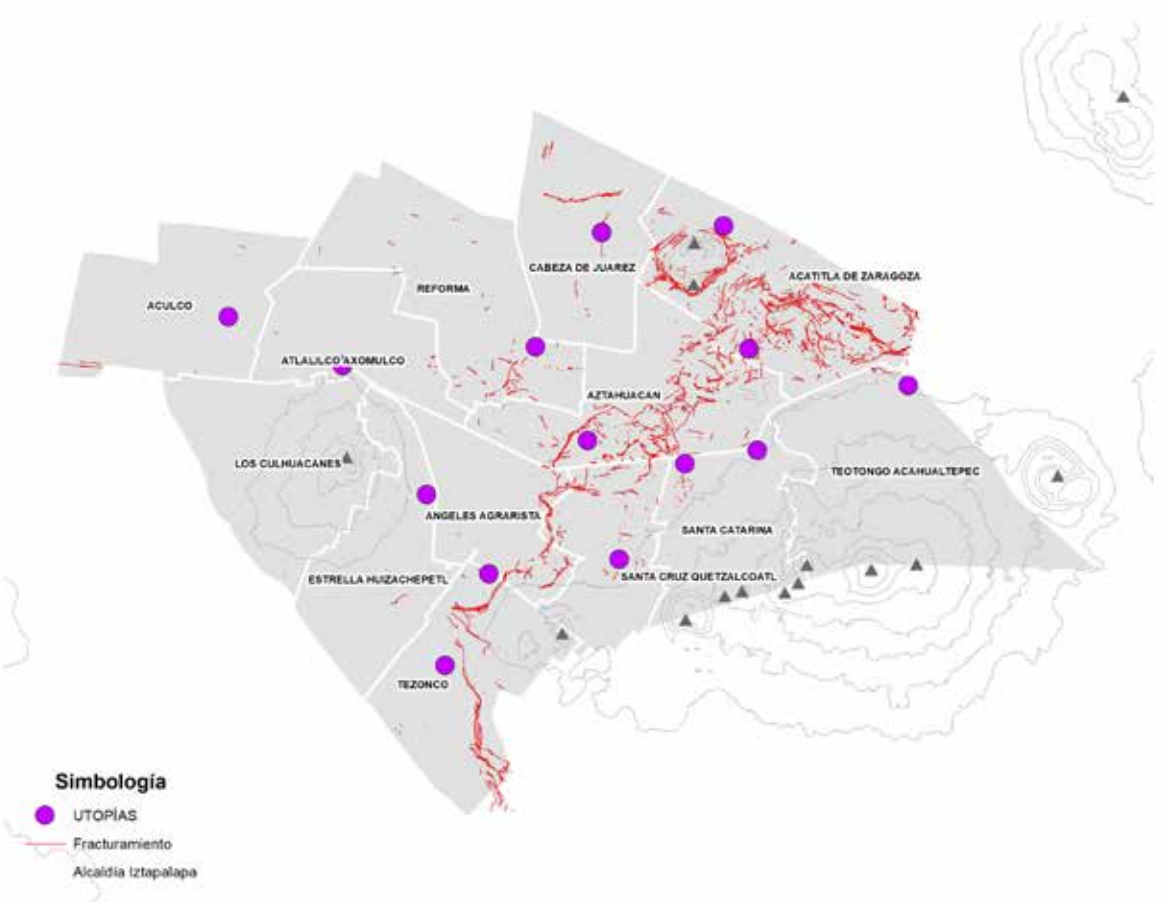


Figura 38. Mapa de ubicación de UTOPIAS y grietas en la Alcaldía Iztapalapa

La implementación de políticas públicas en materia de fenómenos geológicos en la Alcaldía Iztapalapa, ha brindado resultados no solo puntuales, mediante el programa Acupuntura Urbana ya que con el avance de este se han presentado necesidades ante situaciones en territorios complejos, que han requerido acciones para el mejoramiento de espacios, por ello la creación del programa "Atención al Espacio Público en Riesgo". El objetivo primordial de este programa, es brindar una mejora a la iniciativo de la mitigación de grietas no solo logrando el mejoramiento de vialidades, sino áreas físicas más complejas con más elementos naturales y estructurales, tales como plazas, calles, paseos, jardines, parque públicos, etc.

El proyecto dio inicio en la colonia U.H. Ermita Zaragoza, localizada al noreste de la demarcación. El fracturamiento de la misma se caracteriza por su alto nivel de deformación, ya que en ciertas zonas no se visibiliza un agrietamiento puntual, si no altas deformaciones del suelo debido a las capas de arcillas altamente compresibles; esta colonia contempla un reto importante en materia de impacto urbano y mitigación de grietas, convirtiéndose en un proyecto integral de mejoramiento urbano en el marco de suelos afectados por el fenómeno geológico del agrietamiento.

Figura 39. Mitigación de grietas al interior de la UTOPIA Libertad, suelo fracturado (toba volcánica)

Figura 40. Mitigación de grietas al interior de la UTOPIA Xicotencatl

5. OIHFRA, visibilizando el riesgo geológico

5.1 La historia de la UTOPÍA Tecoloxtitlán

La Utopía Tecoloxtitlán, sede del espacio donde se desplanta el OIHFRA, se ubica en el Pueblo San Sebastián Tecoloxtitlán, colonia al noreste de la Alcaldía con antecedentes de fracturamiento y subsidencia del subsuelo. Su origen se remonta a la década de los años 70 cuando se expropian terrenos ejidales con el propósito de tener un sitio para construir equipamiento, así es como se construye la escuela Primaria "Lucio Blanco" y el CAM No. 8 "Prof. Amelia García y Rubio". Sin embargo, el deterioro de estos espacios empezó de manera inmediata por la subsidencia del suelo, sumado a que en el sismo de septiembre de 1985 las construcciones quedaron afectadas, hasta que fue demolida en el año 2019.

Fue un sitio sin mantenimiento durante años, por lo cual, los vecinos se movilizaron para su rehabilitación solicitando al gobierno local la disposición de recursos para su mejoramiento. Así fue como se iniciaron estudios geológicos en el sitio tomando en cuenta las características del subsuelo y la existencia de fracturas en el predio para el inicio de la construcción de la Utopía.

5.2 Observatorio Interactivo de Hundimiento y Fracturamiento (OIHFRA)

Una de las metas planeadas desde hace 15 años es el monitoreo del subsuelo, a través de perforaciones semi profundas para obtener datos de las secuencias que aportan mayor deformación a la superficie. En este periodo de tiempo se lograron mediciones de deformación a través de las Estaciones de Monitoreo de la Deformación Superficial (EMDS), estas estaciones fueron expuestas a condiciones adversas por estar en espacios abiertos causando su deterioro; otra iniciativa fueron las estaciones de monitoreo óptico, sin embargo, la complejidad de la operación hizo inviable replicar este modelo de monitoreo. Estos monitoreos no dieron los resultados esperados por lo cual se ha considerado la necesidad de monitorear las capas profundas, siendo el Observatorio Interactivo de Hundimiento y Fracturamiento la respuesta a esa necesidad de crear una red de monitoreo, teniendo como sede este observatorio.

El Observatorio Interactivo de Hundimiento y Fracturamiento es un espacio destinado a la generación de conocimiento y divulgación de ideas que contribuyen a transformar la calidad de vida de la población expuesta al fenómeno de subsidencia.

Uno de los aspectos más relevantes del OIHFRA es resaltar la importancia del cuidado del agua en el entorno urbano, en particular debido a la relación existente entre la extracción excesiva del agua subterránea y el hundimiento del terreno, así como dar información a las comunidades afectadas por el fracturamiento. Se resalta también el trabajo de colaboración desarrollado durante 15 años entre la Alcaldía Iztapalapa y el Centro de Geociencias de la UNAM. La museografía presentada se logró gracias a recursos obtenidos a través del programa "Establecimiento de una red de espacios de acceso universal al conocimiento científico, tecnológico y humanístico a través del arte" del CONACYT.

Los objetivos del OIHFRA son:

- Divulgar el conocimiento existente sobre los factores que condicionan el hundimiento y la generación de fracturas en la Ciudad de México.

- Crear una cultura de adaptación a estos fenómenos para elevar la resiliencia de los habitantes de Iztapalapa.

• Analizar, integrar y presentar información confiable sobe la deformación del terreno a la ciudadanía a partir de los datos obtenidos del monitoreo profundo.

• Fomentar actividades artísticas y culturales que permitan transferir a la sociedad el conocimiento generado.

• Promover el cuidado del agua en el entorno urbano.

• Asesorar a las comunidades afectadas por el fracturamiento para mejorar las técnicas de construcción.

En este observatorio se cuenta con un espacio museográfico donde se expone contenido interactivo de los fenómenos físicos y sociales asociados a estos fenómenos geológicos. Este se compone de:

1. Geología, ¿cómo se formó la Cuenca de México?

2. El agua es asunto de todos

3. Subsidencia y fracturamiento del subsuelo: un problema socio-urbano

4. Recuperación de espacios públicos

5. OIHFRA sede de una red de monitoreo

6. Agenda de ciudad

Se puede apreciar a través de maquetas la evolución de los lagos de la Cuenca de México, la progresión de la subsidencia y fracturamiento en el Pueblo de San Sebastián Tecoloxtitlán y la estratigrafía representativa de la Cuenca de México, además cuenta con una Ventana Geológica que permite conocer las características del suelo natural y el método constructivo de un cajón disipador, empleado en la mitigación de fracturas.

En el observatorio se realiza el monitoreo a diversas escalas:

1. Monitoreo por percepción remota

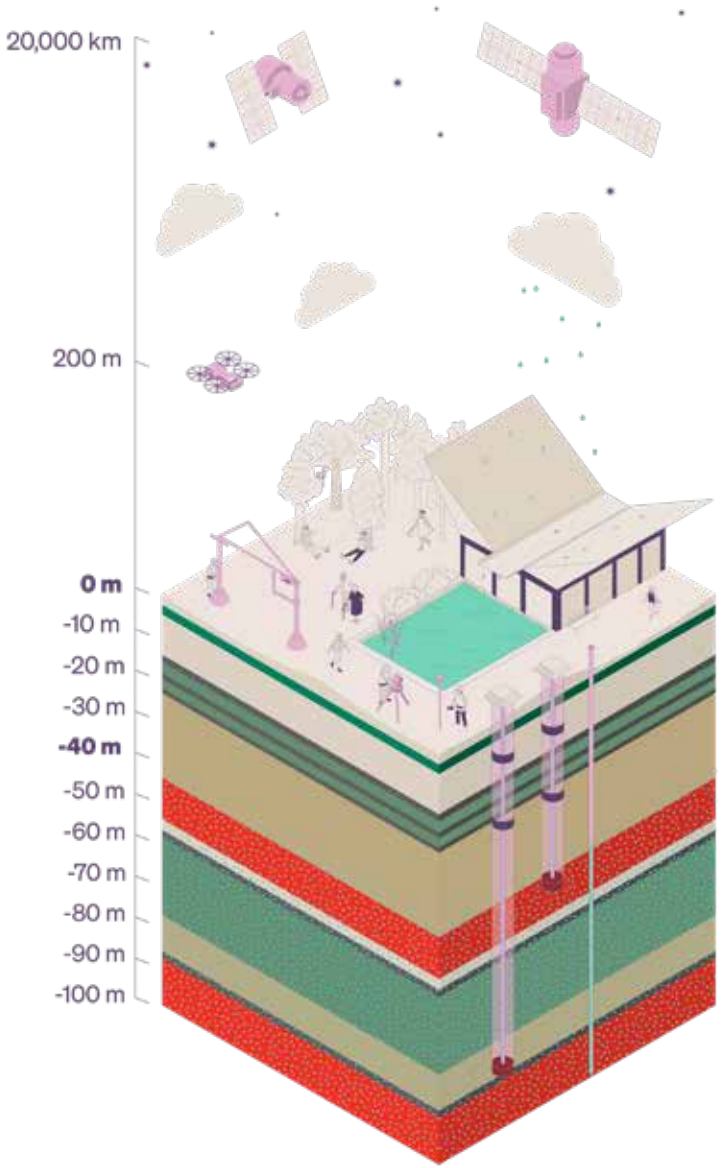
   a. InSAR
   b. Fotogrametría (drone)

2. Monitoreo en la superficie del terreno

   a. Estación de Monitoreo de Deformación Superficial (EMDS)
   b. Topografía
   c. GPS

3. Monitoreo de deformación a profundidad

   a. Banco de nivel profundo
   b. Piezómetro


20,000 km
200 m
0 m
-10 m
-20 m
-30 m
-40 m
-50 m
-60 m
-70 m
-80 m
-90 m
-100 m

6. Iztapalapa: perspectivas y aportes a la agenda urbana

El esfuerzo y atención dedicada a los programas de Atención de Espacios Públicos en Riesgo y Acupuntura Urbana, además de la generación de conocimiento y divulgación de ideas que contribuyen a transformar la calidad de vida de la población expuesta al fenómeno de subsidencia, obedecen a la sensibilización de más de una década del grupo de trabajo encabezado por la Lic. Clara Marina Brugada Molina que surgió a partir de los temas de agrietamiento y reconstrucción del sismo del 2017. Desde el inicio de esta administración se refrenda el compromiso establecido en la administración (2018-2021), que hoy en día dan como fruto el establecimiento de una estructura administrativa y social para la transformación del espacio púbico en riesgo geológico.

Para continuar con esta transformación se requiere un trabajo coordinado a distintos niveles de gobierno mediante políticas públicas en todos los ámbitos sociales, incluyendo un modelo de gestión geológico urbano. Además, es necesario plantear una Agenda Urbana que contemple el ordenamiento del territorio, estudios geo-hidrológicos, geológicos, geotécnicos y monitoreo de la subsidencia que aseguren el bienestar de la población.

6.1 Logros en Políticas Públicas

Acupuntura Urbana es una política pública que logra establecer convenios de colaboración con instituciones científicas, académicas e instancias gubernamentales para monitorear y dar seguimiento a la actividad de las grietas registradas; También es una estrategia que mitiga el peligro geológico que generan los problemas de subsidencia debido a la sobreexplotación de los sistemas acuíferos, el diseño de la misma contempla el monitoreo del subsuelo, la clasificación del grado de deterioro ocasionado por la grieta y prioriza la atención y mitigación de estas.

6.2 Perspectivas

1. Establecimiento de una red institucional de programas encausados a una concientización local sobre el manejo de los recursos naturales

2. A través de los resultados de la investigación geológica, actualizar los rezagos legales para mejorar las normas de construcción, usos de suelo, la protección a las áreas verdes y el incremento de parques, jardines urbanos y humedales.

3. Fortalecer la investigación científica creando centros y módulos para la investigación, orientados a mitigar las problemáticas surgidas por la subsidencia, fracturamiento y otros fenómenos naturales que actúan en la Ciudad de México.

4. Diseñar un nuevo modelo hidráulico para la Cuenca de México, así como la creación de campañas de concientización para el manejo racional del agua.

5. Desarrollar la conciencia científica en la comunidad sobre los problemas del subsuelo.

6. Impulsar diseños arquitectónicos-estructurales adecuados para las condiciones en suelos blandos de viviendas unifamiliares y multifamiliares.

Bibliografía

- Auvinet Guichard Gabriel., et. al. (2019) "NOTA TÉCNICA No. G-09 Recomendaciones para la construcción de cajas de arena disipadoras de deformaciones para grietas con escalón". Elaborada para el Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Gobierno de la Ciudad de México. México. Instituto de Ingeniería de la UNAM

- Auvinet Guichard Gabriel., et. al. (2020) "NOTA TÉCNICA No. G-20 Recomendaciones complementarias para la construcción de cajas disipadoras en casos especiales". Elaborada para el Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Gobierno de la Ciudad de México. México. Instituto de Ingeniería de la UNAM

- Cabral-Cano, E., et. al. (2008). "Space-geodeticimaging of rapidgroundsubsidence in Mexico City". En boletín GSA, Vol. 120, No. 11/12, Noviembre/Diciembre 2008. Pp. 1556-1566

- Carreón, F. D. C., González, H. M., Cerca, M. Gutiérrez, C. R. y Jiménez, S. (2011). Caracterización geomecánica de los suelos de Iztapalapa, México, para evaluar el fracturamiento causado por deformación diferencial. 14th Pan10 American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Toronto, Canadá. 8 p.

- Centro de Geociencias, UNAM, Convenio de colaboración con la Delegación Iztapalapa 2008-2012

- De Cserna, Z., De la Fuente-Duch, M., Palacios-Nieto, M., Triay, L., Mitre-Salazar, L. M. y Mota-Palomino, R. (1988). Estructura Geológica, Gravimetría, Sismicidad Relaciones Neotectónicas Regionales de la Cuenca de México. Boletín del Instituto de Geología, No. 104, UNAM, México, D.F.

- Ezcurra, E. (1992). "Crecimiento y colapso en la Cuenca de México". Ciencias Vol. 25. Enero. México.

- Ferrari, L. (2000). Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica ·Transmexicana durante la última década. boletín de la sociedad geológica mexicana. v. LIII, (2000) 84-92.

- Fries, C. J. (1960). Geología del Estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México, UNAM. Boletín del Instituto de Geología. No. 60, 236p.

- García-Soriano, D. (2015). Cartografía y peligros geomorfológicos en la Delegación Iztapalapa, CDMX, México. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. 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, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen 67, núm. 2, 2015, p. 285-297.

- Gutiérrez - MacGregor, M.T., et. al. (2005) "La cuenca de México y sus cambios demográfico-espaciales". Temas Selectos de Geografía de México (I.8.1), Instituto de Geografía, UNAM, México

- Lesser, J. et. Al. (1998). "El hundimiento del terreno en la ciudad de México y sus implicaciones en el sistema de drenaje". Ingeniería Hidráulica en México. Vol. 13. Septiembre-Diciembre. México

- Lugo Hubp, j. (2011). “Diccionario Geomorfológico”. Geografía para el siglo XXI. No. 7. UNAM. México. Pp. 375-376

- Lugo-Hubp, J., et. al. (1994). “Geomorfología de la sierra de Santa Catarina, D.F.” México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 11, No. 1, México

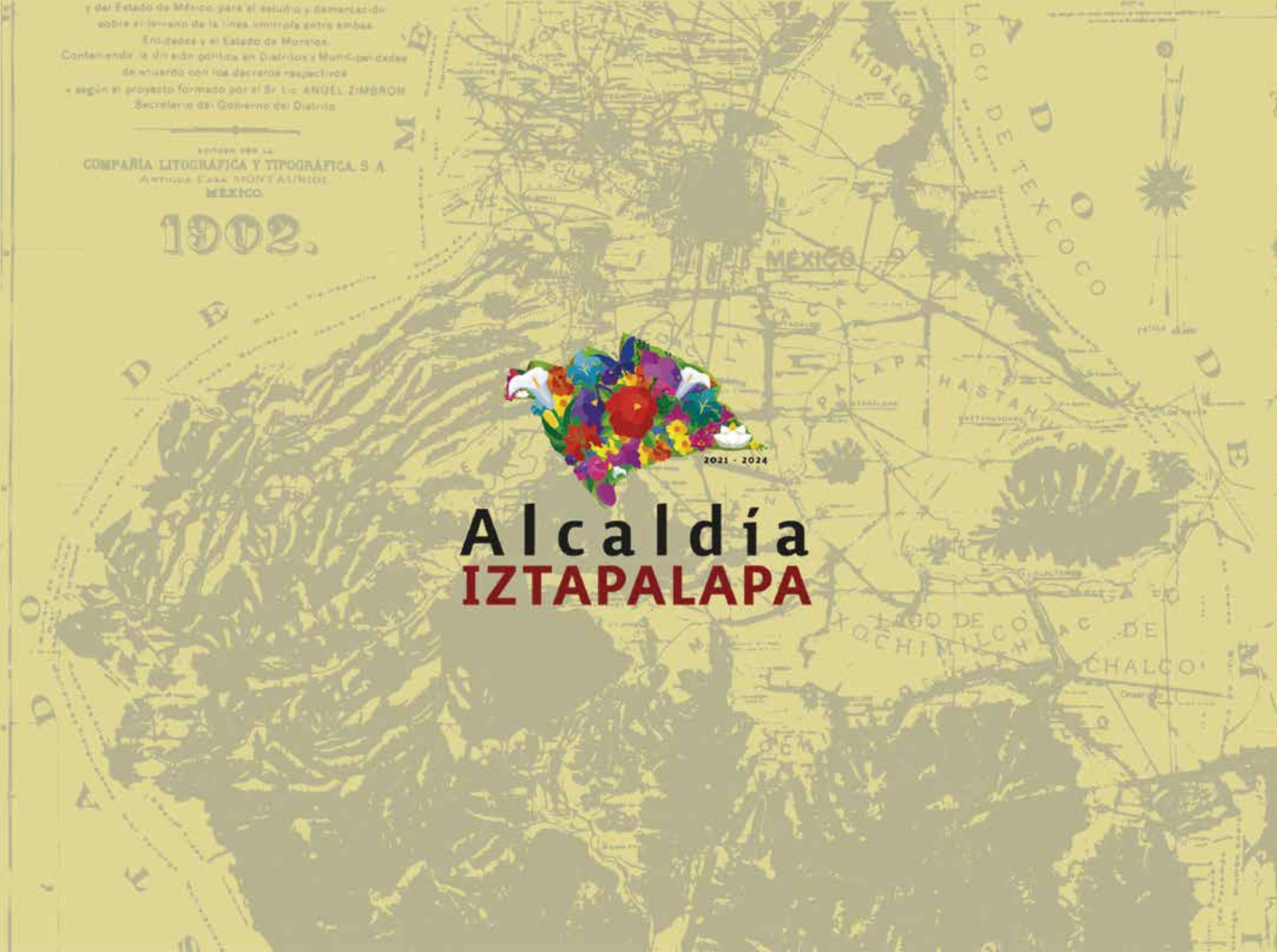
- Lugo-Hubp, J., Mooser, F., Pérez-Vega, A. y Zamorano-Orozco, J. J. (1994). Geomorfología de la Sierra de Santa Catarina, D.F., México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 11, número 1, pp. 43-52.

- Santoyo, E., et. al. (2005). “Síntesis geotécnica de la Cuenca del Valle de México”. Publicaciones TGC, México.

- Segerstrom, K. (1961). Geología del SW del Edo. de Hidalgo y del NE del Edo. de México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. 13, 147-168.

- Tapia-Varela, G. y López-Blanco J. (2018). Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100,000. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 19, núm. 1, p. 50-65.

- Vázquez-Sánchez, E. y Jaimes-Palomera, R. (1989). Geología de la Cuenca de México. Geofísica Internacional. México. vol. 28 pp. 133-190.


y del Estado de México para el estudio y demarcación
sobre el terreno de la línea limítrofe entre ambas
Entidades y el Estado de Morelos
Conteniendo la división política en Distritos y Municipalidades
de acuerdo con los decretos respectivos
según el proyecto formado por el Sr. Lic. ANGEL ZIMBRON
Secretario del Gobierno del Distrito
COMPAÑIA LITOGRAFICA Y TIPOGRAFICA S. A.
Antigua Casa MONTAUNIOL
MEXICO.
1902.
MÉXICO
HASTA
LAGO DE TEXCOCO
LAGO DE XOCHIMILCO
CHALCO
2021 - 2024
Alcaldía
IZTAPALAPA