



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**CARTOGRAFÍA Y PELIGROS GEOMORFOLÓGICOS EN
LA DELEGACIÓN IZTAPALAPA, D.F., MÉXICO**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

DANIEL GARCIA SORIANO

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. JOSÉ JUAN ZAMORANO OROZCO





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

"Nadie se hace viejo por vivir años; la gente envejece sólo cuando abandona sus ideales. Los años arrugan la piel, pero renunciar al entusiasmo arruga el alma. La preocupación, la duda, la desconfianza, el miedo y la desesperación, éstos son los larguísimos años que hacen humillar la cabeza y reducen a polvo el desarrollo del espíritu". Joe Simpson.

Dedicatorias

A quien amo por sobre todo lo que existe, mujer extraordinaria de quien he aprendido innumerables cosas positivas y quien me ha enseñado a valorar las cosas que verdaderamente tienen sentido, a luchar por aquellas que vale cuanto sea necesario esforzarse para conseguirlas y, a superar con fuerza y determinación cualquier momento o circunstancia difícil que tenga que llegar, porque tú eres el ejemplo perfecto y la prueba innegable que es posible hacer eso y mucho más. Infinitas gracias por sacarme adelante de la manera como lo hiciste, porque sin duda fue la mejor. Gracias por apoyarme en todas las ocurrencias que he tenido, porque muchas de las veces me ha faltado confianza para intentarlas y tú mágicamente me las transmites. Este logro es en gran parte gracias a ti, mi mejor amiga y la mejor mamá que me pudo haber tocado, TE AMO ma.

A mi abuelita María de la Luz Soriano Pozos q.e.p.d. Porque fuiste quien siempre se preocupó y apoyó para que iniciara mi educación, porque era un placer ir de tu mano todos los días que me hiciste compañía para ir al kínder, gracias a ti también hoy tengo esto.

Al resto de mi familia por su apoyo y de quienes también he aprendido muchas cosas y disfrutado momentos divertidos: a mi hermano Miguel, a mi tía Male, a mis tíos Luis y Enrique y a mi primo Beto.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Filosofía y Letras, al Instituto de Geografía y al Colegio de Geografía por permitirme hacer uso de sus instalaciones y de su acervo documental.

A la Beca María Teresa Gutiérrez de MacGregor, por el apoyo económico brindado para la elaboración de esta investigación.

En especial a mi asesor de tesis Dr. José Juan Zamorano Orozco, gracias por haber confiado en mí y permitirme ser parte del tu equipo de trabajo desde el tercer semestre de la carrera, largo tiempo que se fue como agua, Gracias por tus increíbles clases y por las mejores prácticas de campo, por todo tu apoyo para la culminación de este trabajo y también por el brindado en el ámbito personal.

A los miembros del jurado, Dr. César Raúl Pérez Marcial, Lic, Frank Gustavo García Rodríguez, Dra. Mary Frances Teresa Rodríguez Van Gort y al Lic. Alberto Pérez Rojas. Por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo y por sus valiosas aportaciones que contribuyeron al mejoramiento del mismo.

Agradezco también a los profesores que desempeñan su labor con la dedicación y pasión mostrada en cada clase y por la voluntad para salir a prácticas, porque sin duda contribuyeron en mi preparación académica.

A mis amigos y compañeros con los que me tocó convivir durante la elaboración de mi tesis, quienes algunos más que otros, pero todos en algún momento hicimos del acto de observar un arte y una muy digna representación del comportamiento de los suricatos, quién sabe por qué siempre pendientes del pasillo que da al cubículo 26 del IGG. Entre sus miembros fundadores están: Carlo, Agustín, Juan Carlos, Osvaldo y Adolfo, seguidos por Ernesto, Isaac, Carlos, Kevin, Osvaldito, el Príncipe y Tony. A todos gracias por estos y otros momentos memorables.

A Sergio Salinas y Raúl (el niño) por el tiempo dedicado a la revisión de los primeros capítulos de la tesis, sus consejos y apoyo, así como por los momentos divertidos.

A Raúl Gutiérrez Calderón, por el préstamo de las fotografías aéreas del área de estudio, material que fue de gran ayuda para la realización de esta investigación.

Contenido

Introducción	1
Capítulo 1. Marco Físico-Geográfico.	2
1.1 La cuenca de México: marco geográfico regional.	2
1.1.1 Origen y evolución.	4
1.1.2 Unidades mayores del relieve	7
1.2 Marco geográfico local.....	10
1.2.2 Relieve	11
1.2.3 Clima	12
1.2.4 Hidrografía (antecedentes y actualidad).....	18
1.2.5 Suelos y vegetación	21
Capítulo 2. Geología.	24
2.1 Marco geológico regional: cuenca de México.....	24
2.1.1 Cretácico Inferior.....	25
2.1.2 Cretácico Superior	25
2.1.3 Paleógeno	27
2.1.4 Paleógeno-Neógeno	29
2.1.5 Neógeno.....	30
2.1.6 Cuaternario.....	30
2.2 Geología local y estratigrafía: Delegación Iztapalapa	33
Capítulo 3. Análisis morfométrico y zonas geomorfológicas	44
3.1 Mapa altimétrico.....	44
3.2 Mapa de inclinación del terreno.	48
Capítulo 4. Geomorfología	53
4.1 Clasificación del relieve	54
I. Relieve endógeno	54
1.1 Edificios volcánicos explosivos:.....	54
a) Cineríticos:	54
b) Freatomagmático	55
Formas asociadas al relieve volcánico explosivo:.....	55
1.2 Edificios volcánicos efusivos:	55
Formas asociadas al relieve volcánico efusivo	55
1.3 Coladas de lava	55

Vinculadas a otros focos eruptivos:.....	55
II. Relieve endógeno modelado.....	56
2.2 Volcanes, domos o crestas de lava.....	56
III. Relieve exógeno.....	56
3.1 Erosivo.....	56
3.2 Acumulativo.....	56
IV. Relieve antrópico.....	56
Símbolos complementarios.....	56
Límite inferido.....	56
Escarpes.....	56
Altura relativa entre unidades.....	56
I. Relieve Endógeno.....	56
Volcánico acumulativo.....	57
1.1 Edificios volcánicos explosivos.....	57
a) Cineríticos.....	57
b) Freatomagmático.....	66
Formas asociadas al relieve volcánico explosivo.....	68
Formas asociadas al relieve volcánico efusivo.....	72
1.3 Coladas de lava.....	73
Coladas de lava asociadas a otros focos eruptivos.....	76
II. Relieve endógeno modelado.....	77
III. Relieve exógeno.....	78
3.1 Erosivo.....	78
3.2 Acumulativo.....	79
IV. Relieve antrópico.....	81
Consideraciones del capítulo IV.....	84
Capítulo 5. Mapa de peligros geomorfológicos.....	85
Fenómeno natural.....	85
Peligro o amenaza.....	85
Riesgo.....	86
Vulnerabilidad física.....	86
Desastre.....	86
5.2 Terrenos susceptibles a hundimientos.....	87

Máxima ocurrencia (15-45 cm/año).....	87
Ocurrencia frecuente (10-15 cm/año).....	89
Mínima ocurrencia (<10 cm/año).....	91
5.3 Terrenos susceptibles a inundaciones.....	93
Máxima ocurrencia.....	93
Ocurrencia frecuente.....	95
Mínima ocurrencia.....	96
5.4 Terrenos susceptibles a grietas.....	98
Máxima ocurrencia.....	99
Ocurrencia frecuente.....	100
Mínima ocurrencia.....	101
5.5 Terrenos susceptibles a caída de rocas.....	102
5.6 Terrenos de estabilidad aparente.....	105
Conclusiones finales.....	106
Bibliografía.....	108

Introducción

La superficie terrestre es el escenario de actuación de las actividades humanas, la forma de ocupación de este espacio por parte de una sociedad, está en función de las características que proporciona el medio físico y del grado de entendimiento que tienen las personas para explicar su funcionamiento. En este sentido, la presente investigación tiene por objeto analizar esta relación desde una perspectiva de carácter geomorfológico, aplicado al estudio del relieve de la Delegación Iztapalapa.

El relieve de la Delegación Iztapalapa se compone en su mayoría (> 80 %) por una superficie sub-horizontal correspondiente a la planicie lacustre, el 20 % del territorio restante, está representado por estructuras volcánicas continuas (Sierra de Santa Catarina) y aisladas (Cerro de la Estrella y el Peñón del Marqués) de edad Cuaternaria. La dinámica de los agentes exógenos que actúa en ambos territorios, se traduce en la generación y el desarrollo de procesos físicos tales como hundimientos, inundaciones, grietas y caída de rocas que ocurren de forma constante, fenómenos que plantean escenarios de peligro que vulneran la estabilidad de la sociedad debido a los daños individuales y colectivos que ocasionan.

La influencia que tienen los agentes exógenos en el relieve y su impacto sobre la población de Iztapalapa (15,519 hab/km²: INEGI 2010), fue el principal motivo de interés para llevar a cabo esta investigación, misma que está centrada en la caracterización y cartografía a detalle de las formas del relieve a partir de su génesis, documento de importante aplicación para determinar la espacialidad de los fenómenos mencionados y de los factores que intervienen, así como la relevancia que adquiere en la conformación de un mapa de peligros actualizado.

Objetivos

Estudiar el medio físico de la Delegación Iztapalapa a partir de la identificación, caracterización y clasificación genética de sus formas de relieve, representadas en una cartografía geomorfológica a detalle.

A partir del análisis sobre subsidencias, inundaciones, fracturas en el terreno y procesos de ladera, se propone elaborar un mapa de peligros basado en las condiciones geomorfológicas del área de estudio.

Capítulo 1. Marco Físico-Geográfico.

1.1 La cuenca de México: marco geográfico regional.

La cuenca de México se localiza en la porción central del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), sistema que se extiende a lo largo de 100 km (aproximados), desde las costas del Océano Pacífico en el Estado de Nayarit, hasta las del Atlántico en Veracruz. Tiene una amplitud que varía entre 50 y 250 km. (Fig. 1).

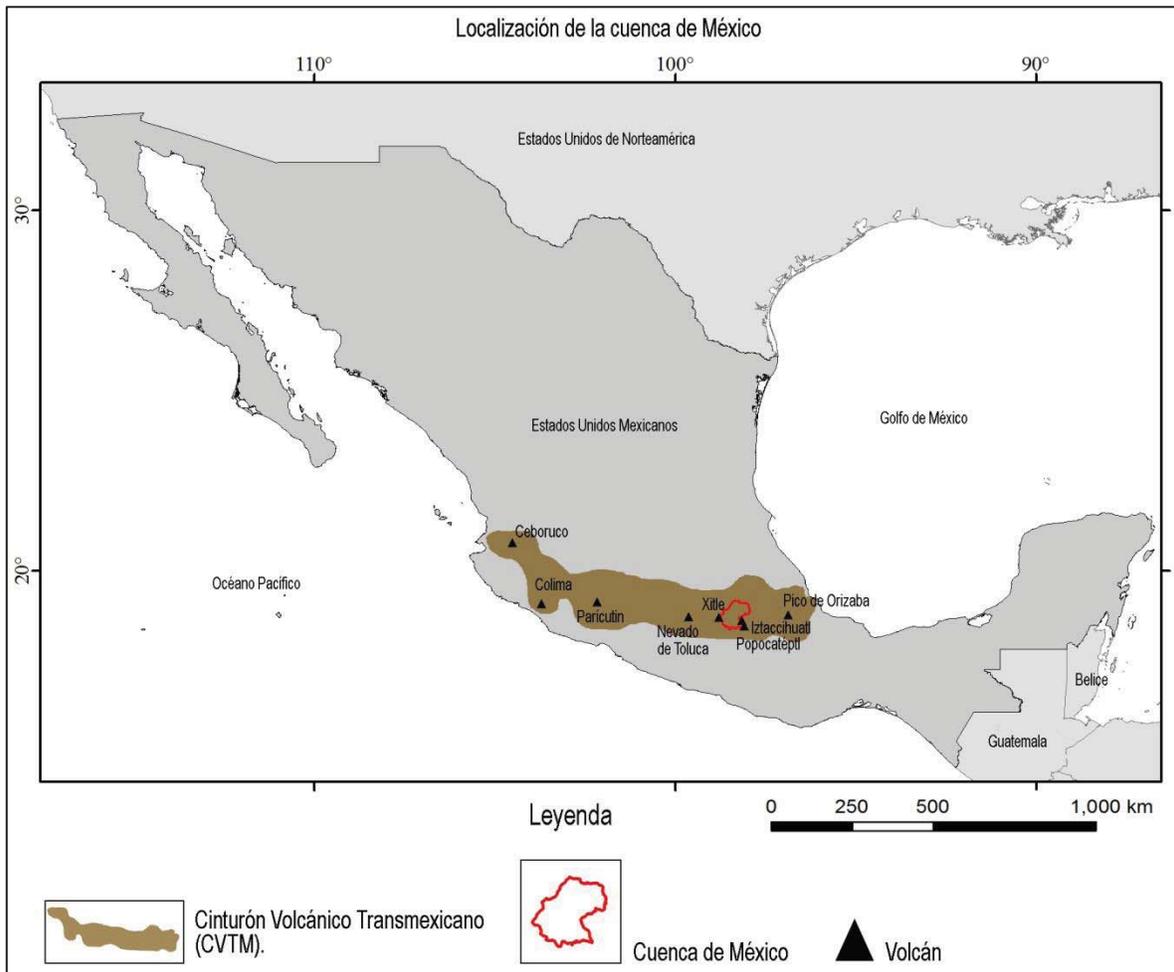


Figura 1. Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), en su porción centro-oriental se localiza la cuenca de México; los triángulos representan algunos volcanes que integran esta franja (Macías, 2005).

La configuración del relieve del CVTM ha definido diversas cuencas hidrológicas, de ellas por extensión sobresalen la de Tepic-Chapala; Colima; Michoacán; Toluca; Puebla-Tlaxcala; México y Oriental. De este conjunto las dos últimas son endorreicas, la altitud promedio varía entre los 1500 a 3000 m (Coll-Hurtado, 2000).

Dentro del CVTM, la cuenca de México no solamente destaca por su extensión (9,600 km²); también, porque en este territorio se localiza la capital del país. En relación con lo anterior, la Delegación Iztapalapa forma parte de esta urbe y es el área de estudio de este trabajo (Fig. 2).

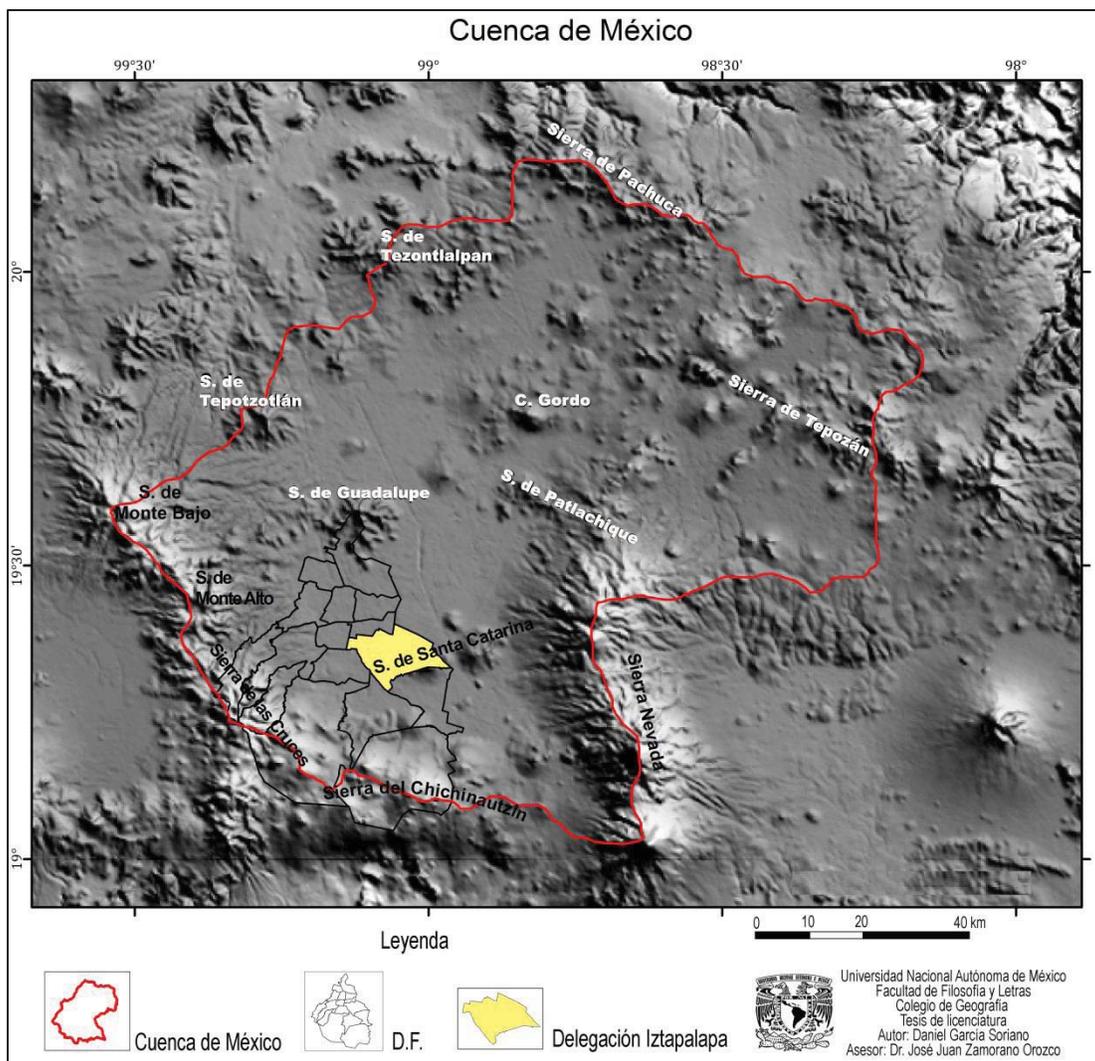


Figura 2. Modelo Digital de Elevación (MDE), se muestra el arreglo general del relieve de la cuenca de México. Los límites de esta estructura aparecen en color rojo, lo que destaca el carácter endorreico; a su interior, se localiza la Delegación Iztapalapa (color amarillo), que es parte del Distrito Federal.

1.1.1 Origen y evolución.

La etapa inicial del relieve que formaría la cuenca de México comienza con el emplazamiento de las sierras: de Pachuca, al Norte; Monte bajo, Monte alto, y las Cruces, al Oeste; y Nevada, en el Oriente, durante el Plioceno y el Cuaternario. En esta época de formación, tiene lugar el desarrollo de un sistema fluvial integrado por los ríos Cuernavaca y Cuautla, que drenaban sus aguas hacia el sur del territorio (Mooser, 1975) (Fig. 3).

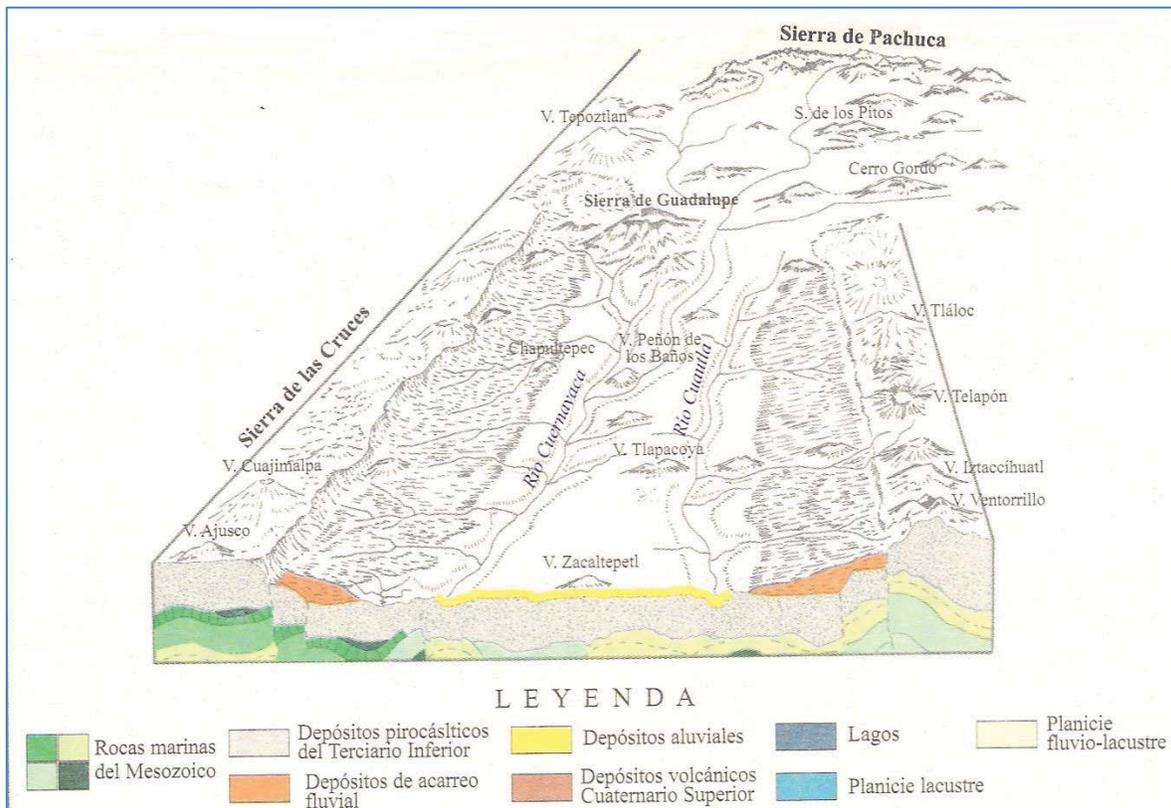


Figura 3. El Valle de México en el Plio-Pleistoceno de acuerdo con Mooser (1975), esta es la etapa más temprana de la formación de la cuenca de México.

El establecimiento de un sistema hidrológico endorreico se asocia con una intensa actividad volcánica, que daría origen a la Sierra de Chichinautzin al sur de la estructura actual hace 700,000 años (Gutiérrez, *et. al.*, 2005). Este conjunto de volcanes sobrepuestos actuó como una gran barrera natural que interrumpió un drenaje que se integraba al río Balsas. De esta manera se formaron, extensos y poco profundos lagos en las áreas más deprimidas de la cuenca (Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco, y Chalco). Hay que mencionar que de forma paralela a la formación de los cuerpos de agua, se llevó a cabo el azolvamiento paulatino que fue rellenando el fondo de este

territorio, con aportes de detritos de origen fluvial (arrastre de materiales), proluviaciones (abanicos aluviales localizados en las márgenes lacustres), de caída (aporte de piroclastos provenientes de volcanes periféricos activos) y propiamente lacustres (Fig. 4).

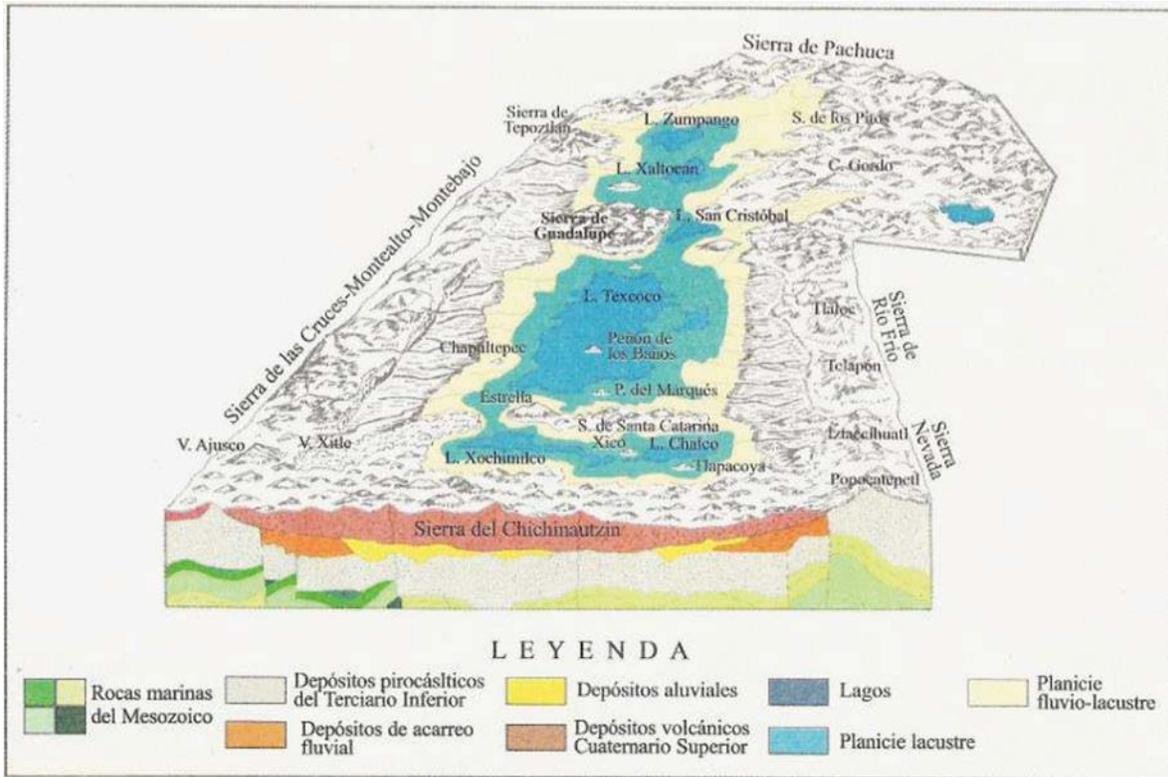


Figura 4. Modelo que muestra el fin de la evolución de la cuenca de México, en el Cuaternario (Gutiérrez, *et. al.*, 2005).

La cuenca de México se define como una altiplanicie bordeada por estructuras volcánicas de edad Plio-Cuaternaria (Gutiérrez, *et al.*, 2005). Sin embargo, el entendimiento de esta unidad va más allá de su configuración en superficie, supone la necesidad de entender su evolución a través de las distintas etapas geológicas que permitieron su creación.

El sustrato rocoso que forma el piso inicial y por ende el de mayor antigüedad, es de origen sedimentario-marino, el cual data del Cretácico. En este periodo se encuentran tres Formaciones principales: Morelos, Cautla y Mezcala, las cuales experimentaron procesos de plegamiento y consecuente emersión (Fries, 1960).

A finales del Eoceno inicia un periodo de actividad volcánica que continúa (con diferente intensidad) hasta el Cuaternario; este proceso, ha sido dividido en siete fases. Cada una

de ellas contribuyó a la integración de lo que sería la cuenca de México. La primera de estas, tuvo desarrollo en el Terciario Inferior, y se compone por rocas volcánicas localizadas a una profundidad de 2,265 m, este dato se obtuvo del pozo profundo Texcoco-1. (Gutiérrez, et al., 2005).

Durante el Oligoceno Medio ocurre la segunda fase, caracterizada por la emisión de coladas de lava, abundancia de materiales volcánoclasticos, así como detritos acarreados por acción fluvial. Estos depósitos se disponen al NE y presentan una densa malla de fallas y fracturas, que presentan un arreglo ortogonal. Los afloramientos más representativos de este periodo se ubican desde la Sierra de Tepotzotlán, hasta la región de Huehuetoca en el Estado de México.

La tercera fase se origina durante el Oligoceno Superior y el evento que destaca, se asocia con la actividad volcánica que se conoce como Formación Xochitepec. Este sustrato es el basamento donde más tarde se emplazarían las Sierras Mayores al Este (Popocatepetl e Iztaccihuatl, Telapón y Tlaloc) y Oeste (Sierra de las Cruces, Monte alto y Monte Bajo). Hay que mencionar que el Peñón de los Baños, Tlapacoya, Zacaltépetl y Chapultepec, son contemporáneas con esta etapa.

El cuarto periodo de formación ocurre en el Mioceno, en él aparece la sierra de Guadalupe en la porción central de la cuenca; del mismo modo, la de Tepotzotlán al noroeste. También surgen focos eruptivos menores (conos y domos) conocidos como Los Pitos, Platachique y El Tepozán, todos ellos en el sector noreste. En general este estadio se considera como de baja intensidad tectónica y volcánica.

El fin del Mioceno, marca el inicio de una nueva fase de actividad volcánica, este evento se conoce como la quinta fase de formación de la cuenca de México. En este periodo, quedan definidos los límites actuales: La sierra Nevada, Río Frío y las Cruces-Monte Alto-Monte Bajo.

Por último y ya en el Cuaternario, se suceden las fases seis y siete. De acuerdo con Fries (1960), el límite entre estos dos estadios es difícil de precisar si no se toma en cuenta las características petrológicas de los depósitos. Asociado con el sexto periodo, se tiene la formación de los volcanes Chimalhuacán, Cerro de la Estrella, Los Pitos, Peñón del

Marqués, Chiconautla y Cerro Gordo. Mientras que en la séptima (Cuaternario Superior), es cuando surge la Sierra del Chichinautzin considerada como un conjunto volcánico de tipo monogenético, que integra más de un centenar de focos eruptivos, coladas de lava y material piroclástico.

1.1.2 Unidades mayores del relieve

De acuerdo con Gutiérrez, *et al.* (2005), el relieve de la cuenca de México lo conforman cuatro grandes unidades: montaña, piedemonte, planicies proluviales-lacustres y planicie lacustre (Fig. 5).

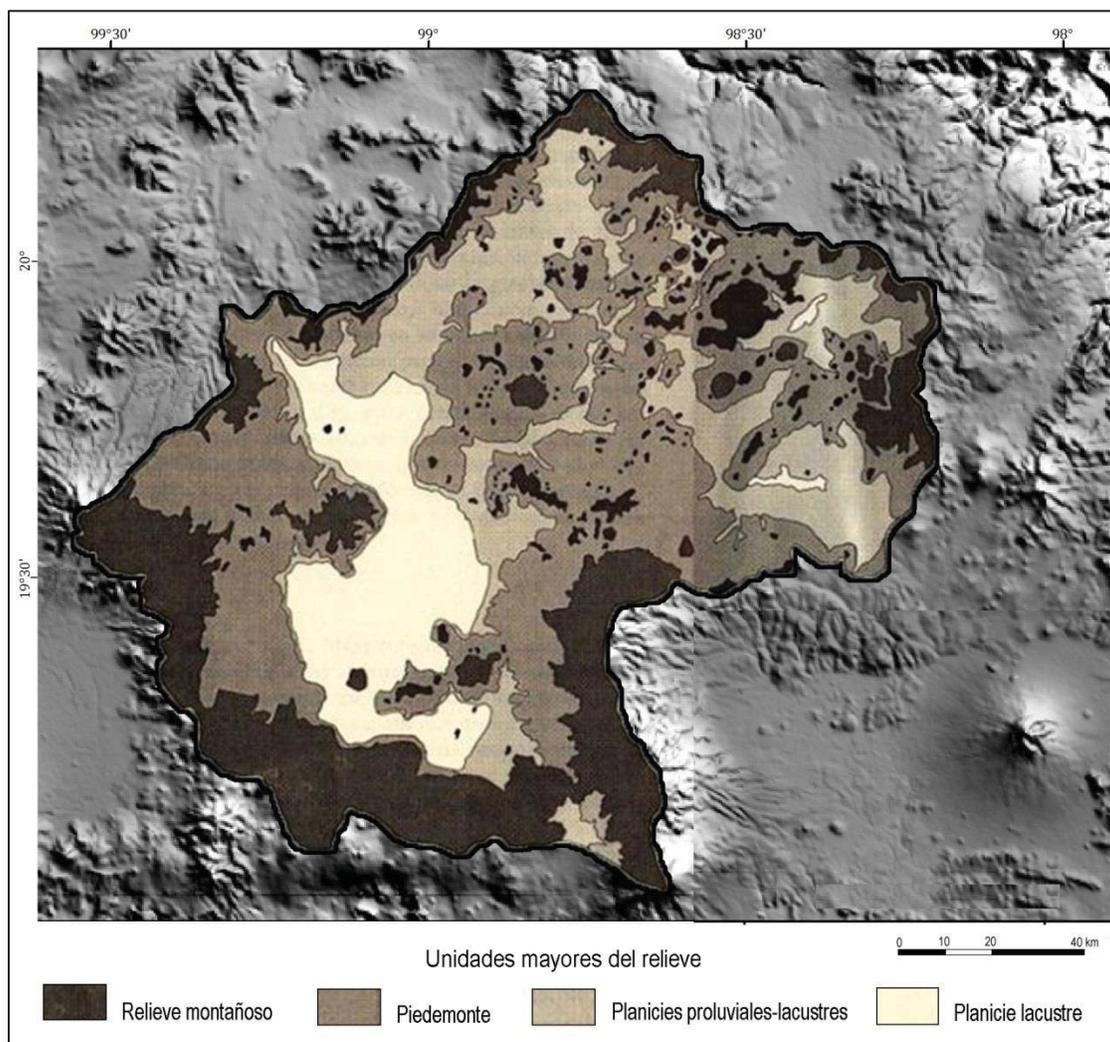


Figura 5. Unidades mayores de relieve en la cuenca de México, (Gutiérrez, *et al.*, 2005).

Relieve de Montaña.

Representan las estructuras mayores del relieve, son conjuntos montañosos que llegan a alcanzar altitudes > a 4000 msnm, sobre estos terrenos se presentan contrastes altitudinales muy marcados en distancias horizontales muy cortas. Se caracterizan también, por ser territorios heterogéneos en cuanto a morfología, inclinación, longitud, geometría y orientación de las laderas que integran estas unidades.

El relieve de montaña inició desarrollo desde el Terciario (Oligoceno Medio) y en algunos sectores su actividad ha llegado hasta nuestros días como es el caso del Popocatepetl (Holoceno). En este largo periodo de formación se han acumularon importantes volúmenes de roca (lavas) y piroclastos que han definido los rasgos geomorfológicos de la cuenca de México y que están representados en la (Fig. 5).

El relieve actual de la cuenca de México es complejo y refleja en su morfología la huella de numerosos procesos de modelado a lo largo de su formación, los más relevantes son los fluviales, los lacustres y los glaciares. Los primeros están representados por valles profundos que interrumpen la continuidad de los conjuntos montañosos. Algunos de ellos al presentar fondo plano favorecen la existencia de llanuras aluviales, terrazas y bancos de materiales.

Los lacustres son representativos de las porciones más deprimidas de la cuenca, las formas características se vinculan con la sedimentación o la colmatación de pequeñas depresiones (ciénagas, riveras palustres y lacustres). Por otro lado los procesos glaciares; si bien no son representativos en área, su existencia reflejan cambios en las condiciones del clima y este factor es necesario para entender la existencia y espacialidad de relieves que en apariencia no tienen vínculo con los procesos modeladores actuales. En particular los valles en U, las morrenas y los extensos abanicos aluviales en donde poblaciones como Amecameca se han asentado.

Piedemonte

El piedemonte es considerado como una rampa acumulativa, que tiene desarrollo por un continuo acarreo y sedimentación de detritos en la porción marginal de las montañas. Los procesos involucrados en la formación de estas rampas son los fluviales, gravitacional,

volcánico e incluso glacial. La morfología característica de estas superficies es de un talud poco inclinado ($< 12^\circ$), que a lo largo de su extensión no presenta desniveles significativos y se mantiene como un terreno homogéneo que favorece la existencia de drenajes con patrón fluvial paralelo y subparalelo.

El piedemonte de mayor extensión se asocia con las sierras de Las Cruces y la Nevada (Popocatépetl, Iztaccíhuatl), cuya formación data del Terciario Inferior. Por otro lado, en la sierra del Chichinautzin es incipiente, discontinuo o no existe. Este hecho se ajusta a un conjunto volcánico de reciente creación y donde los agentes erosivos no han sido intensos ni prolongados para lograr un desarrollo mayor.

Planicies proluviales lacustres

Son superficies de transición entre el piedemonte y la planicie lacustre, en la que su inclinación no rebasa los cinco grados, por lo tanto su morfología se asocia a superficies: sub-horizontales, escalonadas, onduladas, y cóncavas. Su constitución es a partir de materiales que van de las arenas muy finas ($63-125\mu$) hasta las gravillas (2-4 mm.), estos han sido transportados por ríos estacionales. El arrastre de los materiales se realiza desde la zona del piedemonte hasta su depositación sobre las riveras lacustres, en cuerpos de agua de escasa profundidad, o sobre llanuras de inundación temporal (ciénagas).

Planicie lacustre.

Es una superficie subhorizontal de inclinación menor a cuatro grados, ocupa el nivel altitudinal más deprimido de la cuenca, en promedio 2240 msnm. Su origen se relaciona con la formación de la Sierra de Chichinautzin, la cual modificó y obstaculizó el sistema de drenaje natural, de tal manera que el fondo se rellenó debido a la acumulación paulatina del material acarreado por la acción fluvial.

Los materiales que integran esta unidad son de tipo proluvial (limos y arenas); lacustres (arcillas y limos); así como arenas y cenizas volcánicas que bajo el proceso de intemperismo, originan arcillas con un elevado grado de compresión, cabe mencionar que estos materiales se encuentran intercalados entre sí.

En la delegación Iztapalapa existen dos unidades importantes de relieve; la planicie lacustre y sierras volcánicas secundarias. La primera ocupa el 80 % del área total y se localiza en la porción sur; mientras en el sector noreste, se emplazan volcanes de escoria y coladas de lava que en conjunto recibe el nombre de Sierra de Santa Catarina.

1.2 Marco geográfico local

1.2.1 Localización de la Delegación Iztapalapa

La Delegación Iztapalapa se localiza al oriente del Distrito Federal, entre las coordenadas $19^{\circ} 17' - 19^{\circ} 24'$ latitud norte y $98^{\circ} 08' - 99^{\circ} 58'$ longitud oeste, con un área total de 114 km^2 . Sus límites político-administrativos son las delegaciones de: Iztacalco al noroeste; Tláhuac y Xochimilco al sur; Coyoacán y Benito Juárez, al oeste; así como los municipios de Netzahualcóyotl en el sector noreste; La Paz y Valle de Chalco Solidaridad, al este (fig. 6).

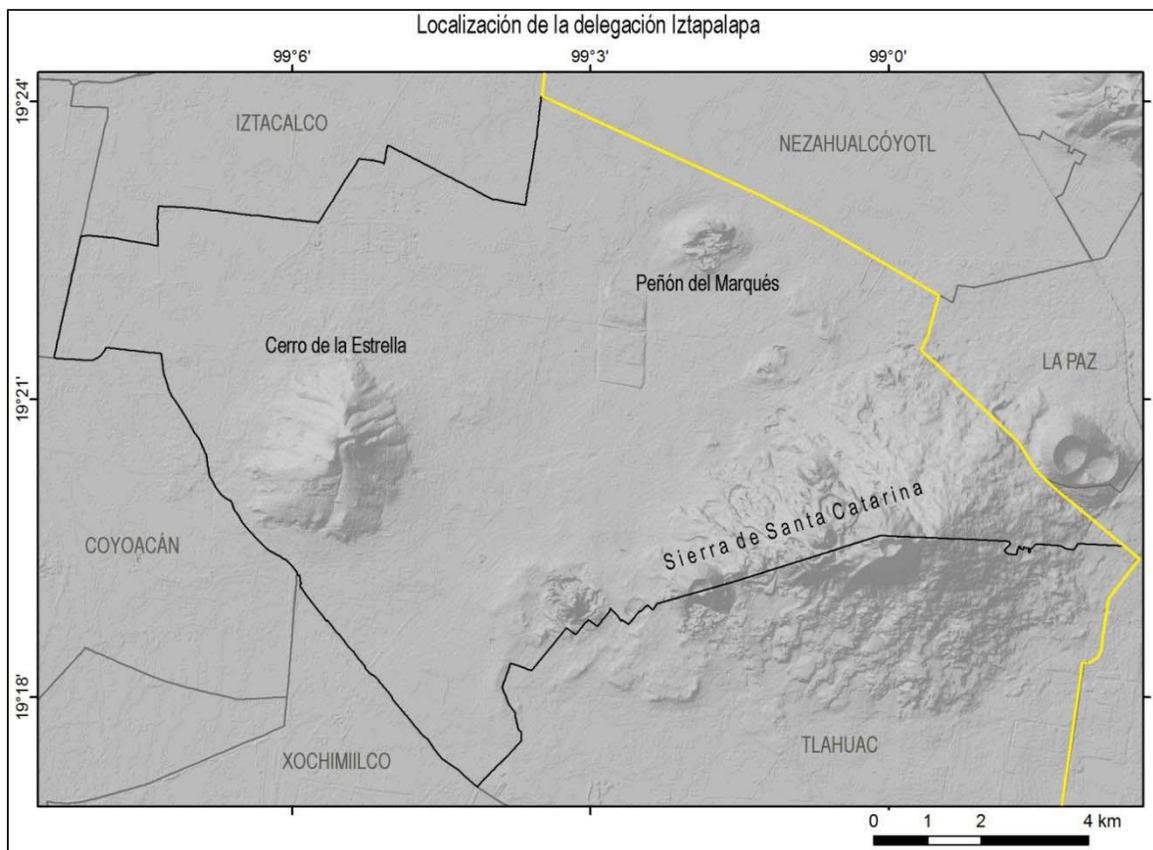


Figura 6. Delegación Iztapalapa. La línea amarilla indica el límite entre el Distrito Federal y el Estado de México (INEGI, 2012).

1.2.2 Relieve

La mayor parte de la Delegación Iztapalapa presenta una morfología de sub-horizontal a ligeramente ondulada (80 %) y su altitud promedio es de 2241 msnm (SEDESOL, 2011). Este terreno se encuentra interrumpido por distintas estructuras de origen volcánico, entre las que se encuentran el Cerro de la Estrella (2450 msnm), al oeste; Peñón del Marqués (2370 msnm), al norte; y la Sierra de Santa Catarina, al sureste. De acuerdo con Lugo-Hubp, et al., (1994), esta última es un conjunto de conos volcánicos de edad Cuaternaria y está constituida por los siguientes conos de escoria: San Nicolás (2420 msnm.); Xaltepec (2610 msnm.); Tetecón (2480 msnm.); Mazatepec (2550 msnm.); Tecuatzi (2650 msnm.); Guadalupe (2750 msnm.) y La Caldera (2520 msnm.) (Fig. 7).

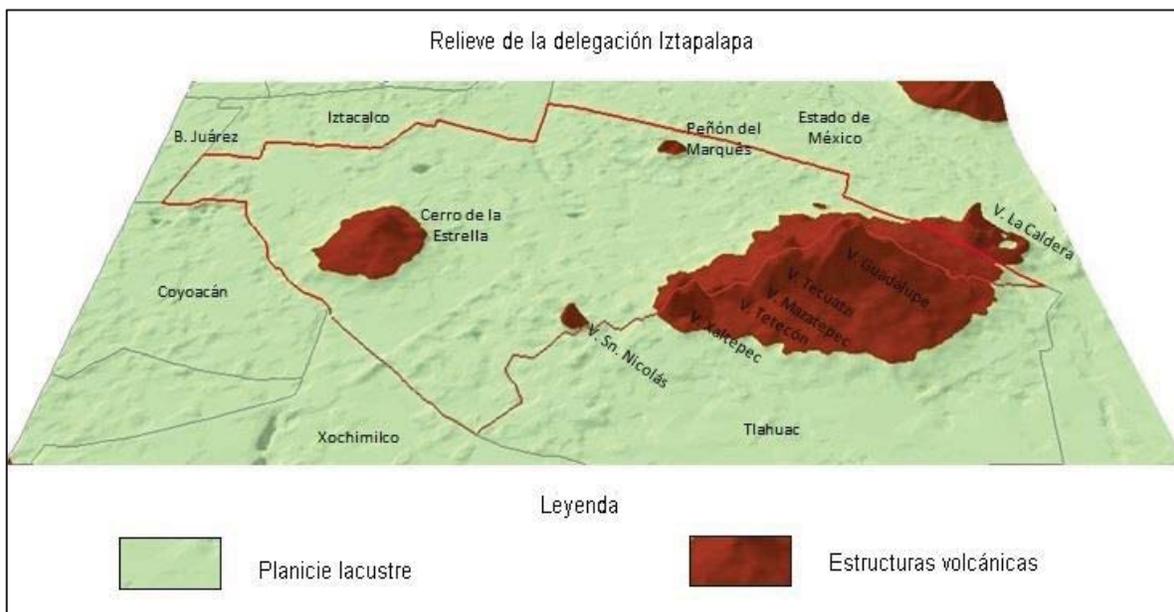


Figura 7. En el MDE se observa las estructuras volcánicas presentes en la Delegación Iztapalapa; todas ellas están rodeadas de una planicie lacustre que se caracteriza por presentar una morfología subhorizontal. Los límites de la zona de estudio están marcados de color rojo.

El Cerro de la Estrella es una estructura que se localiza en el sector oeste, su altura aproximada es de 214 m. Está conformado por una sucesión de coladas de lava de composición básica (Huizar, 1998). La mayoría de sus laderas no sobrepasa los 20° de inclinación, por lo que mantiene una superficie suave; sin embargo, existen sectores en donde se han excavado barrancos profundos con laderas que superan los 45°.

El Peñón del Marqués es un cono de escoria que alcanza una altura de 132 m, se constituye por coladas de lava que alternan con flujos de escoria y piroclastos. Estos últimos, alcanzan espesores entre 1 y 3 m y son característicos de la porción cumbre. En general las laderas de esta estructura se inclinan en un rango de 20° a 32°. Hay que mencionar que la morfología original ha sido modificada de manera intensa por el hombre, inicialmente en el sector norte se extrajo material para la construcción, lo que dejó cortes verticales de 10 a 60 m de altura, a partir de los cuales ha sido posible el análisis estratigráfico (Lugo, *et al.*, 1995). Las minas a cielo abierto fueron abandonadas y dentro de ellas se construyeron unidades habitacionales, esta idea no ha sido del todo correcta ya que la población está sujeta a una dinámica gravitacional que se agudiza en la temporada de lluvias.

La Sierra de Santa Catarina es resultado de la generación de un conjunto de conos de escoria alineados en sentido E-NE y con una extensión de 12 km, aproximados. Estos focos eruptivos son la culminación de un campo de lavas que en general definen una geometría convexa. Hay que mencionar que la mayor extensión que alcanzaron los flujos de lava fue de 2.5 km de longitud, en el sector oriental. Un rasgo morfológico común en todo el conjunto volcánico, es la existencia de escalonamientos que están vinculados a frentes de lava sobrepuestos.

Si bien la juventud de la Sierra de Santa Catarina permite observar la mayor parte de la morfología primaria, existen sectores en donde no se reconoce el relieve debido a la desmedida extracción de materiales que han sido utilizados para la construcción. Es el caso de las estructuras volcánicas San Nicolás y Tetecón, que prácticamente han desaparecido.

1.2.3 Clima

El clima que se presentan en el área de estudio (humedad y precipitación) está influenciado por las características orográficas de la cuenca de México (García y Mosiño, 1968). En este sentido García (1981), incluye al territorio de la Delegación Iztapalapa dentro de la zona térmica templada, la cual cubre un rango altitudinal que va de los 2220 a los 2800 msnm y está caracterizada por tener una temperatura media anual entre los 12° y los 18° C. Estas condiciones atmosféricas definen tres tipos de climas: BS₁kw; C (w₀); y C (w₁) (Fig. 8).

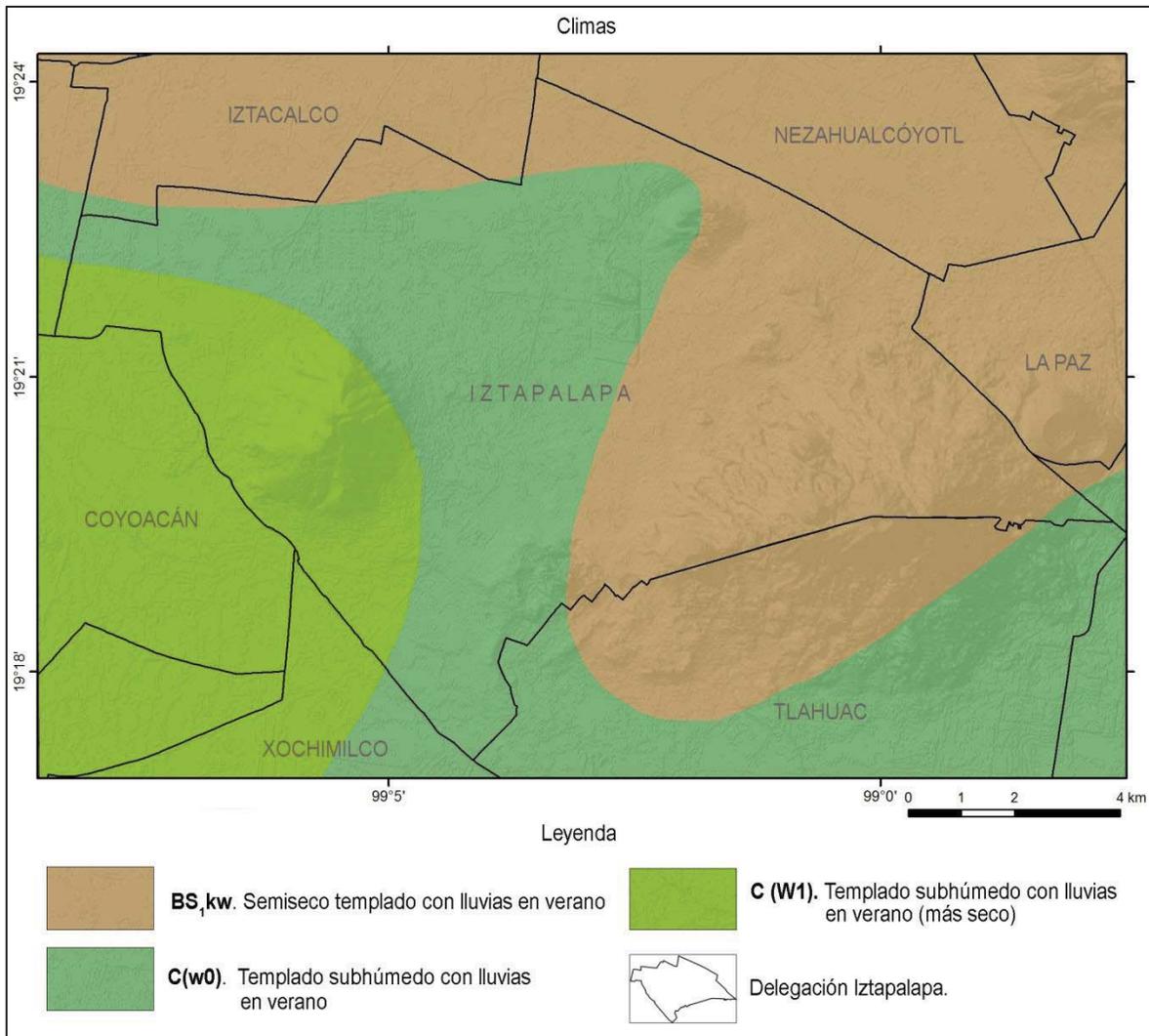


Figura 8. Tipos de clima presentes en la delegación Iztapalapa (SEDESOL, 2011).

- **BS, kw.** Semiseco templado con un régimen de temperatura media anual que varía entre 12°C y 18°C, el mes más frío tiene entre 3°C y 18°C y en el más cálido se presentan valores menores a los 22°C. El régimen de lluvias corresponde a la estación de verano y el porcentaje de precipitación invernal va de 5 a 10.2 del total anual. Tiene un índice de humedad (P/T) mayor a 22.9; es decir, corresponde al menos seco del BS.
- **C (w0).** Templado subhúmedo con lluvias en verano, su régimen de temperatura media anual está entre 12°C y 16°C, el mes más frío es enero con un rango que varía de 11 a 12°C, mientras que los meses más cálidos (abril, mayo y junio) registran una media de 16 a 18°C. La precipitación en el mes más seco es menor a

los 40 mm, y una media anual de 500 a 600 mm. Tiene un índice de humedad (P/T) menor a 43.2; es decir, el más seco del C (w).

- C (w1). Templado subhúmedo con lluvias en verano, su régimen de temperatura promedio anual está entre los 12°C y los 18°C, el mes que registra el valor de menor temperatura es enero con 13°C a 14°C, por su parte los meses más cálidos son abril y mayo (18°C a 19°C). La precipitación mínima es en febrero con 3-5 mm, y la máxima durante julio y agosto con 140 a 150 mm, el promedio anual es de 600 a 800 mm. El cociente de P/T está entre 43.2 y 55.0.

De acuerdo con el régimen promedio de precipitación anual, en la Delegación Iztapalapa se registra la actividad pluvial más intensa entre los meses de junio a septiembre; siendo julio, el mayor de todos con 121.1 mm. Hay que mencionar que este valor ha sido rebasado en siete ocasiones, por la presencia de lluvias extraordinarias: dos veces en 1975, 1976, 1978, 1981, 1983 y 1994. Con estos antecedentes y la existencia de una morfología subhorizontal se pone de manifiesto la existencia de las inundaciones como un peligro recurrente en la Delegación Iztapalapa.

Durante el mes de junio de 1981 el total de lluvia registrada alcanzó los 326.1 mm; es decir, 2.3 veces por encima de lo normal. Sin embargo el caso más reciente y uno de los más significativos, no sólo por la cantidad de agua, sino por presentarse fuera de la época de lluvias de verano, ocurrió en el mes de diciembre del año 1994, en esta ocasión la lluvia fue de 127.9 mm, es decir, 6.8 mm más que el mes con mayor precipitación y casi 13 veces más que la norma promedio establecida para la misma época del año (10.1 mm) (Fig. 9: a y b).

a).

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
X mensual	11.65	7.7	10.05	25	59.65	140.5	140.1	127.55	109.3	61.9	17.7	10.1
Max. Hist.	40.4	32.7	50.1	74	145.1	326.1	232.5	232	221.1	241.8	120.3	127.9
Diferencia.	3.5	4.2	5.0	3.0	2.4	2.3	1.7	1.8	2.0	3.9	6.8	12.7

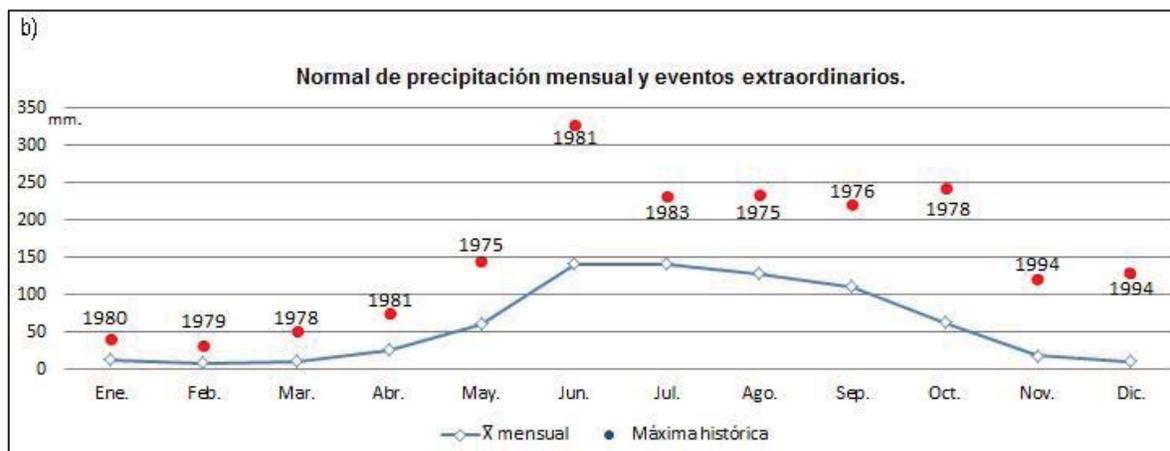


Figura 9. a) Estimación del potencial máximo de lluvia mensual a partir valores promedios e históricos, para la delegación Iztapalapa. b). Representación gráfica de la precipitación mensual normalizada (línea azul) y los eventos históricos (puntos en rojo) por año de ocurrencia.

De acuerdo con Vera y López (2010), la Delegación Iztapalapa es afectada en diferente grado de acción por la precipitación que recibe en la época de verano. El sector oeste del territorio concentra la mayor caída de agua (120 a 142 mm) durante los meses de julio, agosto y septiembre; mientras que en la porción oriental recibe entre 60 y 120 mm, en la misma temporada (Fig. 10).

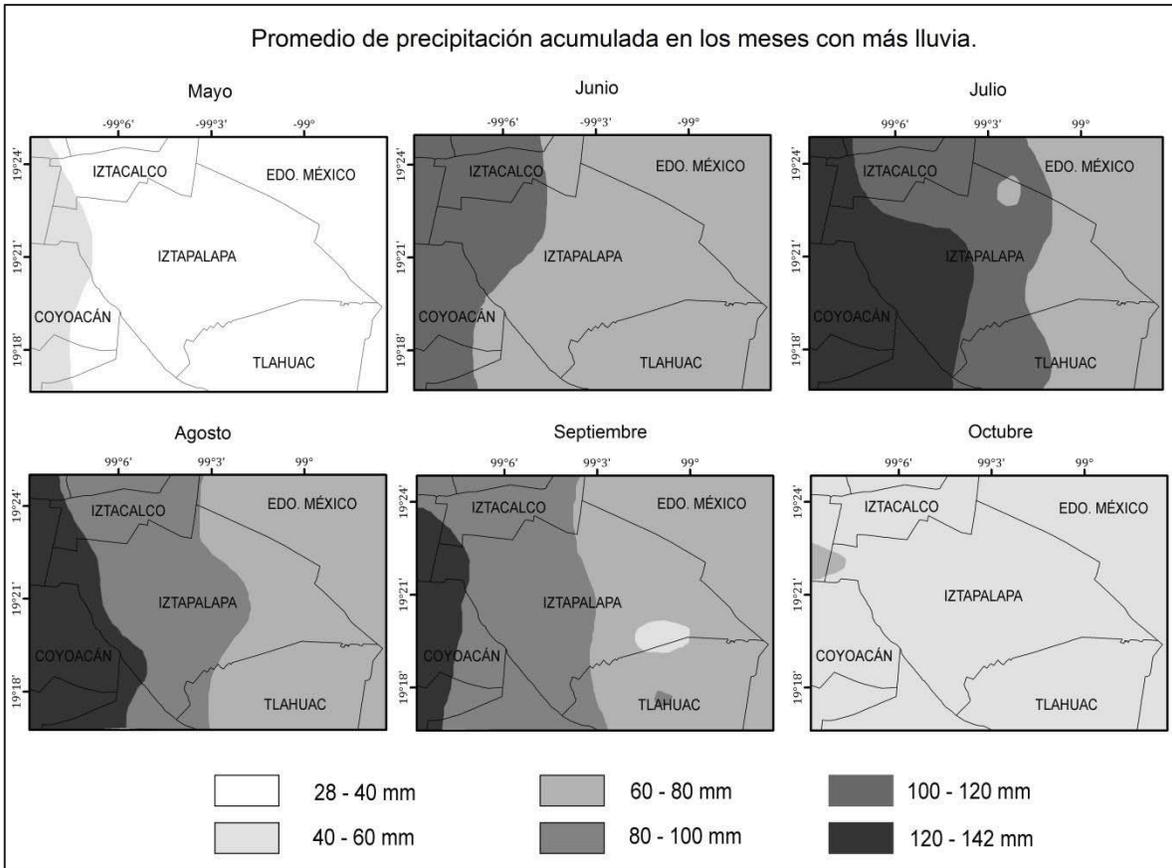


Figura 10. Distribución espacio-temporal de precipitación en la Delegación Iztapalapa durante los meses de mayor lluvia. (Vera y López, 2010).

El análisis de la distribución temporal de las precipitaciones permite estimar la cantidad de agua que cae en diversos sectores del territorio en un periodo de tiempo corto y en su caso, adoptar las medidas de acción correspondientes. A partir de la precipitación promedio mensual y el número de días con lluvia al mes, se obtuvo una aproximación en mm por día de lluvia, esta información fue comparada con el registro de los eventos máximos en 24 h (Fig. 11: a y b).

a)

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
X mensual	11.7	7.7	10.1	25.0	59.7	140.5	140.1	127.6	109.3	61.9	17.7	10.1	721.2
Días con lluvia.	1.5	1.6	2.5	4.4	8.9	13.9	16.3	14.6	11.7	6.9	3.5	1.6	87.4
X / día de lluvia (mm).	7.8	4.8	4.0	5.7	6.7	10.1	8.6	8.7	9.3	9.0	5.1	6.3	8.3
Máx. hist. en 24 hrs (mm).	51.5	23.7	40.5	35.0	65.0	64.0	48.0	65.7	87.6	69.3	34.0	45.4	
Relación X mensual vs máx. 24 hrs.	4.4	3.1	4.0	1.4	1.1	0.5	0.3	0.5	0.8	1.1	1.9	4.5	

b)

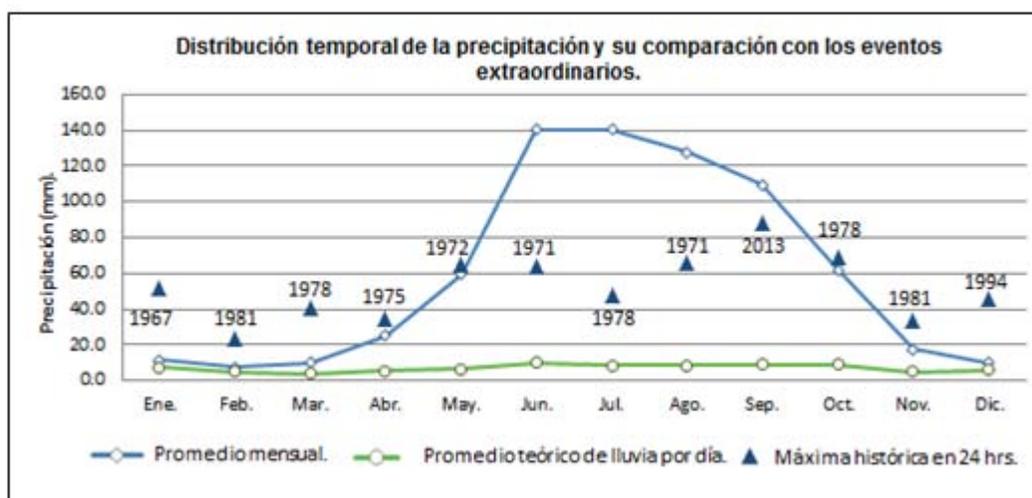


Figura 11. a) Valores comparativos de precipitación (mensual, diaria e histórica); b). Gráfica de distribución temporal de la precipitación normalizada (días de lluvia al mes) y su comparación con eventos extraordinarios en 24 h.

Los resultados anteriores reflejan la elevada heterogeneidad que existe entre el número de días con lluvia por cada mes y la cantidad de agua que es acumulada, con un promedio de 10.1 mm cada 24 h durante el mes más lluvioso (junio). Este valor se incrementa varias veces durante un evento extraordinario, concentrando hasta un 80 % del total mensual en pocas horas, es decir, más de 87 mm.

El evento extraordinario más reciente y uno de los más importantes ocurrió el día 6 de septiembre de 2013, derivada por el ciclón "Ingrid" en el Golfo de México, cuando se registró una concentración de 87.6 mm en poco menos de dos horas (CONAGUA, 2013), suceso que estuvo sólo 21.7 mm por debajo de la cota de acumulación mensual.

Con base en este breve análisis estadístico del comportamiento temporal y espacial de las precipitaciones que afectan al territorio de estudio se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

1.- La temporada de lluvias estacional es en verano, con una concentración máxima de 140.5 mm durante el mes de junio. Sin embargo la ocurrencia de eventos extraordinarios ha registrado valores mayores en la época de invierno.

2.- La distribución mensual de las precipitaciones en el territorio no es uniforme: los valores de acumulación máxima se registran al poniente de la delegación con 142 mm; mientras que la zona oriente acumula entre 22 y 42 mm menos. No obstante las máximas inundaciones no las controla la espacialidad de la lluvia; resulta que el territorio más afectado por ese fenómeno no es donde se registran los máximos de lluvia.

El control en la distribución de las inundaciones es la inclinación de la planicie lacustre (en la delegación de Iztapalapa); el sector W, es más alto (2245 msnm) que la porción NE (2225 msnm) entre estas superficies existe una diferencia de 20 m de altura, esto hace que el agua de lluvia se desplace de E a NE; hacia el terreno más deprimido, esto explica las severas inundaciones en un sector del territorio donde la precipitación es menor.

3.- El rango promedio de acumulación registrada por día de lluvia, varía de 4 a 10.1 mm. Sin embargo durante los eventos extraordinarios se puede superar la acumulación media mensual (140.5 mm) en menos de tres horas.

4.- De acuerdo con el SMN, la ocurrencia de lluvias extraordinarios puede o no estar relacionada con la formación de un ciclón.

1.2.4 Hidrografía (antecedentes y actualidad)

Las características hídricas que prevalecen en la zona de estudio se encuentran definidas en primera instancia por la configuración regional del relieve. En este sentido, la cuenca de México al ser de tipo endorreico creó las condiciones para que la descarga del agua formara cinco grandes lagos en su interior: Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco, y

Chalco. De acuerdo con Valek-Valdés (2000), el Lago de Texcoco tenía la mayor extensión de todos (700 km²), (Fig. 12).

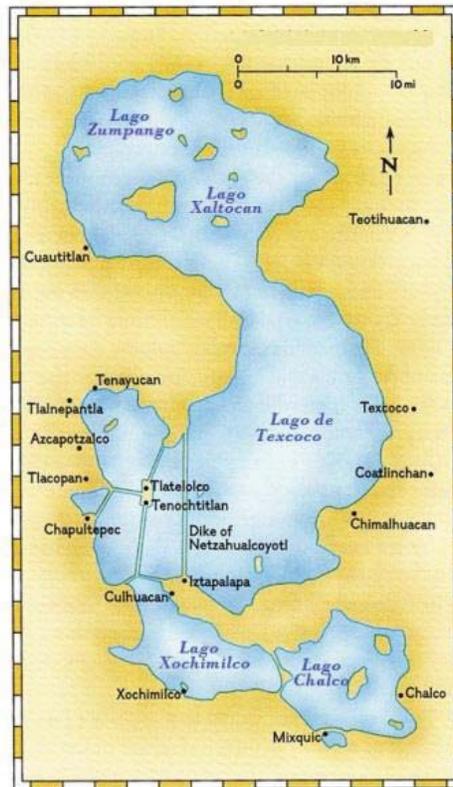


Figura 12. Cuerpos lacustres y asentamientos humanos en la rívera lacustre de la cuenca de México en tiempos prehispánicos (Levenson, 1991).

La mayor parte de la superficie actual de la delegación Iztapalapa formó parte del Lago de Texcoco y destacaron como islas los volcanes Cerro de la Estrella, Peñón del Marqués y la Sierra de Santa Catarina; esta fue la primera configuración hidrográfica que tuvo el área de estudio. Sin embargo, las continuas modificaciones antrópicas a lo largo de un poco más de 500 años no sólo ocasionaron la desaparición de los lagos sino también la modificación del relieve y su dinámica.

De acuerdo con Breña (2010), el sistema hidrológico que caracteriza a un ambiente urbanizado está conformado por tres elementos principales de captación: natural, adyacente a los colectores y la red de colectores. Este modelo describe la dinámica del ciclo del agua en superficies donde el relieve ha sido modificado. Por esta razón se tomó en cuenta para analizar las condiciones actuales de la zona de estudio (Fig. 13).

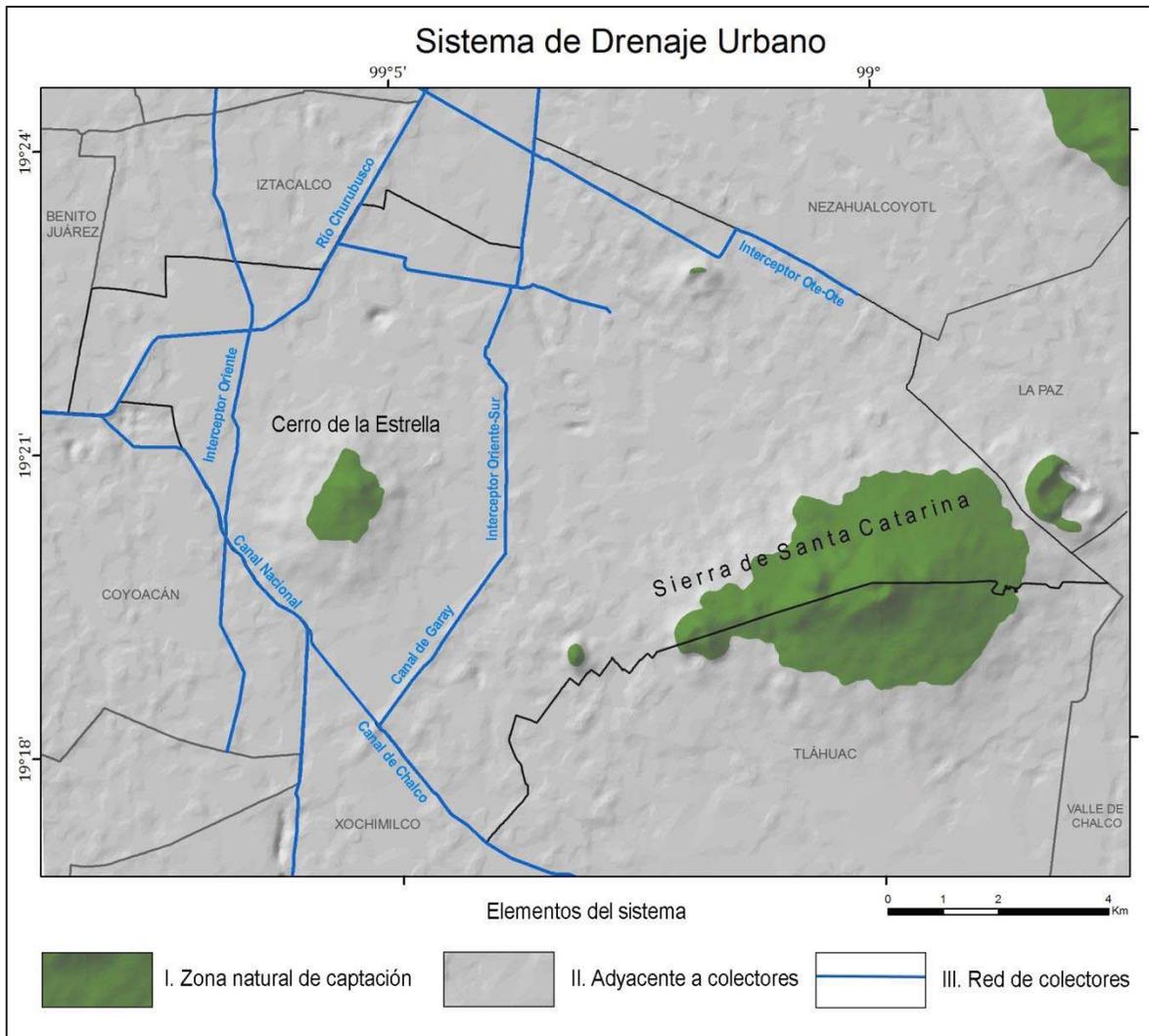


Figura 13. MDT muestra el Sistema de Drenaje Urbano propuesto por Breña (2010): en color verde, la zona natural de captación; en gris, la adyacente a los colectores (superficie urbanizada); y en líneas azules, la Red de colectores.

I. Zona natural de captación. Se define como los espacios no urbanizados que de manera puntual son: el Cerro de la Estrella (porción media y cumbral), Peñón del Marqués y Sierra de Santa Catarina. La característica principal es la filtración sobre el escurrimiento; en esto tiene que ver, la elevada permeabilidad del sustrato.

II. Adyacente a los colectores. Corresponde a la totalidad de la superficie urbanizada, en donde el proceso de infiltración es nulo, lo que incrementa el escurrimiento de manera considerable (sobre el asfalto).

III. Red de colectores. Se refiere a la red colectora de agua de lluvias que en su mayor parte es subterránea. El sistema se encuentra conectado entre sí con el propósito de dirigir el agua de lluvia a los conductos principales de desagüe (Chalco, Nacional, de Garay y Río Churubusco).

El comportamiento del agua en superficie en la delegación Iztapalapa, está condicionado por la urbanización, de esta manera el escurrimiento se incrementa tanto en la cantidad (no existe filtración) como en la velocidad de escurrimiento. Bajo este panorama las calles se convierten en cauces artificiales, que trasladan todo el aporte de agua hacia las partes más bajas y con menor inclinación (sector NE de la delegación Iztapalapa).

1.2.5 Suelos y vegetación

Las variaciones edáficas están relacionadas con la litología, así como con el tipo y grado de intemperismo al que está sujeto el sustrato. En este sentido, el análisis geomorfológico provee información que vincula la morfología con la evolución del suelo.

En la Delegación Iztapalapa se presentan los suelos Phaeozem y Solonchak; el primero cubre la porción poniente y oriente del área de estudio. El segundo, se localiza en la porción central (a manera de cuña) (Fig. 14). Sin embargo cabe hacer mención que la mayor parte de estas cubiertas se encuentran ocultas (urbanizaciones y carpeta asfáltica).

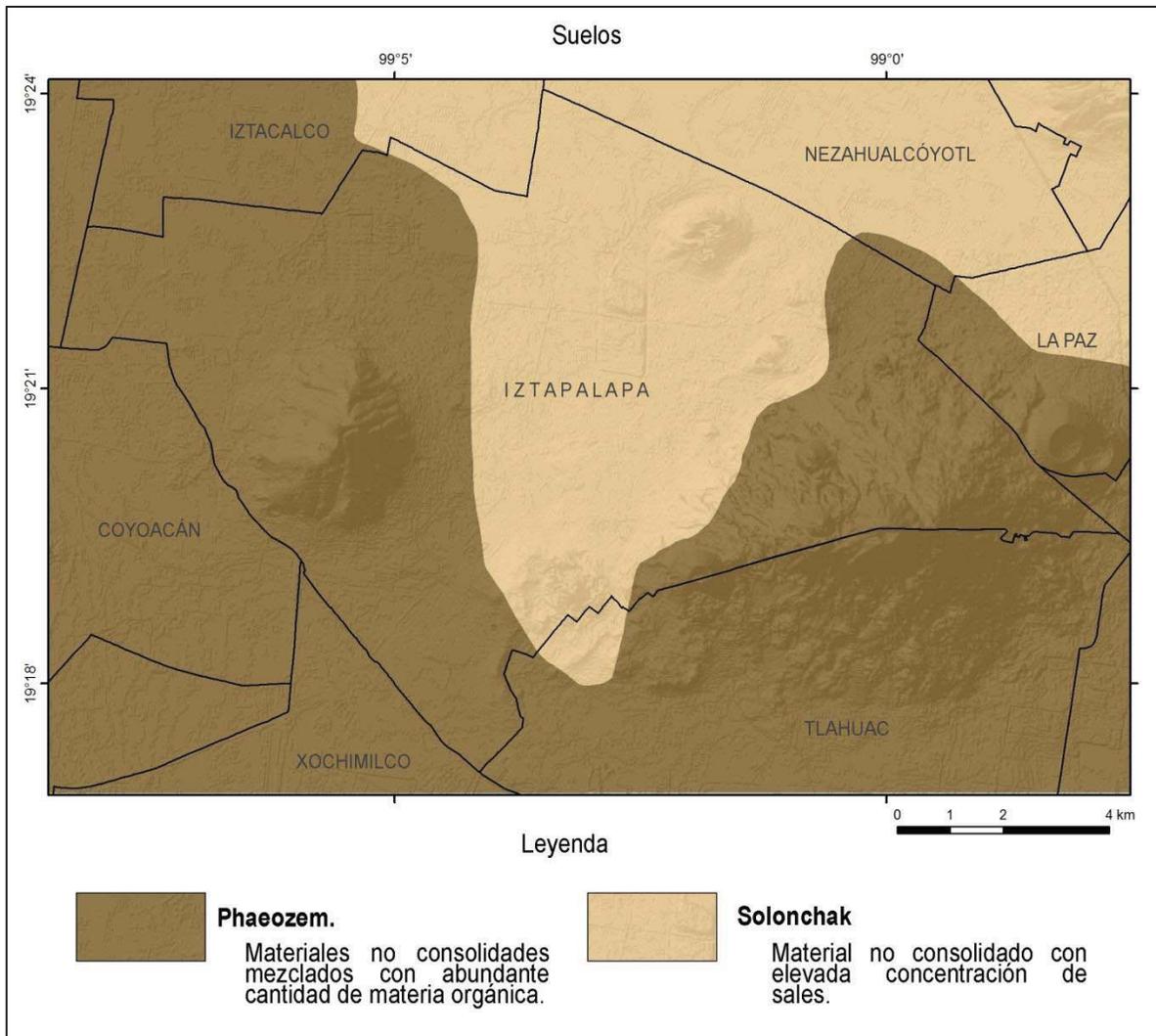


Figura 14. Tipos de suelo presentes en la Delegación Iztapalapa, (SEDESOL, 2011).

- Suelos Phaeozem. Están constituidos por materiales no consolidados mezclados con abundante cantidad de materia orgánica, por lo que tienen un color oscuro y son muy fértiles, (SEDESOL, 2011). Su desarrollo en el área de estudio se encuentra asociado a las condiciones climáticas templadas y húmedas.

Su espesor está asociado con la morfología y litología del lugar, en este sentido los más profundos se hallan sobre superficies planas o con ligera inclinación, mientras que los espesores menores se localizan sobre laderas. La vegetación natural asociada son pastos altos (FAO, 2007). Este sustrato es benéfico para el sustento de cultivos, sin embargo estos terrenos son escasos ya que en la zona de estudio el

proceso urbano cada día va en aumento. Este suelo ocupa el 60 % del territorio delegacional: es decir 68.46 Km².

- Suelos Solonchak. Se formaron a partir de cualquier tipo de material parental no consolidado, son característicos de zonas que estuvieron cubiertas por agua o próximas al manto freático. Se caracterizan por su elevada concentración de sales, característica que lo hace de poco valor para el sustento agrícola. La vegetación que puede sostenerse sobre estas cubiertas son los pastos halófitos (FAO, 2007). En la zona de estudio ocupa el 40% del área, en números absolutos representa 45.11 km².

De acuerdo con López-Moreno y Díaz-Betancourt (1991) en la Delegación Iztapalapa existen 88 especies vegetales, de éstas el 37% corresponde a flora de origen mexicano y 63% a especies introducidas. Su distribución principal se establece sobre las áreas del territorio que aún conservan sus características naturales: Sierra de Santa Catarina y la porción cumbre del Cerro de la Estrella.

En estas zonas llega a existir pequeños sectores con bosque de Eucalipto y matorral xerófilo; este último, constituido por plantas originarias como: *Acacia schaffneri* (huizache); *Eysenhardtia polystachya* (palo dulce); *Opuntia imbricata* (nopal); *Schinus molle* (pirul) y destaca *Argythamnia pringlei* organismo que sólo se encuentra en la Sierra de Santa Catarina (SEDEMA, 2010; Silva, et. al., 1998).

Capítulo 2. Geología.

2.1 Marco geológico regional: cuenca de México.

En este apartado se analiza la litología y su arreglo (estructura) en la cuenca de México y se pretende explicar la configuración y espacialidad de las formas de relieve, procesos que las modifican y su evolución en este territorio. Estos aspectos son el punto de partida para el entendimiento de los fenómenos peligrosos que afectan a la Delegación Iztapalapa (procesos de ladera, inundaciones, fracturas y subsidencias del suelo).

Los modelos geológicos realizados por Fries (1960) y Mooser (2000) representan el punto de partida de este análisis. De esta manera se considera al basamento de la cuenca de México de origen sedimentario-marino (Formación Morelos, Cuautla y Mezcala). El Grupo Balsas (pos-orogénica) representa el depósito superior inmediato de esta columna. Sobre estos sustratos tiene desarrollo una importante actividad volcánica (Eoceno) que más tarde será la característica más notoria de la cuenca de México (Fig. 15).

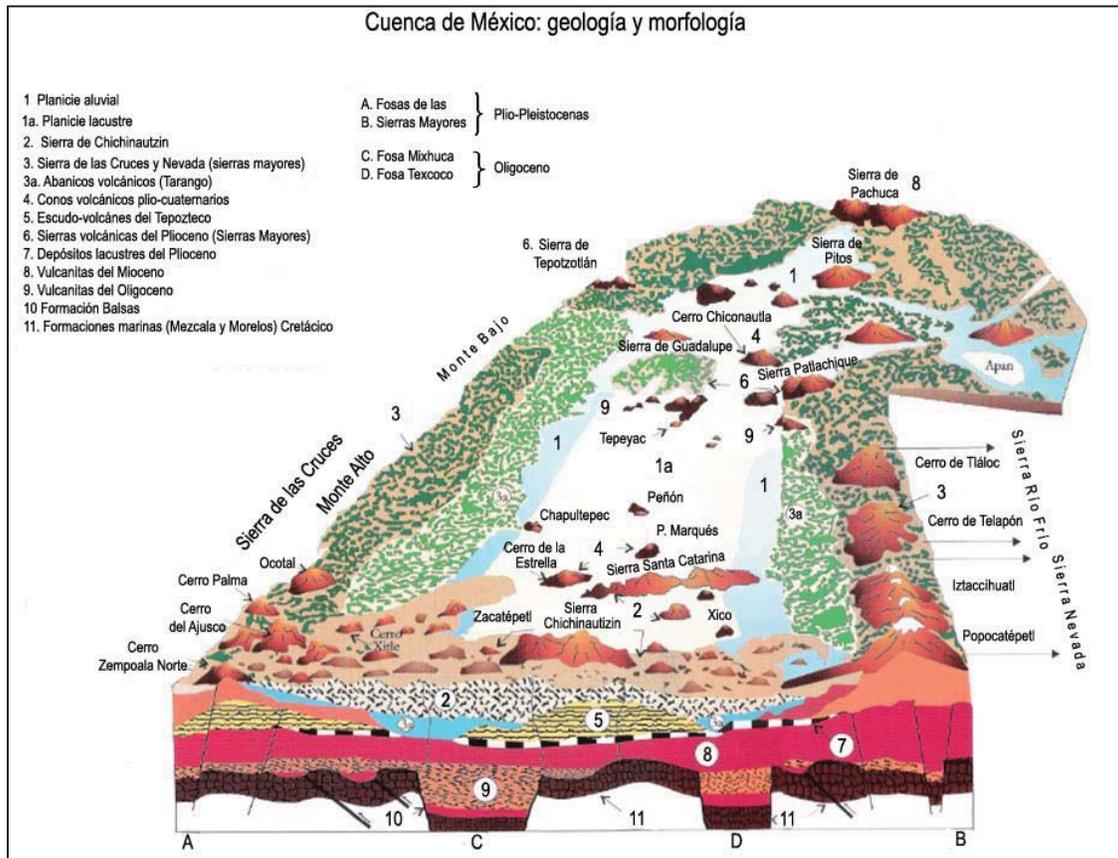


Figura 15. Modelo geológico-geomorfológico de la cuenca de México (Mooser, 2000).

2.1.1 Cretácico Inferior

Formación Morelos.

Se reconoce por ser una sucesión de capas gruesas de caliza y dolomía interestratificadas y acumuladas sobre una plataforma cubierta de yesos, que tiempo después se convirtieron en anhidritas. La secuencia presenta un revestimiento en la parte superior de pedernal en cantidad variable, a manera de nódulos irregulares, lentes y granos; también se identificaron fragmentos de fósiles silicificados (De Cserna *et. al.*, 1988).

La Formación Morelos presenta un sistema de fracturamientos que no concuerda con la orientación hacia el N de los plegamientos (Formación Morelos). Su espesor máximo fue calculado en 900 m, en la porción central del Estado de Morelos (Fries, 1960) y su posición estratigráfica fue establecida a una profundidad superior a los 2000 m (PEMEX, 1988).

Los afloramientos de esta unidad están presentes en los estados de México y Guerrero, así como al sur de la Sierra de Chichinautzin, Morelos (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989). El inicio de la secuencia se localiza al sur de la localidad de Huitzucó a 22 km, al E de Iguala, donde se aprecian calizas fracturadas como resultado de procesos de compresión, mezcladas con incipientes intrusiones de granito. El término de esta Formación se observa en el km 148 de la carretera (de peaje) Amacuzac-Iguala (McAllister y Hernández, 1945).

2.1.2 Cretácico Superior

Formación Cuautla.

Está integrada por una sucesión de calizas de tipo calcilutita, calcilimonita y calcarenita, dispuestas en estratos con espesores que varían de 20 cm a 4 m. Una característica de esta secuencia es la abundancia de pedernal entre las capas y planos de estratificación a manera de nódulos, lentes y concentraciones irregulares; también destaca la presencia de organismos fosilizados (Fries, 1960). De acuerdo con Alencáster *et al.*, (1987) y Aguilera-Franco *et al.*, (1992), esta formación se desarrolla en el Cretácico Superior, entre el Turoniano y el Santoniano y su espesor máximo se calcula en 750 m aproximados.

La profundidad de la Formación Cuautla es variable, el pozo Tulyehualco 1 (PEMEX) se identificó a 2100 m; mientras el pozo Mixhuca, la reportan a 1575 m. Estos dos sondeos fueron realizados al centro-sur (Mixhuca) y sur (Tulyehualco) de la cuenca de México, con una distancia entre ambos puntos de 20 km aproximados y una diferencia en la vertical entre ellos de 525 m.

Los afloramientos de la Formación Cuautla fueron reconocidos al SE del kilómetro 15 de la carretera Cuernavaca-Cuautla; al S de la Sierra de Tepoztlán; al N de Zumpango en el Estado de México y a 7 km al NW de Taxco.

Formación Mezcala.

Su basamento está constituido por capas de caliza arcillosa, lutita y limonita calcáreas interestratificadas de manera rítmica (*Flysch*), con espesores máximos de 30 m, cubiertas por conglomerados con alto contenido de arenas de cuarzo y materiales ígneos. En la secuencia litológica se identificaron especies de microfósiles (*Marginotruncana* y *Archeoglobigerina*) y macrofósiles (*Barroisiceras*, *Peronicerasa*), a una profundidad variable entre 1720 y 1850 m, estos datos sitúan la Formación Mezcala entre el Turoniano y el Maastrichtiano (Fries, 1960).

Las capas sedimentarias de la Formación Mezcala se distribuyen al S (Sierra del Chichinautzin) y NW (Cerro la Palma) de la cuenca de México. Los estratos de esta unidad presentan un intenso plegamiento con fallas inversas y un metamorfismo de baja temperatura de las capas de lutita y limonita.

Los afloramientos tipo se localizan en el km 137 de la carretera Amacuzac-Taxco; del mismo modo en el cerro de Jojutla, en su porción W y SW; así como en la cercanías de Taxco, en dirección SE (Fries 1960). De acuerdo con Bohnenberger (1955), la Formación Mezcala tiene un espesor máximo de 1500 m aproximados.

2.1.3 Paleógeno

Eoceno-Oligoceno

Grupo Balsas.

Está constituido por una litología variable de yeso, caliza lacustre, arenisca, limonita y arcillas, intercaladas con rocas volcánicas, brechas y tobas. En esta unidad no existe ninguna evidencia fosilífera. El grado de deformación es moderado y sus contactos son discordantes en relación a las formaciones subyacentes. De acuerdo con Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989), su origen se produjo entre el Eoceno y el Oligoceno.

Los afloramientos del Grupo Balsas se han identificado en el área de Amacuzac-Zacapalco, en los estados de Morelos y Guerrero. En estas localidades el depósito expuesto es de 2500 m y es discontinuo debido a la existencia de dos depósitos ignimbríticos intercalados, que fueron datados en 35.1 y 38.5 Ma (Morán-Zenteno *et al.*, 2007). Su identificación bajo la superficie terrestre se obtuvo a una profundidad de 2680, en el pozo Texcoco 1, encontrando conglomerados de caliza, que fueron datados en un tiempo mayor a 31 Ma (Fries, 1960).

Hay que mencionar que las características litológicas y estratigráficas del Grupo Balsas, representan un periodo de transición en la formación de la cuenca de México. Señala el fin de los procesos de origen sedimentario-marinos y el inicio de la actividad volcánica.

De acuerdo con Mooser (2000), los eventos volcánicos que definieron la actual cuenca de México pueden ser agrupados en siete fases y son las siguientes.

Primera

Comienza a finales del Eoceno en paralelo al proceso de acumulación de sedimentos lacustres del Grupo Balsas. Su actividad se vincula con la dinámica tectónica generada por la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Norteamericana en las costas sur-pacíficas de México, hace más de 20 millones de años. Durante este tiempo se produjo una secuencia de vulcanitas de composición intermedia y ácida, con un espesor mayor a 2000 m, depositada en los sectores centro y sur de la cuenca de México (Mooser, 2000).

Los derrames de lava de esta etapa, tienen una composición intermedia (andesita) y ácida (dacita, riolita, ignimbritas y tobas líticas cristalinas). Su textura es de tipo porfirítica-holocristalina, con cristales de andesina, oligoclasa, sanidino, augita e hiperstena, rodeados por una matriz de feldespato y cuarzo (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989).

En esta primera etapa los materiales volcánicos se intercalan con una secuencia de cantos rodados de calizas y depósitos de yeso que sobreyacen al Grupo Balsas. Esta secuencia detrítica ha sido identificada en el fondo de los sinclinales y en las fosas tectónicas de Mixhuca y Texcoco.

Los afloramientos de esta etapa se observan en las calderas de Atizapán y Tlaixpan, en el sector S de la cuenca de México; así como en la base de la Sierra de Pachuca, al N.

Segunda

Está representada por numerosas coladas de lava de composición intermedia (andesita) y ácida (dacita y tobas), todos estos materiales se intercalan con depósitos fluviales alterados y cortados por una densa red de fracturas y fallas que presentan un arreglo tectónico a manera fosa-*graben* con orientación al NE. El fin de esta etapa, se reconoce por la existencia de una cubierta aluvial de 6 m de espesor que mantea todas las vulcanitas, lo cual hace suponer la interrupción de la actividad volcánica.

Los afloramientos de esta segunda etapa volcánica se localizan en la base de la Sierra de Tepotzotlán, desde donde se extienden hasta Huehuetoca y el Cerro Sincoque, en el Estado de México (Mooser, 1975).

En esta etapa quedan incluidas coladas de lava de composición fenobasáltica, que se emplazan al NO de la cuenca de México, en las cercanías de la presa de Cuevecillas (Estado de México). El espesor de esta secuencia está calculada entre 1000 y 1500 m, con una edad absoluta de 32 Ma (Mooser, 1975).

2.1.4 Paleógeno-Neógeno

Oligoceno Superior y Mioceno

Tercera

Se integra de rocas de composición ácida (riolitas, dacitas, andesitas y tobas), que presentan una textura porfirítica-afanítica. Los minerales incluidos en esta secuencia volcánica son de tipo ferromagnesiano (piroxenos y anfíboles), alumínicos alcalinos (feldespatos) y de metamorfismo (ilmenita y circón) (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989).

Esta fase se identifica a través de una secuencia de materiales volcánicos, obtenidos a partir de muestras de los pozos Texcoco, Roma, Mixhuca, Tulyehualco y Copilco, a profundidades que varían entre 60 y 1740 m (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989).

El relieve que se forma en esta etapa es el Peñón de los Baños, Cerros del Tigre y Santa Isabel (hace 16 Ma), Cuatapeque y Tepetzingo (21 Ma), Tlapacoya, Zacatepec y Chapultepec. También se incluyen las lavas andesíticas de la Serie Humaredas (17 Ma) y los depósitos lacustres suprayacentes del Plioceno, localizados al NE de la cuenca de México (Mooser, 1975).

Cuarta

Está constituida por rocas volcánicas de composición intermedia (andesita) y ácida (dacita), que están interdigitadas con tobas cristalinas, líticas y pumíticas. Estos materiales se encuentran cubiertos por flujos de lava alcalina (basalto) de grano fino a medio, que presentan una exfoliación horizontal con vesículas alargadas (Mooser, 1975).

La secuencia volcánica está interrumpida por fallas normales que han tenido desplazamientos horizontales de varios cientos de metros, estas estructuras presentan una longitud promedio de 4 km y algunas de ellas definen pequeñas fosas tectónicas (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989). La posición estratigráfica de esta columna fue identificada a una profundidad que varía de 315 y 1150 m, en los pozos Roma y Copilco (PEMEX, 1988).

Las estructuras que se asocian con la cuarta fase de formación son la Sierras Guadalupe, Tepetzotlán, Pitallas, Patlachique y Tepozán. Todas ellas consideradas como las sierras menores de la cuenca de México y con una antigüedad entre 12 y 14 millones de años. A esta etapa pertenecen también los domos dacíticos el Tenayo y Chiquihuite.

2.1.5 Neógeno

Mioceno-Plioceno

Quinta

Está representada por la acumulación de vulcanitas de composición intermedia (andesitas) y ácida (ignimbritas riolíticas y dacitas), que se encuentran intercaladas por secuencias masivas de pómez, capas de ceniza cristalina y aluviones. Los compuestos minerales que predominan son de tipo ferromagnesiano (piroxenos), alcalinos (feldespatos) y de metamorfismo (ilmenita) (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989).

Este periodo se caracteriza por una intensa actividad volcánica que definieron las Sierras Mayores de la cuenca de México. En el sector W la Sierra de las Cruces, integrada por tres estratovolcanes alineados y controlados por un sistema de fracturamientos NNW-SSE; mientras que en la porción E, las Sierras de Rio Frío y Nevada, con una dirección general SSE. Hay que mencionar que durante esta etapa también se forman extensas rampas acumulativas, compuestas por detritos de origen volcánico que fueron acarreados por la dinámica fluvial intensa y que se disponen en la periferia de los conjuntos montañosos mencionados. El espesor de los depósitos volcánicos es variado; con 990 m en el Cerro San Miguel, y a 25 - 510 m en el pozo Copilco-1 (PEMEX, 1988).

2.1.6 Cuaternario

Sexta

Está representada por potentes coladas de lava vesicular de composición intermedia (andesita) y básica (basaltos), donde predominan minerales ferromagnesianos de olivino y anfíbol, en una matriz microcristalina. Estos materiales se encuentran intercalados por capas delgadas de cenizas vítreas, lapillis líticos y escoria. De acuerdo con Sheridan y Wohletz (1983), las características litoestratigráficas y petrológicas que se presentan, pudieron haberse originado durante una explosión volcánica de tipo estromboliana.

En esta sexta fase tienen desarrollo los cerros Chimalhuacán, Estrella, Los Pinos y Peñón del Marqués; todos ellos, localizados en el sector S de la cuenca de México. En la parte N, se originaron las elevaciones de Chiconautla y Gordo, así como coladas de lava (fenobasálticas y andesíticas) localizadas entre Tizayuca y Apan, en el Estado de Hidalgo (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989).

Los afloramientos tipo de esta etapa volcánica, son las cañadas del volcán El Pino (Estado de México). Esta unidad cubren de manera discordante a las vulcanitas del Oligoceno, Mioceno y Plioceno, con espesores máximos de 750 m aproximados.

Séptima

Está representada por potentes flujos de lava vesiculares, masivos y lajados, de composición intermedia (andesita) y básica (basalto) con textura porfirítica y afanítica. Los minerales principales son de tipo ferromagnésico (piroxenos y olivinos) y feldespatos alcalinos (labradorita), que están insertados en una matriz vítrea y microcristalina (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989).

En esta séptima fase se define la morfología actual de la cuenca de México con un sistema hidrológico de tipo endorreico, como resultado del emplazamiento de la Sierra del Chichinautzin en el sector sur, que está conformada por más de un centenar de volcanes monogenéticos, derrames lávicos y piroclastos. Hay que mencionar que en esta etapa también se desarrollan los conos y domos del Iztaccíhuatl y el edificio más reciente del Popocatepetl.

La colada de lava más reciente, corresponde a la emitida por el volcán Xitle, al SW de la cuenca de México, (2422 ± 250 años: Arnold y Libby, 1951). Su emplazamiento se intercala con depósitos lacustres y aluviales. Este evento volcánico queda comprendido entre el Pleistoceno Tardío y el Holoceno (Fig. 16a).

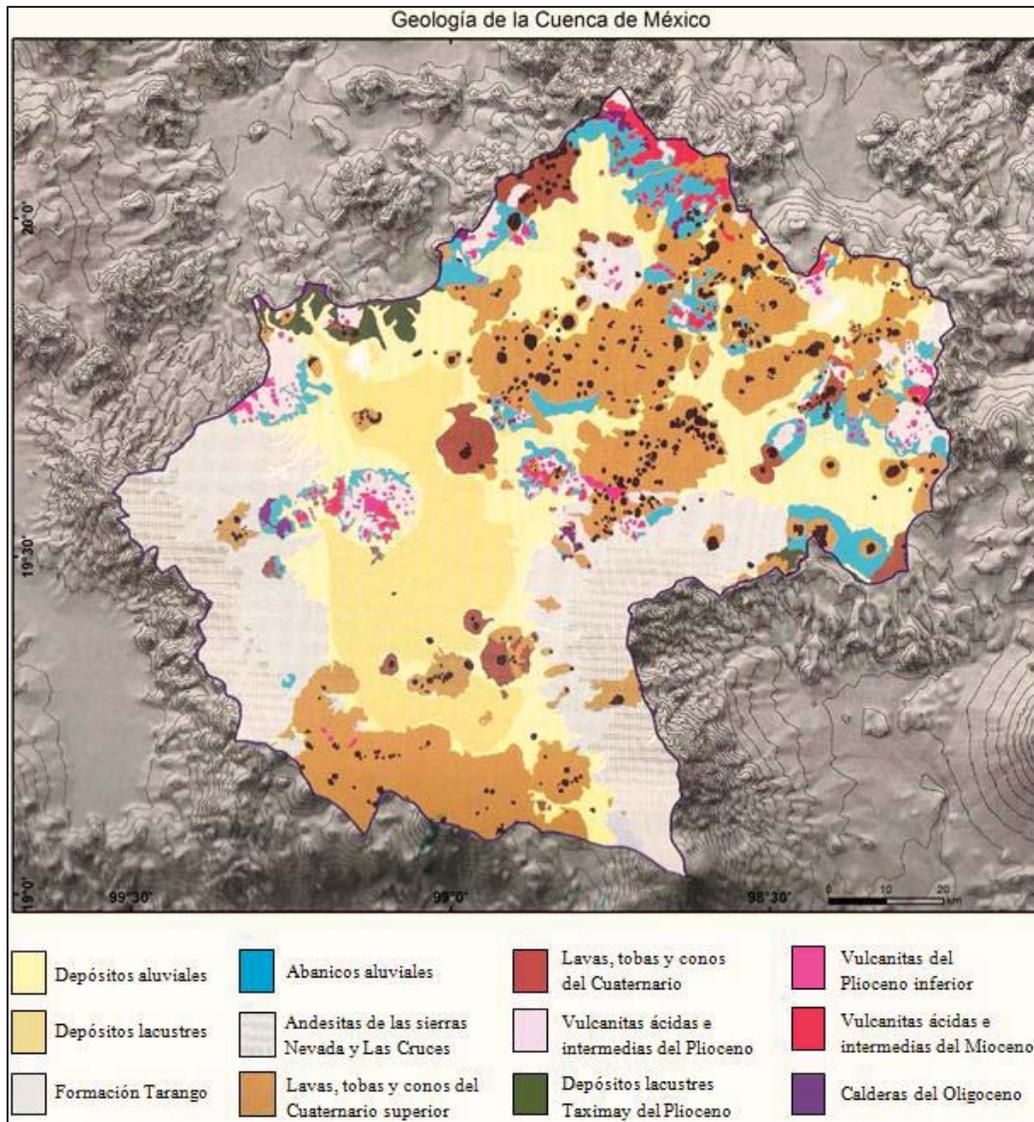


Figura 16a. Mapa Geológico de la cuenca de México (Mooser, 2000).

De esta manera, la evolución geológica de los materiales que dieron estructura a la porción central del territorio mexicano, con relación a la cuenca de México, desde su basamento hasta la configuración que presenta en la actualidad, está representada por tres Formaciones de origen sedimentario-marinas, seguidas por una intensa actividad volcánica dividida en siete etapas diferentes (Fig. 16b).

	Clasificación	Tiempo Geológico
Formaciones sedimentario-marinas	Morelos	Cretácico Inferior
	Cuautla	Cretácico Superior
	Mezcala	
Sedimentario-marina y volcánica	Grupo Balsas	Paleógeno (Eoceno-Oligoceno)
Fases volcánicas	Primera	
	Segunda	
	Tercera	Paleógeno-Neógeno (Oligoceno Superior y Mioceno)
	Cuarta	
	Quinta	Neógeno (Mioceno-Plioceno)
	Sexta	Cuaternario
	Séptima	

Figura 16b. Secuencia temporal de las formaciones geológicas que estructuraron el basamento y la conformación superior de la cuenca de México.

2.2 Geología local y estratigrafía: Delegación Iztapalapa

Está representada por cuatro unidades geológicas, la primera consiste en depósitos lacustres (limos y arcillas) de compresión variable. La segunda constituida de detritos volcánicos acarreados por la dinámica fluvial, la tercera corresponde a flujos de lava y tobas y por último, rocas volcánicas intermedias (andesita) y básicas (basalto), intercaladas con capas delgadas de cenizas vítreas, lapillis líticos y escorias (Fig. 17).

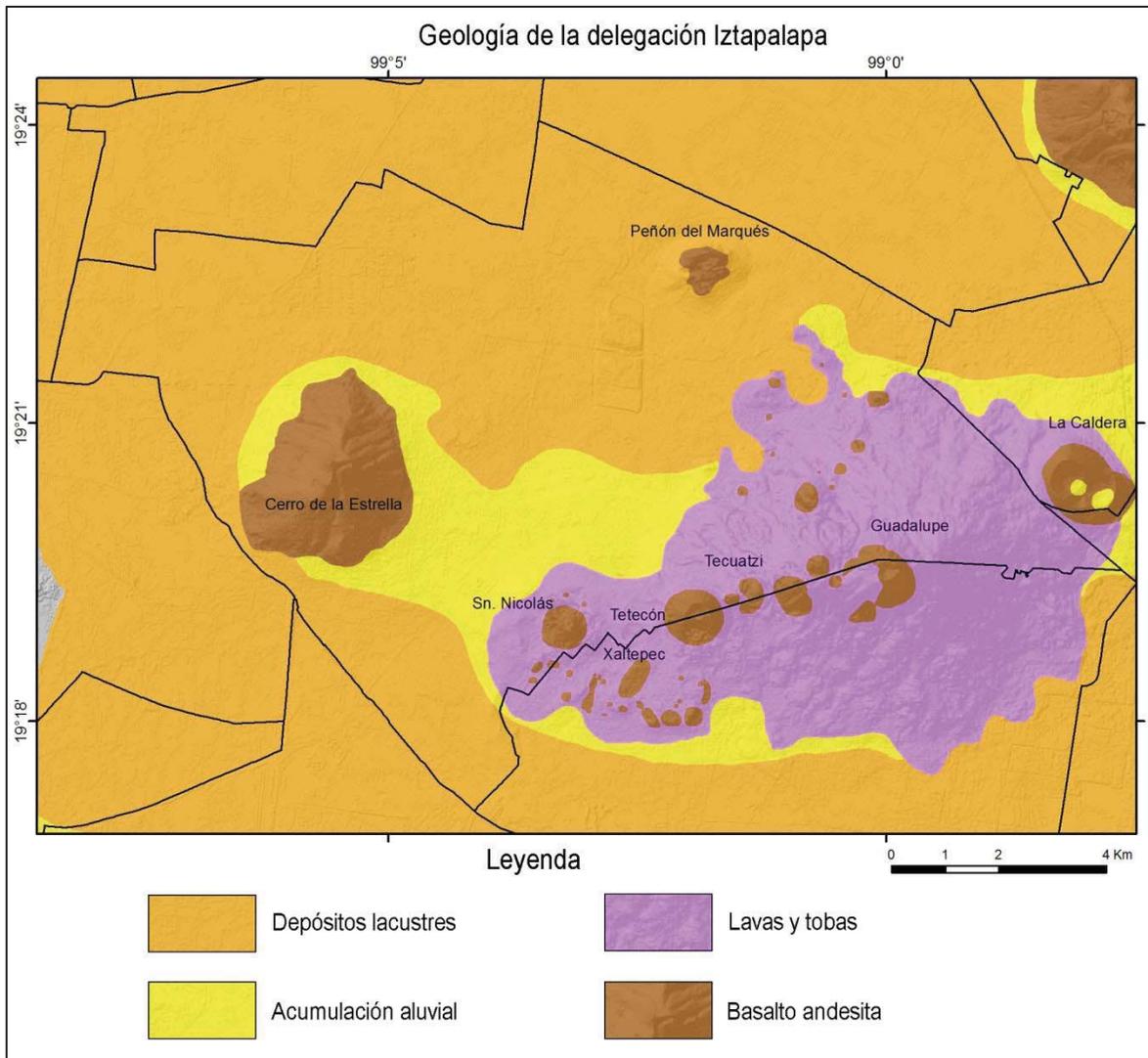


Figura 17. Geología de la Delegación Iztapalapa (Mooser, et al., 1996).

La Delegación Iztapalapa presenta una superficie de 114 km², de ellos el 50 % corresponden a depósitos lacustres (limos y arcillas). La morfología característica de esta zona es subhorizontal y ligeramente inclinada (2° a 6°) y la altitud de estas planicies varía de 2220 a 2240 msnm. Hay que mencionar que estos terrenos representan las porciones más bajas de la cuenca de México y de acuerdo con Mooser (1996), el espesor de estos materiales alcanza los 200 m, aproximados.

Los detritos volcánicos corresponden a la segunda unidad geológica, representan el 11 % del territorio de estudio, gran parte de estos depósitos han sido acarreados por la acción fluvial y se intercalan con depósitos lacustres. A esta asociación Mooser (1996), la denomina como depósitos fluviolacustres y su morfología en general es de superficies subhorizontales y ligeramente onduladas que no superan los 6° de inclinación, estos detritos se localizan entre los 2235 y 2250 msnm. Es difícil caracterizarlos en el campo debido a que los afloramientos en su mayoría están cubiertos por asfalto o construcciones.

Las rocas volcánicas (flujos de lava) representan el 38 % de la delegación, la mayoría de estas estructuras se encuentran cubiertas por un manto piroclástico. Los principales focos de emisión son el Cerro de la Estrella, Peñón del Marqués (Cuaternario Inferior). Estos edificios volcánicos descansan sobre la Formación Tepozteco (Mooser, et al., 1996 y Huizar, *et. al.*, 1999) (Fig. 18: a y b).



Figura 18a. El Cerro de la Estrella visto desde el flanco sur.



Figura 18b. El Peñón del Marqués visto desde el sector SW (Google Earth, 2013).

La Sierra de Santa Catarina también es parte de este conjunto, su formación ocurre en el Cuaternario Superior, hace menos de 20,000 años, con una actividad volcánica de tipo monogenético (Lugo-Hubp, et al., 1994). Este volcanismo dio origen a conos de escoria, domos andesíticos y numerosas coladas de lava de composición intermedia y básica, con alto contenido de minerales alumínicos y ferromagnesianos (Ordoñez, 1985 y González-Moran, 1992).

El volcán Yuhualixqui marca el inicio de la Sierra de Santa Catarina, está constituido por escoria, ceniza y piroclastos en pseudoestratos de 1 a 10 cm. Los fragmentos de roca llegan a medir 25 cm como máximo y presentan bordes angulosos con vesículas alargadas. El material escoriáceo contiene minerales ferromagnesianos (olivinos, piroxenos) y alumínicos (plagioclasas), su color general es el negro, pero al intemperizar cambian a tonalidades rojizas. El espesor máximo de estos depósitos en las zonas adyacentes al volcán es de 15 m y sepultan varios derrames de lava (Magaña, 2003) (Fig. 19).

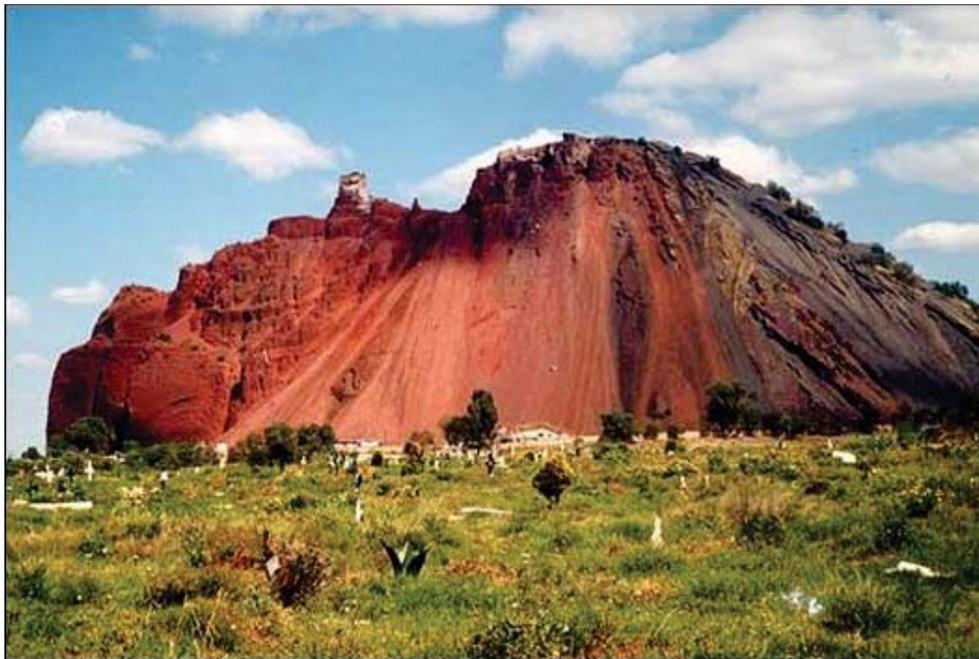


Figura 19. El Volcán Yuhualixqui es un cono de escorias que ha sido intensamente explotado por la industria minera, actividad que ha ocasionado la desaparición de su morfología original (Wolfgang Nieklassen, 1995).

El volcán Xaltepec es la segunda estructura de la sierra, al igual que el anterior, está constituido por escorias angulosas y arenas (cenizas), que se disponen en pseudoestratos de 10 a 20 cm paralelos entre ellos y en menor medida cruzados. La composición de estos materiales es andesita-basáltica. En general los piroclastos presentan una textura traquítica, con una matriz microcristalina que contiene minerales de olivinos, piroxenos y plagioclasas (Magaña, 2003) (Fig. 20).



Figura 20. Volcán Xaltepec, es un cono de escoria y su morfología es de cono truncado, la explotación a cielo abierto de sus materiales pone en peligro la pérdida de su morfología original (septiembre, 2013).

La tercera estructura recibe el nombre de volcán Tetecón, está compuesto por una alternancia de derrames de lava de composición andesítica y basáltica, piroclastos y cenizas. En general estos materiales presentan una textura traquítica, con una matriz microcristalina que contiene minerales de plagioclasas, olivinos y piroxenos (Magaña, 2003) (Fig. 21).



Figura 21. Volcán Tetecón, su morfología original de cono truncado ha desaparecido debido a la intensa explotación a cielo abierto de sus materiales (Google Earth, 2013).

El volcán Mazatepec está compuesto por derrames de lava de composición intermedia (andesita de labradorita) y básica (basalto), que alternan con depósitos piroclásticos poco consolidados y capas de ceniza con estratificación paralela. El tamaño de los materiales varía de las arenas finas a las gravas, su textura es traquítica y presentan una matriz microcristalina con minerales de olivinos, ortopiroxenos y plagioclasas (Magaña, 2003) (Fig. 21).



Figura 21. Volcán Mazatepec presenta un flanco norte muy afectado por las minas a cielo abierto, en la fotografía se observa que la explotación de materiales ha llegado al cráter, la morfología original era de cono truncado (Google Earth, 2013).

El origen de la Caldera se vincula con una actividad freatomagmática, como lo demuestra la presencia de lapilli acrecional. Esta estructura marca el límite oriental de la Sierra de Santa Catarina y está constituido en su mayoría por piroclastos del tamaño de las arenas finas y gruesas, redondeados y cementados por una matriz limo-arcillosa. Los depósitos están mezclados con rocas basálticas vesiculares, que presentan una morfología angulosa y contienen fenocristales de plagioclasas, piroxenos y olivinos Magaña (2003) (Fig. 22).



Figura 22. La Caldera es una estructura freatomagmática, su evolución se desarrolló a partir de tres cráteres que se observan en la imagen (Google Earth, 2013).

El volcán Guadalupe es el más alto y está constituido en su mayoría por derrames de lava compactos de composición andesita-basáltica, con escasas vesículas y de textura fanerítica, predominan los minerales ferromagnesianos (olivinos y piroxenos), contenidos en una matriz microlítica de plagioclasas. Los flujos piroclásticos están cubiertos por lavas. Los depósitos visibles miden entre 5 y 25 cm, son angulosos y su nivel de cohesión es reducido (Magaña, 2003) (Fig. 23).



Figura 23. Volcán Guadalupe es la mayor estructura de la Sierra de Santa Catarina, su morfología es de cono truncado en proceso de desaparecer por la actividad minera a cielo abierto (Google Earth, 2013).

De acuerdo con Lugo, et al., (1994), el domo Tecuatzi, es la estructura más tardía de todo el conjunto. Está compuesto por derrames de lava de composición intermedia (andesita de hiperstena), con minerales ferromagnesianos de hornblenda, augita y piroxenos, dentro de una matriz de plagioclasas. La textura de las rocas es vesicular y presenta un intenso fracturamiento originado por el enfriamiento de las lavas (Magaña, 2003) (Fig. 24).



Figura 24. Domo Tecuatzi visto desde el flanco norte, presenta una morfología convexa simétrica (Google Earth, 2013).

La Delegación Iztapalapa se asienta sobre una superficie compleja, constituida por una alternancia de depósitos lacustres, fluviales y piroclásticos (arcillas, limos y arenas), con diferente grado de consolidación y espesor. De acuerdo con Carreon (2011), existen dos secuencias de este tipo de materiales, una de ellas está bien definida entre 2-15.5 m de profundidad y un segundo grupo que se ubica a un nivel más profundo entre los 150 - 300 m. Estos datos son resultado de 8 sondeos realizados en el área que cubre la delegación (Fig. 25).

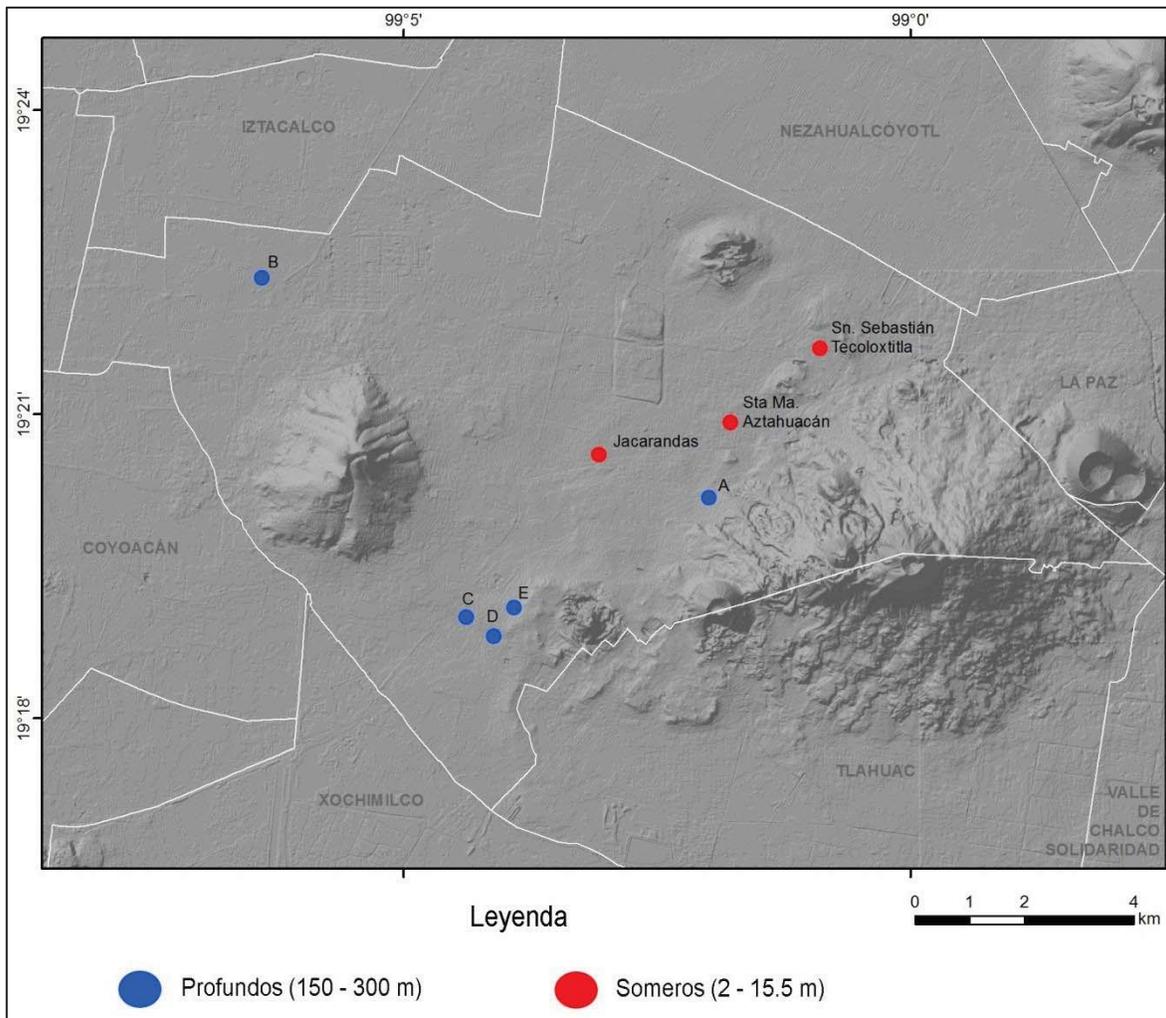


Figura 25. Localización de pozos de muestreo.

Los sedimentos considerados como someros se componen de arcillas de alta plasticidad (CH), limos orgánicos deformables (MH), una mezcla de ambos (OL-ML) y material volcánico compacto (Fig. 26). Estos materiales tienen un alto contenido de minerales ferromagnesianos de montmorillonita; silicato que permite los detritos tener una capacidad

importante de absorber gran cantidad de líquido, lo que permite la existencia de un índice de plasticidad que varía entre 20 y 70 %; mientras que los limos tienen un límite de maleabilidad de 30 %. Hay que mencionar que en todos los casos, la cantidad de agua contenida supera su capacidad de retención, lo que ocasiona una débil cohesión entre las partículas y una elevada deformación del sustrato en superficie.

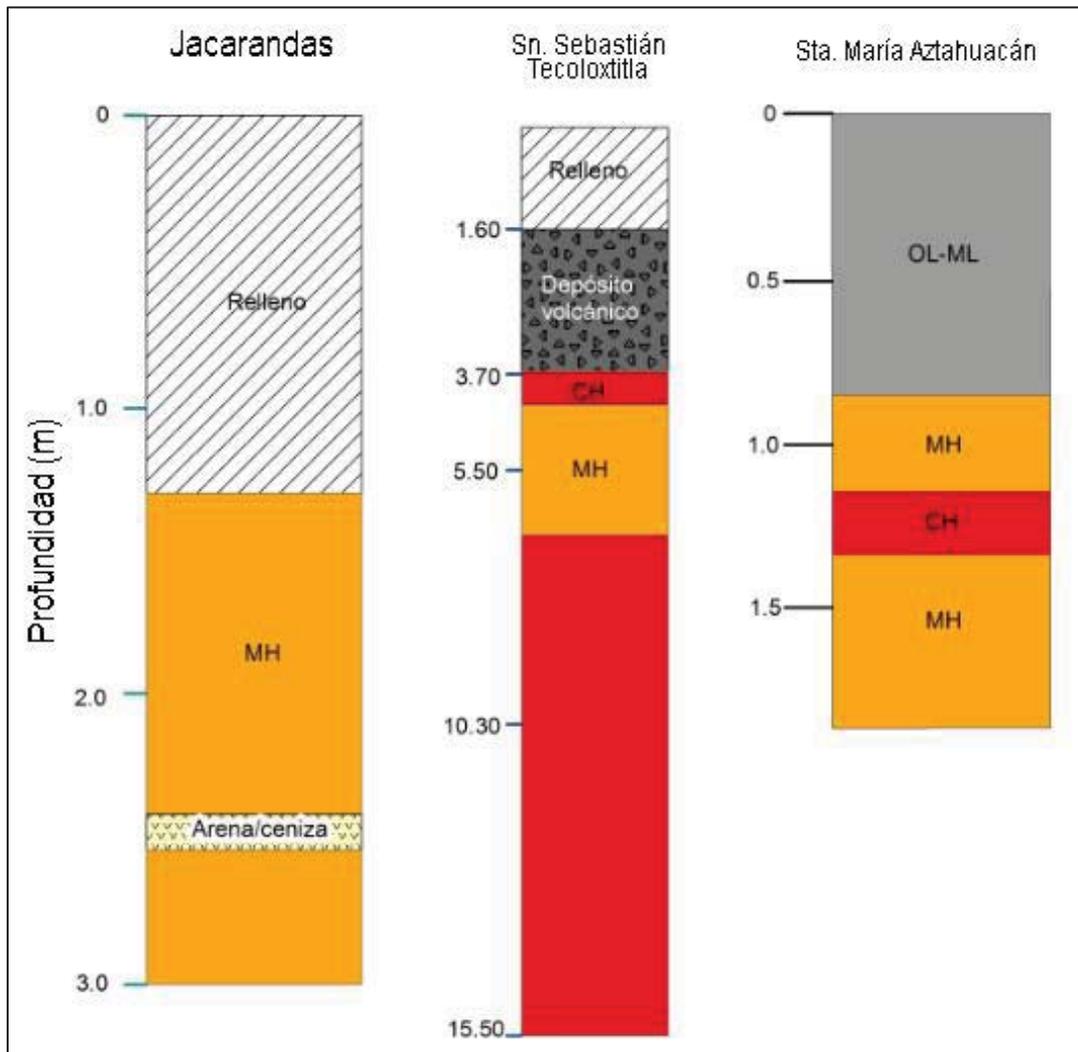


Figura 26. Columnas estratigráficas someras en las colonias Jacarandas, Santa María Aztahuacán y San Sebastián Tecoloxtitla. Arcillas de alta plasticidad (CH), limos orgánicos deformables (MH), una mezcla de ambos (OL-ML) y material volcánico compacto (Carreón, 2011).

En el grupo más profundo los sedimentos evidencian una variación en su arreglo y espesor, los menos consolidados (arcillas, limos y arenas) tienen un grosor que varía de 30 a 90 m y se intercalan con depósitos volcánicos una amplitud promedio de 20 m (Fig. 27).

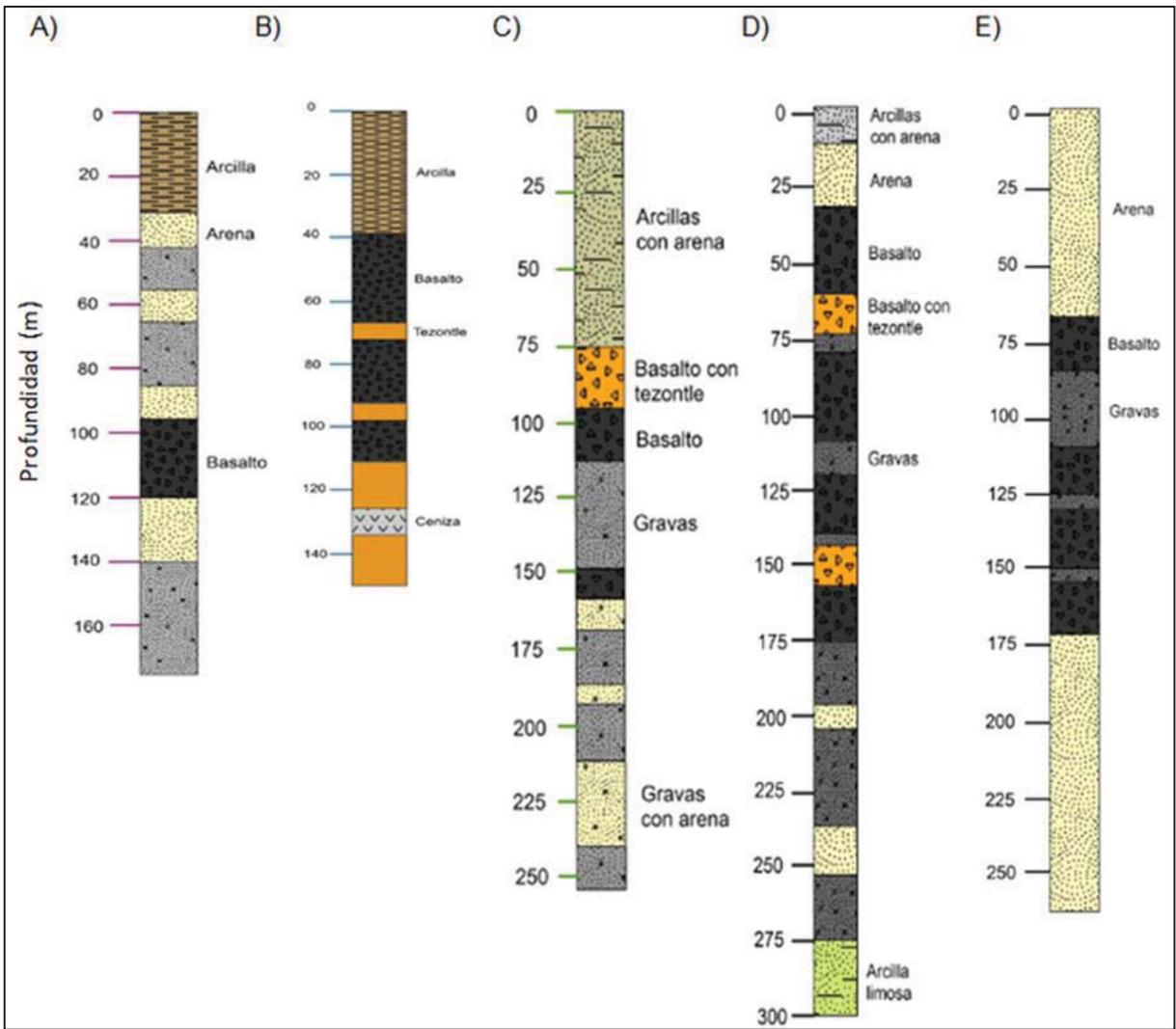


Figura 27. Columnas estratigráficas profundas realizadas en las colonias A) Santa Cruz Meyehualco; B): Purísima Atlazopa; y en Lomas de San Lorenzo (C; D y E) (Carreón, 2011).

Capítulo 3. Análisis morfométrico y zonas geomorfológicas

El estudio morfométrico se encarga de cuantificar rasgos y elementos del relieve, es una herramienta de análisis que permite comprender la dinámica de procesos exógenos que modelan la superficie terrestre (Lugo-Hubp, 1998). Con este fin en el presente trabajo, se elaboró el mapa altimétrico y el de inclinación del terreno.

3.1 Mapa altimétrico.

Esta cartografía simplifica las curvas de nivel, las presenta en franjas altitudinales esto permite delimitar unidades morfológicas como planicies, piedemontes y montañas. Los límites altitudinales de estas regiones están en estrecha relación con la génesis, la litología y los procesos de modelado.

La elaboración de este mapa se hizo de acuerdo a los criterios de Lugo-Hubp (1988), en él se hacen recomendaciones en cuanto al manejo estadístico de la información, así como al diseño de la cartografía. En el primer caso, la selección de los intervalos altitudinales deberá estar en función del tipo de relieve que se estudia. De esta manera será posible el contraste entre las elevaciones, hecho que facilitará la interpretación. La segunda recomendación, hace alusión a la selección de colores, de fríos a cálidos, con el fin de lograr un efecto de profundidad y evidenciar la heterogeneidad entre pisos altitudinales.

Los datos altitudinales se obtuvieron del Modelo Digital de Elevación de INEGI (2007) y en su análisis se utilizó el método de interpolación Kriging¹ de ArcGIS 10.1. Con este procedimiento se obtuvieron cuatro mapas altitudinales, cada uno de ellos se analizó bajo un criterio geomorfológico; es decir, se buscó el que mejor reflejara la morfología y los límites de las planicies, el piedemonte y montaña. En este proceso se utilizó el mapa topográfico, fotografías aéreas (INEGI, 2000; 1:20,000) y el modelo LiDAR (INEGI, 2007). Los intervalos seleccionados son tres el primero tiene un rango de 40 m, el segundo una amplitud de 90 m y el último de 400 m (Fig. 28).

¹ Método de interpolación geoestadístico utilizado para explicar la variación de la superficie, por medio de factores como la ubicación, distancia y disposición espacial entre los puntos medidos.

Rangos	Elevaciones (msnm)
1	2220-2260
2	2260-2350
3	2350-2750

Figura 28. Intervalos altitudinales que se usaron en la elaboración del mapa altitudinal definitivo.

Los rasgos morfológicos de mayor peso para la elección de los intervalos altitudinales y su representación en el mapa definitivo, fueron el límite distal de los flujos de lava tempranos asociados a la Sierra de Santa Catarina. Del mismo modo, la sobreposición bien definida entre coladas. Del mismo modo se hacen evidentes las estructuras volcánicas aisladas, se trata de edificios cubiertos parcialmente por detritos de distinto origen (Fig. 29). La interpretación de cada unidad es la siguiente:

I. Planicie lacustre. Esta unidad se dispone entre los 2220 a los 2250 msnm, ocupa el sector central de la zona de estudio y su principal característica es la escasa diferencia altitudinal. La morfología de este territorio varía de subhorizontal, ondulad y de concavidad efímera; todas ellas, ligeramente inclinadas hacia norte. La continuidad de la planicie se ve interrumpida por estructuras volcánicas cuaternarias, que están parcialmente cubiertas de sedimentos de diverso origen, es el caso del volcán Yuhualixqui, Peñón del Marqués y el cerro de la Estrella. En estas mismas condiciones las coladas más tempranas de la Sierra de Santa Catarina (SE), están cubiertas por capas de distinto espesor.

Su origen se relaciona con la obstrucción de un valle fluvial en el sector sur de la actual cuenca de México, como resultado de una intensa actividad volcánica que dio origen a la Sierra del Chichinautzin hace 700,000 años (De Cserna, *et al.*, 1988). Los detritos fluviales, volcánicos y lacustres, fueron un relleno que de manera constante sepultaron la topografía irregular, de ahí se explican las distintas variaciones que tienen estos materiales a profundidad.

II. Piedemonte volcánico. La altitud de esta unidad varía entre los 2260 a los 2350 msnm y se dispone en la periferia de la Sierra de Santa Catarina y de las estructuras localizadas al interior de la planicie. La morfología es ligeramente escalonada, convexa y ondulada; en algunos sectores, existen escarpes bien definidos que se asocian a frentes de lava. Su origen es endógeno y se vincula con la emisión de coladas de lava asociadas a los distintos focos eruptivos. Otra característica del piedemonte volcánico es la presencia de cubiertas piroclásticas de distinto espesor que lo mantean. El área que ocupa el piedemonte es de 57.8 km².

III. Montaña. Está representada por la Sierra de Santa Catarina y su altitud varía de los 2350 y los 2750 msnm; al interior de esta unidad, existen contrastes altitudinales muy marcados en distancias cortas, característica que pone en evidencia los diferentes conos de escoria que la integran.

Su origen es resultado de un vulcanismo monogenético (Sierra de Santa Catarina y Peñón del Marqués) y poligenético (Cerro de la Estrella). Con respecto a la morfología los primeros se reconocen por presentar una forma de cono truncado y los segundos por un cono-escudo de cima convexa. El área de este territorio es de 10.8 km², dato aproximado.

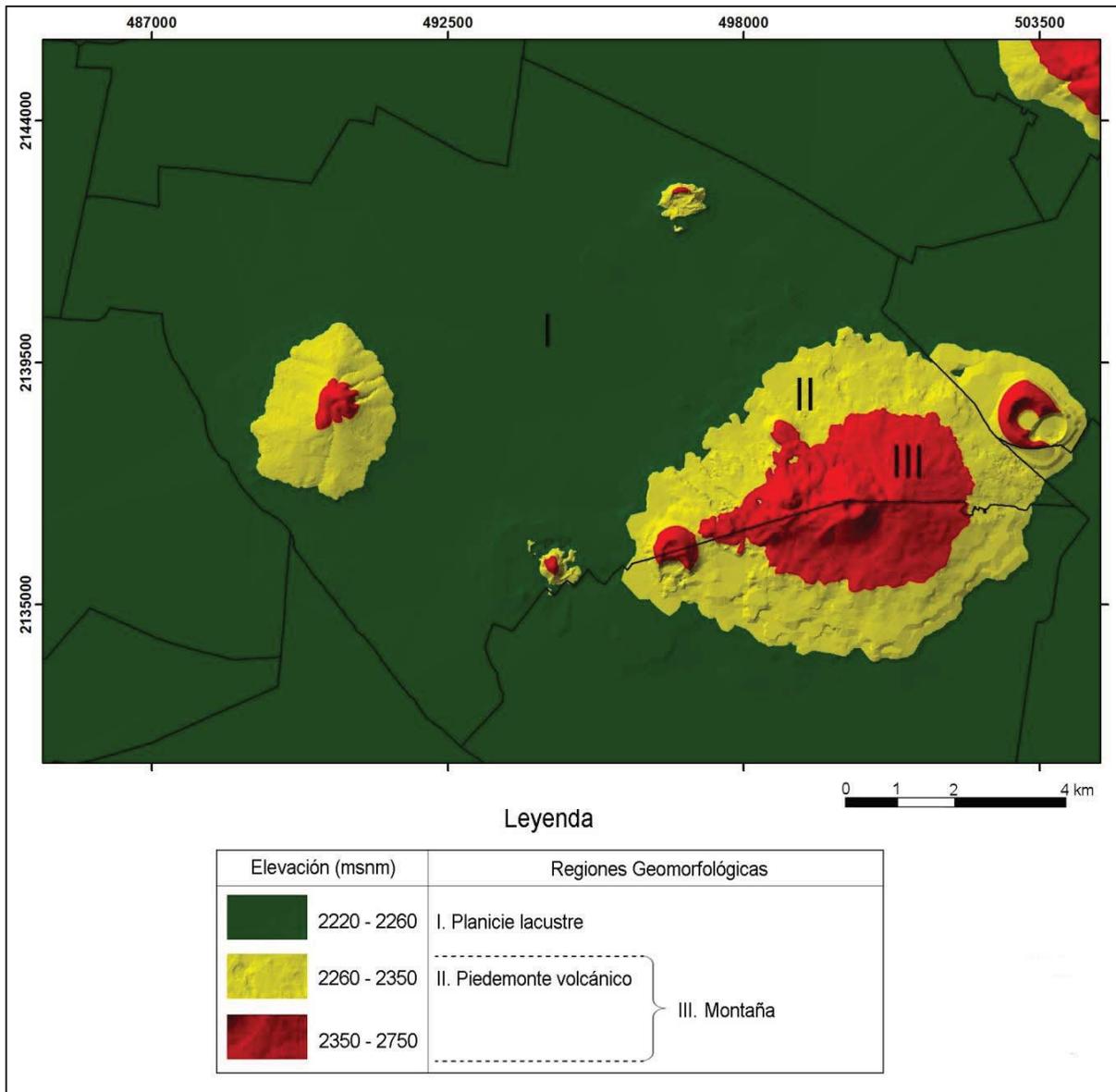


Figura 29. Los dominios geomorfológicos de la zona de estudio, están reflejados en el mapa altimétrico: I. Planicie lacustre; II. Piedemonte y III. Montaña.

3.2 Mapa de inclinación del terreno.

Este documento permite caracterizar el relieve a partir de su ángulo de inclinación, información que nos permitió lograr un mayor detalle en los límites de las unidades geomorfológicas. De manera indirecta fue posible identificar las áreas vulnerables a peligros geomorfológicos, como inundaciones (terrenos subhorizontales y deprimidos) y procesos de ladera en áreas de fuerte inclinación (desprendimientos).

En la realización del mapa se utilizó el programa ArcGIS y una base topográfica 1:10000 y con equidistancias de curvas de nivel cada 5 m. Esta información fue extraída de un modelo LiDAR (INEGI, 2007), con precisión de 5 m en la horizontal y 1 m en la vertical. La selección definitiva de los valores de inclinación en cada intervalo (Fig. 30), se estableció luego de realizar 8 diferentes pruebas, de esta manera se obtuvo el mapa final (con nueve rangos), que refleja variaciones mínimas de inclinación y profundidad que existen en la planicie lacustre. En la zona de montaña quedaron reflejados los flujos de lava, sus frentes y los rasgos morfológicos más sutiles de los conos de escoria.

Rangos	Inclinación (°)
1	0 - 0.1
2	0.1 - 0.3
3	0.3 - 0.5
4	0.5 - 2
5	2 - 6
6	6 - 12
7	12 - 20
8	20 - 35
9	> 35

Figura 30. Rangos utilizados en el mapa de pendientes. Estos valores reflejan las condiciones naturales de la zona de estudio, su selección implicó un análisis detallado del relieve, interpretación de fotografías aéreas 1:2000 y recorridos de campo.

En el análisis del mapa de inclinación del relieve, se toma en cuenta las regiones morfológicas, de esta manera se logra un análisis detallado y es el siguiente:

I. Planicie lacustre. Presenta una inclinación que varía de 0° a 6° , la superficie es subhorizontal, ondulada y ligeramente inclinada hacia el norte, en donde se registra su altitud más baja (2220 msnm). La altitud aumenta de forma escalonada treinta metros hasta alcanzar los 2250 msnm en el sector meridional de la zona de estudio. La morfología está muy ligada a los procesos dinámicos del relieve, las condiciones descritas vinculan a este territorio con las inundaciones (lluvia estacional y ciclónica), este es el proceso más recurrente y llega a representar un peligro para la población (Fig. 31).

II. Piedemonte volcánico. Es una sobreposición de coladas de lava que se interdigitan con la planicie lacustre en la medida que se alejan de su foco emisor (volcán de escorias). La inclinación del terreno en esta unidad es 6° a 20° y su morfología es en gradería *suavizada*; cada escalón se asocia a un frente o escarpe de lava. Las capas que cubren esta superficie son de piroclastos o lacustres; los primeros, son más frecuentes en la medida que el piedemonte se aleja de la planicie en dirección a los edificios volcánicos. Cuando las lavas se relacionan con los depósitos lacustres el relieve característico de los flujos se difumina y llega a adoptar una expresión de lomeríos.

Existe un rasgo que hay que resaltar en este sector y se asocia con la extracción de materiales para la construcción, en particular lo que denominan como *pedra*. Esta práctica ha dejado en el relieve depresiones de varios tamaños (pequeñas minas a cielo abierto), localizadas generalmente en el sector más distal de los flujos lávicos, entre la planicie y el piedemonte. En este sector la existencia de vías de comunicación sobre superficies planas facilita su transporte para su comercialización (Fig. 31).

III. Montaña. El valor de inclinación del terreno en esta zona varía entre $> 20^{\circ}$ y 35° , este rango es el que tiene una mayor distribución; no obstante, existen laderas con pendientes cercanas a los 70° , condición que es característica de las paredes excavadas para la extracción de materiales en las minas a cielo abierto.

La zona de montaña es de origen volcánico efusivo, se conoce con el nombre de Sierra de Santa Catarina y está constituida por ocho focos de emisión (de piroclastos y lavas) que se alinean en dirección E-W.

Los volcanes de escoria representan la cumbre de este morfolineamiento, excepto los que se localizan en el extremo occidental (Yuhualixqui, Mazatepec y Tetecón). Estas estructuras están parcialmente cubiertas por sedimentos lacustres y piroclastos, hecho que las coloca al nivel de la planicie. Esta característica los ha llevado prácticamente a su extinción, debido a una intensa explotación de los materiales que los constituyen (bloques, gravas, gravillas, arenas). La cercanía de insumos para la construcción en un entorno urbano en constante crecimiento (Ciudad de México), favorece esta práctica. En la actualidad la morfología primaria de los edificios volcánicos está en constante evolución, el proceso modificador se conoce como antrópico.

El Cerro de la Estrella y el Peñón del Marqués se consideran dentro del rubro (montaña), por su altitud y por sus dimensiones. No obstante se trata de estructuras individuales en la que la mayor parte de sus edificios está cubierta por lavas, piroclastos y depósitos lacustres. La primera estructura interrumpe la continuidad de la planicie lacustre de forma gradual, su morfología es de escudo y la inclinación de sus laderas varía de forma gradual de 2° a 35°.

El Peñón del Marqués localizado al norte de la Sierra de Santa Catarina es un volcán de escorias, la cercanía con la planicie lacustre lo hizo vulnerable a la explotación de sus materiales a través de amplias minas a cielo abierto. En la actualidad esta práctica se ha suspendido y estos espacios han sido aprovechados para la construcción de unidades habitacionales que son afectadas por desprendimientos de piroclastos poco compactados en las laderas cercanas (Fig. 31).

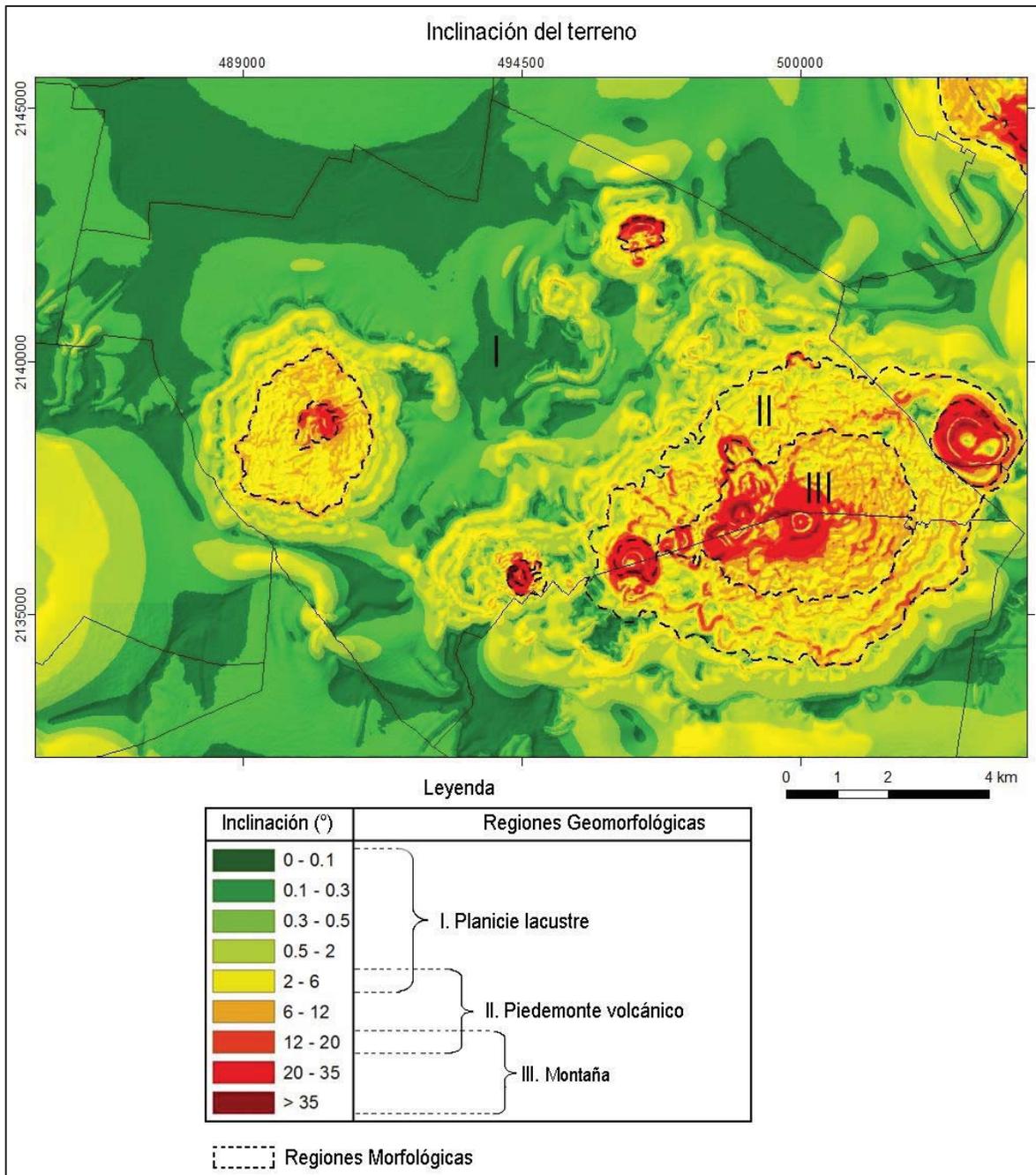


Figura 31. Mapa de inclinación del terreno y regiones geomorfológicas: I. Planicie lacustre; II. Piedemonte volcánico y III. Montaña.

Consideraciones finales del capítulo 3

El análisis morfométrico se realizó de acuerdo a las características del relieve en estudio y permitió zonificar dos peligros geomorfológicos presentes en este territorio: las inundaciones y los procesos de ladera. Los mapas morfométricos representan la primera aproximación a la dinámica y evolución de este relieve en este territorio. Los resultados que se obtuvieron se estudiarán y correlacionarán con el levantamiento geomorfológico, estos dos aspectos representan el punto de partida en la elaboración del mapa de peligros.

Capítulo 4. Geomorfología

La geomorfología es la ciencia que permite estudiar la arquitectura de la superficie terrestre, expresada a través de una gran variedad de formas del relieve, que pueden ser clasificadas de acuerdo a su origen (endógeno o exógeno), expresión morfológica (cóncava, convexa, plana, mixta), el arreglo de sus materiales (estratos, masivo, detrítico), su historia evolutiva, así como por su edad (relativa o absoluta).

El mapa geomorfológico fue elaborado a partir de la interpretación de 52 fotografías aéreas (INEGI, 2000) a escala 1:20,000, los resultados fueron representados en un Modelo LiDAR de alta resolución (5 m en la horizontal y 1 m de precisión vertical: INEGI, 2007). De la misma forma, se utilizaron dos mapas morfométricos (inclinación y altitud) y reconocimiento en campo.

La interpretación final del mapa geomorfológico, se apoyó en el análisis de la cartografía temática existente, en particular la geológica. De la misma forma fueron revisados artículos científicos recientes que trataban de manera directa la zona de estudio y otros, en donde los datos de nuestra zona de interés tuvieron que ser interpretados.

En el proceso de elaboración de la cartografía geomorfológica destaca la interpretación de fotografías aéreas que tuvo como fin identificar formas de relieve, en particular las de origen volcánico (zonas de montaña y piedemonte). De esta manera fue posible reconstruir la expresión morfológica y el alcance territorial de las coladas de lava más tempranas, asociadas a los diferentes focos eruptivos de la Sierra de Santa Catarina, que están sepultadas por los depósitos lacustres.

El Modelo LiDAR (INEGI, 2007) permitió analizar un relieve uniforme sin aparentes cambios morfológicos ni topográficos como lo son, las planicies lacustres. De esta manera fue posible caracterizar estas superficies en superiores, intermedias e inferiores, el punto de partida de este criterio fue la morfología, su inclinación y altitud.

La cartografía geomorfológica proporciona información relevante sobre el origen y la morfología que presenta el relieve, como respuesta de la acción que tienen los distintos agentes de modelado sobre ellas. La dinámica y evolución de las formas terrestres está manifiesta en este tipo de documento; por ello, se considera al análisis geomorfológico como el punto de partida más idóneo para identificar peligros naturales, en particular las inundaciones, los deslizamientos de tierra y las subsidencias del terreno. Por esta razón se usó este criterio en la elaboración del mapa final: peligros geomorfológicos de la Delegación Iztapalapa.

4.1 Clasificación del relieve

El mapa geomorfológico de la Delegación Iztapalapa es resultado de la aplicación conjunta de métodos de trabajo indirectos (fotointerpretación y morfometría) y directos (estudio de campo). En este documento se clasifican las formas del relieve de acuerdo a su origen (endógeno, endógeno-modelado, exógeno, antrópico) y se analizan a detalle. Para ello a continuación se muestra la clasificación genética de la zona de estudio.

I. Relieve endógeno

Volcánico acumulativo

1.1 Edificios volcánicos explosivos:

a) Cineríticos:

Yuhualixqui

Xaltepec

Tetecón

Mazatepec

Sin nombre

Guadalupe

Peñón del Marqués

b) Freatomagmático

La Caldera

Formas asociadas al relieve volcánico explosivo:

- a) Cráter
- b) Ario
- c) Fondo de cráter
- d) Labio de cráter
- e) Cicatriz de deslizamiento volcánico
- f) Hummock
- g) Llanos volcánicos

1.2 Edificios volcánicos efusivos:

- a) Volcán de lava con cima convexa
- b) Volcán de lava con morfología de pseudoescudo
- c) Domos

Formas asociadas al relieve volcánico efusivo

- a) Boca volcánica
- b) Cráter asociado a volcán de lava.
- c) Atrio asociado a volcán de lava
- d) Fondo de cráter asociado a volcánico

1.3 Coladas de lava

- a) Asociadas a la Santa Catarina y al *Cerro de la Estrella*
- b) Cubiertas por sedimentos lacustres, caídas y proluviaciones

Vinculadas a otros focos eruptivos:

- b) Volcán Xitle
- c) Volcán Magdalena
- d) Volcán Chimalhuacán

II. Relieve endógeno modelado

2.2 Volcanes, domos o crestas de lava.

III. Relieve exógeno

3.1 Erosivo

a) Cauces fluviales

3.2 Acumulativo

a) Planicie lacustre superior (2245 msnm)

b) Planicie lacustre intermedia (2225 – 2245 msnm)

c) Planicie lacustre inferior (2225 msnm)

IV. Relieve antrópico

a) Laderas volcánicas transformadas: Terrazas, terraplones y circos de erosión

b) Depresiones de extracción

c) Terrenos nivelados

d) Bancos de material

Símbolos complementarios

Límite inferido

Escarpes

Altura relativa entre unidades

I. Relieve Endógeno.

Es el conjunto de formas de relieve creadas a partir de la dinámica interna de la Tierra: procesos tectónicos, magmáticos y volcánicos. De esta manera, la corteza terrestre experimenta una constante transformación, misma que da como resultado la creación de una gran variedad de morfologías tanto positivas como negativas. Su reconocimiento está en función de la conservación de los rasgos físicos primarios.

Volcánico acumulativo.

Esta categoría hace referencia a formas del relieve, creadas por la acumulación de materiales ígneos expulsados hacia la superficie, mediante procesos volcánicos de carácter explosivo o efusivo. El primero de ellos definió conos cineríticos formados por mecanismos magmáticos y freatomagmáticos, llanos volcánicos y depósitos de avalancha (Hummock). Mientras que al segundo estilo eruptivo, se le atribuye la creación de volcanes de lava de cima convexa y de morfología en pseudoescudo, domos y coladas de lava.

1.1 Edificios volcánicos explosivos

Su origen se asocia con variaciones en las propiedades físicas, químicas y acumulaciones de gases en el magma. Lo que produce un aumento de presión en los volátiles, hecho que favorece fases explosivas violentas. Los conos cineríticos son el resultado de este tipo de actividad y se elevan varios cientos de metros, debido a la acumulación de materiales expulsados a partir de un foco emisor (ceniza, piroclastos y lava).

a) Cineríticos

De acuerdo con Lugo-Hubp (2011), estas estructuras tienen morfología de cono truncado y se forman por la acumulación de lavas y piroclastos, que se depositan en los márgenes de la chimenea. En la mayoría de los casos, presentan un cráter en la parte superior, la inclinación general de sus laderas varía de 30° a 40°.

La mayor parte de los edificios volcánicos de la Sierra de Santa Catarina son de este tipo (Yuhualixqui, Xaltepec, Tetecón, Sin nombre, Mazatepec y Guadalupe); de la misma forma el Peñón del Marqués, que no pertenece a este conjunto.

Volcán Yuhualixqui

Es la estructura más temprana de la secuencia que constituye la Sierra de Santa Catarina. La morfología original de sus laderas ha sido transformada casi en su totalidad por una intensa actividad minera; sin embargo, todavía es posible distinguir su fisonomía cónica. Tiene una altitud de 2409 msnm, lo cual representa un desnivel de 176 m en relación con planicie, el eje mayor en su base de 662 m (N-S) y 430 m el menor (W-E).

Los rasgos originales que se conservan son los de la ladera sur (72 m de altura y 30° de inclinación) y el fondo de cráter. El resto del edificio ha sido transformado por numerosas minas a cielo abierto, las pendientes de estas superficies de extracción son $>$ a 45° y sobre ellas se presentan desprendimientos constantes de detritos.

El fondo de cráter representa una porción menor de lo que fue superficie original, su área actual de 3,947 m², su morfología es sub-horizontal, mantiene una forma elíptica en donde el eje mayor alcanza 80 m y está orientado al NO-SE; mientras que el menor, mide 35 m y mantiene un rumbo SO-NE (Fig. 32).

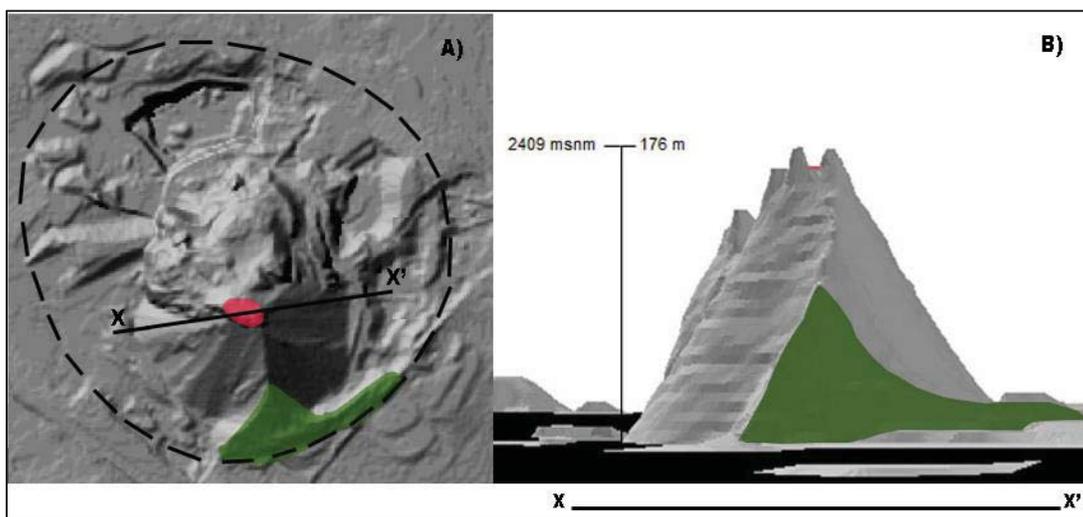


Figura 32. Volcán Yuhualixqui. A) La vista en planta muestra al edificio volcánico en un estado avanzado de destrucción debido a la extracción de sus materiales, la línea punteada indica el perímetro original del cono cinerítico; los rasgos morfológicos primarios que aún se conservan son el fondo de cráter en rosa y una parte de la ladera sur en color verde. B) Trayectoria del perfil topográfico (x-x'), que muestra la ladera original (en verde).

Volcán Xaltepec

Es el segundo cono volcánico de la Sierra de Santa Catarina (de E-W), su morfología es de cono truncado simétrico, en donde el eje mayor de su base, alcanza los 1.17 km y se orienta E-W. En su cima se reconoce un cráter con una amplitud de 379 m, que está rodeada por laderas que se inclinan 30° y convergen hacia él (atrio), la profundidad promedio es de 78 m. Esta estructura conserva un rasgo morfológico primario que se vincula con la juventud de todo el edificio, se trata del *labio de cráter* que se dispone entre

las laderas interiores del atrio y las laderas exteriores, presenta una amplitud que varía entre los 13 y los 39 m.

El Xaltepec se levanta 267 m sobre la planicie lacustre, su altitud es de 2500 msnm y la mayoría de sus laderas conserva la morfología original (30° de inclinación). Cabe mencionar que esta estructura está en peligro de modificar su fisonomía, ya que ha iniciado sobre su base oeste y sur la explotación minera (Fig. 33).

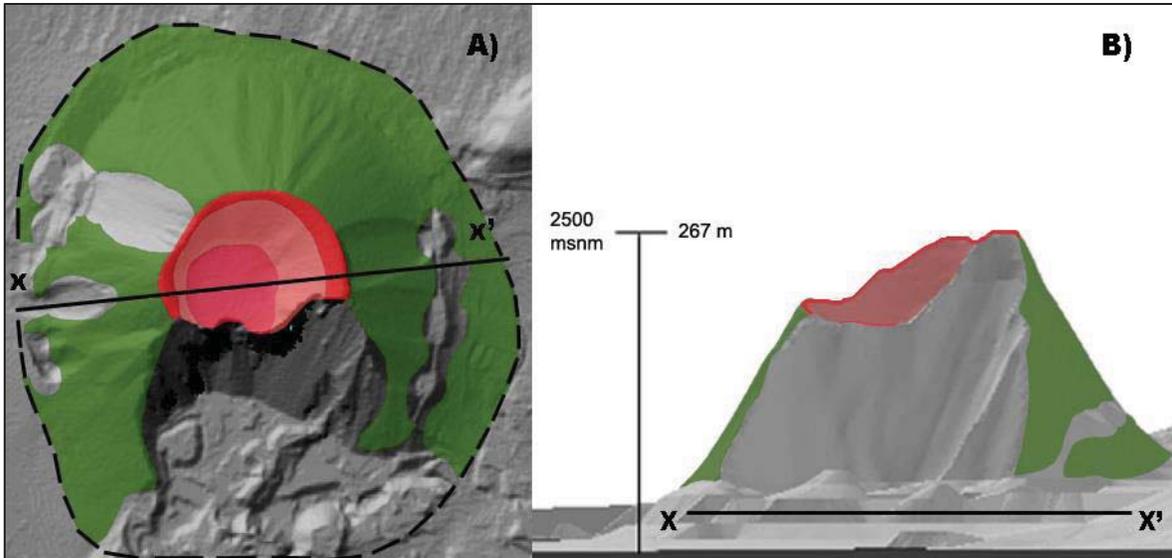


Figura 33. Volcán Yuhualixqui. A) La vista en planta muestra la afectación del cráter (en tonos rosas), las laderas originales (en verde) y las minas a cielo abierto (en gris). La línea punteada señala la circunferencia original del edificio volcánico. B) Perfil topográfico (x-x') que muestra el avance de la actividad minera en el flanco sur de esta estructura, el sector norte del atrio y en menor medida las vertientes que conservan la morfología original.

Volcán Tetecón

Es la segunda estructura volcánica con mayor alteración de la Sierra de Santa Catarina, en él la actividad minera a cielo abierto ha sido muy intensa, lo que ha provocado un cambio total de su morfología. Algunos de sus rasgos primarios fueron reconocidos en el año 1994 en un artículo elaborado por Lugo-Hubp et al. En este documento mencionan que la altitud era de 2480 msnm, en la actualidad presenta 2411 msnm; es decir, una disminución vertical de 69 m en un transcurso de 20 años.

Los rasgos primarios que conserva esta estructura son los más altos, en estos sectores no ha llegado la explotación de materiales y se reconocen algunos pequeños sectores de las laderas interiores del cráter (atrio) y una parte de su fondo, que presenta una morfología sub-horizontal y en la actualidad su área es de 0.71 ha (Fig. 34).

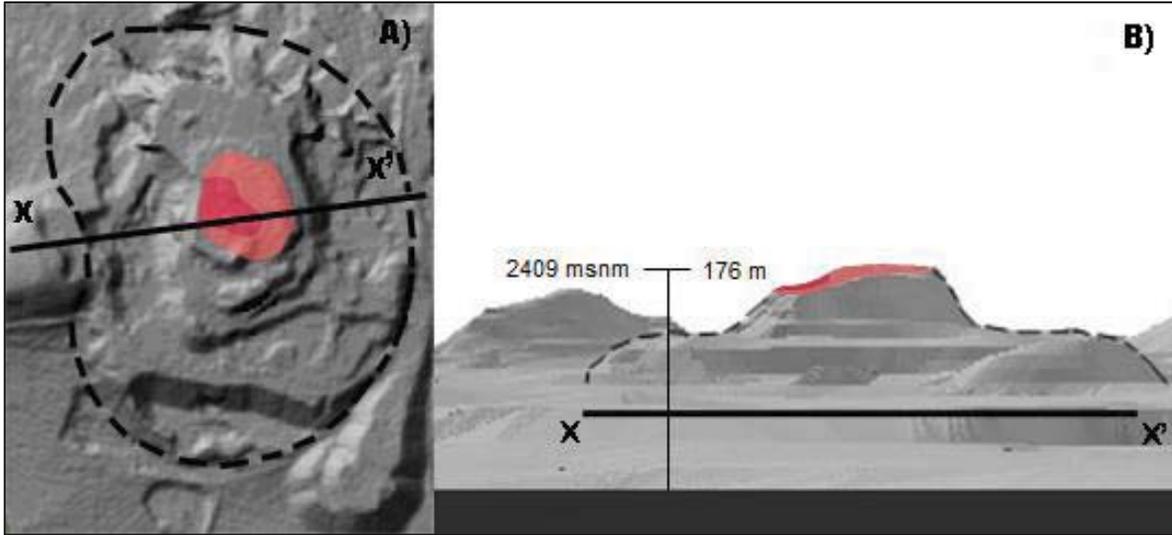


Figura 34. Volcán Tetcón. A) La vista en planta evidencia el avanzado deterioro del edificio volcánico, debido a la intensa extracción de sus materiales. Las formas originales de relieve que no han desaparecido por completo son el fondo y atrio del cráter. La línea punteada indica la circunferencia original de esta estructura. B) Trayectoria del perfil topográfico (x-x'), que muestra la porción relicto del cono cinerítico.

Volcán *sin nombre*

Es el cuarto edificio volcánico de la Sierra de Santa Catarina, presenta una morfología de cono trucado, sus laderas son convexas y están inclinadas a 30°. Hay que mencionar que esta estructura también ha estado sujeta a la intensa extracción de materiales, por esta razón los sectores norte, noroeste y sur son los más afectados.

En la cima del volcán *sin nombre* se mantiene un cráter que aún conserva sus rasgos morfológicos primarios (labio y atrio); en su porción sur, existen dos domos de lava que por su posición altitudinal y su morfología se presume que fueron las últimas manifestaciones que estuvieron asociadas con la actividad del edificio en cuestión.

La altitud máxima del volcán *sin nombre* es de 2 552 msnm; es decir, se eleva 319 m respecto a la planicie lacustre más inmediata a él. Hay que mencionar que el sector noreste del cono cinerítico está cubierto por otro edificio volcánico que tuvo un emplazamiento posterior y se conoce con el nombre de volcán Mazatepec (Fig. 35).

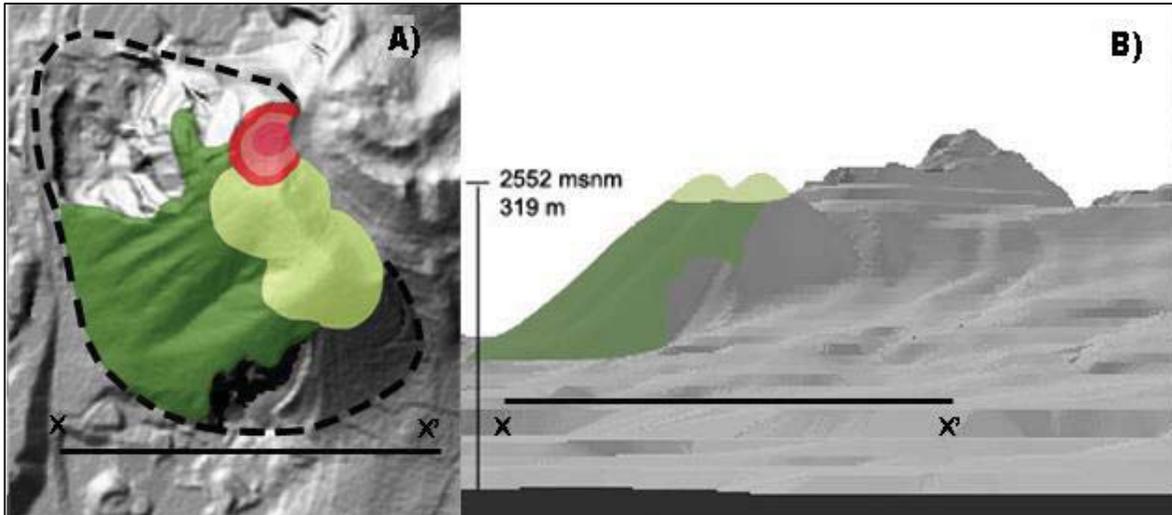


Figura 35. Volcán *sin nombre*. A) Vista en planta que muestra la vertiente original del cono en verde oscuro, los elementos que componen el cráter (labio, atrio y fondo), en tonos de color rosa, el emplazamiento de un par de domos de lava (en verde claro), asociados con la última actividad de la estructura principal, así como los sectores (NO y SE) afectados por la extracción de materiales. La línea punteada indica la circunferencia original del edificio volcánico. B) Trayectoria del perfil (x-x') que muestra las laderas originales en verde oscuro y las dos estructuras de lava en verde claro, con morfología de domo.

Volcán Mazatepec

Es el segundo cono cinerítico con mayor altitud de la Sierra de Santa Catarina (2574 msnm), su altura relativa con respecto a la planicie inmediata es de 341 m. La morfología del volcán es irregular, debido a que en su periferia se emplazaron otros edificios (cineríticos y domos) que de manera paulatina, lo deformaron y lo cubrieron de manera parcial por lavas, en su sector norte y sureste, estas últimas asociadas al volcán Guadalupe.

La morfología de sus laderas son rectas y en algunos sectores ligeramente convexas, la inclinación de estas superficies no supera los 35°. En su cima hay evidencia de por lo menos tres cráteres, el mayor está ocupado por dos estructuras dómicas de 135 m de diámetro, que imprimen una morfología de tres medias lunas al territorio cimero. Los dos

más pequeños están se localizan al noreste y están separados del principal por una tercera estructura dómica con respecto al principal (Fig. 36).

El tercer domo cimero es el de mayor tamaño, alcanza 29 m de altura y un diámetro de 155 m. Su geometría es convexa, su morfología es de campana con laderas de fuerte inclinación (35°). La variedad de estructuras volcánicas que existen en el Mazatepec, pone evidencia los siguientes estilos eruptivos; al inicio explosivo y al término de la actividad efusiva, este último fue el responsable de la existencia de los tres domos ya descritos (Fig. 36).

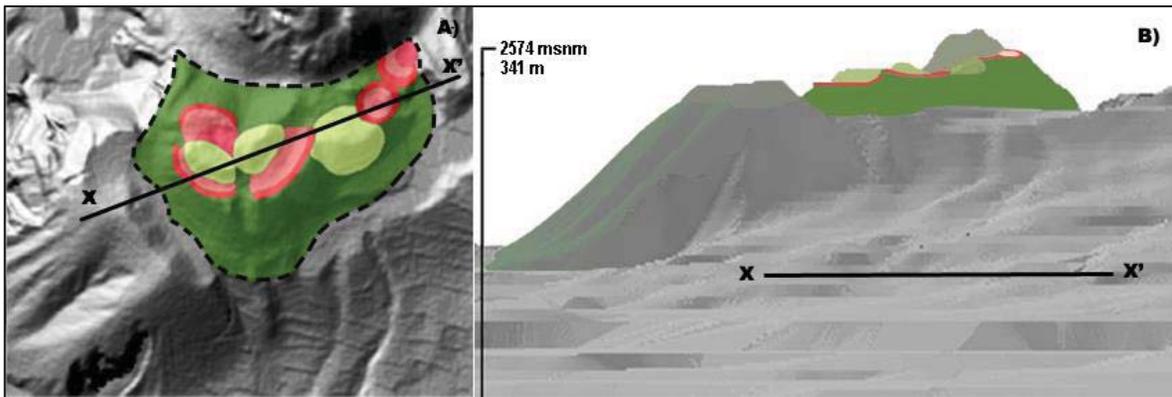


Figura 36. Volcán Mazatepec. A) Vista en planta que muestra el cráter principal y los dos domos que lo fragmentan (centro); al NE un domo de lava de mayor tamaño, el cual es secundado por un par de cráteres adventicios alineados en la misma dirección. En color verde oscuro las laderas originales y en línea punteada el perímetro del volcán. B) Trayectoria del perfil topográfico (x-x') donde se aprecian las vertientes originales en verde oscuro, los tres *labios* de cráter en color rosa y las tres estructuras dómicas en verde claro.

Volcán Guadalupe

Es la estructura más importante de la Sierra de Santa Catarina, su altitud es de 2 751 msnm y su altura relativa con respecto a la planicie es de 518 m. El diámetro de su base alcanza los 1.78 km y su radio más representativo tiene 1.04 km. La morfología del volcán Guadalupe es de cono truncado ligeramente alargado en dirección SW-NE.

En su cima existe un cráter de 79 m de profundidad y un diámetro de 240 m, es importante mencionar que existe *labio* de cráter. Esta efímera forma de relieve, tiene una amplitud de 11 m, es de geometría convexa-recta y separa las ladera interiores del atrio y las vertientes externa del cono, superficies que se inclinan hasta 30° .

La existencia del *labio* de cráter, hace evidente la juventud del edificio volcánico en cuestión. Por último cabe mencionar, que las laderas norte y noroeste, están siendo transformadas a consecuencia de la extracción de materiales para la construcción, hecho que pone en riesgo la pérdida de su morfología original en poco tiempo.

La actividad eruptiva del volcán Guadalupe ha sido explosiva y ocurrió en dos periodos distintos, el primero de ellos tiene vínculo con el cráter principal y con la formación de dos bocas volcánicas; una de ellas en su interior en el sector SW, otra más a 188 m ubicada en la base de la ladera E. Esta última presentó una actividad efusiva y generó dos coladas de lava de poca extensión, una de ellas se emplazó al NW y la otra tomó dirección SE (Fig. 37).

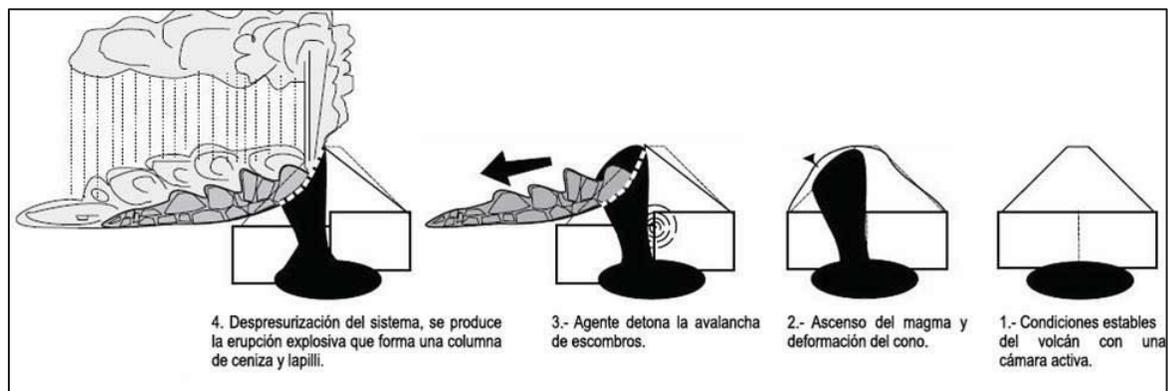


Figura 37. Esquema representativo de la dinámica de una avalancha volcánica (Roldan-Quintana, et al., 2012).

Una vez que concluye la primera fase explosiva, el volcán Guadalupe mantuvo un estado activo pero sin manifestaciones externas evidentes. En este lapso de tiempo la vertiente SW comenzó a deformarse, probablemente por el emplazamiento de un criptodomo que deformó, desestabilizó la ladera hasta colapsarla y generar una avalancha de escombros.

De acuerdo con Godoy et al., (2012), existen cinco factores que pueden ocasionar este tipo de suceso: las explosiones de domos, eventos sísmicos, por alteración hidrotermal, características del químicas del material y también por cambios climáticos.

El deslizamiento volcánico que presentó el volcán Guadalupe pudo haber tenido dos causas; la primera, asociada con la desestabilización de la estructura volcánica por el movimiento de una falla. Esta hipótesis se apoya en la existencia de una estructura disyuntiva que controla el lineamiento de volcanes que constituyen la Sierra de Santa Catarina (SW-NE).

La segunda teoría, se relaciona con un cambio en el estilo eruptivo y de composición química del material. Lo que generó un domo efusivo de composición ácida, que pudo haber sido el responsable del colapso volcánico.

El deslizamiento volcánico fue identificado a través de la fotointerpretación geomorfológica, esta vía permitió reconocer y delimitar rasgos del relieve asociados a este tipo de actividad explosiva. De manera particular, la cicatriz de deslizamiento conformada por paredes de explosión de 85 m de altura, vertientes con arreglo parabólico de 720 m de longitud máxima orientadas hacia el SW; también fue posible, identificar y calcular la amplitud de arco de esta *herradura elongada*, 450 m (Fig. 38).

Hay que mencionar que el depósito de avalancha de escombros y sus morfologías asociadas no son visibles. Están cubiertas por coladas de lava y mantos piroclásticos posteriores provenientes de otros focos eruptivos. En este sentido, hay que mencionar que solo es visible un hummock, de 12 m de altura y que se ubica a 86 m por debajo del límite superior de la cicatriz de deslizamiento y a 600 m de distancia de ella.

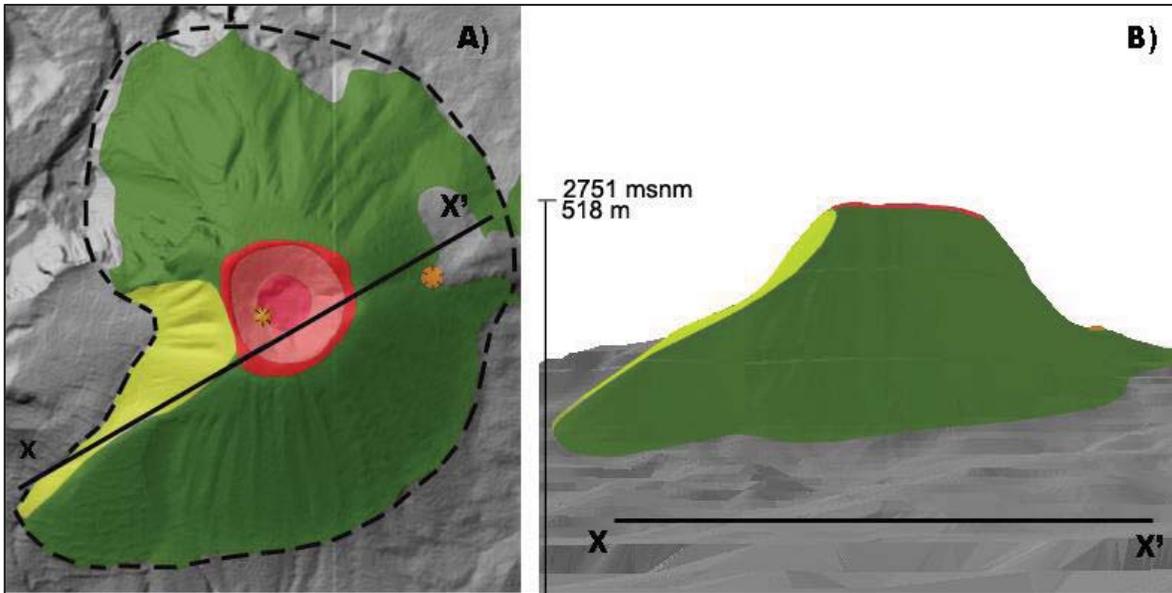


Figura 38. Volcán Guadalupe. A) La vista en planta hace evidente el lineamiento entre la cicatriz de explosión, el cono y las bocas volcánicas (anaranjado). El cráter con sus diferentes unidades en tonos de rosa (atrio, labio y fondo). B) Trayectoria del perfil topográfico (x-x') que evidencia una clara simetría del cono provocada por la explosión-deslizamiento volcánico. Las laderas originales en verde oscuro y las vertientes asociadas al colapso volcánico en amarillo claro.

Asociado al volcán Guadalupe y en la ladera NE-E, se localiza un volcán adventicio cuya base presenta un diámetro de 350 m, su altura es de 55 m y su morfología original fue de cono truncado y sus laderas presentan una inclinación máxima de 30°. En la actualidad está parcialmente destruido por el emplazamiento de lavas y un domo de 45 m de altura.

Peñón del Marqués

Esta estructura no forma parte de la Sierra de Santa Catarina y se localiza en el centro norte de la zona de estudio. Su morfología original fue de cono truncado, con laderas rectas y ligeramente convexas que se inclinan a 35°. Su altitud es de 2 371 msnm y su altura relativa con respecto a la planicie que lo rodea es de 138 m. Hay que señalar que la mayor parte del edificio ha sufrido transformaciones severas por la extracción de los materiales que lo componen, esta practica ha favorecido la creación de tajos con una inclinación superior a 70°, susceptibles a continuos desprendimientos de rocas (Fig. 39).

La mina más grande en este volcán se localiza en su centro a manera de *cajón*; una vez abandonada, se construyó la unidad habitacional “*El Paraíso*”. Por su situación este asentamiento está en riesgo por procesos gravitacionales (laderas artificiales) y de inundación. Este último aspecto favorecido por la pavimentación del suelo que no permite la filtración de agua y junto con las condiciones morfológicas de la zona urbanizada, se favorece un retardo en la evacuación de los flujos pluviales-fluviales y por tanto el peligro.

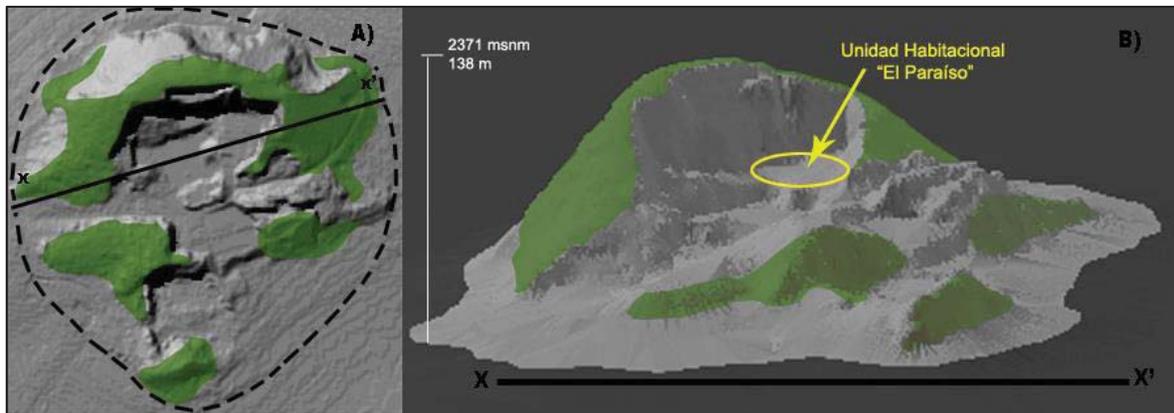


Figura 39. Volcán Peñón del Marqués. A) La vista en planta hace evidente la intensa destrucción y fragmentación del cono cinerítico, provocada por la extracción de sus materiales a cielo abierto, en color verde las laderas que aún conservan su morfología original. B) Perfil topográfico (x-x') donde destaca el corte vertical realizado en el flanco sur del volcán, a manera de cajón y en su interior la se ubica la Unidad Habitacional *El Paraíso*.

b) Freatomagmático

De acuerdo con Cashman et al., (2000), el origen de estas estructuras volcánicas se asocia con la interacción entre la masa de roca fundida (magma) y un cuerpo de agua subterráneo o en superficie. Esta combinación genera una dinámica explosiva que se caracteriza por la expulsión violenta de materiales volcánicos fragmentados, gases, y aire, hacia la superficie que dan forma a una columna de varios kilómetros de altura. El resultado morfológico en el relieve producto de esta actividad volcánica se traduce en la creación de amplios cráteres.

Volcán La Caldera

Esta estructura volcánica se localiza en el extremo centro oriental de la zona de estudio, se emplaza sobre una superficie lacustre (la más alta: 2 245 msnm). La altitud del cono es de 2 513 msnm y su altura relativa alcanza los 280 m. Su morfología es de un cono truncado elongado en dirección SE-NW; mientras su base, tiene 1,785 m de diámetro. En su cima existe un cráter doble, estas estructuras en conjunto definen una elipse en donde el eje mayor alcanza 1,170 m y se orienta en dirección E-W, las laderas que constituyen el edificio, son de escorias y lavas con inclinaciones que varían entre 20 y 35°.

La Caldera presenta labio de cráter en sus dos focos de emisión, este hecho hace que se considere una estructura reciente, pero anterior a la formación de la Sierra de Santa Catarina, este hecho se deduce por el desvío de las lavas más tempranas asociadas al volcán Guadalupe.

Con base en el razonamiento anterior y tomando en cuenta las características morfológicas representadas en el mapa geomorfológico detallado, podemos afirmar que el Guadalupe (última estructura en constituirse de toda la sierra) es más reciente que La Caldera.

Con relación a los cráteres, el primero de ellos (NW), presenta un labio de cráter con amplitud que varía entre los 16 y 21 m, sus laderas interiores se inclinan en un ángulo general de 35° y su morfología es recta-ligeramente cóncava. El fondo es sub-horizontal y ocupa un área de 1 200 m².

El segundo (SE) es menos simétrico en comparación con el anterior, presenta un eje mayor en dirección SW-NE y existe la posibilidad que el sector suroeste corresponda a un cráter menor que fue parcialmente destruido. El *labio* de cráter es amplio con 25 m, las laderas interiores del atrio son rectas y se inclinan hasta 30°, todas ellas limitan un fondo sub-horizontal (Fig. 40).

Por último queda mencionar que la ladera sur de la Caldera está siendo modificada por la extracción de sus materiales a partir de minas a cielo abierto que han creado bancos de materiales a manera de graderías y estructuras piramidales, esta práctica como en todos los edificios de la Sierra de Santa Catarina altera la morfología y magnifica la dinámica natural del relieve.

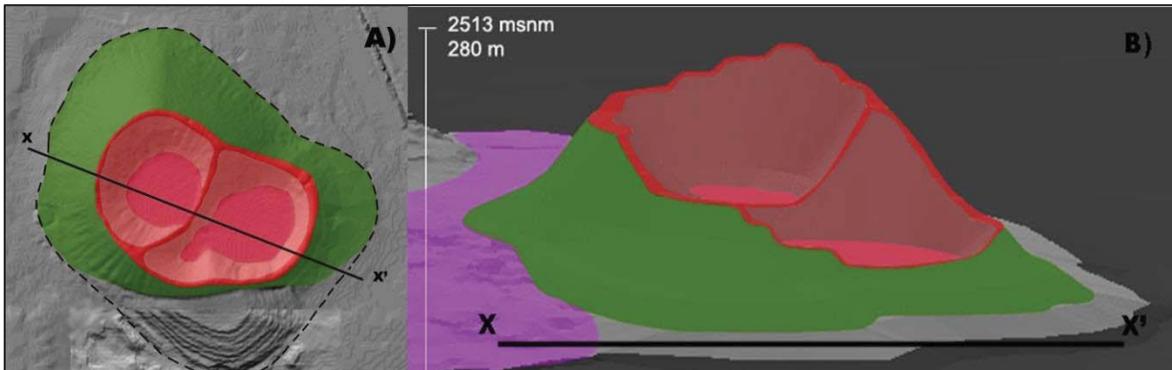


Figura 40. Volcán La Caldera. A) Vista en planta en la que se muestran las laderas originales en color verde, los elementos del cráter (labio, atrio y fondo) en tonos rosas; también se aprecia un intenso deterioro del sector sur de la estructura por la extracción de sus materiales, la línea punteada indica el límite original del edificio. B) Trayectoria del perfil topográfico (x-x') que muestra las vertientes originales del cono en verde, y los distintos componentes morfológicos de los cráteres. En morado flujo de lava tardío asociado al volcán Guadalupe.

Formas asociadas al relieve volcánico explosivo

a) Cráter

Es una depresión semicircular (vista en planta) y con forma de embudo (vista en perfil) y de diámetro variable, se reconocen en la Sierra de Santa Catarina por estar localizados en la cima, ser estructuras cerradas a manera de semi-círculos y conservar todos sus elementos primarios (labio de cráter, atrio y fondo).

b) Labio de cráter

Es una superficie sub-horizontal y ligeramente convexa de forma anular, cerrada y continua ubicada a lo largo de todo el cráter. Representa el límite entre las laderas interiores del cráter (atrio) y las que constituyen el edificio volcánico, exteriores.

c) Atrio

Está formado por laderas rectas-ligeramente cóncavas que presentan un arreglo convergente en dirección al fondo de cráter. La inclinación de estas vertientes es variable, algunas de estas formas de relieve han desaparecido a consecuencia de las minas a cielo abierto, como es el caso de los edificios Yuhualixqui y Tetecón; sin embargo, en el resto de los volcanes de la Sierra de Santa Catarina todavía se conservan.

d) Fondo de cráter

Es una superficie sub-horizontal, de dimensión variable y geometría semicircular, representa la porción más deprimida del cráter y está limitada por las laderas del atrio. En el área de estudio fueron identificados once de estos elementos, la mayoría de ellos transformados por acción antrópica.

f) Cicatriz de deslizamiento

Se trata de una superficie escarpada de forma cóncava y en herradura de 96 m de altura, su extensión máxima es de 670 m y se asocia con una erupción tipo bezymianni-Santa Elena. Este fue el evento responsable de desplazar la ladera SW al pie del volcán y formar una avalancha de escombros, depósito que no se observa por estar cubierto por lavas recientes.

g) Hummock

Es una elevación de morfología cónica que mide 12 m de altura y 233 m de longitud, está asociada al deslizamiento del sector SW del volcán Guadalupe, representa la única evidencia del depósito de avalancha, ya que la mayoría del depósito está cubierto por una colada de lava más reciente emitida por el mismo volcán.

i) Llanos volcánicos

Son depresiones que se localizan entre flujos de lava o fronteras de edificios volcánicos; su origen se vincula a la sedimentación, es un terreno donde se depositan secuencias de material piroclástico de caída (ceniza y pómez) y de acarreos fluviales (abanicos

aluviales). Su morfología es subhorizontal y presenta con una inclinación ligera. En la zona de estudio están asociados al volcán Guadalupe y su área es de 1 y 3.8 ha, respectivamente.

1.2 Edificios volcánicos efusivos

Se trata de elevaciones constituidas por derrames de lava fluidos de basalto y andesita, que fueron emitidos y acumulados alrededor de una boca eruptiva. Este tipo de actividad efusiva se desarrolla en un ambiente tranquilo, desprovisto de explosiones violentas.

a) Volcán de lava con cima convexa.

Está representada por el *Cerro de la Estrella* (2458 msnm), su geometría es convexa con un radio muy amplio a manera de escudo (1,050 m), las laderas presentan una inclinación que no supera los 20°. Hay que mencionar que no se trata de un solo volcán, al N y al SW tienen desarrollo dos conos adventicios. Estas tres estructuras son el centro de numerosas coladas de lava que se disponen a su alrededor. El patrón de drenaje que se ha desarrollado en este conjunto es radial, de baja densidad y poco integrado, es probable que la mayor parte de los valles estén cubiertos por depósitos piroclásticos provenientes de otros focos eruptivos.

b) Volcán de lava con morfología de pseudoescudo

Se trata de dos volcanes de lava con morfología de pseudoescudo y que representan los conos adventicios del *Cerro de la Estrella*, se localizan al N y al SW. Su formación se asocia a la emisión de lavas y las laderas que los conforman varían en inclinación entre 6°- 8°. La estructura N presenta un diámetro de 590 m y un área de 22 ha.

Con respecto a la estructura localizada en el sector meridional, su diámetro es de 350 m y su área de 10 ha. Por último hay que mencionar que el *Cerro de la Estrella* y sus dos estructuras adventicias, se alinean en dirección N-S y en este mismo sentido, han tenido desarrollo las coladas de lava más largas (Fig. 41).

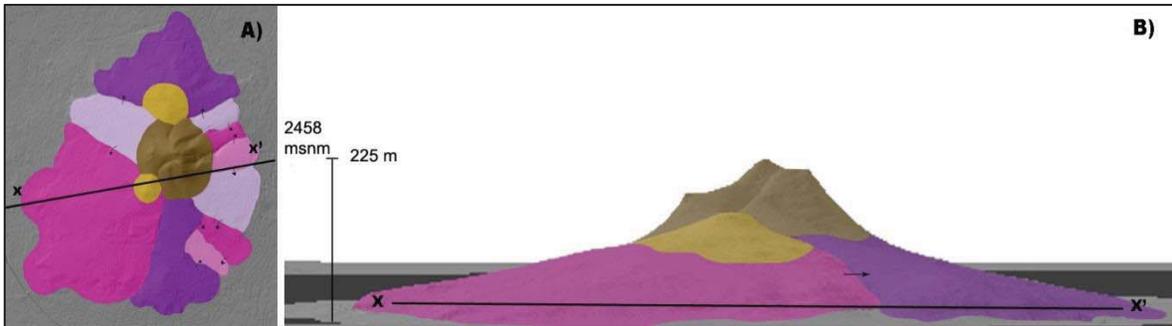


Figura 41. A) Cerro de la Estrella. Este conjunto se integra por tres estructuras alineadas de N-S, las más pequeñas representan conos adventicios, la morfología en todos los casos es de pseudoesudo. B) Vista de conjunto: en café el edificio principal y en café claro las estructuras adventicias. Las gamas violetas distinguen las diferentes coladas de lava.

c) Domos volcánicos

Son estructuras que se originan por la acumulación y sobreposición de coladas de lava de corta longitud, viscosas y de gran espesor, en torno a la boca eruptiva. Al solidificarse configuran una masa bulbosa en forma de cúpula. En la Sierra de Santa Catarina existen nueve domos volcánicos, todos ellos se disponen al centro del conjunto y de manera alternada con los conos de escoria. Los domos en conjunto presentan una orientación SSW-NNE. Las laderas de estas cúpulas presentan inclinaciones que no superan los 35°. La composición de los domos varía entre andesitas-basaltos y riolitas.

El tamaño de estas estructuras se relaciona con la cantidad de material que fue emitido; en este sentido, las dimensiones del menor y del mayor son las siguientes. El primero se localiza al NW del volcán Mazatepec, su diámetro es de 133 m, su altura de 13 m y ocupa un área de 1 ha. Por otro lado el mayor, se localiza al N del Tecuatzi, su diámetro es de 770 m, su altura de 106 m y su área es de 34 ha (fig. 42).

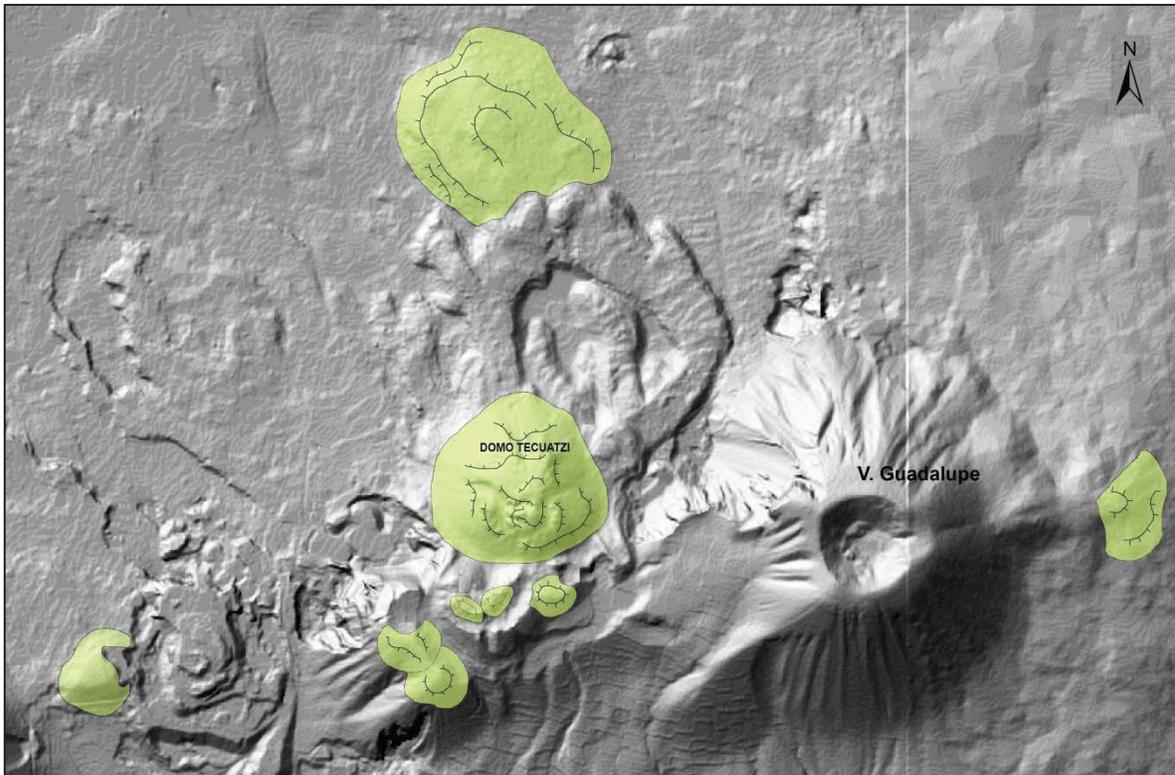


Figura 42. Localización de los domos en la porción central (la mayoría de ellos) de la Sierra de Santa Catarina.

Formas asociadas al relieve volcánico efusivo

a) Bocas volcánicas

Se trata de aberturas en la superficie por donde es expulsada lava a nivel de piso, estos puntos de emisión no desarrollan ningún tipo de edificio por esta razón, en la mayoría de los casos, se cubren con los mismos flujos que emiten. En la Sierra de Santa Catarina existen dos estructuras de este tipo. La primera en el fondo del cráter del volcán Guadalupe y la segunda al pie de su cono y a ella se asocian dos flujos de lava con longitudes de 670 m (S) y de 250 m (N).

b) Cráter asociado a volcán de lava.

La morfología es muy similar a la descrita para los volcanes cineríticos excepto por la falta de labio de cráter, este elemento no existe ya que se trata de una estructura con un estilo eruptivo diferente (efusivo) y más antigua. Esta forma de relieve se localiza en la cima del volcán conocido como *Cerro Chimalhuacán*. Su morfología es semi-circular y se trata de una estructura cerrada y se localiza en el extremo NE de la zona de estudio.

c) Atrio de cráter asociado a volcán de lava

Esta forma de relieve hace referencia a las laderas interiores de cráteres formados por un estilo de actividad efusivo y se caracteriza por ser poco profundo, hecho que se entiende por la dinámica eruptiva que al finalizar cubrió parcialmente la estructura, forma parte del relieve cumbral del *Cerro Chimalhuacán*.

d) Fondo de cráter asociado a volcán de lava

Es una superficie sub-horizontal que constituye la parte más deprimida del cráter y se encuentra limitada por un atrio muy amplio y de fuerte inclinación, este terreno corresponde a la última emisión de lavas que no pudo salir del borde del cráter y se solidificó a su interior, forma parte del *Cerro Chimalhuacán*.

1.3 Coladas de lava

Corriente de roca fundida que se asocia a un foco de emisión y que avanza sobre la superficie, siguiendo la pendiente regional del terreno. En su recorrido adoptan una morfología a manera de lengua o lóbulo. Factores como la composición química, el contenido de volátiles, el grado de cristalización y la temperatura, determinan su grado de viscosidad. Esta última característica, sumada a variables como el volumen emitido y el tipo de relieve por el que discurren, condicionan su velocidad y alcance (Gutiérrez, 2008).

Para la zona de estudio se hizo una diferenciación de los flujos de lava de acuerdo con sus focos de emisión, de esta manera se obtuvieron cuatro grupos; el primero, se asocia con la Sierra de Santa Catarina y el *Cerro de la Estrella*. El segundo se relaciona con el Xitle, un tercero con el volcán Magdalena y el último con el *Cerro Chimalhuacán*.

a) Coladas asociadas con la Sierra de Santa Catarina y el Cerro de la Estrella

La sierra volcánica agrupa un total de 55 coladas de lava emitidos por distintos focos y 10 vinculados con el Cerro de la Estrella (mapa anexo 1). En conjunto, definen una morfología de rampas escalonadas (piedemonte volcánico), se trata de flujos tabulares, con dimensiones variables, sobrepuestos entre sí, con límites bien definidos y con una mínima influencia fluvial. La longitud máxima que alcanzaron los flujos lávicos fue de 3 km en relación a su punto de emisión, la amplitud varía entre 400 y 1.5 km. Los escarpes o frentes son abruptos y presentan una altura hasta de 25 m.

Las coladas de lava asociadas al *Cerro de la Estrella* forman una rampa continua y muy homogénea en inclinación y morfología, debido a la existencia de un manto piroclástico de espesor importante que no permite observar detalles. La longitud máxima es de 1800 m (SW) y la mínima es de 600 (NE) (Fig. 43).

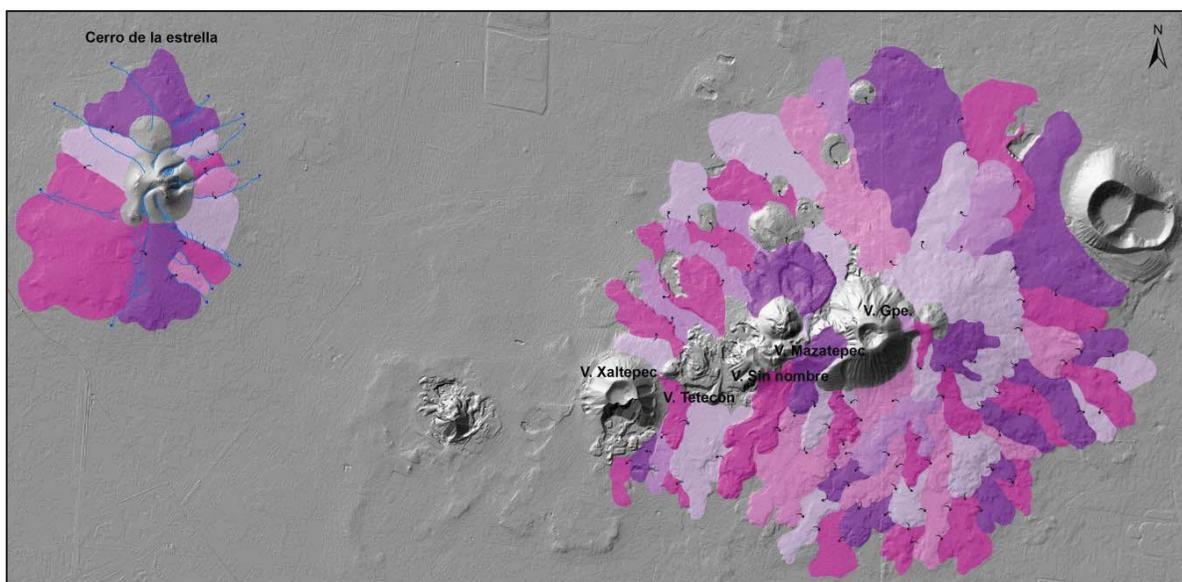


Figura 43. Coladas de lava asociadas a la Sierra de Santa Catarina y al Cerro de la Estrella. Los diferentes tonos en violeta indican flujos individuales.

b) Coladas de lava cubiertas por sedimentos lacustres, caídas y proluviaciones.

En este apartado se analizan las coladas de lava tempranas, estructuras que fueron cubiertas por distintos tipos de detritos. En esta categoría se encuentran veintisiete flujos que representan el inicio de la actividad, al mismo tiempo es el basamento de toda la sierra. Estas corrientes fueron las que estuvieron más cerca de los antiguos cuerpos lacustres y ciénagas. Las variaciones en el nivel de los lagos las cubrieron de manera paulatina; a este hecho, se sumó la caída de piroclastos y los acarrees fluviales de la montaña a la planicie (proluviaciones) (Fig. 44).

En la actualidad estas estructuras se encuentran urbanizadas, más su reconocimiento y representación en el mapa geomorfológico (anexo 1) fue posible gracias a la imagen LiDAR con resolución de 5 m en la horizontal por 1 m en la vertical (INEGI, 2007). El análisis sugiere que el comienzo de la actividad volcánica de la Sierra de Santa Catarina, inició en el volcán Yuhualixqui y sus emisiones de lava fueron dirigidas hacia el N, W y SW donde la mayor de ellas alcanzó una longitud de 2.6 km y tiene una amplitud de 800 m (Fig. 44).

El segundo foco de emisión fue el Xaltepec y sus coladas se dirigieron al SW, la mayor de ellas alcanzó los 2.7 km y su anchura es de 950 m. También se asocian a esta estructura cuatro flujos más que se disponen al NW y SE (Fig. 44).

Con respecto a los flujos vinculados a la porción centro y W de toda la sierra, no es posible conocer su fuente de emisión y en estas condiciones se tienen catorce coladas, las cuales pudieron haber sido emitidas por volcanes como Tetecón, el *Sin nombre*, Mazatepec y Guadalupe, aunque también existe la posibilidad de que su origen esté cubierto por flujos de lava más recientes, un volcán sepultado (Fig. 44).

El último sector con este tipo de lavas se localiza en el extremo centro-este de la sierra y se asocian al volcán La Caldera. Sus derrames de lava están conformados por cinco coladas emitidas hacia el NE, la longitud máxima fue de 1.1 km y una superficie total de 1.6 km² (Fig. 44).

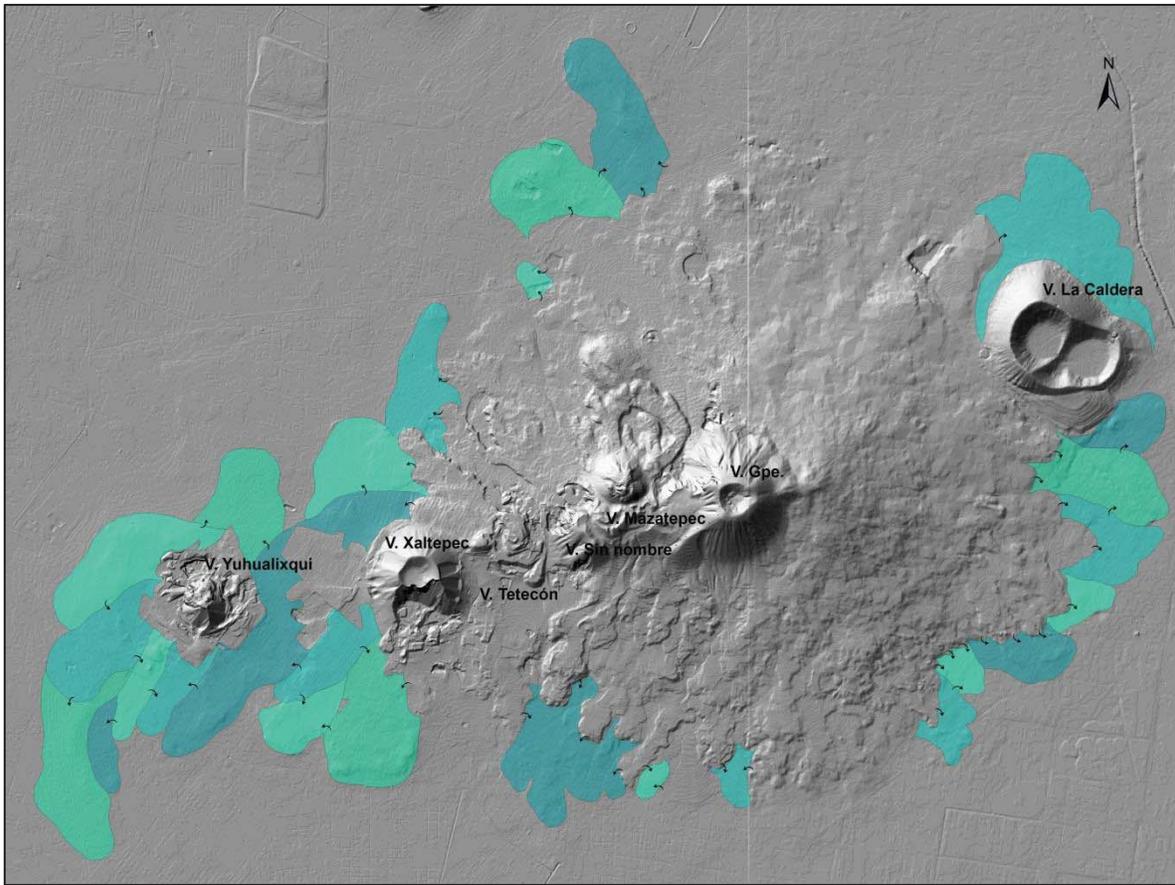


Figura 44. Coladas de lava cubiertas por sedimentos lacustres, de caída y proluviões. Representan el basamento de la Sierra de Santa Catarina.

Coladas de lava asociadas a otros focos eruptivos

c) Volcán Xitle

Se trata de una colada de lava que se localiza en el extremo SSW de la zona de estudio y se asocia con el volcán más joven de la Sierra del Chichinautzin. Su erupción ocurre en 1670 +/- 35 AP equivalente al año 280 +/- 35 de nuestra era (Sibe, C. 2009). En la zona de estudio está en contacto con la planicie lacustre superior, no presenta un frente bien definido debido a que está cubierto por acumulaciones detríticas.

d) Volcán Magdalena

Se localiza en el extremo SW de la zona de estudio, su morfología es a manera de pequeños lóbulos, con presencia de grandes escarpes en la parte frontal de la unidad y que alcanzan hasta los 30 m.

e) Volcán Chimalhuacán

Las coladas asociadas a este foco de emisión se localizan en el extremo NE, si bien los flujos fueron emitidos por dos focos distintos no son relevantes en cuanto a extensión y espesor, esta situación se debe a la probabilidad de que la mayoría de los flujos estén cubiertos por detritos lacustres y volcánicos de caída.

II. Relieve endógeno modelado

En este apartado se incluyen estructuras volcánicas anteriores a la formación de la sierra de Santa Catarina, por tanto han estado expuestas a procesos de erosión durante más tiempo y de manera significativa se han borrado sus rasgos primarios; a este hecho, se suman mantos piroclásticos y lavas que las han cubierto de manera parcial. Característica que dificulta su identificación, en algunos casos su morfología hace pensar que se trata de volcanes menores, adventicios, crestas, domos o falsos domos (Fig. 45).

En esta categoría se reconocen catorce estructuras, localizadas al centro-norte y SE de la sierra; de ellas, once presentan un límite semicircular (vista en planta) con áreas que varían entre 9 y 152 ha. Su aspecto en perfil es convexo, simétrico o asimétrico y alcanzan alturas entre 2 y 42 m. Las tres restantes son alargadas, lo que sugiere que se traten de crestas asociadas a coladas de lava, de longitud variable (310 y 395 m) y amplitud entre 113 a 180 m. Los rasgos morfológicos más significativos, es su aspecto en gradería y se localizan en el extremo SE (Fig. 45).

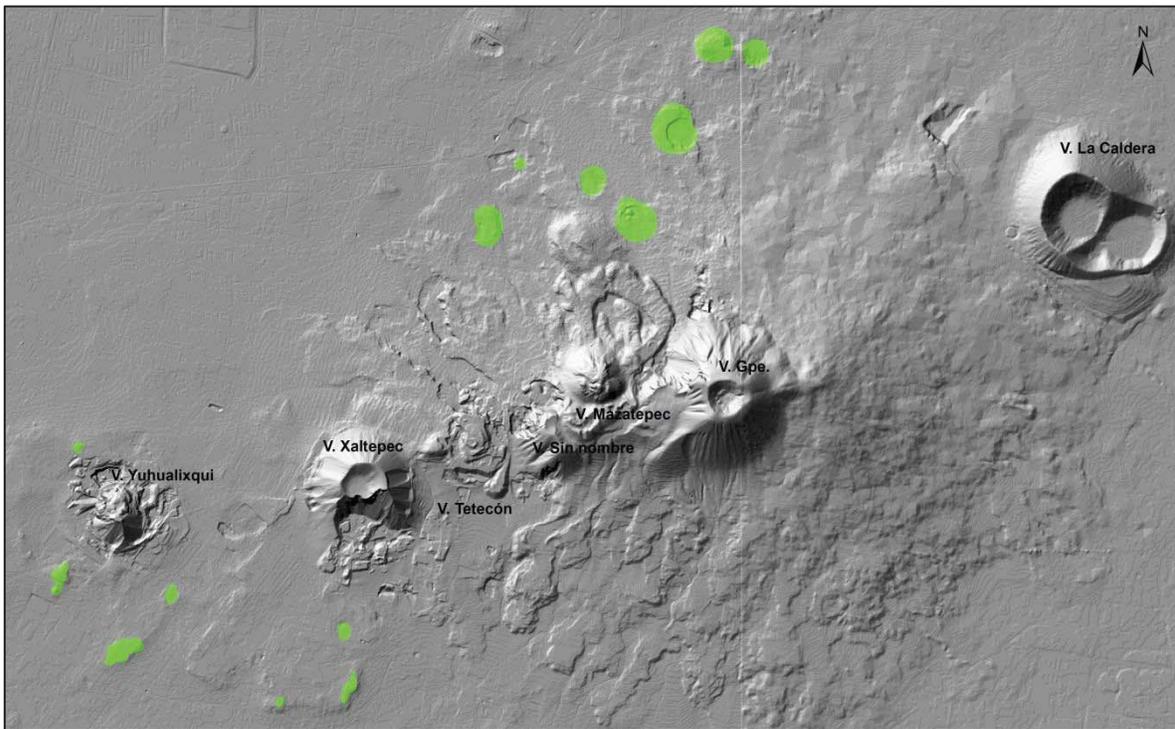


Figura 45. Relieve endógeno modelado: volcanes menores, adventicios, crestas, domos o falsos domos.

III. Relieve exógeno.

En este apartado se agrupan y analizan formas producto de la erosión-acumulación, en este marco los procesos más significativos son los fluviales y los lacustres. En ambos casos se tiene un tipo de relieve particular, el análisis de ellas es el objetivo de este inciso.

3.1 Erosivo

a) Cauces fluviales

Son formas creadas por la acción erosiva fluvial, se consideran como un relieve negativo y su dimensión está en función de la intensidad del proceso que las forma; es decir, su desarrollo está condicionado por la precipitación, el tipo de sustrato y la existencia de estructuras disyuntivas. Los cauces fluviales en conjunto definen patrones de drenaje, la integración y densidad de los mismos se vincula con la edad de la superficie en donde tienen desarrollo.

En este sentido hay que mencionar que no existe un patrón de drenaje poco definido en la Sierra de Santa Catarina, hecho que se explica por la capacidad de filtración que tienen las rocas volcánicas que la componen, por lo cual no se favorece el escurrimiento. Otro factor que tiene relación con lo anterior, es la edad reciente de la estructura; no ha pasado el tiempo suficiente para el establecimiento de cauces.

El drenaje que existe en el Cerro de la Estrella es de tipo radial centrífugo² y ha desarrollado valles de 1 a 20 m, hay que mencionar que esta estructura es más antigua que la Sierra de Santa Catarina y además el desarrollo de cauces se ve favorecido por cubiertas piroclásticas competentes a la erosión que han permitido la incisión de la erosión fluvial entre flujos de lava (Fig. 46).

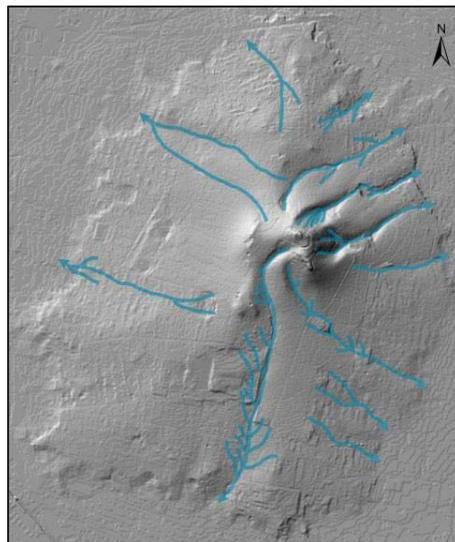


Figura 46. Cauces fluviales en el Cerro de la Estrella con un patrón drenaje radial centrífugo.

3.2 Acumulativo

Se trata de superficies sub-horizontales ligeramente inclinadas y onduladas, su inclinación no sobrepasa los 6°. Su origen tiene relación con aparición de la Sierra de Chichinautzin hace 700, 000 años AP (Gutiérrez, *et. al.*, 2005) y el consecuente relleno de la cuenca de México y la formación de cuerpos de agua a su interior. Se reconocieron en la zona de estudio tres planicies a partir de su altitud y morfología: superior (a), intermedia (b) e inferior (c) (Fig. 47).

² Corrientes fluviales dispuestas como los radios de una rueda, que divergen de manera descendente desde un punto o área central elevado (Guerra-Peña, 1980).

a) Planicie lacustre superior (2245 msnm)

Estas superficies son las de mayor altitud en la zona de estudio (2245 msnm), presentan la mayor inclinación de todas (2 a 6°) y su morfología es combinada, subhorizontal-ondulada. Se localiza en la periferia de la Sierra de Santa Catarina al igual que en el extremo E-SW. Su origen es resultado de la intercalación de detritos lacustres, piroclásticos y de acarreo. Estas planicies se superponen a los flujos de lava tempranos de la sierra, de ahí se explica su morfología a manera de ligeros lomeríos, el área que ocupan es de 57.8 km² (Fig. 47).

b) Planicie lacustre intermedia (2225 – 2245 msnm)

La inclinación de estas superficies no supera los 0.3°, su altitud varía entre los 2225 y 2245 msnm, su disposición las hace un territorio de transición y ocupan el sector centro-sur de toda el área de estudio. Están integradas por limos y arcillas de origen lacustre y volcánico (piroclastos), su continuidad es interrumpida por un volcán parcialmente sepultado que se conoce como el Peñón del Marqués. Este tipo de planicie es la que mayor área ocupa, 110.6 km² (Fig. 47).

c) Planicie lacustre inferior (2225 msnm)

Este territorio corresponde a la zona más deprimida del área de estudio, con una altitud menor a los 2225 msnm y un ángulo de inclinación por debajo los 0.3°, por lo que puede considerarse como una superficie muy cercana a la horizontal, que en la temporada de lluvias (mayo-septiembre) funciona como un nivel de base local, debido a que concentra el agua pluvial y fluvial. Los materiales que la integran corresponden a limos y arcillas de alta plasticidad (lacustres y volcánicas: piroclásticas). Esta unidad de relieve se distribuye en la parte norte del área de estudio y su extensión se calcula en 75.5 km² (Fig. 47).

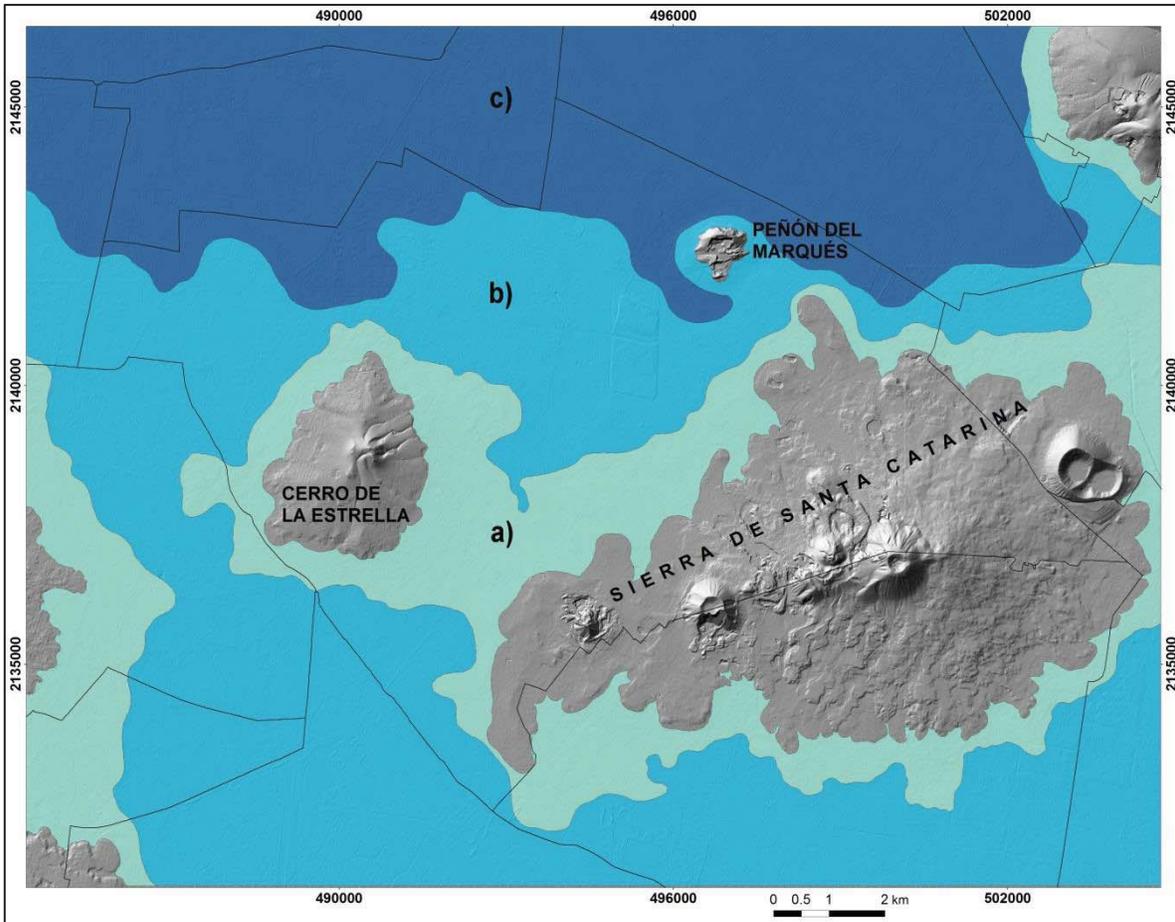


Figura 47. Planicies acumulativas en el sector centro-sur de la cuenca de México: superior (a), intermedia (b) e inferior (c).

IV. Relieve antrópico

Agrupar las formas de relieve creadas por la intervención directa del ser humano con el relieve, en este caso se trata de minas a cielo abierto. En concreto se hace un análisis de las modificaciones que han sufrido las diferentes unidades geomorfológicas, dando como resultado cuatro tipos de intervenciones: a) laderas volcánicas en terrazas, terraplenes y circos de extracción; b) depresiones; c) terrenos nivelados y d) bancos de material (Fig. 48).

a) Laderas volcánicas transformadas

Son 23 superficies escarpadas con inclinaciones hasta de 90°, vinculadas a la extracción de materiales volcánicos. Esta actividad se lleva a cabo en nueve conos cineríticos, entre los más afectados se encuentran el Tetecón, Peñón del Marqués, Yuhualixqui y La Caldera. Estas cuatro estructuras han perdido la mayor parte o inclusive la totalidad de su fisionomía original. En la actualidad presentan morfologías en gradería, de rampas inclinadas (terraplenes) y circos de extracción muy inestables. Este tipo de relieve representa un área de 1.3 km².

b) Depresiones de extracción (minas a cielo abierto)

Se trata 53 *oquedades* de extracción, tienen desarrollo en territorios que formaban parte de un cono cinerítico. La mayor parte de ellas se localizan en la Sierra de Santa Catarina, en donde ocupan una área de 1.3 km². En menor grado se encuentran en el Peñón del Marqués y los volcanes de Chimalhuacán, cada uno con 0.05 km² de terrenos afectados.

c) Terrenos nivelados

Son porciones del relieve que han sido modificadas con el fin de facilitar la movilización del material extraído de las minas a cielo abierto. También estos espacios se ocupan para la instalación de cribas y clasificación de materiales (bloques, gravas, gravillas y escorias). El área que ocupan estas superficies es de 1.2 km².

d) Bancos de material

Se trata de 57 montículos que acumulan el material en espera de su comercialización.

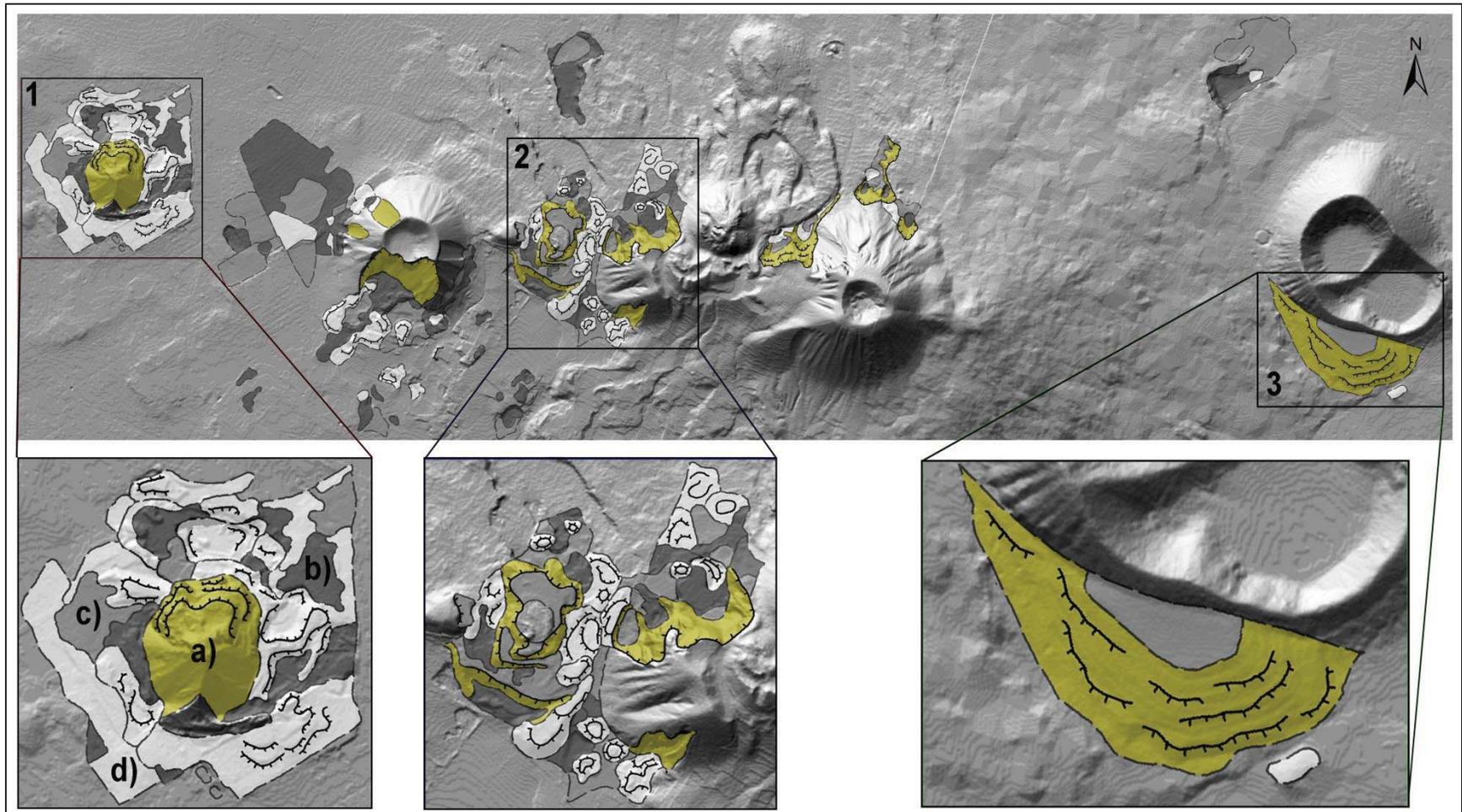


Figura 48. Relieve antrópico vinculado a la extracción de materiales para la construcción: a) Laderas transformadas (terrazas, terraplenes y circos de extracción); b) depresiones o canteras; c) terrenos nivelados; d) bancos de material. Los recuadros 1, 2 y 3 muestran los volcanes con mayor alteración por este tipo de actividad: Yuhualixqui, s/n-Tetecón y La Caldera, respectivamente.

Consideraciones del capítulo IV.

Mediante la elaboración del mapa geomorfológico y su análisis, fue posible la interpretación de un territorio complejo, integrado por una gran variedad de formas de relieve que son producto de la interacción entre procesos endógenos (tectónicos y volcánicos), exógenos (erosivo acumulativos: fluviales y lacustres) y antrópicos. Cada una de estas estructuras fue clasificada de acuerdo a su génesis y jerarquizadas con base en la espacialidad que representan al interior de la zona de estudio.

La cartografía geomorfológica y su explicación no solamente es un inventario de las formas de relieves que existen en la Delegación Iztapalapa, sino que además, su entendimiento puede ser aprovechado para el diseño de estrategias de planeación territorial, asociadas a prevenir y mitigar los peligros naturales (inundaciones, procesos gravitacionales, subsidencias y fracturas) que la topografía representa para los habitantes de esta parte de la ciudad.

Capítulo 5. Mapa de peligros geomorfológicos

En este apartado se analizan cuatro fenómenos físicos que afectan el territorio de la Delegación Iztapalapa: hundimientos, inundaciones, fracturas y procesos gravitacionales. Su presencia representa una amenaza para la seguridad de una gran cantidad de personas que habitan esta zona (1,815,786: INEGI, 2010), para sus bienes y también para la infraestructura urbana. En este marco y con el objeto de integrar un documento cartográfico en el que estén señaladas las áreas más vulnerables, se elaboró el mapa de peligros geomorfológicos (anexo 2), en el que se hace una diferenciación por tipo y nivel de peligro.

Con el fin de comprender la relación que existe entre la ocurrencia de un fenómeno natural y su impacto la sociedad, es necesario partir de un marco conceptual que nos permita identificar y caracterizar los elementos que intervienen en estas dos esferas; es por ello, que a continuación definimos los conceptos de fenómeno natural, peligro, riesgo, vulnerabilidad física y desastre.

Fenómeno natural

Es toda manifestación de la naturaleza que deriva de su funcionamiento interno, esta expresión puede presentarse con cierta regularidad y de intensidad moderada, como es la precipitación; o bien, surgir de forma súbita y con violencia como lo es un sismo o un tsunami (Romero y Maskrey, 1993).

Peligro o amenaza

Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de origen natural o generado por la acción humana, de intensidad variable, que puede manifestarse en un periodo de tiempo y área determinados, con potenciales consecuencias destructoras (Cardona 1988).

Por su parte la Organización de las Naciones Unidas considera al peligro como un suceso que es capaz de causar pérdidas graves donde se produzca y donde es necesaria la presencia del ser humano que determinará y valorará la existencia o no de la amenaza (ONU, 2005).

Riesgo

Es el grado de pérdidas estimado ante la ocurrencia de un fenómeno particular, el cual debe ser entendido mediante la relación entre la amenaza y la vulnerabilidad, de tal forma que para evaluar el riesgo, debe tenerse en cuenta la probabilidad de ocurrencia del evento en cuestión y la susceptibilidad de los elementos expuestos (ONU, 1979).

Vulnerabilidad física

Indica el grado de exposición y fragilidad que tiene un grupo de personas y elementos materiales a resultar afectados, frente a una condición de amenaza provocada por la acción de los fenómenos naturales. En esta situación intervienen factores como las características del medio físico, la localización y proximidad de los sujetos con relación a la zona de peligro, así como la calidad y resistencia de las construcciones para absorber el impacto (ONU, 1979).

Desastre

Se define como un evento que ocurre (en la mayoría de los casos), de manera súbita e inesperada, causando una modificación drástica del paisaje, donde surgen condiciones de incomunicación y afectaciones graves a las personas que se encontraban inmersas en el suceso. Estos daños se traducen en pérdida de vidas, lesionados, desaparecidos, personas con alteraciones psicológicas, destrucción total o parcial de sus pertenencias materiales, cambio en los patrones económicos, así como migraciones de personas (ONU, 2005).

Es importante señalar que la ocurrencia de un desastre es resultado de la congregación de diversos factores naturales (funcionamiento del medio físico) y sociales (vulnerabilidades).

El análisis que se hace a continuación tiene como punto de partida la caracterización de la vulnerabilidad física y para ello se realizó el mapa geomorfológico que de manera precisa relaciona el origen, la competencia del material, la dinámica-evolución y la morfología.

Por otro lado, el mapa de peligros muestra la zonificación de ocurrencia de fenómenos adversos a la sociedad, como son los hundimientos, inundaciones, grietas y los desprendimientos de rocas que afectan al territorio de la Delegación Iztapalapa, cuya explicación se da a continuación.

5.2 Terrenos susceptibles a hundimientos

Este fenómeno afecta a la mayor parte del terreno de la Delegación Iztapalapa, se trata de un proceso heterogéneo de deformación vertical del terreno, asociado a un sustrato poco consolidado, compuesto por materiales limo-arcillosos de alta compresibilidad y baja capacidad de carga (Carreón, 2011). Este dinámica también se conoce como subsidencias y se origina por el abatimiento del nivel freático causado por la sobreexplotación de agua subterránea que se extrae para abastecer a la ciudad y a la presión que suponen las construcciones (Lesser, 1998).

Las velocidades de hundimiento registradas de 1996 a 2011 revelan que este fenómeno varía entre 10 y 45 cm al año (Cabral, et al., 2011); (Mazari, 1996); (Vera y López, 2010). Tomando en cuenta esta información, se establecieron los siguientes rangos de subsidencia:

Máxima ocurrencia (15-45 cm/año).

Se presenta al NE de la zona de estudio, sobre la planicie lacustre inferior (2225 msnm), en un área aproximada de 10.5 km². Los hundimientos en esta zona se manifiestan con dos dinámicas distintas; la primera, es gradual lo que hace que la superficie se deforme manera paulatina o imperceptible (Fig. 49 a). La segunda presenta una ocurrencia súbita, el colapso en la mayoría de los casos define socavones de hasta 15 m de profundidad, desarrollan escarpes descendentes que se disponen a manera de *aura* (Fig. 49 b).

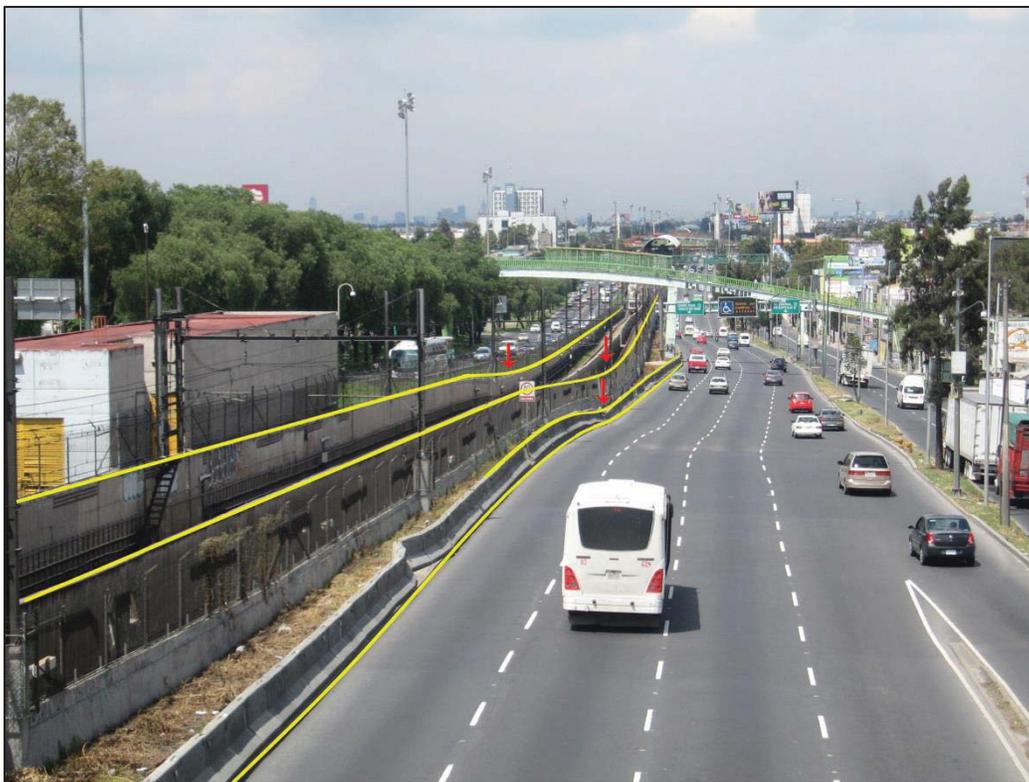


Figura 49a. Hundimientos graduales en la calzada Ignacio Zaragoza y de la línea A del Sistema de Transporte Colectivo Metro, en el norte de la Delegación Iztapalapa. Las líneas en color amarillo muestran la deformación vertical de la vialidad y los sitios de mayor curvatura lo destacan las flechas en color rojo (junio, 2014).



Figura 49b. Colapso súbito en la colonia San Lorenzo (Diario de México, 30/10/2011).

Los hundimientos del terreno en la zona de máxima ocurrencia afectan 15 colonias, todas ellas localizadas en el límite norte de Iztapalapa. Las colonias más afectadas por este fenómeno son la Unidad Ejército de Oriente, Tapalcates, Pueblo de San Lorenzo Xicoténcatl, Chinampác de Juárez y Santa Marta Acatitla Norte.

Los daños son evidentes en viviendas en donde presentan una alta densidad de grietas que ponen en riesgo toda la construcción. Esta situación representa un peligro potencial para una población superior a 162,000 personas, de las cuales más de 8,000 son niños menores a 5 años y 14,900 habitantes de 60 años o más (INEGI, 2010).

Por otra parte, vialidades principales como la calzada Ignacio Zaragoza o las vías de la línea A del Sistema de Transporte Colectivo Metro, presentan importantes deformaciones, por lo que de manera constante requieren mantenimiento por parte del gobierno, hecho que representa un elevado costo económico, además de problemas secundarios como cortes a la circulación y un aumento en el tiempo de traslado.

Otra situación que se presenta con frecuencia es la ruptura de ductos de agua potable, lo cual representa grandes pérdidas de este recurso, elevados costos por reparación y mantenimiento de la infraestructura y la consecuente clausura parcial o total de vialidades para subsanar estos problemas, situación que se traducen en el atraso de la movilidad y traslado de las personas. Este fenómeno de hundimiento diferencial también vulnera la estabilidad de instalaciones diseñadas para transportar sustancias de fácil reacción como el gas o la gasolina.

Ocurrencia frecuente (10-15 cm/año).

Las superficies afectadas en esta categoría se disponen de NW a NE, el área que afectan es de 14.4 km² (planicie lacustre inferior e intermedia); existe otro sector, con estas características y se localiza al SW en donde ocupa un área de 1 km² y se ubica sobre la avenida Canal de Garay.

Las subsidencias en estos sectores ocurren de forma gradual a lo largo del año, siendo evidente una mayor afectación y aceleración en los territorios ocupados por construcciones, debido al peso que ejercen sobre el sustrato.

En este contexto, la traza urbana define dos geometrías distintas como respuesta al hundimiento diferencial: cóncavas y convexas. Las primeras se asocian a construcciones de gran peso como edificios habitacionales, iglesias o construcciones de varios pisos. Las segundas están vinculadas a las zonas hundidas y su origen se vincula con un proceso que se conoce como *alivio de presión*, en la mayoría de los casos afecta calles y terrenos baldíos (Fig. 50).



Figura 50. Alivio de presión en la calle Benito Juárez de la colonia Santa María Aztahuacá. La geometría convexa en la avenida es resultado de la presión que ejercen las construcciones en sus flancos. La línea de color rojo indica la geometría original (subhorizontal); la amarilla, señala el estado actual de la vialidad y la deformación (junio, 2014).

Este fenómeno afecta 40 colonias en donde habitan 185,000 personas, de las cuales, 8,860 son niños de 5 años o menos y 18,500 individuos tienen más de 60 años (INEGI, 2010). Algunos de los daños más evidentes en la estructura urbana son, inclinación de

construcciones que están sujetas a peligro por colapso y la generación de grietas en las paredes (Fig. 51).



Figura 51. Hundimientos de ocurrencia frecuente, la dinámica de este fenómeno afecta la estructura de una vivienda localizada en la calle Batalla 5 de mayo en la colonia Ejército de Oriente zona Peñón (junio, 2014). Las líneas amarillas señalan el declive de la estructura y las marcas color rojo muestran las fracturas en los muros.

Mínima ocurrencia (<10 cm/año)

Se presenta en las porciones del terreno próximas a los conjuntos volcánicos Sierra de Santa Catarina y Cerro de la Estrella (planicies lacustres intermedia y superior). El área de afectación es de 24.8 km², este dato comprende dos superficies; la primera se presenta a manera de corredor sinuoso, desde el límite con la delegación Benito Juárez, hasta el municipio de La paz en el Estado de México, la dirección preferencial es E- W y el área que ocupa es de 18.1 km². En el sector SSW existe otra zona con las mismas características y ocupa un área menor a 6.7 km².

Los hundimientos son paulatinos y están representados por dos mecanismos distintos, el primero consiste en un descenso uniforme de amplias zonas del terreno respecto a la superficie adyacente (*escalones* o *gradas*) por lo que definen un segundo plano subhorizontal, esta dinámica se presenta en porciones ocupadas por edificaciones debido a la presión que estas ejercen al sustrato (fig. 52).



Figura 52. Hundimiento de mínima ocurrencia en la calle Juan de Dios Pesa de la colonia La Era, la deformación ha formado un escalón de 40 cm. La línea en color amarillo corresponde a la superficie original y la de color rojo representa el desplazamiento del terreno, ambas definen el escalón o desnivel (junio, 2014).

El segundo mecanismo de hundimiento se presenta de manera irregular sobre vialidades principales, mismas que son deformadas por el tránsito de vehículos pesados y configuran superficies onduladas (Fig. 53).



Figura 53. Deformación de la vialidad Ermita Iztapalapa en la Colonia Santa Cruz Meyehualco, debido al tránsito de vehículos pesados (junio de 2014).

5.3 Terrenos susceptibles a inundaciones

Las inundaciones se definen como la ocupación por agua en zonas que en condiciones normales no se encuentran anegadas (OMM/UNESCO, 1974). En el área de estudio se producen durante las lluvias estacionales y extraordinarias, ocupan generalmente superficies con geométricas cóncavas asociadas a los hundimientos diferenciales del terreno, construcciones que funcionan como obstáculos (bardas, banquetas, muros de contención y bordos) y superficies pavimentadas que favorecen el desplazamiento de los mantos de agua, lo que provoca su anegamiento cuando el sistema de drenaje está obstruido por desechos sólidos (basura).

Las lluvias intensas y prolongadas representan uno de los principales problemas para la generación de las inundaciones. De acuerdo con los registros meteorológicos, los meses que registran las mayores precipitaciones son junio y julio, ambos con más de 140 mm en promedio, sin embargo algunos eventos extraordinarios han superado esta marca, el caso más representativo ocurrió durante el mes de junio del año 1981 donde cayeron 326 mm, es decir, 45.3 % la cantidad de agua que precipita en un año (SMN, 2014). En este marco fueron identificados tres tipos de inundación.

Máxima ocurrencia

Afecta el sector norte del área de estudio con una extensión aproximada de 15.5 km², donde se registran tirantes de agua que varían de 80 a 150 cm, con una recurrencia estacional de mayo a septiembre. Entre las colonias afectadas se encuentran la Unidad Ejército de Oriente, Pueblo de San Lorenzo Xicoténcatl, Santa Martha Acatitla Norte, Ejército Constitucionalista, Central de Abasto (Fig. 54). El número aproximado de habitantes en esta zona es de 185,000 personas, entre las cuales destaca la población más vulnerable: 8,300 niños con edades de 5 años o menos y 20,340 individuos de 60 años o más (INEGI, 2010).



Figura 54. Inundaciones de máxima ocurrencia en la avenida Guelatao en la colonia Santa María Aztahuacán (Domínguez, 2010).

Un factor que favorece que este fenómeno aumente su incidencia es su posición altitudinal del terreno; es decir, se presenta en la porción más deprimida de la zona de estudio, la planicie lacustre de la cuenca de México (2225 msnm). Esta superficie es prácticamente horizontal, su inclinación es menor 0.2° y funciona como un nivel de base local para los escurrimientos que bajan de la Sierra de Santa Catarina y de conjuntos montañosos mayores.

Los territorios donde se registran las máximas inundaciones, coinciden con los terrenos que presentan las tasas de hundimiento más altas (15 a 45 cm/año), característica que acrecienta este tipo de peligro. Los principales daños que se registran por estos eventos, son las constantes pérdidas de enseres domésticos (muebles y electrodomésticos); además de otras afectaciones colaterales, como la interrupción del suministro eléctrico y la circulación del tránsito local; así como, de la línea A del SCT *Metro* (Fig. 55).



Figura 55. Inundación de la línea A del SCT *Metro* entre las estaciones Peñón Viejo y Guelatao (Periódico Excélsior, 2013).

Ocurrencia frecuente

Se presentan con mayor frecuencia al N, centro y SE de la zona de estudio (planicie lacustre intermedia), durante la temporada de lluvias estacionales (mayo a septiembre) se favorecen tirantes de agua que varían entre 50 y 80 cm. El área de afectación es de 39.4 km² y las colonias más perjudicadas son Unidad Vicente Guerrero, El Sifón, Barrio Santa Bárbara, Leyes de Reforma 3^a Sección, Santa Martha Acatitla Sur (Fig. 56).



Figura 56. Inundación de ocurrencia frecuente, en las viviendas de la Unidad Vicente Guerrero, en la colonia San Antonio Culhuacán (La Jornada, 14/09/2013).

Las condiciones morfológicas y antrópicas en estos terrenos favorecen su ocurrencia. Se trata de terrenos sub-horizontales con una inclinación máxima de 2° . En estos sectores el factor humano está representado por la disposición, tipo y tamaño de las construcciones; de la misma forma el diseño de las vías de comunicación retardan o desvían la circulación del agua afectando otros sectores.

Mínima ocurrencia

Se presenta en terrenos con altitud de 2245 msnm (planicie lacustre superior) y desarrollan en la temporada de lluvias (mayo a septiembre), tirantes de agua que no sobrepasan los 30 cm. Este fenómeno se conoce en la localidad como *encharcamientos*, sin embargo en algunas zonas alcanzan los 50 cm. El bajo impacto de las inundaciones de este tipo, se explica por un aumento en la inclinación de la planicie ($< 6^\circ$), característica que favorece el desplazamiento del agua pluvial (Fig. 57).

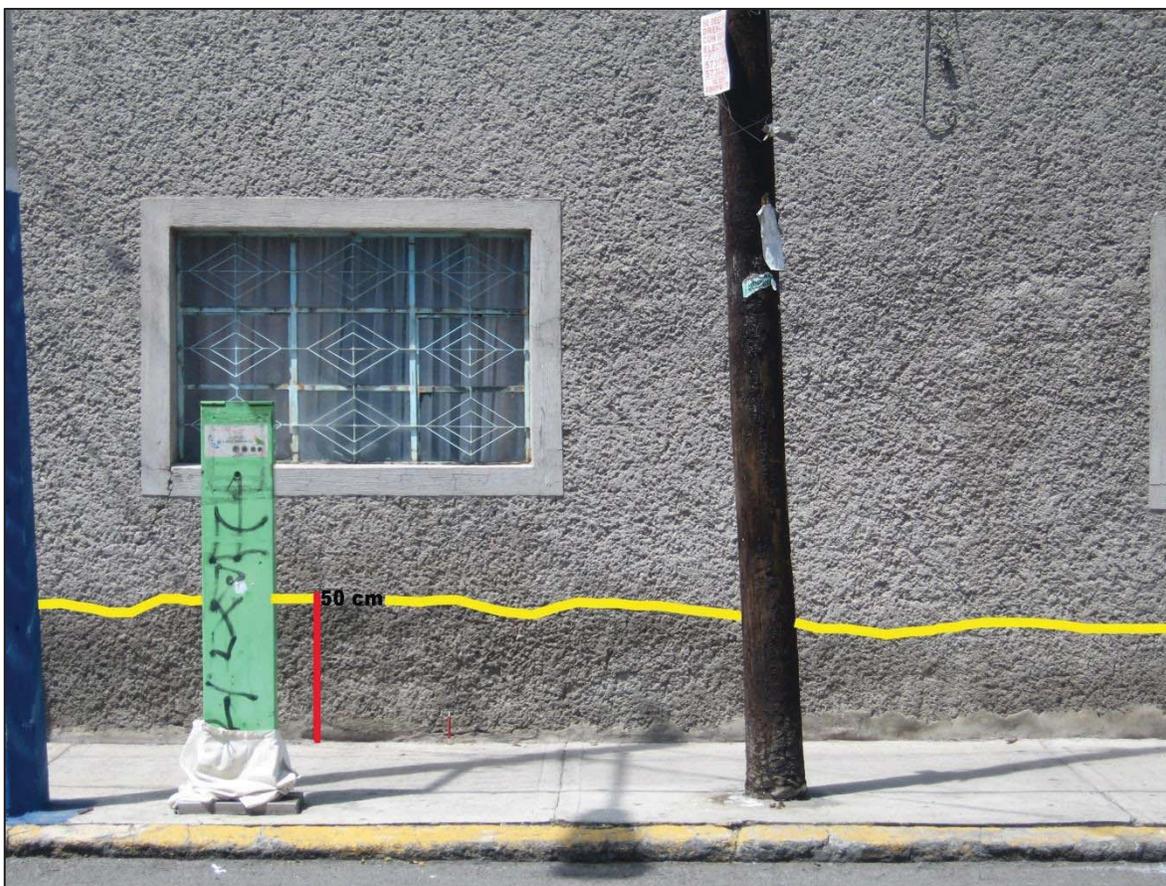


Figura 57. Marca de humedad asociada a las inundaciones de ocurrencia mínima, en la calle Justina, colonia Pueblo San Lorenzo Xicoténcatl (junio, 2014)

La mayor parte de estas inundaciones de bajo impacto son ocasionadas por la acumulación de desechos sólidos generados por la población del lugar, los cuales son transportados por las lluvias hacia el sistema de alcantarillado, lo que implica su obstrucción y un impedimento para la evacuación del agua. Otra situación que contribuye con este fenómeno es la construcción de unidades habitacionales por debajo de la superficie original, lo que crea zonas deprimidas que favorecen la acumulación del agua (Fig. 58).



Figura 58. Corredores y patios contruidos por debajo de la superficie original en la unidad habitacional Bertha Von Bloumer, colonia Cerro de la Estrella. La zona en color verde representa la superficie de calle, en color amarillo se observa un terreno que tiene un desnivel de 45 cm y en azul 90 cm. Esta situación favorece la acumulación del agua en temporada de lluvias (junio, 2014).

5.4 Terrenos susceptibles a grietas

Se trata de un proceso de ruptura del terreno, ocasionado por diversos factores tanto naturales como de carácter humano. De acuerdo con Carreón (2011), la manifestación de este fenómeno se debe a la elevada heterogeneidad de las características físicas y mecánicas de los materiales, que componen la secuencia estratigráfica (depósitos lacustres y volcánicos). También relaciona esta actividad con la activación de fallas regionales, sismos, hundimientos, extracción excesiva de agua subterránea, cargas excesivas impuestas por la infraestructura urbana o por el tránsito de vehículos pesados.

La dinámica de fracturamiento del sustrato se presenta en la mayoría de los casos con un movimiento vertical, en el cual una parte del terreno subyace con respecto a otra; sin embargo la ruptura de la superficie también puede ser originada a consecuencia de un mecanismo de tensión horizontal (Carreón, et al., 2006). El número de grietas identificadas fue de 918 y su longitud varía de 1 a 260 m, con un rumbo de 0 a 50° NE (Fig. 59)

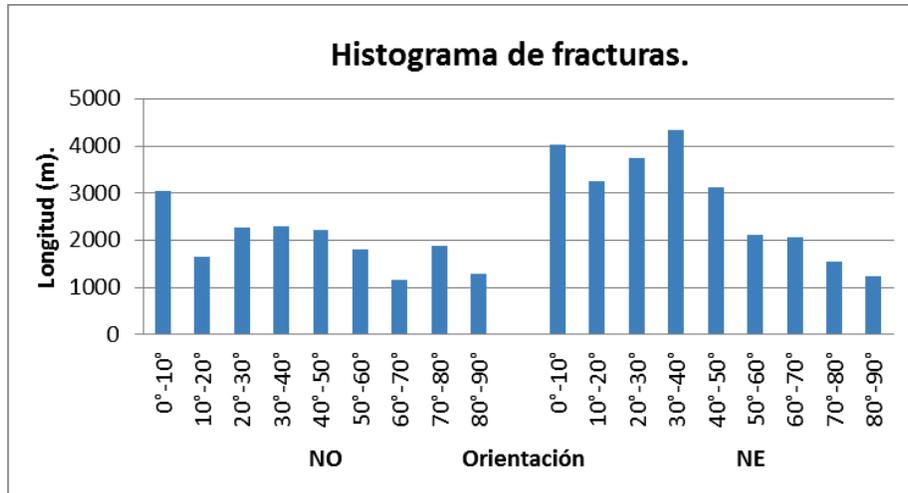


Figura 59. Las grietas en la zona de estudio se presentan en dos grupos con orientaciones distintas. La longitud máxima es de 4000 m y se orienta entre 30 y 40° al NE.

Máxima ocurrencia

La densidad de afectación en esta categoría varía entre 7 y 10 km/km², ocupa seis sectores de la delegación, cuatro de los cuales están localizados en la zona de transición entre el piedemonte volcánico de la Sierra de Santa Catarina y la planicie lacustre. Dos más afectan los sectores N y S del cono Peñón del Marqués; la superficie es de 2.4 km².

Las colonias más afectadas son Santa Cruz Meyehualco, Santa María Aztahuacán, El Edén, Santa Martha Acatitla Sur, Pueblo San Sebastián Tecoloxtitla, El paraíso, Unidad Ejército de Oriente y Lomas de San Lorenzo, en esta última se registró la primera muerte por este tipo de fenómenos, al caer su automóvil en una grieta de 20 m de profundidad, el 8 de junio del año 2007 (Fig. 60).



Figura 60. Labores de rescate por cuerpos de bomberos y Protección Civil del Distrito Federal, para extraer el automóvil que cayó en la colonia Lomas de San Lorenzo (La Jornada, 9/06/20010).

Ocurrencia frecuente

La densidad de fracturas en esta categoría es de 4 a 6 km/km² y representa la mayor parte de la zona de transición entre el piedemonte volcánico de la Sierra de Santa Catarina y la planicie lacustre. La superficie afectada por este nivel de fracturamiento es continua y tienen un área de afectación de 6.3 km².

Entre las colonias afectadas están La Planta, El Molino Tezonco, Lomas de San Lorenzo, Consejo Agrarista Mexicano, Insurgentes, Pueblo de Santa Martha Acatitla, Ejército de Oriente Zona Peñón. Los daños ocasionados más evidentes se observan en viviendas, escuelas y vías de comunicación, donde existen grietas que varían de cm a un par de m (Fig. 61).



Figura 61. Daño estructural ocasionado por fracturas de ocurrencia frecuente en una vivienda localizada en la calle Justina de la colonia Pueblo San Lorenzo Xicoténcatl (Diario de México, 21/08/2013).

Mínima ocurrencia

La densidad por este fenómeno varía de 2 a 3 km/km², afecta la periferia de la planicie lacustre y su proximidad con la Sierra de Santa Catarina, así como los terrenos adyacentes del volcán Peñón del Marqués y afecta un área de 8.6 km².

Entre las colonias afectadas se encuentran Tepalcates, Chinampác de Juárez, Unidad Ejército de Oriente, Ermita Zaragoza, Santa Martha Acatitla Norte y Sur, Santa María Aztahuacán, Santa Cruz Meyehualco y Consejo Mexicano Agrarista. Los daños se manifiestan en menor frecuencia y de bajo impacto en la estructura urbana, con grietas que tienen una anchura < 2 cm (Fig. 62).



Figura 62. Fracturamiento asociado al sector clasificado como de mínima ocurrencia, afectando una vivienda localizada en la calle 25 de la colonia Santa Cruz Meyehualco (junio, 2014).

5.5 Terrenos susceptibles a caída de rocas

Las caídas de rocas son movimientos en caída libre, originados por desprendimientos de los materiales que constituyen una ladera. Los cuales al caer pueden rebotar, rodar, deslizarse o fluir vertiente abajo por efecto de la gravedad. Este proceso se desarrolla a alta velocidad en superficies con fuerte inclinación (Alcántara, 2000).

Los terrenos susceptibles a la caída de rocas se localizan en los volcanes Peñón del Marqués y los que constituyen a la Sierra de Santa Catarina. Su origen se asocia a la extracción de materiales por minas a cielo abierto, actividad que ha transformado las vertientes y creado diversas formas antrópicas inestables por presentar inclinaciones $> 70^\circ$ y desniveles > 60 m (Fig. 63).

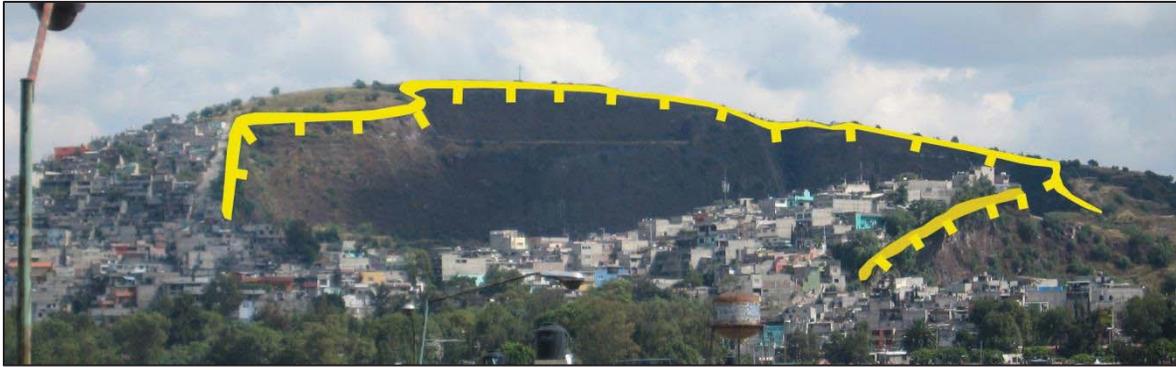


Figura 63. Circo de extracción en la ladera sur del Peñón del Marqués. Al interior de la mina a cielo abierto se construyó la unidad habitacional El Paraíso (junio, 2014).

Las zonas con el mayor peligro ante una eventual caída de rocas son las que se ubican en las proximidades a las canteras, en este panorama se encuentran las colonias El Paraíso, Buenavista, Palmitas, Los Tenorios, Barranca de Guadalupe, Xalpa, Lomas de la Estancia, Miravalles y San Pablo. De acuerdo con registros históricos, entre el año de 1970 y el 2011, han fallecido 17 personas vinculadas a este fenómeno, entre las que se encuentran niños, personas adultas e incluso personal que labora en los frentes de extracción (SEDESOL, 2011).

Las caídas de rocas se presentan con mayor frecuencia durante la temporada de lluvias estacional (mayo a septiembre), sin embargo también se han reportado sucesos en los meses de noviembre y enero. El tamaño de los bloques desprendidos varía de pocos cm a más de 2 m y el peso del material llega a ser de varias toneladas (SEDESOL, 2011).

La observación en campo permitió identificar algunos terrenos localizados en la partes altas de las laderas del Peñón del Marqués, que presentan una acumulación de fragmentos de roca desprendidos con anterioridad, estos bloques significan un peligro potencial de impacto para las viviendas que se encuentran instaladas a una menor altura, por lo cual es necesario que las autoridades participen en la remoción de estos elementos (Fig. 64).



Figura 64. Acumulación de rocas por desprendimiento, en la parte alta del Peñón del Marqués, en la calle Tizóc de la colonia El paraíso (junio, 2014).



Algunas medidas de prevención que han sido implementadas por la delegación Iztapalapa, son la instalación de mallas y bardas de contención, las cuales están incompletas por lo que su área de protección no cubre zonas donde hay rocas que presentan un intenso fracturamiento, por lo que representan una amenaza de caída (Fig. 65).

Figura 65. Malla de protección incompleta, la línea amarilla indica el límite de cobertura de la red metálica, a partir de este punto, la parte izquierda de la ladera no cuenta con esta instalación (junio, 2014).

5.6 Terrenos de estabilidad aparente

Son superficies en las que no existe registro de ocurrencia de procesos como inundaciones o procesos de ladera, sin embargo no se descarta la posibilidad de que en un futuro pudieran presentarse debido a las constantes transformaciones que el hombre hace día con día de estos territorios.

Las superficies de estabilidad aparente están representadas por los volcanes y coladas de lava que no han sufrido una transformación significativa por parte del hombre, dentro de este grupo se incluyen las elevaciones Sierra de Santa Catarina (26 km²) y unidades volcánicas aisladas Cerro de la Estrella (7.4 km²) y Peñón del Marqués (0.6 km²). La extensión total aproximada de estas zonas es de 34 km².

El mapa de peligros geomorfológicos de la Delegación Iztapalapa es la síntesis del análisis geológico, morfométrico y geomorfológico y en él se refleja de manera precisa las áreas que cubren las diferentes dinámicas que transforman el relieve y hacen que la superficie terrestre evolucione. De esta manera, este documento es un aporte en la prevención y mitigación de procesos peligrosos. Por sus características de precisión, es de aplicación en las tareas relacionadas con la planeación territorial.

Conclusiones finales

Analizar la zona de estudio desde una escala regional tomando como referencia a la cuenca de México (unidad de relieve cerrada), fue fundamental para explicar la fisiografía del territorio de la Delegación Iztapalapa en un nivel general. De esta manera fue posible contextualizar la información de variables como la topografía, el clima, la hidrografía, los suelos y la vegetación, todos estos a una escala local.

El estudio de la geología regional y local, permitió ubicar en el tiempo, los procesos responsables que dieron origen a la formación del relieve actual y la forma en que está sujeta a control estructural específico. En este sentido, su composición litológica permitió conocer el tipo y grado de susceptibilidad con el que cuentan las diferentes zonas del terreno, frente a la actuación de los agentes exógenos.

La zonificación geomorfológica en Iztapalapa permitió identificar y delimitar una amplia zona de planicie lacustre que cubre un área superior al 70 % del territorio total, y una superficie menor al 30 % volcánica y accidentada con inclinaciones de 70° y más.

El análisis geomorfológico a detalle evidenció que el relieve de la zona de estudio muestra una gran complejidad, se clasificó de acuerdo a su génesis en cuatro categorías: endógeno, endógeno modelado, exógeno y antrópico. Estos elementos se representaron en una cartografía geomorfológica detallada y de alta precisión, esta fue la manera como se determinó la vulnerabilidad física, aspecto indispensable para entender la dinámica del relieve y los riesgos asociados. El mapa geomorfológico es el primer aporte de este trabajo.

Un segundo aporte de este estudio es la identificación y caracterización de una erupción tipo Bezymianni-Santa Helena ocurrida en el volcán Guadalupe, este fenómeno no ha sido reportado en ninguna publicación especializada en este campo de conocimiento y su importancia radica en que es un estilo eruptivo poco común en volcanes de escorias.

El análisis de los peligros geomorfológicos y su cartografía, es tercer aporte de este trabajo, en él se muestra la dinámica de peligro relacionada con las subsidencias, grietas e inundaciones. El mapa de peligros geomorfológicos de la Delegación Iztapalapa es la síntesis del análisis geológico, morfométrico y geomorfológico. Su precisión lo hace un documento de aplicación inmediata en la prevención y mitigación de situaciones de contingencia. Su importancia también se hace evidente en la planeación regional y en la conservación de la naturaleza. Por lo cual lo hacen una plataforma para iniciar estudios en esa temática.

Bibliografía

- Aguilar-Pérez, L. A; Ortega-Guerrero, M. A; Lugo-Hubp, J. y Ortiz-Zamora, D. (2006). Análisis numérico acoplado de los desplazamientos verticales y generación de fracturas por extracción de agua subterránea en las proximidades de la Ciudad de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 23, núm. 3, p. 247-261.
- Aguilera-Franco, N; Alzaga-Ruíz, H; Macías, J. L. y Zamudio-A, D. (1992). Bioestratigrafía de la Formación Apango (Turoniano-Santoniano) en el Estado de Guerrero, al sureste de México. *XI Convención Geológica Nacional*. Veracruz, Sociedad Geológica Mexicana, 5 p.
- Alcántara, A. I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM*, No. 41, pp. 7-25.
- Alencáster, G; Hernández-García, R. y García-Villegas, F. (1987). Rudistas hipurítidos (Bivalvia-Hippuritacea) del Cretácico Superior de la parte central del Estado de Guerrero. *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología*, 1, pp. 24-39.
- Bohnenberger-Thomas, O. (1955). Bosquejo geológico a lo largo de la carretera Iguala-Chilpancingo, Estado de Guerrero. Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Ingenieros. Tesis profesional, 61 p.
- Breña P. A. F. (2010). Hidrología Urbana. Universidad Autónoma de México. Ed. Ciencias Básicas e Ingenierías, CBI, 235 p.
- Bryan, K. (1948). Los suelos complejos y fósiles de la altiplanicie de México, en relación a los cambios climáticos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.*, vol. 13, pp. 1-20.
- Cabral, C; Díaz, M. O. y Delgado, G. H. (2011). Subsistencia y sus mapas de peligro: Un ejemplo en el área nororiental de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Vol. 63, Núm. 1, P. 53-60.
- Cardona, O, D. y Sarmiento-Prieto, J. P. (1988). Análisis de Vulnerabilidad y Evaluación del Riesgo para la Salud de una Población en Caso de Desastre. *Plan de Atención Hospitalaria*, Ministerio de Salud de Colombia, Bogotá.
- 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 Pan-*

American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Toronto, Canada. 8 p.

- Carreón F, D, C., (2011). Identificación y caracterización de los diferentes tipos de fracturas que afectan el subsuelo de la Delegación Iztapalapa del Distrito Federal. Academia de Ingeniería, A.C., México. 52 p.
- Carreón, F. D. C; Hidalgo, M. C. M. y Hernández, M. M. (2006). Mecanismos de fracturamiento de depósitos arcillosos. Caso de deformación diferencial en Chalco, Estado de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Tomo VLIII, No. 2, p. 237-250.
- Cashman, K. V; Sturtevant, B; Papale, P. y Navon, O. (2000). Explosive Volcanism, Part. IV. en: *Encyclopedia of volcanoes*. Academic Press. p. 419-430.
- Cerecedo, M, E, E. (2006). Peligros geomorfológicos en el Municipio de Chimalhuacán, Edo. de México: una cartografía para la prevención. Tesis profesional. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. p. 81.
- Coll-Hurtado, A. (2000). México: una visión geográfica. *Temas selectos de Geografía de México*, Ed. Plaza y Valdés. Instituto de Geografía. UNAM, 141 p.
- Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA). (2013). Estructura hidráulica federal del Valle de México trabaja a máxima capacidad. *Comunicado de prensa*. No. 594-13. 2 p.
- 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 y Relaciones Neotectónicas Regionales de la Cuenca de México. *Boletín del Instituto de Geología*, No. 104, UNAM, México, D.F.
- Díaz-Rodríguez, J. A; Lozano-Santa Cruz, R; Dávila-Alcocer, V. M; Vallejo, E. y Girón, P. (1998). Physical, chemical and mineralogical properties of Mexico City: a geotechnical perspective. *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 35, No. 4, pp. 600-610.
- Díaz-Rodríguez, J. A. (2006). Los suelos lacustres de la Ciudad de México. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Antecedentes e Infraestructura Civil*, vol. 6 (2) 111.
- Domínguez, A. (2010). "Estragos por las lluvias; miles de damnificados". En: La Jornada, México, D.F. 5 de febrero de 2010, p. 32-35.
- FAO (2007). Base referencial mundial del recurso suelo. Un marco conceptual para la clasificación, correlación y comunicación internacional. *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos*. No. 103. Roma, 130 p.

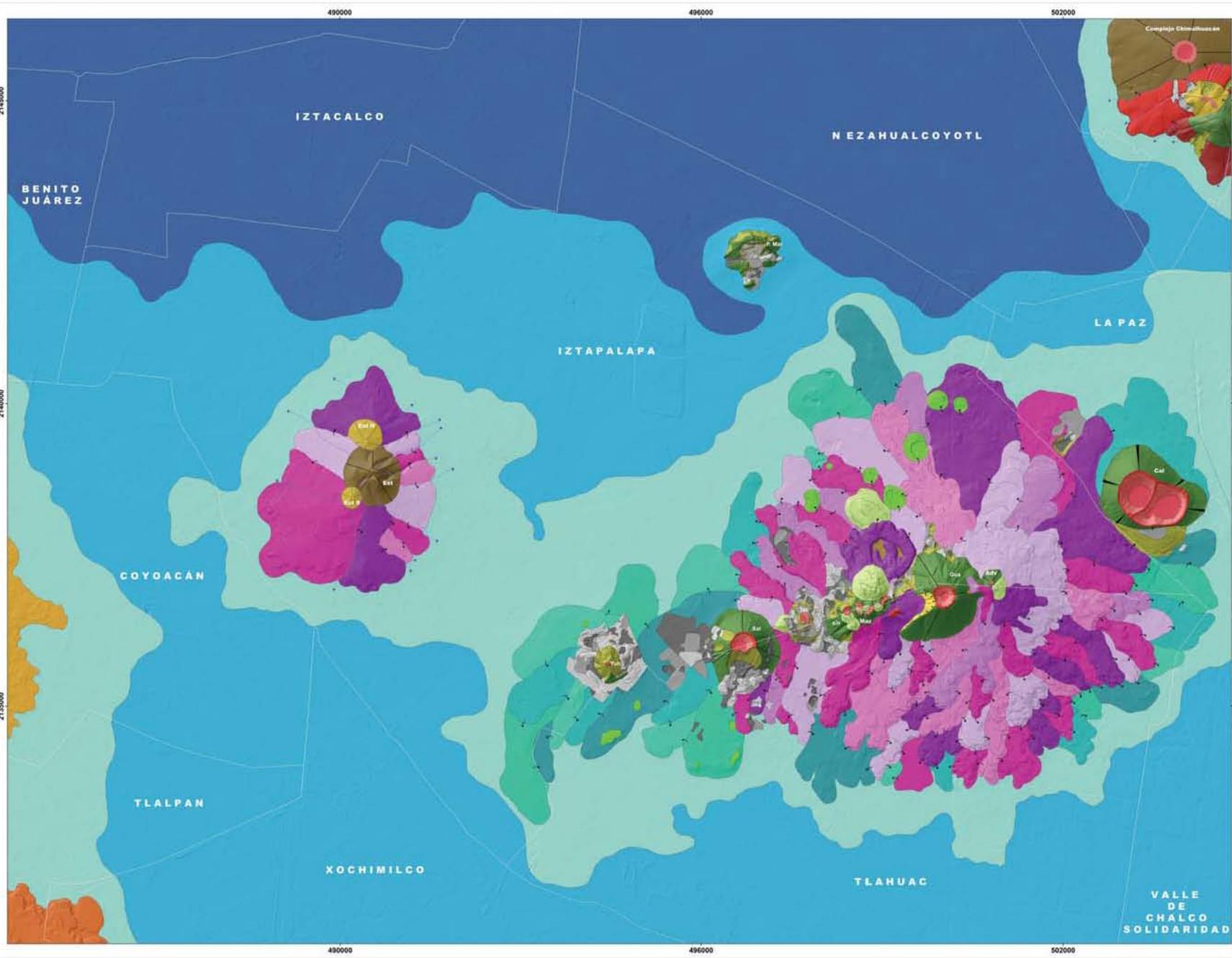
- Fries, C. J. (1960). Geología del Estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México, UNAM. *Boletín del Instituto de Geología*. No. 60, 236 p.
- García, E. y Mosiño, A. P. (1968). Los climas del Valle de México. Escuela Nacional de Agricultura. México. Colegio de Posgraduados, 63 p.
- García, E. (1981). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 3a. Ed. Offset Larios, 252 p.
- Godoy, B; Clavero, J; Rojas, C. y Godoy, E. (2012). Facies volcánicas del depósito de avalancha de detritos del volcán Tata Sabaya, Andes Centrales. *Revista Geológica de Chile*. 39 (3): 394-406.
- González, A. R. (2013). "Para evitar inundaciones, necesita Iztapalapa \$500 millones: Alavez". En: La Jornada, México, D.F. 14 de septiembre de 2013, p. 30.
- González-Moran, T. (1992). Estudio hidrogeofísico de la subcuenca de Chalco: evaluación del impacto ambiental del basurero de Santa Catarina. UNAM, Unidad de los Ciclos Profesional y de Posgrado, Colegio de Ciencias y Humanidades, disertación doctoral, 275 p. (inédita).
- Google Earth 7.1.1.1888. "Imágenes de satélite" (2012-2013); <http://earth.google.com/>
- Guerra-Peña, F. (1980). Fotogeología. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, 337 p.
- Gutiérrez de MacGregor, M.T; González Sánchez y Zamorano Orozco, J.J. (2005). La Cuenca de México y sus cambios demográfico-espaciales. *Temas Selectos de Geografía de México* (1.8.1), Instituto de Geografía, UNAM. México, 152 p.
- Gutiérrez, E. M. (2008). Geomorfología. Ediciones Pearson Educación, S.A., Madrid. P. 920
- Huízar Álvarez R. (1998). Definición del control de la calidad del agua subterránea extraída de la subcuenca de México. Delegación Iztapalapa, Instituto de Geología, UNAM, Convenio-CONSERVA, T.1, Aire-Agua, pp. 409-551.
- Huízar-Álvarez. R; Carrillo-Rivera, J; Cardona B. A; Ruíz G. J. y Hergts T. (1999). Definición del control de la calidad del agua subterránea extraída en la subcuenca de México. (Delegación Ixtapalapa). *Aire Agua, CONSERVA*, Consejo de Estudios para la Restauración y valoración Ambiental. Secretaría del Medio Ambiente. pp. 409-550.
- INEGI (2010). "Censo de Población y Vivienda. Delegación Iztapalapa"; <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

- INEGI. (2012). "Conjunto de datos vectoriales"
<http://inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/Descarga.aspx>
- INEGI, (2000). Fotografías aéreas, escala 1:20 000.
- INEGI, (2007). Modelo Digital de Elevación LIDAR (Terreno) escala 1:10 000, datum ITRF 92, formato GRID, serie I, claves: E14A39B4; E14A39C3; E14A39C4; E14A39E2; E14A39E4; E14A39F1; E14A39F2; E14A39F3; E14A39F4; E14B31A3; E14B31D1; E14B31D3.
- Leopold, L. B. (1968). Hydrology for Urban land Planning A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use. *Geological Survey Circular 554*, United States Department of the Interior.
- Lesser, I. J. M. y Cortés, P. M. A. (1998). El hundimiento del terreno en la ciudad de México y sus implicaciones en el sistema de drenaje. Ingeniería hidráulica en México. Vol. XIII, Núm. 3, pp. 13-18. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica-DDF.
- Levenson, J. A. (ed.) (1991). *Circa (1492). Art in the Age of Exploration. National Gallery of Art, Washington*, Yale University Press. EE.UU. 672 p.
- López-Moreno, I. y M. Díaz-Betancourt. (1991). Los árboles de las calles de la Ciudad de México, en El Arbolado Urbano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. UAM Azcapotzalco-Instituto de Ecología, 388 p.
- Lugo-Hubp, J. (1988). Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos). Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F., 128 p.
- 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.
- Lugo-Hubp, J; Zamorano-Orozco, J. J; Ortega-Guerrero, M. A; Echavarría, L. A; Zermeño, O. V; Salas, G. O; Mondragón, Y. D. E y González, E. Y. (1995). Informe sobre la geomorfología del cerro del Peñón del Marqués, en relación con los riesgos, y el agrietamiento en la periferia del mismo, Delegación Iztapalapa, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, *Informe Técnico*, 384 p.
- Lugo-Hubp, J. (2011). Diccionario Geomorfológico. Geografía para el siglo XXI, *Serie Textos universitarios*. Instituto de Geografía, UNAM. 480 p.
- Macías, J. L. (2005). Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. LVII, núm. 3, 2005, pp. 379-424.

- Marsal, R. J. y Mazari, M. (1959). El subsuelo de la Ciudad de México. Instituto de Ingeniería. UNAM. México, 505 p.
- Mazari, M. (1996). Agua vs Población. Estación Piezométrica EPCN y Poblamiento de la Cuenca de México. *Memoria El Colegio Nacional*. México, D.F.: 115-124
- McAllister, J. F. y Hernández, O. D., (1945). Quicksilver-Antimony deposits of Huitzuco, Guerrero, México. United States Department of The Interior, *Bulletín* 946-B. Printing office by United States Government, 28 p.
- Mejía C. N. (2012). Análisis del agrietamiento y los procesos de remoción en masa para la Sierra de Santa Catarina en el Distrito Federal y zonas aledañas al Estado de México. *Tesis de maestría*. Instituto Politécnico Nacional (IPN), México, 112 p.
- Mondragón, G. R; Roger, M. A; Valerio, V. C. y Salazar, P. L. (2010). Análisis de Fallas Tectónicamente Activas de la Cuenca de México. Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Ticomán.
- Mooser, F. (1975). Historia tectónica de la cuenca de México. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geología del Petróleo*, vol. XV, México, pp. 239-246.
- Mooser, F. (1990). Estratigrafía y estructuras del Valle de México. En Geomorfología de la sierra de Santa Catarina, D.F., México Lugo-Hubp, J; Mooser, F; Pérez-Vega, A; y Zamorano-Orozco, J. J. (1994). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, UNAM, vol. 11, núm. 1, pp. 43-52.
- Mooser, F; Montiel, A. y Zúñiga, Á. (1996). Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. Estratigrafía, tectónica regional y aspectos geotérmicos. Comisión Federal de Electricidad. (CFE). 74 p.
- Mooser, F. (2000). Estructura Geológica, en: La Ciudad de México en el fin del segundo milenio. Garza, G., (2000). Ed. Literal S. de R.L. D.F. México, pp. 39-46.
- Morelli, T. C. E. (2006). Gestión de Inundaciones Urbanas. Asociación Global del Agua. p. 317.
- Notimex. (2013). "Línea A del Metro reanuda operaciones tras inundaciones por lluvias". En. El Universal, México, D.F., 14 de junio de 2013.
- OMM/UNESCO (2012). Glosario Hidrológico Internacional, Ginebra, Suiza. 461 p.
- ONU (1984). Natural Disasters and Vulnerability Analysis, *Report of Experts Group Meeting*. Office of the United Nations Disasters Relief Co-ordinator. (UNDRO). Geneva, July, 1079.

- ONU, (2005). Elementos conceptuales para la prevención y reducción de daños originados por amenazas siconaturales. Cuatro experiencias en América Latina y el Caribe. Cuadernos N°. 91, Proyecto CEPAL/GTZ, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. Compilación y Edición Chaparro Ávila y Matías Renard Reese.
- Ordoñez, E., (1985). Las rocas eruptivas del suroeste de la Cuenca de México. *Boletín núm. 2*. Instituto Geológico de México. 46 p.
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). (1988). Cortes Litológicos y registros geofísicos de los pozos profundos exploratorios Roma-1, Mixhuca-1, Tulyehualco-1 y Copilco-1. Fundación Javier Barros Sierra, A.C., México, D.F. *Informe*, 210 p.
- Ramos, M. C. (2007). “Crean fondo de emergencia por 50 millones de pesos para Iztapalapa”. En: La Jornada, México, D.F. 10 de julio de 2007.
- Romero, G. y Maskrey, A. (1993). Cómo entender los desastres naturales. ¿Qué es un fenómeno natural?. Los Desastres No Son Naturales. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Editorial La Red. pp. 6-10.
- Roldán-Quintana, J; Aguirre-Díaz, G. de J. y Rodríguez-Castañeda, J. L. (2011). Depósito de avalancha de escombros del volcán Temascalcingo en el graben de Acambay, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 28, núm. 1, p. 118-131.
- SEDEMA (2010). “Mapa sensible de las Áreas Naturales Protegidas”; http://www.sma.df.gob.mx/corena/mapa_zonas.html
- SEDESOL (2011). Atlas de Riesgos Naturales de la Delegación Iztapalapa, México, D.F. 64 p.
- Seegerstrom, 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.
- SGM (2013). “Mapa Geológico del Distrito Federal”; http://www.proteccioncivil.df.gob.mx/mapas_sgm/mapas_sgm2.html
- Secretaría de Protección Civil. (2014). “La Basura es la causa del 50% de las inundaciones en la Ciudad de México”; <http://www.proteccioncivil.df.gob.mx/tripticos/Triptico-Basura-2014.pdf>
- Silva. T. B; Moreno S. F y Reygadas P. D. (1998). Área Natural Protegida Cerro de la Estrella Descripción y Diagnostico. *Simposio de Ciencias de América del Norte*. México. 4 p.
- SMN (1971-2000). “Normales climatológicas”; <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/df/NORMAL09009.TXT>

- Ui, T; Takarada, S, and Yoshimoto, M. (2000), Debris Avalanches, en Depósito de avalancha de escombros del volcán Temascalcingo en el graben de Acambay, Estado de México. Roldán-Quintana, J; Aguirre-Díaz, G. de J. y Rodríguez-Castañeda, J. L. (2011). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 28, núm. 1, p. 118-131.
- Valdez, O. (2014). "Iztapalapa vive bajo riesgo". En: Diario de México, México, D.F., 30 de octubre de 2014.
- Valek-Valdés, G. (2000). Agua, reflejo de un valle en el tiempo. México, D.F. UNAM. Ed. Dirección General de Divulgación de la Ciencia. 131 p.
- Vázquez-Sánchez, E. y Jaimes-Palomera, R. (1989). Geología de la Cuenca de México. *Geofísica Internacional*. México. vol. 28 pp. 133-190.
- Vera P. M. y López, B. J. (2010). Evaluación de amenazas por inundaciones en el centro de México: el caso de Iztapalapa, Distrito Federal (1998-2005). *Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM. núm. 73. 22-40 pp.
- Wolfgang N. (1995). "Sierra Catarina. Die Vulkane von Yuhualixqui"; http://www.umbruch-bildarchiv.de/bildarchiv/foto1/mexiko_impressionen/pages/1352b.htm
- WP/WU (1990). A suggested method for reporting a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 41:5-12.



Mapa Geomorfológico de la Delegación Iztapalapa, D.F., México

CLASIFICACIÓN DEL RELIEVE

I. RELIEVE ENDÓGENO VOLCÁNICO ACUMALATIVO

1.1 Edificios volcánicos espaciales

- (1) Conchales
- (2) Volcán (Vul)
- (3) Cerros (Cer)
- (4) Cerros con nombre (Cer)
- (5) Macizpos (Mac)
- (6) Guadalupe (Gu)
- (7) Pico del Marqués (P. Mar)
- (8) Abores (Ab)

Formas asociadas al relieve volcánico espaciales

- (1) Orlas
- (2) Alis
- (3) Fondon de crater
- (4) Labes de crater
- (5) Cuartos de asentamiento volcánico
- (6) Hammock
- (7) Líneas volcánicas

1.2 Edificios volcánicos efímeros

- (1) Volcán de lava con otra concha
- (2) Cerro de la Estrella (Est)
- (3) Volcán de lava con morfología de geodolmitico
- (4) Estrella Norte (Est. N)
- (5) Estrella Sur (Est. S)
- (6) Domes

Formas asociadas al relieve volcánico efímeros

- (1) Bocas volcánicas
- (2) Orlas asociadas a volcán de lava
- (3) Alis asociado a volcán de lava
- (4) Fondo de crater asociado a volcán de lava

1.3 Coladas de lava

- (1) Asociadas con la Sierra de Santa Catalina y el Cerro de la Estrella
- (2) Coladas por sedimentos lacustres, caldas y gróficos

II. RELIEVE ENDÓGENO MODELAO

- (1) Volcans, conos y conos de lava

III. RELIEVE EXÓGENO

3.1 Escanos

- (1) Casca Sólidas
- (2) Acumulados
- (3) Planos lacustre superior (2245 msnm)
- (4) Planos lacustre intermedio (2025 - 2345 msnm)
- (5) Planos lacustre inferior (2225 msnm)

IV. RELIEVE ANTROPÍCO

- (1) Linderos volcánicos transformados (Terrapas, terraplenas y otros de extracción)
- (2) Depresiones de extracción (zonas a cielo abierto)
- (3) Terrenos nivelados
- (4) Bancos de material

SÍMBOLOS COMPLEMENTARIOS

- (1) Límite inferido
- (2) Escarpes
- (3) Alturas resacas entre unidades

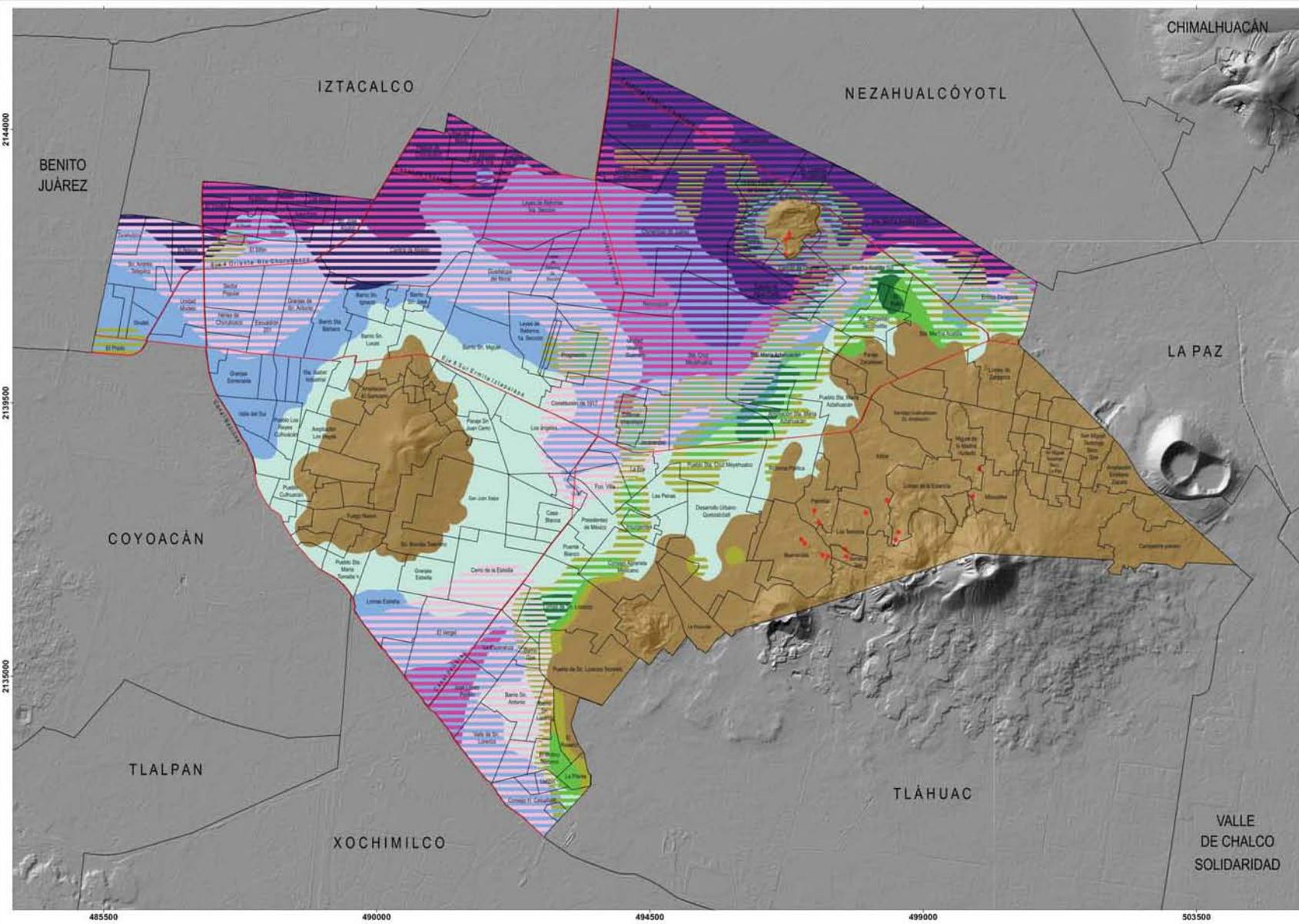
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Filosofía y Letras
Colegio de Geografía
Yuste de Licenciatura
 Autor: Daniel García Soriano
 Asesor: Dr. José Juan Zamorano Ortíz

Esc. 1:25,000

0 0.5 1 2 KM

SECRETARÍA DE GOBIERNO FEDERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



MAPA DE PELIGROS GEOMORFOLÓGICOS EN LA DELEGACIÓN IZTAPALAPA, D.F., MÉXICO.

- LEYENDA**
- I. Terrenos susceptibles a hundimientos**
- Máxima ocurrencia: 15 a 45 cm/año (área afectada: 10.5 km²)
 - Ocurrencia frecuente: 10 a 15 cm/año (área afectada: 15.5 km²)
 - Mínima ocurrencia: < 10 cm/año (área afectada: 25.2 km²)

- II. Terrenos susceptibles a inundaciones**
- Máxima ocurrencia: afecta superficies que se localizan 3 m por debajo de la planicie lacustre inferior (2225 msnm) y en donde la inclinación del terreno no supera los 0.2°. El mayor impacto de este tipo de fenómeno, se presenta durante la temporada de lluvias estacional (mayo a agosto) y ciclónicas (agosto a noviembre). Los frentes de agua varían de 80 a 150 cm.
 - Ocurrencia frecuente: las superficies afectadas por este fenómeno se localizan en la planicie lacustre intermedia (2225 - 2245 msnm), en terrenos con inclinación máxima de 2°. La recurrencia de esta dinámica es de mayo a septiembre, donde se acumulan frentes de agua que varían entre 50 y 80 cm. Este tipo de inundaciones se ve favorecida por la disposición, tipo y el tamaño de las construcciones (unidades habitacionales y vías de comunicación).
 - Mínima ocurrencia: las superficies afectadas en esta categoría ocurren sobre la planicie lacustre superior (2245 msnm), en terrenos que tienen una inclinación máxima de hasta 6°. La recurrencia de esta dinámica ocurre durante la temporada de lluvias (mayo a septiembre), donde se acumulan frentes de agua hasta 50 cm.

- III. Terrenos susceptibles a grietas**
- Máxima ocurrencia: se presenta en terrenos de transición entre el piedemonte volcánico y la planicie lacustre. La densidad de grietas en estas superficies varía de 7 a 10 km/km² y afecta un área de 2.4 km².
 - Ocurrencia frecuente: afecta los territorios de transición entre el piedemonte volcánico y la planicie lacustre. La densidad de grietas varía de 4 a 6 km/km² y afecta una superficie de 6.3 km².
 - Mínima ocurrencia: afecta los terrenos periféricos a vertiente NW de la Sierra de Santa Catarina y las inmediaciones del Peñón del Marqués. La densidad de grietas varía de 2 a 3 km/km² y afecta una superficie de 8.8 km².

- IV. Terrenos susceptibles a deslizamientos de rocas**
- Este fenómeno se localiza en laderas artificiales de los villancos Peñón del Marqués y Santa Catarina. El proceso tiene origen antrópico y en todos los casos se relaciona con la extracción de materiales a cielo abierto, proceso que ha transformado las vertientes originales, creando escarpes inestables con inclinaciones > 70° y alturas > 60 m.

- VI. Terrenos de estabilidad aparente**
- Son superficies en las que no existe registro de ocurrencia de inundaciones o procesos de ladera, sin embargo no se descarta la posibilidad de que en un futuro pudieran presentarse, debido a las constantes transformaciones que el hombre hace día con día de estos territorios.

- SÍMBOLOS COMPLEMENTARIOS**
- Colonias
 - Límite delegacional
 - Validad


Universidad Nacional Autónoma de México
 Facultad de Filosofía y Letras
 Colegio de Geografía
 Tesis de Licenciatura
 Autor: Daniel García Soriano
 Asesor: Dr. José Juan Zambrano Ortao

Esc. 1: 20,000


SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS: UTM 18Q UTM
 DATUM: WGS 84
 PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR