



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

**“PELIGROS GEOMORFOLOGICOS EN EL MUNICIPIO
DE CHIMALHUACAN, EDO. DE MEXICO:
UNA CARTOGRAFÍA PARA LA PREVENCIÓN”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A

ELISEO ENRIQUE CERECEDO MENDOZA

ASESOR DE TESIS:
Dr. José Juan Zamorano Orozco



Ciudad Universitaria

México D.F. 2006



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.

Dedicada especialmente a mis padres, Gerardo y Rosa, que en todo momento fueron una gran motivación para concluir este trabajo.

A mis abuelos y tíos, por su apoyo en todo este tiempo.

A Xochitl por permanecer conmigo aún en situaciones difíciles y por tu apoyo incondicional.

GRACIAS.

Agradecimientos.

Al **Dr. José Juan Zamorano Orozco**, asesor de esta tesis, por haberme permitido ser parte de su equipo y enseñarme lo útil que puede llegar a ser la geomorfología; además por su apoyo y amistad, mismos que hicieron amena mi estancia dentro del Instituto de Geografía.

Al **Dr. José Lugo H.** por ser parte de los revisores de este trabajo; así como por sus acertados comentarios, tanto en trabajo de campo como en el de gabinete, los cuales permitieron ampliar la parte de geomorfología.

Así mismo, al **Dr. José Ramón Hernández Santana**, cuyas sugerencias permitieron complementar el mapa de peligros geomorfológicos; además por su disposición para revisar este trabajo.

A los **Maestros Alberto Pérez Rojas y José Santos Morales**, por sus valiosas críticas, mismas que ampliaron diversos puntos de esta investigación; así como por su tiempo para la revisión de en este trabajo.

A las autoridades del **Instituto de Geografía** por permitirme hacer uso de sus instalaciones e infraestructura, las cuales fueron de mucha ayuda en la finalización de este trabajo.

A mis compañeros y amigos quienes colaboraron enormemente en la realización de esta tesis: Raúl Alvarado por el apoyo brindado en la fotointerpretación y elaboración de los mapas preliminares; Miguel Santos por compartir sus experiencia y sugerencias en momentos difíciles; Raúl Gutiérrez por la ayuda en la impresión de los mapas base; Sergio Salinas por sus constantes críticas, sugerencias y apoyo en el trabajo de campo, (gracias por tu

no amistad!!!); Ana Rosa, por su ayuda en la distintas aplicaciones de SIG´S; Nayelli Zaragoza, por sus amplias correcciones y sugerencias en los capítulos que conforman esta investigación; Alejandro Flores, por la estructuración y edición final de los mapas, que conforman los dos últimos capítulos; Carlo Mendoza, por sus comentarios y criticas realizados en cada uno de los capítulos; Osvaldo Franco, por compartir sus conocimientos y amistad en las buenas y en las malas.

Además agradezco a los compañeros que en algún momento apoyaron en la realización de este trabajo: Alejandro Ramírez, Ana Isabel, Jacobo Karim Bautista, Cristián Lomelin, Gerardo Mollinedo.

Ahí donde esta tu reto, está tu crecimiento.

Anónimo.

Introducción	1
I. Conceptos fundamentales de los riesgos naturales.	3
1.1 Vulnerabilidad física y peligros geomorfológicos.	5
1.2 Clasificación de los peligros geomorfológicos.	7
1.3 La geomorfología como método aplicado al estudio de los peligros.	8
II. Aspectos Geográficos y Geológicos de la Cuenca de México.	13
2.1 Localización y rasgos principales del relieve.	13
2.2 Geología regional e histórica de la Cuenca de México.	16
2.3 Geología del Municipio de Chimalhuacán.	21
III. Formas del relieve, procesos modeladores, peligros asociados y análisis geomorfológico.	28
3.1 Regiones Geomorfológicas y estudios antecedentes sobre peligros (riesgos), en el municipio de Chimalhuacán Edo. de México.	28
3.2 Análisis Geomorfológico como punto de partida en la caracterización de los peligros naturales.	34
I. Relieve endógeno.	36
II. Relieve exógeno.	42
III. Relieve antrópico.	47
IV. Susceptibilidad a Peligros Geomorfológicos en el Municipio de Chimalhuacán.	52
Mapa altimétrico.	53
Mapa de inclinación del terreno.	55
Mapa de inundaciones estacionales.	58
Mapa de Peligros geomorfológicos (mapa anexo 2).	60
I. Terrenos susceptibles a inundaciones.	61
II. Procesos de Ladera.	65
III. Grietas.	67
IV. Zonas con estabilidad aparente.	69
Conclusiones.	71
Bibliografía.	73

Introducción.

El incremento de la población ha traído como consecuencia la necesidad de viviendas. Esta demanda ha propiciado ocupar territorios que no son aptos para la urbanización. El municipio de Chimalhuacán es un claro ejemplo de esto; a lo anterior se suma la falta de un plan de crecimiento urbano y una población con escasos recursos económicos que vive, en su gran mayoría, en terrenos no apropiados para ese uso. Los peligros geomorfológicos tienen un mayor impacto sobre estas áreas.

Un aspecto a considerar es la falta de estudios especializados, en donde se considere la situación mencionada y las características del relieve; es decir, la génesis y evolución del territorio, con el fin de hacer evidentes zonas recurrentes a presentar procesos geomorfológicos que pueden ser un peligro para la población. El municipio de Chimalhuacán es un ejemplo de un territorio vulnerable; la mayor parte de sus habitantes están expuestos a las inundaciones, procesos de ladera y formación de grietas en el suelo.

El objetivo de este estudio es identificar aquellas colonias susceptibles a presentar algún peligro. Existen diversos enfoques y metodologías para el estudio de las amenazas, el empleado en esta investigación fue el análisis geomorfológico, realizado en diversas etapas de investigación, las cuales representan cada uno de los capítulos que integran a este trabajo.

En el capítulo uno se revisan trabajos realizados en México encaminados a la prevención y mitigación de fenómenos naturales peligrosos, asimismo se fundamenta el análisis geomorfológico como punto de partida para la identificación y delimitación de áreas susceptibles a presentar peligro.

El capítulo dos se basó en la recopilación y análisis de información geológica de la zona de estudio, con el propósito de establecer la relación con la dinámica de los procesos que causan algún peligro.

El capítulo tres comprende el análisis geomorfológico, donde se clasifican y analizan las formas de relieve delimitadas por medio de la interpretación de fotografías aéreas. La información obtenida se refleja en la elaboración del mapa morfogenético del Municipio de Chimalhuacán.

En el cuarto capítulo se explica la elaboración y análisis de los mapas: altimétrico, de inclinación del terreno y de inundaciones estacionales. Su realización está encaminada a la zonificación de la dinámica del relieve. La síntesis de la información obtenida se plasma en el mapa de peligros.

Capítulo I. Conceptos fundamentales de los riesgos naturales

El estudio de los desastres en México es relativamente nuevo, adquirió importancia a partir de los sismos ocurridos en septiembre de 1985. Fue así que el Gobierno Federal y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en conjunto con el Gobierno de Japón, vieron la necesidad de crear una institución que se encargara del estudio de los desastres. De esta manera, en mayo de 1986 el Gobierno Federal sentó las bases para la creación del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), con los siguientes objetivos:

- > Articular y coordinar las acciones de los Gobiernos Federal, Estatal y Municipal.
- > Organizar y encauzar la participación de los sectores privados y públicos.
- > Elaborar programas de prevención y mitigación de desastres originados por fenómenos naturales así como también, el control de los riesgos químicos, sanitarios y socio – organizativos (Secretaría de Gobernación, 1998).

Al mismo tiempo, la UNAM decidió impulsar las actividades de los académicos en cuestiones de investigación y desarrollo de medidas de prevención de desastres. El Gobierno de Japón aportó tecnología en materia de desastres originados por sismos; con esta iniciativa fue creado el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). El objetivo de esta institución es el de capacitar, investigar y divulgar medidas de preparación y autoprotección en caso de una contingencia (Valdez, 2004).

En este sentido, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) y la Universidad Autónoma de Colima (UAC), en colaboración con los gobiernos estatales e instituciones internacionales (United States Geological Survey, USGS), realizan

investigaciones relacionadas con la prevención de los peligros volcánicos en el Popocatepetl, Nevado de Toluca y Fuego de Colima.

En México tienen relevancia los peligros volcánicos, pero no son los únicos; la posición geográfica del país hace que sea susceptible a los efectos devastadores de los huracanes en las costas e inundaciones, en el interior del continente. Los sismos son otro factor de peligro, debido a que tienen su origen en la Trinchera Mesoamericana frente a la costa del Pacífico sur.

Además de los peligros mencionados existen otros que no son tan espectaculares como la actividad volcánica o los movimientos telúricos. Se trata de la remoción en masa, inundaciones, desarrollo de grietas y subsidencia del terreno; su frecuencia y magnitud resultan relevantes cuando afectan a concentraciones humanas, llegando a ser los responsables de numerosos decesos y pérdidas materiales. Cuando esta situación ocurre en nuestro país, el Ejército Mexicano es el encargado de aplicar el Plan DN-III, con el propósito de alertar a la población de posibles eventualidades durante el periodo de contingencia. También organiza la evacuación de la población hacia lugares de resguardo o albergues, proporciona protección no solo a los ciudadanos sino también a sus bienes. El ejército proporciona víveres y en algunos casos colabora en la reconstrucción del lugar (SEDENA, 2004), este plan es de cobertura nacional.

La falta de estudios encaminados a identificar fenómenos naturales peligrosos (mapas de peligros geomorfológicos), así como, para la implementación de sistemas de prevención temprana, son una constante en la mayoría de los estados del país. En esto tienen que ver varios factores, entre ellos, la falta de recursos económicos y de personal especializado, son de los principales.

En este marco, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la dinámica exógena y endógena del territorio, su punto de partida es el análisis geomorfológico. De esta manera, la vulnerabilidad física se reduce con la elaboración de un mapa de peligros (1: 12 500), donde se especifica de manera clara las zonas de afectación, mayor ocurrencia y magnitud de los procesos geomorfológicos que pueden representar un peligro.

Cabe mencionar que, el mapa de peligros resulta de suma importancia para la realización de medidas de prevención y mitigación de amenazas, además, propone acciones para reducir al máximo el periodo de emergencia posdesastre y poder acelerar el inicio de las etapas de rehabilitación y reconstrucción de la zona afectada.

1.1 Vulnerabilidad física y peligros geomorfológicos.

Existe la falsa idea de que los fenómenos naturales son cada vez más frecuentes y de mayor magnitud, sin considerar que a lo largo de la historia de cualquier territorio son un hecho constante, de ellos se tiene conocimiento debido a diferentes tipos de registro (leyendas, crónicas, pinturas, bajorelieves, glifos, entre otros).

En este sentido, un aspecto que no se ha tomado en cuenta es la concentración de la población (poblados y ciudades) en terrenos que no son favorables para los asentamientos, es decir, se emplazan en espacios que no son aptos para las construcciones, con lo que se crean situaciones cada vez más vulnerables a presentar alguna situación de contingencia. En definitiva, “el hombre debe aceptar que está en plena interacción con una naturaleza viva, que presenta su propia dinámica y por lo tanto tiene sus propias leyes de funcionamiento contra las cuales se puede o no atentar, a riesgo de resultar perjudicado el mismo” (Romero y Maskrey, 1993).

Los fenómenos naturales son expresión de la actividad terrestre, se presentan tanto de forma regular como extraordinaria. Sin embargo, es necesario mencionar que no todos son peligrosos, ya que se cohabita con muchos de ellos e incluso pasan desapercibidos (lluvias estacionales, radiación solar, cambios en la temperatura). No obstante, existen otros que debido a su ocurrencia repentina y magnitud generan situaciones peligrosas, por ejemplo, los sismos, que se consideran potencialmente destructivos.

La dinámica de los fenómenos naturales es la esencia de la configuración y evolución de la corteza terrestre. Desde una perspectiva geomorfológica, estos fenómenos corresponden a los procesos modeladores que pueden tener un origen endógeno o exógeno, dichos fenómenos se conocen como procesos geomorfológicos.

La ocurrencia de procesos geomorfológicos en algunos casos puede cambiar el ambiente y la cotidianidad de una sociedad; esta asociación es la que entendemos como peligro geomorfológico. Es necesario señalar que éstos se magnifican de acuerdo con las condiciones naturales y sociales. En el primer caso se consideran el clima, el sustrato geológico, la presencia o ausencia de estructuras disyuntivas y la morfología del relieve. En el otro grupo se incluye a la pobreza, la marginación, el hacinamiento y la proliferación de asentamientos irregulares. Estos aspectos son los que definen la vulnerabilidad del territorio.

La vulnerabilidad se entiende como, la falta de capacidad de resistencia y recuperación de una sociedad ante un desastre, así como la incapacidad de evolucionar eficazmente para adecuarse a su medio (Toscana, 1998). Este concepto es muy amplio y de acuerdo con Wilches-Chaux (1993), se puede aplicar en los siguientes contextos: político, económico, cultural, social, ideológico, educativo, ecológico y natural (físico). Este último hace referencia a

los cambios que ocurren en la corteza terrestre, debido a la actividad de los procesos geomorfológicos.

La vulnerabilidad física está determinada por la situación geográfica, geológica y geomorfológica del territorio, y se entiende como el desconocimiento que tiene la sociedad acerca de la existencia y dinámica de procesos geomorfológicos peligrosos en su entorno (Zamorano, 2006).

El conocimiento de la dinámica de la superficie terrestre, a partir de estudios geomorfológicos, permite reducir la vulnerabilidad física. Los mapas de peligros son la herramienta, ya que a partir de este documento es posible implementar medidas de prevención y mitigación. Otro aspecto que se logra con esta cartografía, es el de reducir al máximo la duración del periodo de contingencia (posdesastre), con el fin de acelerar la rehabilitación de la sociedad afectada.

1.2 Clasificación de los peligros geomorfológicos.

Slaymaker (1996) teniendo como punto de partida el origen de los peligros los clasifica en tres grandes grupos (Fig.1). El primero está relacionado con la dinámica del interior de la Tierra (endógenos). El segundo corresponde a los exógenos, con la radiación solar que es convertida en trabajo mecánico (procesos de modelado), responsable de la morfología de la superficie de la Tierra; y por último los inducidos, que tienen que ver con el mal uso y manejo del territorio.

Peligros geomorfológicos	Endógenos	Vulcanismo Sismos
	Exógenos	Inundaciones, Colapsos en karst, Avalanchas de nieve Sedimentación, Movimientos en masa (deslizamientos) Tsunamis
	Inducidos	Desertificación, Permafrost, Erosión del suelo, Inundaciones

Fig. 1. Clasificación geomorfológica de los peligros o amenazas de origen natural de acuerdo con Slaymaker (1996).

Inundaciones, procesos de ladera y desarrollo de grietas en el terreno son los peligros que afectan a los habitantes del municipio de Chimalhuacán; todos estos fenómenos tienen un origen exógeno. Las particularidades de la génesis, frecuencia, impacto y localización de los peligros mencionados, son la esencia de este trabajo; donde se tiene como punto de partida el análisis geomorfológico.

1.3 La geomorfología como método aplicado al estudio de los peligros.

Se ha considerado a la geomorfología como una ciencia *pura*, la cual solo abarca el estudio concerniente al tipo y génesis de las distintas formas del relieve, sin considerar que los datos generados a partir del análisis geomorfológico han permitido solucionar diversos problemas originados de la relación hombre-relieve (Peña, 1997).

De acuerdo con Verstappen (1992), el análisis geomorfológico tiene aplicación en investigaciones de índole ambiental encaminadas a la conservación de los recursos; interferencia humana en el medio ambiente (impacto) y los relacionados con las amenazas (procesos geomorfológicos peligrosos); estos últimos cada vez adquieren mayor importancia debido a que los procesos responsables del modelado terrestre, son cada vez más

agresivos, tienden a ampliar sus áreas de impacto derivando en estados de emergencia más prolongados.

El mal uso y manejo del entorno, sin duda tiene que ver con la creciente dinámica de destrucción que alcanzan algunos procesos geomorfológicos, que hasta hace algunos años no representaban problema. Por otro lado, el incremento constante de la de población provoca una presión en el ambiente, que en algunos casos propicia situaciones de peligro, debido al establecimiento de viviendas en terrenos angostos (terrazas o llanuras intermontanas) que se localizan al mismo nivel del cauce o con muy pocos decímetros de altura de diferencia (barrancas).

En el caso de la mayoría de las viviendas de Chimalhuacán, se ubican en la zona de influencia de crecidas fluviales-lacustres de la porción oriental de la Cuenca de México. En donde la pobreza y marginación son la fuente de proliferación de asentamientos irregulares en terrenos que no son apropiados para el uso habitacional.

Los estudios realizados en México que tienen relación con los peligros geomorfológicos son cada vez más frecuentes, en la mayoría de los casos su elaboración es a partir de la ocurrencia de un evento de carácter catastrófico, la manera de estudiarlos es a partir de la elaboración de tesis en distintos niveles. Los resultados de estas investigaciones, en casi todos los casos, aparecen publicados en revistas especializadas tanto nacionales como internacionales. A continuación, se hace una revisión de aquellos trabajos que de alguna manera forman parte de la obra de consulta de esta tesis y que sirvieron de punto de partida; algunos de ellos se relacionan con la Cuenca de México y otros son de carácter regional y local. Dentro del primer grupo destacan los siguientes:

La primera regionalización de procesos exógenos para la Cuenca de México que se conoce, fue realizada por Lugo (1992). En este mapa se identifican las áreas de influencia de los principales agentes que modelan a este territorio (1: 1 400 000) como la erosión fluvial en piedemonte y volcanes menores, en laderas montañosas, remontante, caída de rocas y derrumbes; glaciares y periglaciares; zonas de infiltración; lagos temporales, etc.

Mota-Palomino *et al.* (1992), a partir de una regionalización geomorfológica analiza la distribución de los daños provocados por los sismos (con epicentros en el Pacífico) y la dinámica de las estructuras disyuntivas activas presentes en la Ciudad de México.

Con respecto a las inundaciones, se cuenta con el mapa elaborado por Zamorano *et al.* (1992), en donde a partir de un criterio geomorfológico se caracterizan a las inundaciones en extraordinarias, ordinarias y permanentes; en cada uno de los casos se hacen evidentes sus efectos (sobre todo para el área metropolitana de la Ciudad de México).

Ortiz *et al.* (1992 b), realizan a través de parámetros regionales la identificación de los distintos procesos gravitacionales y su morfología asociada, los factores que los condicionan; así como su ocurrencia espacial y temporal, son analizados en una matriz de correlación.

Entre los trabajos que tienen como objetivo caracterizar un solo proceso de modelado y sus riesgos asociados, se tienen los trabajos de Flores (2002), Frausto (2002), López (2003) y Borja (2003). Todos ellos tienen en común los procesos gravitacionales y la utilización de Sistemas de Información Geográfica, así como la utilización de modelos de simulación, con el fin de determinar áreas de peligro.

Investigaciones que están relacionadas con la ocurrencia de fenómenos naturales peligrosos (procesos de ladera e inundaciones) y con las áreas que afectan, se pueden citar: Lugo-Hubp *et al.* (1995 y 1996), Salas (1995), Gonzáles y Contreras (2001), Toscana (2003) y Zaragoza (2006). En ellos el objetivo principal es la elaboración de un mapa de peligros, en donde es posible identificar y conocer terrenos susceptibles a afectación de manera precisa y de fácil identificación; el análisis geomorfológico es el punto de partida para elaborar la cartografía mencionada.

La revisión bibliográfica permitió determinar y establecer los parámetros que se utilizarán en la presente investigación (Fig. 2), con este fin se tomaron en cuenta los criterios clásicos de la geomorfología (génesis, morfología, dinámica, evolución y edad), de ésta manera fue posible identificar el origen de los agentes geomorfológicos, sus relieves asociados, su dinámica y evolución. Hay que tener en cuenta que la magnitud que alcanzan depende de las características naturales del terreno, este aspecto se conoce como vulnerabilidad física y representa el objetivo central de esta investigación, su representación espacial se conoce como mapa de peligros.

Consideramos que la geomorfología es una pieza fundamental en el estudio de los peligros. No obstante, para que este tipo de investigación tenga resultados cercanos a la realidad y sea posible su aplicación, debe considerarse a la actividad humana como un factor que interactúa y modifica de forma constante al relieve. En este quehacer es donde tiene cabida el análisis geomorfológico; a través de él, es posible valorar si las modificaciones al entorno traerán más beneficios que perjuicios. Conocer la dinámica geomorfológica es necesaria, ya que, “es imposible la existencia de la sociedad sin modificar al medio circundante y adoptarlo a sus necesidades vitales” (Ledo y Serrano, 1981).

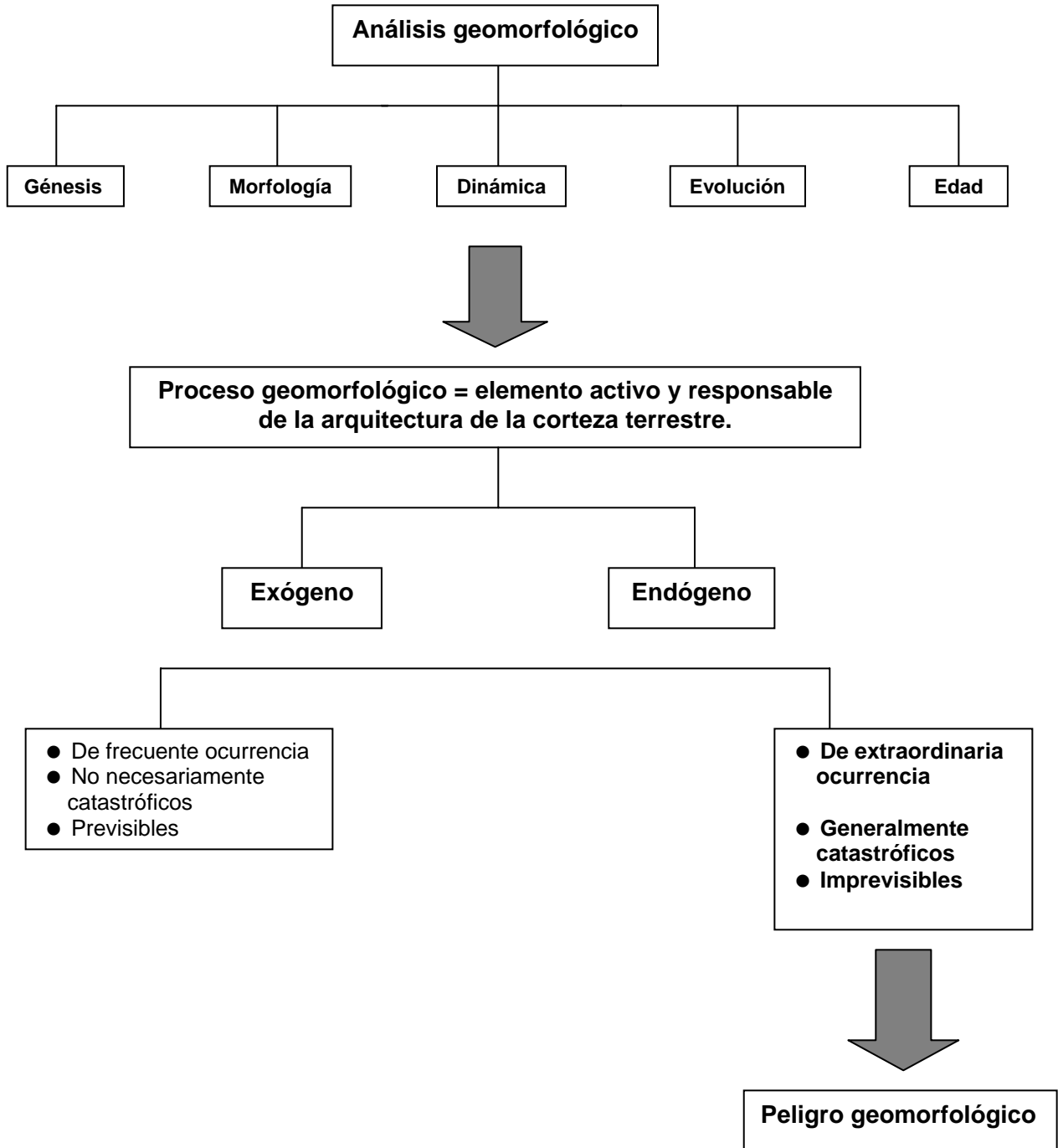


Fig. 2. Criterios geomorfológicos utilizados en la caracterización y elaboración de mapas de peligros.

Capítulo II. Aspectos Geográficos y Geológicos de la Cuenca de México.

En la Cuenca de México (CM) existe una estrecha relación entre los procesos exógenos y endógenos, se manifiesta en relieves variados y complejos. En la actualidad este territorio es transformado de manera sustancial, debido al crecimiento constante de la Ciudad de México. Este fenómeno es el responsable de la agresividad y magnitud que llegan a tener algunos procesos geomorfológicos, responsables de la evolución de este territorio.

2.1 Localización y rasgos principales del relieve.

La CM es una altiplanicie rodeada de montañas de origen volcánico, su altitud promedio es 2 300 msnm; de norte a sur alcanza una longitud de 110 km y de este a oeste 80 km, aproximados. Esta cuenca se encuentra entre los 98° 15' - 99° 30' de longitud W y 19° 00' - 20° 15' de latitud N.

La CM es un territorio que está definido por varios sistemas montañosos que le dan un carácter endorreico, por tanto, un drenaje obstruido que favorece la existencia de varios cuerpos lacustres. En la actualidad tiene un desagüe artificial, en donde los escurrimientos salen por el tajo de Nochistongo y por el Drenaje Profundo, para integrarse al sistema fluvial Moctezuma – Panuco para desembocar en el Golfo de México.

Del conjunto de cuencas interiores con drenaje obstruido, la de México es la más importante debido a dos aspectos, el primero corresponde a su extensión de 9 600 km², los cuales se distribuyen en la porción oriental del Estado de México (4 800 km²), el sur de Hidalgo (2 540 km²), los sectores orientales de Tlaxcala y Puebla (840 km² y 100 km²) y en gran parte del Distrito Federal (1 320 km²) (Marín – Córdova *et al.*, 1987); el segundo comprende la

gran diversidad de contrastes topográficos que se encuentran en su periferia (Fig. 3).

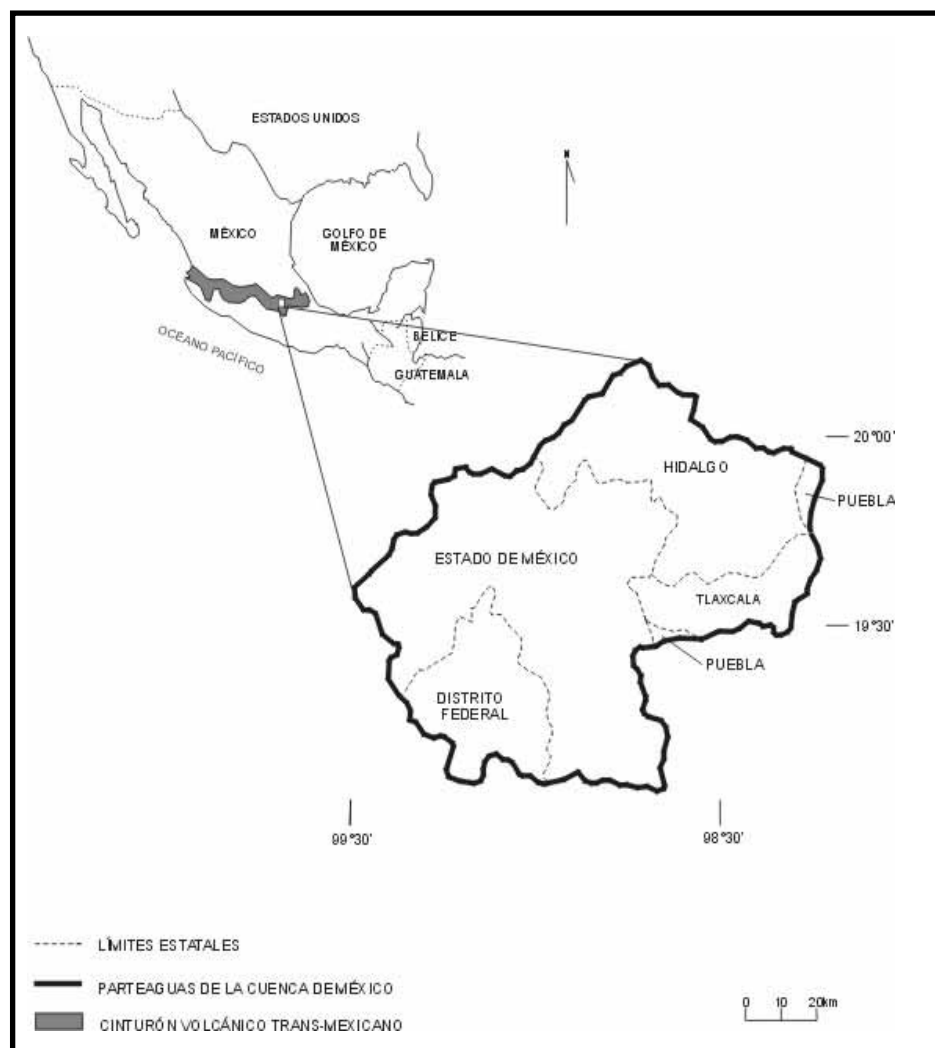


Fig. 3. La Cuenca de México se localiza en la porción centro oriente del Cinturón Volcánico Transmexicano; con un área de 9 600 km², comprende fragmentos de cinco estados de la República Mexicana (MacGregor *et al.*, 2005).

Los sistemas montañosos que bordean a la CM, si bien todos ellos tienen en común un origen volcánico, presentan diferencias en composición, edad, altura y localización.

La Sierra Nevada se localiza al SE y es la que presenta mayor altitud, el Popocatépetl (5 430) e Iztaccihuatl (5 286) forman parte de ella. La Sierra del Chichinautzin, define el límite sur y se une al SW a la Sierra de Zempoala. La frontera sur de la cuenca es la más reciente de todas, De Cserna *et al.* (1988) calcula una edad de 700 000 años. La porción W tiene continuidad con las Sierras de Las Cruces, Monte Alto y Monte bajo. La Sierra de Tepotzotlán - Tezontlalpan definen la porción NW y las de Pachuca, Chichicauatla y Tepozán lo hacen al N y NE (Fig.4).

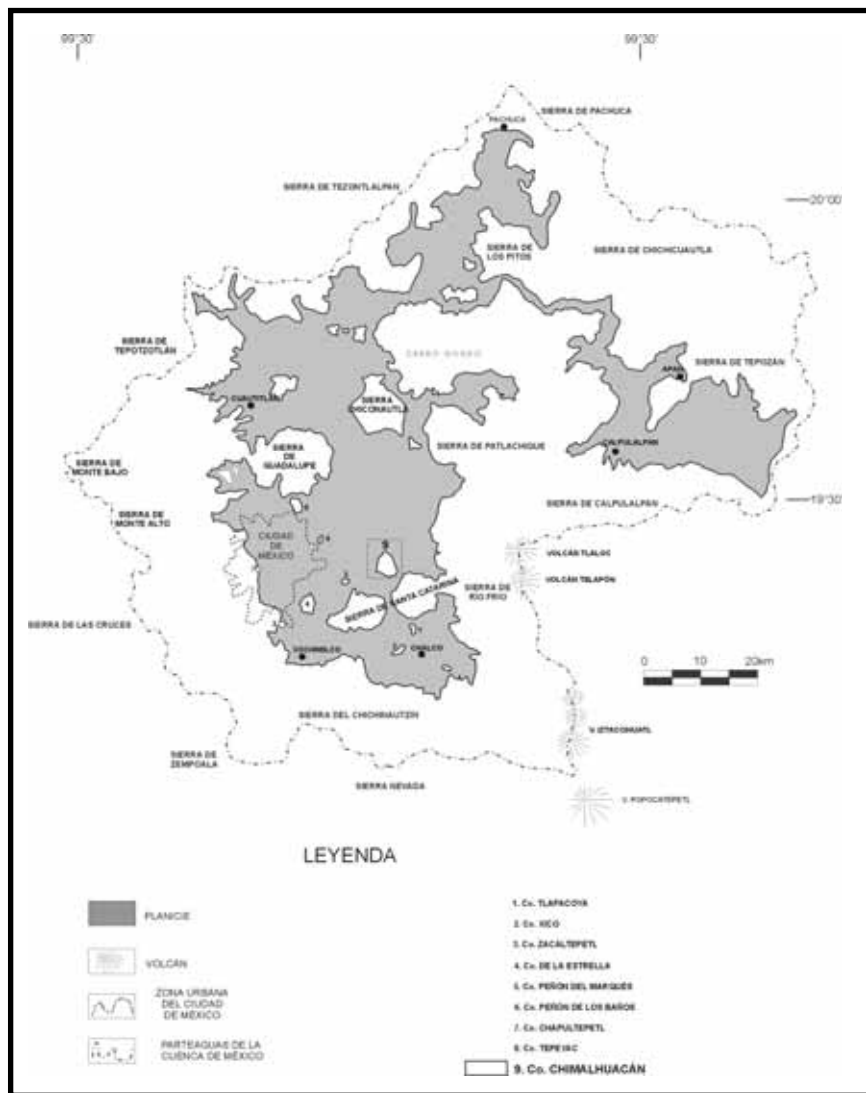


Fig. 4 Principales rasgos topográficos de la Cuenca de México (MacGregor *et al.*, 2005).

2.2 Geología regional e histórica de la Cuenca de México.

La Cuenca de México forma parte del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), el cual concentra la mayor parte de las superficies volcánicas del país, se dispone entre los 19° y 20° de latitud norte; cruza la República Mexicana desde Nayarit (en el Pacífico) hasta Veracruz (en el Golfo de México), presenta una longitud de 1 200 km y una anchura máxima de 100 km (Ego y Ansan, 2002). El CVTM se define como una cadena montañosa constituida por lavas de composición variada, potentes acumulaciones de piroclásticos, depósitos glaciares en las altas montañas y extensos lechos lacustres que alternan con aluviones.

El origen del CVTM se relaciona con el proceso de subducción, presente a lo largo de las costas del Pacífico, desde el Mioceno Tardío (Fig. 5). En este fenómeno se involucran las placas de Rivera – Cocos (oceánicas) y de Norteamérica (continental). Las dos primeras se desplazan por debajo de la continental, a lo largo de la Trinchera Mesoamericana. Este mecanismo es el responsable de la variedad de relieves (tecto-volcánicos), así como de numerosas cuencas endorreicas que se originaron por obstrucción de sus drenajes y por acumulaciones de origen volcánico, de ellas, la de mayor área es la de México.

La historia geológica de la CM se remonta desde hace un millón de años, cuando en el antiguo valle de México existía un sistema fluvial distinto al actual; en donde la Sierra de Pachuca (N), era drenada por el río Cuernavaca y la Sierra Nevada (E) al igual que los conjuntos montañosos del NE y SE por el río Cuautla, ambos escurrimientos eran afluentes del Amacuzac y este último se integraba al Balsas (Mooser, 1975). Esta situación fluvial se interrumpe hace 700 000 años, con el origen de la sierra volcánica del Chichinautzin, al sur (De Cserna *et al.*, 1988).

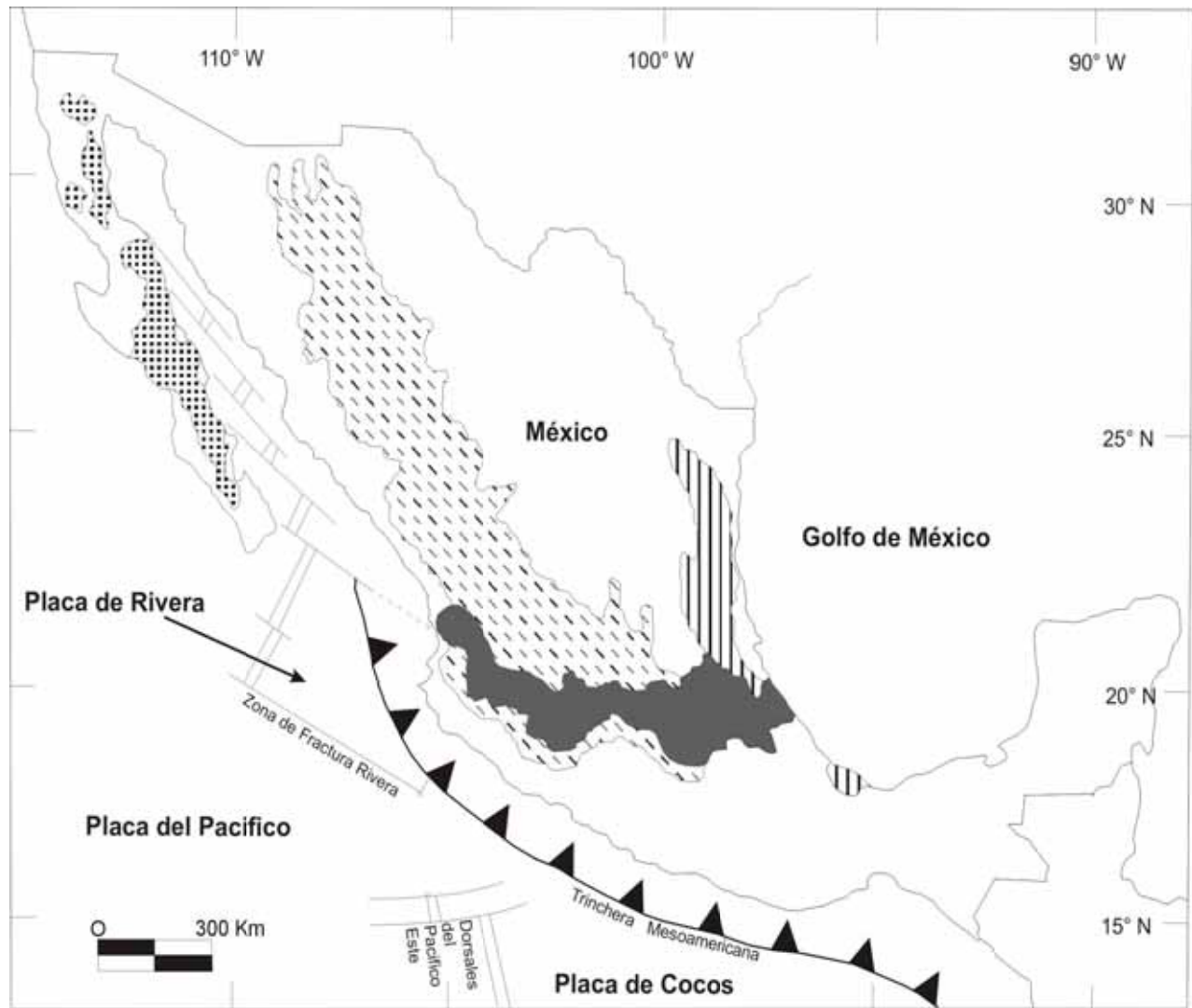






Figura 5. Provincias volcánicas. 1  Sierra Madre Occidental; 2  Cinturón Volcánico Trans- Mexicano; 3  Californiana (Provincia Volcánica de Baja California); y 4  Sierra Madre Oriental (Provincia Alcalina Este) (Drummond, 1986 en Delgado, 1994).

La acumulación de lavas y piroclastos alcanzaron un considerable espesor (Sierra Chichinautzin) y formaron una cortina natural que represó todos los escurrimientos de la zona, este hecho fue favorable para la existencia de lagos.

Asimismo, sedimentos fluviales, lacustres y volcánicos rellenaron de forma paulatina el antiguo e irregular fondo de la Cuenca de México. Los desniveles preexistentes fueron determinantes en la variación de los espesores del depósito; 30 m en las cercanías de la ciudad de Pachuca, 200 m en el centro de la cuenca y el máximo de 600 m, en las cercanías de la Sierra de Chichinautzin (De Cserna *et al.*, 1988).

En lo que se refiere a la evolución de la Cuenca de México no existe un esquema que explique de manera concisa y veraz su origen, siendo aún tema de cierta polémica. En este trabajo, se explica el origen de la Cuenca a partir del modelo de Mooser (1975), titulado *Las siete fases del vulcanismo*. En el cual toma como referencia un marco tectónico – volcánico:

“La primera fase se desarrolló en el Terciario temprano, esta constituida por rocas volcánicas de composición intermedia a ácida; no afloran en superficie, pero existen a una profundidad de 2 265 m, como lo demostró el pozo Texcoco 1.

La segunda ocurre en el Oligoceno Medio, se caracteriza por la existencia de numerosas coladas de lava de composición intermedia y ácida, también fueron abundantes los materiales volcanoclásticos y, de manera local, materiales acarreados por los ríos. Estos depósitos presentan una fuerte densidad de fracturas y fallas y en conjunto, tienen un arreglo tectónico a manera de fosa (graben) y pilar (horst). Los afloramientos representativos se localizan al norte de la sierra de Tepetzotlán y se continúan hasta la región de

Huehuetoca, para terminar en el cerro Sincoque, al NW del poblado de Coyotepec.

El Oligoceno tardío es el escenario de la tercera fase, en ella tienen desarrollo la base (Formación Xochitepec) de lo que más tarde serán las Sierras Mayores localizadas al E y W de la actual cuenca de México. El tipo de roca que caracteriza este periodo es de composición ácida y forma grandes depósitos de dacitas, riolitas y en menor proporción andesitas y derrames basálticos (Vázquez y Jaimes, 1989). Todos estos materiales se presentan fracturados y con evidencias de haber estado sometidos a una intensa erosión. Son de esta época también, pequeñas elevaciones volcánicas aisladas: Peñón de los Baños, Tlapacoya, Zacaltépetl y Chapultepec, las cuales interrumpen la continuidad de la planicie lacustre.

Durante el Mioceno aparece la Sierra de Guadalupe, misma que marca el inicio de la cuarta fase, este complejo volcánico está constituido de lavas intermedias y ácidas. Otras estructuras asociadas son la Sierra de Tepotzotlán, Los Pitos, Patlachique y el Tepozán. Como rasgo distintivo se tiene una actividad tectónica poco significativa, así como el desarrollo de estructuras volcánicas (conos y domos), que aún conservan su morfología original.

Al término del Mioceno inicia la quinta fase volcánica, con la creación de las Sierras Mayores, al oeste la de las Cruces – Monte Alto- Monte Bajo, al este la Nevada – Río Frío; en conjunto, definen los límites actuales de la cuenca de México. Estas sierras son resultado de una actividad volcánica de composición intermedia y ácida, que tienen como centros de emisión estructuras poligenéticas de grandes dimensiones (estratovolcanes), entre las más conocidas están el Iztaccíhuatl, Popocatepetl y Ajusco. De manera simultánea, tuvieron lugar procesos exógenos que comenzaron a modelar la Sierras Mayores, de esta manera se fue integrando una rampa acumulativa, para esta época aún incipiente, compuesta de detritos de acarreo de origen volcánico.

Con el tiempo, este proceso llegó a formar el extenso piedemonte que bordea a las estructuras ya mencionadas.

El Cuaternario es el escenario donde las fases volcánicas seis y siete tienen desarrollo, el marco temporal que comprende cada una de ellas no es preciso, sin embargo, se pueden diferenciar a partir de la composición de los materiales volcánicos y de las formas del relieve que resultaron en cada una de ellas. De esta manera, se tiene que para la sexta fase hubo un predominio de materiales andesítico – basálticos que forman los cerros (volcanes) Chimalhuacán, La Estrella, Los Pinos, Peñón del Márquez, Chiconautla y Gordo. En este apartado se incluye el vulcanismo monogenético (de composición fenobasáltico y andesítico) que se localiza entre los actuales poblados de Tizayuca y Apan.

La última fase culmina en el Cuaternario tardío con la aparición de la Sierra del Chichinautzin, la cual se considera como una Formación Geológica. Las rocas que la integran cubren de manera discordante e indistinta, desde unidades cretácicas (sedimentos marinos plegados) hasta cuaternarias (sedimentos lacustres). Este conjunto volcánico monogenético fue el responsable de la obstrucción del antiguo drenaje hacia el sur, como resultado de la edificación de más de un centenar de conos, derrames lávicos y material piroclástico, el material acumulado alcanzó un espesor máximo de 1 800 m (Fries, 1960). Cabe mencionar que el derrame más reciente lo constituyen las lavas del Pedregal de San Ángel, los cuales fueron emitidas por el volcán Xitle, hace $2\,422 \pm 250$ años (Arnold y Libby, 1951 en De Cserna et al., 1988). En esta etapa quedan establecidos los rasgos morfológicos actuales de la cuenca de México. Sin embargo, la actividad tectónica y volcánica aún está presente y se manifiestan en la actual actividad del Popocatepelt que dio inicio en diciembre de 1994 y que se mantiene hoy día” (MacGregor *et al.*, 2005).

En el escrito anterior queda manifiesto que el volcán Chimalhuacán, estructura más importante de la zona de estudio, forma parte de la sexta fase que se inicia en el Pleistoceno con una composición andesito–basáltica. Esta estructura se compone de cuatro volcanes sobrepuestos y no de uno como se afirma en el modelo de Mooser (1975).

La fase seis es la información más puntual que se tiene acerca del municipio de Chimalhuacán. Para este territorio, no existen trabajos geológicos específicos y la información con la que se cuenta es general, ya que las investigaciones tienen como objeto de estudio la Cuenca de México.

2.3 Geología del Municipio de Chimalhuacán.

Los aspectos geológicos permiten comprender los factores implicados en el origen y evolución del relieve, en tanto que sus características litológicas mantienen una relación directa con los procesos exógenos que generan situaciones de peligro.

Autores como Garay (1974); Schlaepfer (1968); De Cserna *et al.* (1988) y Mooser (1990), mencionan de forma general las características geológicas en torno a la zona de estudio; para el presente apartado se tiene como punto de partida el mapa geológico elaborado por Mooser *et al.* (1996). Este documento muestra la información más reciente y detallada: edad, composición litológica y estructuras disyuntivas.

Tres unidades geológicas componen el territorio de Chimalhuacán: rocas volcánicas, depósitos lacustres y aluviales (Fig. 6).

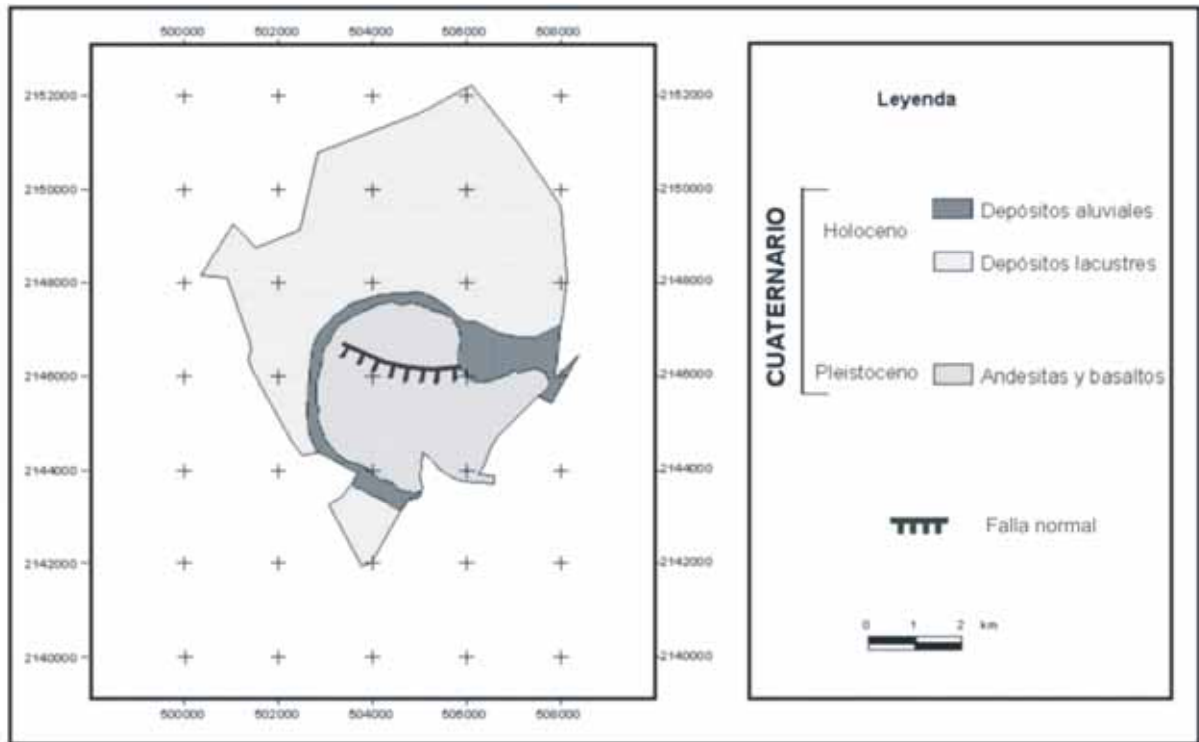


Fig. 6 Mapa Geológico del Municipio de Chimalhuacán (Mooser *et al.*, 1996).

Las rocas de origen volcánico, muestran una composición intermedia y básica, constituyen el edificio volcánico que le da nombre al municipio. De acuerdo con Bryan (1948), esta estructura comienza su desarrollo en las postrimerías del Pleistoceno, edad que fue determinada a partir de estudios pedogenéticos realizados en las laderas. Sin embargo, Mooser *et al.* (1996), indican que los rasgos morfológicos que exhibe son de una edad más antigua, con lo cual las emisiones de magma tuvieron que haber iniciado a finales del Plioceno tardío.

Los depósitos lacustres representan la segunda unidad y su edad es de 700 000 años aproximados (De Cserna *et al.*, 1988). Su origen se asocia con la Sierra Chichinautzin, misma que funcionó como una represa natural al retener los escurrimientos y sus acarrees; a estos depósitos se integraron detritos volcánicos de caída (arenas y cenizas) que al intemperizarse originaron arcillas

compresibles denominadas montmorillonitas y bentonitas. La distribución y espesor que guardan estos materiales se debe, principalmente, a los múltiples eventos de trasgresión y regresión lacustre del actual lago de Texcoco (Mooser, 1990).

Los depósitos aluviales es la última unidad, su origen se vincula con la carga de las corrientes fluviales, que es mayor en la época de lluvia. Su desarrollo es paralelo con los depósitos lacustres, por lo tanto exhiben la misma edad. Están constituidos por acumulaciones de arenas, limos y arcillas. Se consideran también como depósitos de transición (Mooser, *op cit.*), debido a que se encuentran distribuidos entre los materiales lacustres y las estructuras volcánicas, presentan una morfología de rampa ligeramente inclinada.

Con respecto a la presencia de estructuras disyuntivas, Garay (1974) hace mención de la existencia de una falla que forma parte de un graben que se definió como tal en el Plioceno, esta estructura dividió a los volcanes en los siguientes grupos:

I. Chimalhuacán - Peñón del Marqués - Cerro de la Estrella

II. Tunaltepec - El Tejolote - El Pino - La Caldera - Sta. Catarina - Tecuatzin - Mazatepec - Tetecón - Xaltepec - San Nicolás (Fig. 7).

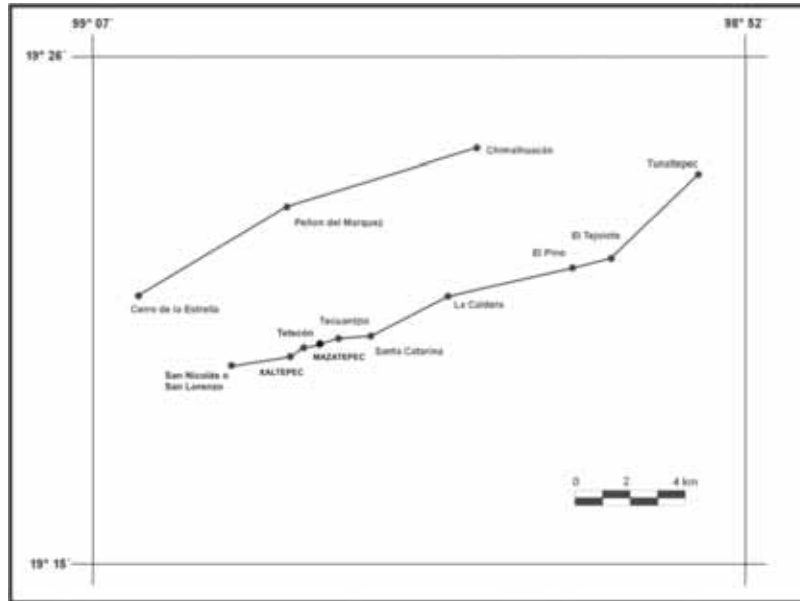


Fig.7 Sistema de Fallas ocurrido en el Plioceno, sobre el cual se desarrollaron dos diferentes grupos de lineamientos volcánicos (Garay, 1974).

Este sistema disyuntivo es considerado como activo por De Cserna *et al.* (1988), y se reconoce un rumbo predominante de 50° NE. Al arreglo tectónico mencionado se le atribuye el origen una veintena de volcanes monogenéticos de edad Cuaternaria, Chimalhuacán es uno de ellos.

Mooser *et al.* (1996), mencionan que el origen de este sistema de fallas es incierto, ya que probablemente se desarrollaron en el Plioceno tardío y persistieron hasta el Pleistoceno tardío; también sugiere que representan fenómenos de tensión con un movimiento lateral izquierdo en forma de *cizalleo*, con el cual se han generado una serie de fracturas en la estructura volcánica.

Con el fin de hacer evidentes las estructuras disyuntivas en el área del volcán (Chimalhuacán), se aplicó la metodología de Palacio *et al.* (1991), que consiste en emplear los parámetros geomorfológicos estructurales en la identificación de lineamientos, usando modelos digitales del terreno (MDT). En ellos y a partir de modelos sombreados con diferentes orientaciones de luz, se hacen resaltar áreas que no se pueden observar en fotografías aéreas.

Este método tiene ventajas, ya que la manipulación de la luz sobre el modelo sombreado permite detectar y definir lineamientos, los cuales no se distinguen con claridad en fotografías aéreas o imágenes de satélite, ya que su evidencia depende de la orientación y posición del sol en el momento de la toma. Para la zona de estudio se realizó un total de 8 modelos sombreados del terreno, con diferentes ángulos de la fuente de luz, siguiendo los puntos cardinales (Fig. 8).

La iluminación proveniente del N (Fig. 8) proporcionó un panorama general de los límites que exhibe la estructura volcánica, además, permitió definir varios lineamientos radiales con una posición casi transversal.

El modelo con fuente de luz situada al NE (Fig. 8), imposibilitó la visión en el sector W, sin embargo resaltó la observación y delimitación de los lineamientos ubicados al SE del volcán.

En el modelo que simula la iluminación proveniente del E (Fig.8) es posible percibir varios lineamientos con dirección N-S, no obstante se simplificó la configuración radial que exhibían con la iluminación proveniente del N.

La orientación del ángulo de luz en el modelo correspondiente al SE (Fig.8), permitió observar los rasgos lineales en esta zona, sin embargo se nulificaron aquellos que se localizan en la parte NW.

Los modelos correspondientes al S y SW (Fig.8), muestran los rasgos más elevados de la estructura volcánica, así como también los lineamientos correspondientes a este sector, a su vez la misma proyección de luz inhibe las zonas situadas al N y NE.

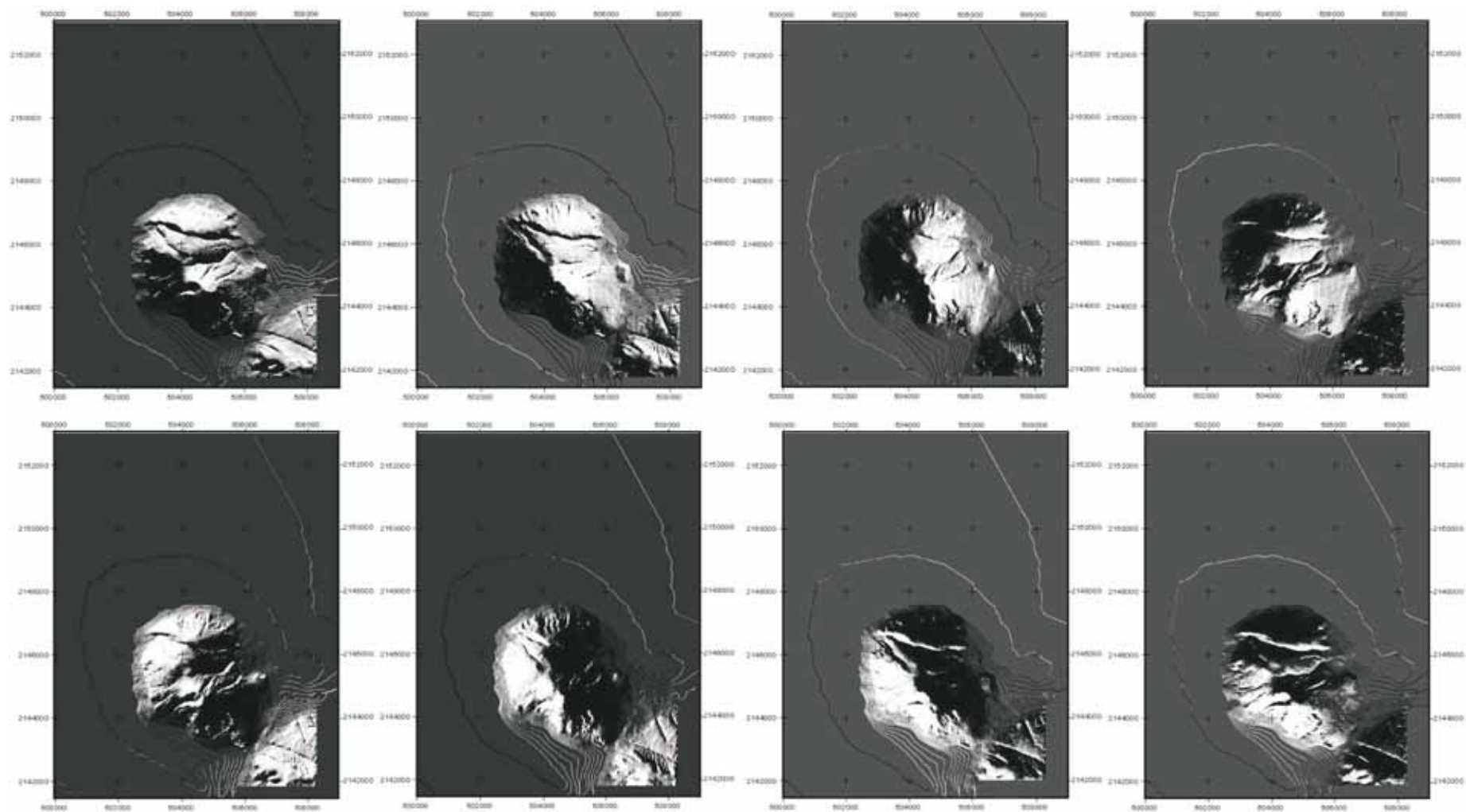


Fig. 8. Modelos digitales del terreno del volcán Chimalhuacán, elaborados con distinta orientación de la fuente de luz (de acuerdo con los puntos cardinales); a partir de estas imágenes fue posible identificar los lineamientos que existen en la zona de estudio.

A partir de la interpretación de los modelos sombreados del terreno, se obtuvo el arreglo y la distribución de todos los lineamientos involucrados en este territorio. Todos ellos presentan una distribución radial, típica de estructuras volcánicas trunco-cónicas, también es posible distinguir por lo menos un movimiento horizontal (de cizalla) hacia el W; característica que provoca un ligero desmembramiento del cono (Fig. 9 A); a su vez se obtuvo su orientación y frecuencia por medio de una rosa de fracturas (Fig. 9 B), de esta manera se hace evidente que la orientación preferencial es hacia el NE. Este dato tiene interés, cuando se compara con la dirección del sistema de fallas activas cuaternarias, establecidas a partir de datos gravimétricos por De Cserna *et al.* (1988). De alguna manera, queda sustentada la relativa juventud del que denominaremos complejo volcánico Chimalhuacán.

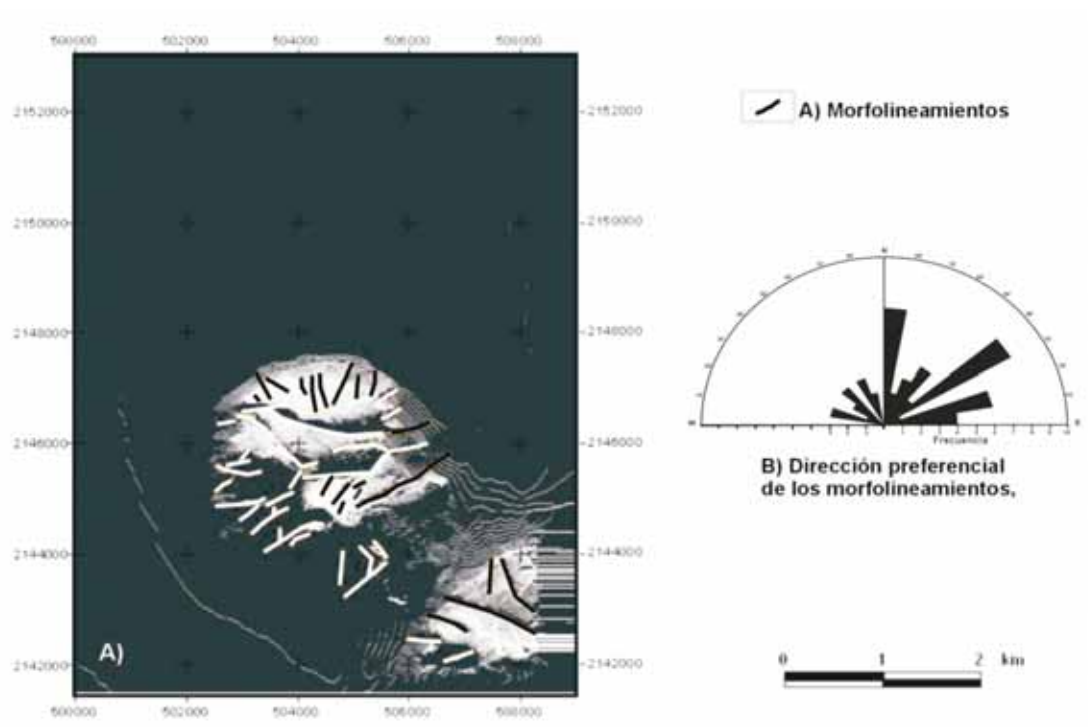


Fig. 9. A) Arreglo y distribución de los morfolineamientos, obtenidos a partir de la interpretación de cada uno de los modelo digitales del terreno que se muestran en la Fig. 8. En la 9. B) Rosa de fracturas, se muestra a partir de su orientación y frecuencia, la dirección preferencial del conjunto de estructuras disyuntivas: N-NE.

Capítulo III. Formas del relieve, procesos modeladores, peligros asociados y análisis geomorfológico.

El relieve tiene su origen en la interacción de distintos procesos que se generan tanto en el interior de la corteza terrestre, como fuera de ella. La morfología es un indicador de los agentes modeladores presentes en el territorio; incluso de su magnitud. Este último aspecto es de interés cuando se trata de caracterizar la dinámica, responsable de la evolución de la corteza terrestre; el peligro depende de la magnitud, velocidad y espontaneidad de transformación de las formas de relieve. Es por ello que la geomorfología es el enfoque esencial, ya que permite entender la susceptibilidad del terreno a generar fenómenos naturales peligrosos.

3.1 Regiones Geomorfológicas y estudios antecedentes sobre peligros (*riesgos*), en el Municipio de Chimalhuacán, Edo. De México.

Con base en la interpretación de fotografías aéreas y análisis morfométrico (altimetría e inclinación del terreno), se establecieron las siguientes unidades morfogenéticas: A) Estructuras volcánicas y lavas asociadas; B) Piedemonte y C) Planicie proluvial - lacustre (Fig.10). De esta manera fue posible hacer una simplificación del relieve, además de hacer evidente la relación que existe entre la génesis (de las formas que agrupan), los agentes modeladores que las transforman y la morfología o expresión.

A) Estructuras volcánicas y lavas asociadas.

La morfología de los edificios volcánicos que integran esta unidad, no presenta la forma típica de cono truncado; se trata de cuatro estructuras que presentan distinta expresión. Algunas relacionadas con una actividad explosiva; otras están parcialmente cubiertas por coladas de lavas y piroclastos o bien

sobrepuestas; cada variante tiene una relación estrecha con el estilo eruptivo y con el tipo de materiales resultantes.

Los volcanes ocupan la porción centro-sur (Fig. 10), están compuestos por lavas andensito–basálticas; en general el conjunto volcánico presenta una morfología convexa, con una inclinación del terreno de 20° , promedio. A partir de las observaciones de campo se puede afirmar que la actividad volcánica se manifestó de manera independiente, pero posiblemente alternada; estos fenómenos se desarrollaron en el Cuaternario.

Los procesos modeladores que se identificaron como responsables de la configuración del relieve están asociados con una incipiente pero cada vez más importante erosión fluvial, que se reconoce a partir de la existencia de barrancos de hasta tres metros de profundidad.

Si bien los procesos gravitacionales no son una característica esencial de este territorio, existe una potencialidad que se refleja en el tipo y arreglo de los materiales que componen las laderas, así como la inclinación y morfología.

B) Piedemonte.

Se entiende como una superficie acumulativa detrítica que presenta alturas relativas e inclinaciones menores, respecto a las estructuras (volcánicas) que le dieron origen. Su morfología se puede generalizar como una rampa continua y de poca inclinación, constituida de una sucesión de mantos de acarreo de origen volcánico.

El límite superior del piedemonte se encuentra entre los 2265, mientras que la cota más baja y en contacto con la planicie, se establece en los 2240 msnm, datos aproximados. El terreno no es homogéneo, su inclinación varía entre 1.5° - 6° , y tiene relación con efímeros escalones que se alternan con

superficies convexas, que ponen en evidencia el desarrollo reciente de abanicos proluviales.

El piedemonte es una zona de transición hacia la planicie, representa un cambio de inclinación; esta característica está en relación con la capacidad de transporte de los escurrimientos. La evolución de esta forma de relieve está relacionada con la cercanía de un nivel de base local (la planicie lacustre). De esta manera, los arroyos después de recorrer una ladera volcánica y encontrar en su trayecto un cambio de pendiente brusco; depositan su carga en forma de abanico; con el paso del tiempo se unen o yuxtaponen hasta formar una rampa (Fig. 10). Esta característica es la que define el proceso actual y que puede representar un peligro: la sedimentación; que en la temporada de lluvias estacionales o extraordinarias obstruye casas y avenidas con acarreo fluviales.

C) Planicie lacustre.

La planicie es una forma de relieve en apariencia muy regular, es casi plana, sus inclinaciones y diferencia altitudinal casi imperceptible: 0.5° y 2 240 msnm, respectivamente. Su origen se vincula con el cierre del antiguo valle de México, por el sur, como resultado de una intensa actividad volcánica, que ocurrió durante los últimos 700 000 años (De Cserna et al., 1988), la cual dio origen a la Sierra Chichinautzin.

La planicie que comprende el municipio de Chimalhuacán forma parte de la porción más deprimida de la cuenca endorreica de México; característica que por un lado, la hace una zona de recarga natural y, por otro una zona susceptible a retener agua de lluvia y de los escurrimientos que desembocan en ella (Fig. 10); esta dinámica tiene relación con las inundaciones.

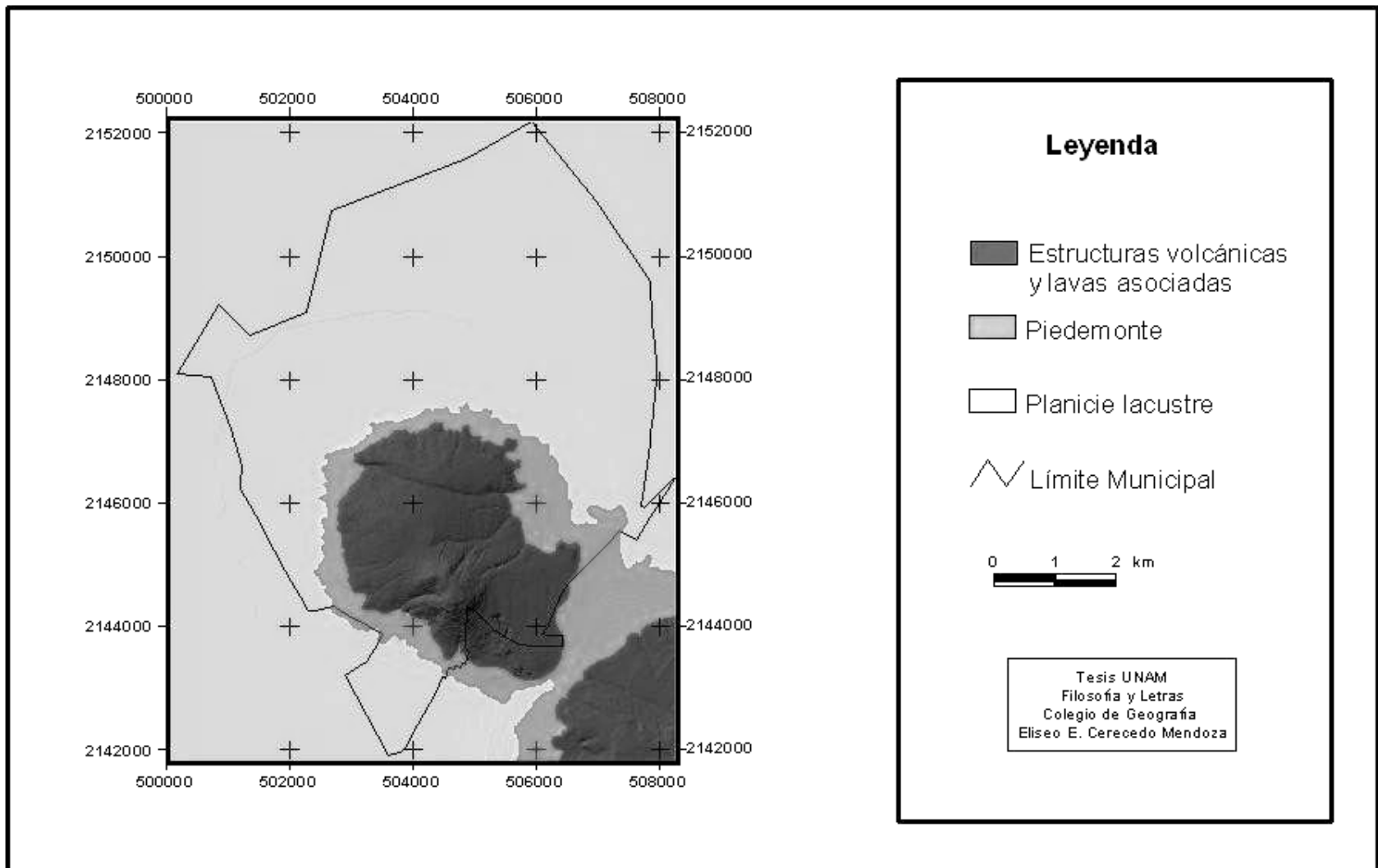


Fig. 10. Regiones Geomorfológicas en el Municipio de Chimalhuacán, Edo. de Méx.

Hay que mencionar que la existencia de grietas en el suelo, se presenta con mayor frecuencia en la planicie; es un fenómeno reciente y se vincula con la sobreexplotación de los mantos acuíferos. La existencia de estas líneas de debilidad en algunas colonias de la zona de estudio, son un verdadero peligro por los daños a casas, escuelas o unidades habitacionales.

Sin duda las regiones geomorfológicas están en estrecho vínculo con la dinámica del territorio, no obstante, esta información no es suficiente para caracterizar los procesos modeladores del relieve y su connotación de peligro; por tanto, como una primera aproximación o punto de partida la regionalización geomorfológica tiene valor.

En este marco, hay que mencionar que el mapa de *riesgos* elaborado por las autoridades correspondientes de Chimalhuacán, se consultó, con el fin de tener una visión general de la situación que existía en la zona de estudio. Este documento no fue de dicha ayuda. Entre los criterios que usaron en su elaboración, no figuran los que a nuestro parecer son fundamentales: el relieve y su dinámica.

El Atlas de Riesgos de Chimalhuacán (1ª versión), elaborado por la Dirección General de Protección Civil (2000), es un documento que pretende hacer evidentes las siguientes zonas de *riesgo*: de inundación, formación de grietas, presencia de gasoductos y barrancas (Fig. 11). Las fuentes de información para la elaboración de dicho documento son organismos especializados en el monitoreo, detección y seguimiento de fenómenos naturales (Servicio Meteorológico Nacional; Cuerpos de Bomberos; Seguridad y Salvamento), de igual forma se toma en cuenta la información que proporcionan los ciudadanos afectados.

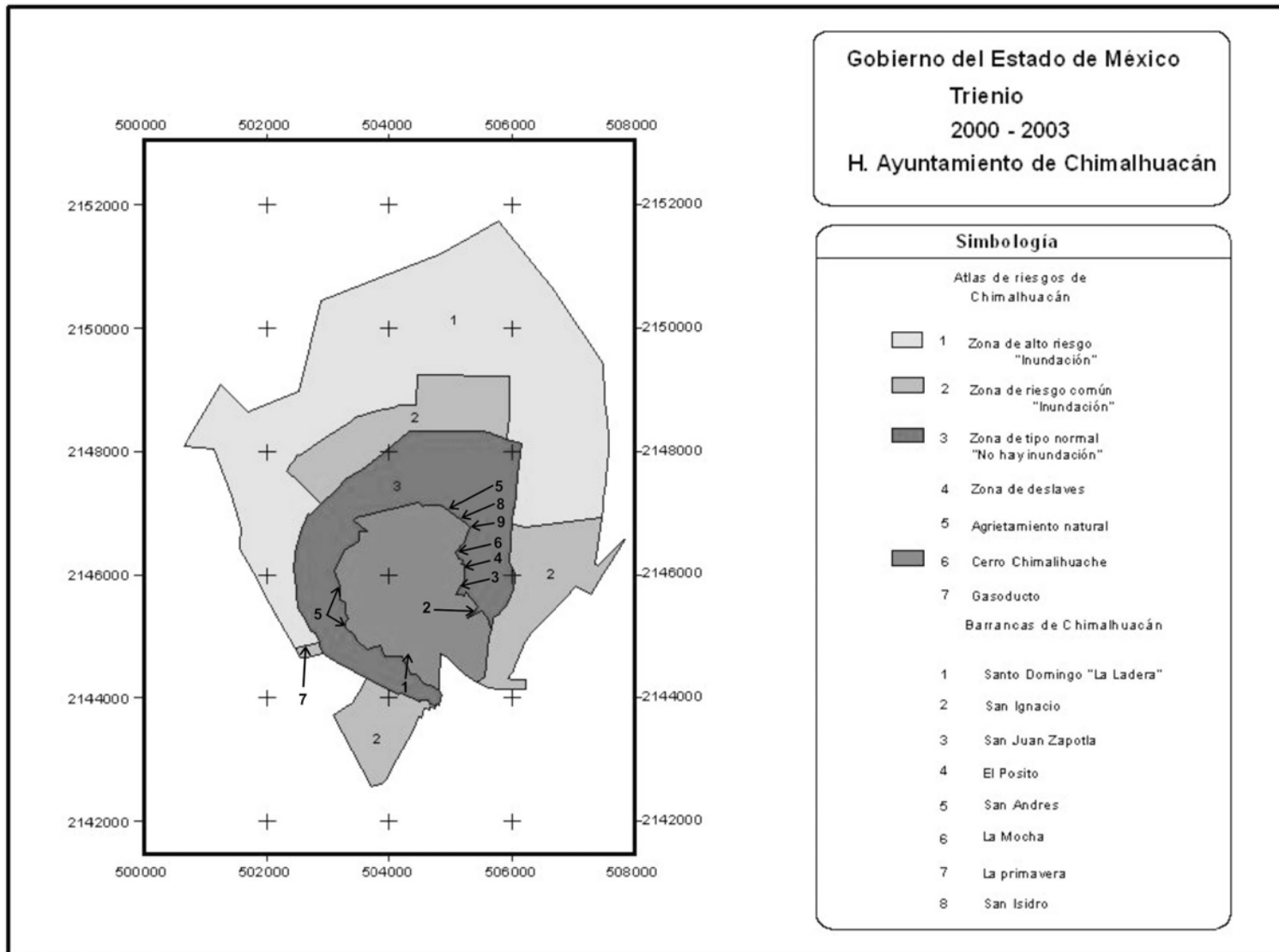


Fig. 11. Mapa de Riesgos del Municipio de Chimalhuacán (Dirección General de Protección Civil, Edo. México, 2000).

Los datos obtenidos son clasificados de acuerdo con su origen geológico, hidrometeorológico, químico, sanitario o socio-organizativo. Por cada uno de los temas mencionados se elabora un mapa en donde la información aparece en regiones. Estos territorios presentan fronteras muy rectas, que coinciden con la traza urbana y las principales vías de comunicación. Con respecto a las leyendas de cada mapa (en particular al que denominan como de *riesgos*), lo acompaña un listado de colonias y calles en donde ha ocurrido alguno de los fenómenos mencionados; no existe ningún tipo de análisis.

En este marco, las inundaciones, los procesos de ladera o el desarrollo de cárcavas y barrancos, entre otros ejemplos, tienen una ocurrencia y desarrollo en función de las características del relieve. Al no existir esta variante en la elaboración del Atlas de Riesgos de Chimalhuacán, los resultados que obtuvieron son modestos y están lejos de la realidad; de ahí la existencia de zonas de inundación geométricas y que no tienen que ver con los factores que favorecen dicho fenómeno o de cualquier otro (Fig.11). Esta situación fortalece el objetivo de contribuir con una cartografía de peligros geomorfológicos más cercana con la realidad.

3.2 Análisis Geomorfológico como punto de partida en la caracterización de los peligros naturales.

La geomorfología estudia las formas de relieve en función de su génesis, procesos modeladores, morfología, edad y evolución. La representación cartográfica de estos factores permite determinar las relaciones espaciales de cada uno de ellos, y poner de manifiesto las características de ocurrencia frecuencia y magnitud de los procesos involucrados con la evolución y dinámica del relieve (algunos de ellos peligrosos). También es posible entender la influencia de la tectónica en el desarrollo de fenómenos peligrosos.

El análisis inició con la interpretación geomorfológica de fotografías aéreas en tres escalas diferentes (1:50 000; 1:40 000 y 1:37 000: INEGI, 1973; 1979 y 1989, respectivamente). De esta manera se elaboró un mapa preliminar en donde se siguieron las normas cartográficas de Bashenina *et al.* (1975). La clasificación del relieve se realizó bajo los criterios de Simonov, 1985. La cartografía geomorfológica que se presenta (mapa anexo 1), ha sido verificada y corregida en campo; se interpreta a partir de la siguiente leyenda:

I. Relieve endógeno.

A. Volcánico acumulativo.

1.1 Volcán de lava.

- a) con cráter cerrado.
- b) con cráter abierto.

1.2 Volcán de escoria.

1.3 Domo de lava.

1.4 Coladas de lava asociadas al Conjunto Chimalhuacán.

1.5 Coladas de lava asociadas al volcán El Pino.

B. Volcánico tectónico.

1.6 Escarpe.

II. Relieve exógeno.

A. Erosivo fluvial.

2.1 Cauces con profundidad:

- a) > a 3 metros.
- b) < a 3 metros.

B. Acumulativo fluvial.

2.2 Rampa proluvial.

C. Acumulativo lacustre.

2.3 Planicies:

- a) ligeramente convexas y escalonadas (nivel más alto del conjunto).
- b) onduladas con resaltes convexos amplios.
- c) subhorizontales - horizontales ligeramente inclinadas.
- d) horizontales con alternancias de superficies cóncavas (nivel más bajo del conjunto).

D. Gravitacional.

2.4 Corona de deslizamiento.

III. Relieve antrópico.

3.1 Minas a cielo abierto.

3.2 Grietas.

IV. Símbolos complementarios.

4.1 Contactos:

- a) inferidos.
- b) reales.

4.2 Nivel altitudinal relativo entre lavas y volcanes

4.3 Límite municipal

I) Relieve Endógeno.

Comprende aquellas formas de relieve que se originan a partir de la dinámica interna de la Tierra: procesos tectónicos y volcánicos. En la zona de estudio se reconocen cuatro estructuras volcánicas, estas se han agrupado de acuerdo a sus características morfológicas y de composición en volcanes de lava (con cráter abierto y cerrado); cono de escoria y domo de lava. Cada una de estas unidades, integran a lo que se denomina, en este trabajo, como *Conjunto Chimalhuacán* (Fig.12).



Fig.12. Vista del flanco E del *Conjunto Chimalhuacán*, los números romanos indican el tipo de estructura y edad relativa. El domo (I) es la estructura más antigua y la más reciente corresponde al volcán de escorias (IV), que se conoce con el nombre de Las Palomas. Los volcanes de lava (II y III) representan una edad intermedia.

A) Volcánico Acumulativo

1.1 Volcán de lava.

Los volcanes de lava se originan por la acumulación sucesiva de flujos lávicos entorno a un centro eruptivo, en un lapso de tiempo corto. Se caracterizan por manifestar erupciones tranquilas con escasas explosiones; presentan variaciones entorno a su tamaño, forma y composición (Ollier, 1972; Araña *et al.*, 1974).

Los conos de lava son característicos de la porción central de lo que hemos denominado *Conjunto Chimalhuacán*. El edificio de lava más grande se localiza en el centro norte (mapa anexo 1: inciso 1.1) se reconoce por presentar una morfología de cono truncado. Esto hace suponer que tuvo una dinámica eruptiva poco violenta y constante, lo que permitió que la estructura creciera. Las lavas expulsadas por este volcán no afloran, están cubiertas por potentes capas de sedimentos lacustres y mantos de acarreo fluvial en sus flancos E y W; mientras en el sector sur, posiblemente estén ocultas por otras coladas de lava provenientes de otro foco emisor.

El volcán presenta un cráter cerrado en forma de anillo (mapa anexo 1: inciso 1.1a); está parcialmente cubierto (manteado) por piroclastos asociados con su última fase explosiva, o bien, son materiales expulsados de los volcanes adyacentes. La existencia de este rasgo primario apoya la idea de una erupción poco violenta; por otro, hace evidente la juventud de la estructura volcánica. Como apoyo a esta última idea, se hace evidente la inexistencia de un arreglo fluvial integrado o un patrón de drenaje denso (con numerosos afluentes). Sus laderas presentan una inclinación de 15°, en promedio; tiene un área aproximada de 2.9 km² y una altura relativa de 180 m, con respecto al nivel base (2240 msnm).

Con respecto al volcán de lava que se localiza en el centro-sur (mapa anexo 1: inciso 1.1), es de menor tamaño; su morfología pone de manifiesto al menos dos dinámicas eruptivas distintas. La primera se relaciona con la expulsión de coladas de lava (evento efusivo); de esta fase los materiales que afloran son muy pocos. La mayor parte de ellos están cubiertos (S y E), por coladas de lava provenientes del extremo SE del *Conjunto Chimalhuacán*. Los materiales que cubren en el SW, son una secuencia de sedimentos lacustres (infrayacentes) y depósitos de acarreo fluvial (suprayacentes). El segundo tipo de actividad se asocia con la presencia de un cráter en herradura, es decir, una explosión fue la responsable de abrir el cráter al SW (mapa anexo inciso 1.1b); los depósitos que se esperarían encontrar en esa dirección, no afloran, están cubiertos por las laderas de volcán Las Palomas.

A pesar de la actividad violenta, no fueron destruidos elementos del relieve tan efímeros como el labio de cráter; su existencia pone en evidencia una relativa juventud. Esta característica se observó en campo, no fue posible su representación en el mapa geomorfológico por problema de escala. La altura relativa del volcán es de 140 m y la inclinación en sus laderas varía entre 20° – 25°.

1.2 Volcán de escoria

Se conoce como el *cerro* de Las Palomas, se localiza en el extremo SE del *Conjunto Chimalhuacán* (Fig. 12). Su morfología es resultado de tres secuencias volcánico-acumulativas que fueron observadas en campo: la primera se asocia a eventos estrombolianos que dieron origen a depósitos de escoria. La segunda se caracterizó por la expulsión de numerosas y potentes coladas de lava, que sepultaron de manera paulatina los materiales del evento anterior. El último evento vuelve a ser estromboliano, se reconoce por una cubierta de escorias y piroclastos (andesítico-basálticos) que ocultan las lavas y mantienen los relieves adyacentes. El área aproximada de esta estructura es de 0.3 km²; su altura relativa es de 190 m y la inclinación en sus laderas es de 20°–25°, en promedio.

1.3 Domo de lava

Los domos se originan por la acumulación rápida y continua de lavas de composición intermedia-basáltica. La poca fluidez que presentan favorece la acreción del material alrededor del centro emisor hasta desarrollar estructuras que adoptan formas convexas o de cúpula principalmente; esta última condición no aplica del todo en la zona de estudio.

La morfología que se observa en el domo (mapa anexo 1: inciso 1.3), es de media cúpula alargada en sus extremos hacia el E-W. Esta orientación coincide con el trazo de una falla que se orienta en el mismo sentido y desarrolla un escarpe en el área del domo, fuera de éste sector la disyunción desaparece (Fig. 6 y 9: capítulo 2). El emplazamiento del domo, así como la génesis y actividad de la falla, bien pudieron ser contemporáneos; de esta manera se explica la ocurrencia de un colapso en el domo en cuestión. El movimiento de la falla desestabiliza los materiales ígneos en el momento de ser eyectados a superficie. Como evidencia se tiene un escarpe continuo que

define la morfología mencionada; la media cúpula, se compone de lavas andesito–basálticas, presenta una altura relativa de 150 m y sus laderas se inclinan 15°, en promedio.

La actividad de la falla no se limitó al área del domo, con seguridad, tuvo que ver con el desarrollo, al sur del escarpe de colapso, de un volcán de lava (mapa anexo 1: inciso 1.1.a). De esta manera quedaron sepultados los materiales asociados al deslizamiento volcánico mencionado.

Por otro lado, el domo se reconoce como la estructura más antigua del *Conjunto Chimalhuacán*, hay que mencionar que todas las estructuras que lo componen tuvieron desarrollo durante el Cuaternario. Esta afirmación se hace en función de observaciones de campo e interpretación de fotografías aéreas; el domo representa la base o zócalo, donde descansan otros productos volcánicos (lavas, escorias y piroclastos), que por su posición altitudinal y estratigráfica son más recientes.

1.4 Coladas de lava asociadas al Conjunto Chimalhuacán.

Son resultado de la actividad efusiva de los volcanes y su composición determina su viscosidad, espesor, velocidad de salida y morfología. En Chimalhuacán, los flujos de lava que se reconocieron están asociados con dos focos emisores, que presentan diferencias en cuanto a composición y dinámica eruptiva (mapa anexo 1: inciso 1.4).

Las corrientes lávicas más extensas de la zona de estudio son de composición intermedia y tienen relación con un volcán de escorias, localizado al SE de la zona de estudio. Se caracterizan por presentar un inclinación gradual, de 15° en las cercanías del cono, hasta 6° en las porciones distales. Sobre estas superficies se desarrollan incipientes cauces, que adoptan un patrón subparalelo, de esta manera se hacen evidentes los diferentes flujos;

situación común en el sector occidental, lo que hace suponer que la porción oriental tiene menos tiempo expuesta a la influencia de los procesos exógenos; por tanto, no han desarrollado formas de relieve erosivas, esto indica que las lavas son más recientes.

La segunda área de lavas es más pequeña, la mayor parte de estos materiales se encuentra cubierta por los derrames del *Cerro Las Palomas* (volcán de escorias) o bien está mantecada por piroclastos de diferente espesor que disimulan la mayor parte de su expresión primaria. La abundancia de detritos volcánicos favorece el desarrollo de numerosos surcos fluviales de hasta 50 cm de profundidad, que se disponen en un arreglo subparalelo y se orientan de acuerdo con la inclinación de las laderas.

1.5 Coladas de lava asociadas al volcán El Pino

Forman parte del extremo SE de la zona de estudio, se componen de rocas intermedias y representan los frentes más distales del volcán El Pino (mapa anexo1: inciso 1.5); se encuentra fuera de la zona de estudio.

B. Volcánico tectónico

1.6 Escarpe

Se presenta con una ladera abrupta de altura variable entre 10 y 20 m, en sus extremos y porción central, respectivamente: mapa anexo 1: inciso 1.6; en donde su origen tiene que ver con una falla normal y con una desestabilización del domo y su eminente colapso (plano de deslizamiento volcánico).

II. Relieve exógeno

En este inciso se agrupan y analizan las distintas formas del relieve que se generan por la actividad de los procesos externos de la corteza terrestre; este apartado se divide en dos grupos principales: erosivo y acumulativo.

A. Erosivo fluvial

2.1 Cauces con profundidad:

a) > 3 metros

Se trata de cárcavas muy activas, donde los procesos de erosión remontante se identifican a partir de numerosos saltos de cabecera; a estas líneas de erosión llegan surcos, badenes y hasta *lloraderos*; todos ellos con dinámica estacional (Fig.13).

Estas formas de erosión son pocas, representan los principales escurrimientos colectores que se disponen en las fronteras litológicas y geomorfológicas. Su arreglo en general tiende a ser subparalelo, en la misma dirección de las coladas de lava que existen en este territorio.

b) < 3 metros

Se trata de corrientes que exhiben un carácter estacional y poco definido; tienen una escasa representación en la zona de estudio. Este rubro incluye surcos, badenes y *lloraderos*; todos ellos conocidos como de primer orden.

Estos drenajes efímeros presentan un patrón radial centrífugo, poco desarrollado en la actualidad, pero con posibilidades de definir en un futuro cercano, arreglos erosivos más complicados (*badlands*), debido a la existencia

en este territorio de materiales con distinta competencia a la erosión y permeabilidad.



Fig.13. Ejemplo de un surco fluvial que se desarrolla en la colonia San Isidro Tlaixca; la calle que se observa lleva el nombre de Barranca. La presión urbana sobre terrenos que no tienen vocación para vivienda, provocan que dinámicas tan inofensivas como la que se muestra, se transformen en verdaderos peligros geomorfológicos.

B. Acumulativo fluvial

2.2 Rampa proluvial

Son acumulaciones de sedimentos situados en las desembocaduras de los ríos, provenientes de las estructuras volcánicas. Este proceso se origina por el cambio en la pendiente del terreno, de una zona abrupta a una con poca inclinación. Factores como la litología, el clima y la vegetación también controlan su desarrollo.

En la zona de estudio presenta una altura relativa de 15 m con respecto a la planicie lacustre (2 240 msnm); su inclinación varía entre 1.5° y 6°. Su origen se relaciona con la dinámica de sobreposición o coalescencia de abanicos proluviales, asociados a escurrimientos torrenciales presentes en cuencas endorreicas. Debido a los factores mencionados, su distribución se explica rodeando el conjunto volcánico de Chimalhuacán (mapa anexo1: inciso 2.2).

Esta unidad no presenta una amplia distribución, sin embargo resalta una zona ubicada en el extremo SE, donde la causa de su probable extensión, se debe a un mayor aporte de materiales piroclásticos y detritos proluviales provenientes del volcán El Pino.

C. Acumulativo lacustre

2.3 Planicies:

Es la forma de relieve dominante en la zona de estudio, su origen es complejo y se asocia con la evolución de la Cuenca de México, se puede considerar como un territorio lacustre; pero desde el punto de vista morfológico no es posible una generalización.

Los rasgos distintivos de esta superficie casi horizontal, han sido identificados (en su gran mayoría) en campo y a partir de la interpretación de fotografías aéreas. Con este punto de partida, se han caracterizado los siguientes tipos morfológicos (mapa anexo 1: inciso 2.3. a; b; c y d):

a) ligeramente convexas y escalonadas (nivel más alto del conjunto).

Corresponde a la planicie más alta del conjunto, se distribuye de manera periférica respecto a la rampa de transición, presenta una amplitud considerable hacia el NE.

Es posible que su origen se relacione con un nivel máximo (*orilla* o ribera lacustre) de lo que fue el lago de Texcoco. Su imperceptible inclinación hace de esta superficie un territorio que no favorece la retención de las aguas.

b) Onduladas con resaltes convexos amplios.

Agrupada a una serie de terrenos que se disponen sin arreglo aparente, llegan a presentarse de manera aislada hacia la porción NE y SW, en tanto que al NW se observa un considerable número de ellas. Su origen se liga a continuos avances y retrocesos lacustres, favorecidos por variaciones climáticas que determinaban las crecidas o los estiajes del lago. En la actualidad, son terrenos que al estar un poco elevados están libres de inundaciones estacionales, y los sectores que no están urbanizados soportan una agricultura de temporal o bien son áreas de pastos halófilos.

c) Subhorizontales – horizontales ligeramente inclinadas.

Son características del sector N; en menor proporción también se presentan en el SW; representa una zona de transición hacia los niveles más bajos o de estiaje del antiguo lago; se distribuye bordeando los terrenos que sirven de receptáculo de cuerpos de agua.

d) Horizontales con alternancias de superficies cóncavas (nivel más bajo del conjunto).

Son terrenos relicto del antiguo lecho del lago de Texcoco, formas deprimidas donde las ciénagas y los pequeños cuerpos de agua son los elementos característicos.

D. Gravitacional

2.4 Corona de deslizamiento

Se localiza en las laderas orientales del domo de lava y su altura promedio es de 6 m. En la actualidad no presenta sus rasgos primarios, fue sometida a obras de estabilización de taludes (Fig.14); este factor es un indicador de su actividad en un pasado no muy lejano.

Si bien, solo se identificó una sola cicatriz gravitacional, los terrenos donde se presentó son los mas favorables para eventos futuros; el emplazamiento de lavas en un ambiente móvil favorecido por la presencia de una falla activa, seguramente debilitó la estructura o acomodo de los materiales, que constituyen la media cúpula que representa al domo (mapa anexo 1: inciso 2.4), a las factores mencionados hay que sumar la inclinación del terreno y la presencia de lluvias extraordinarias.

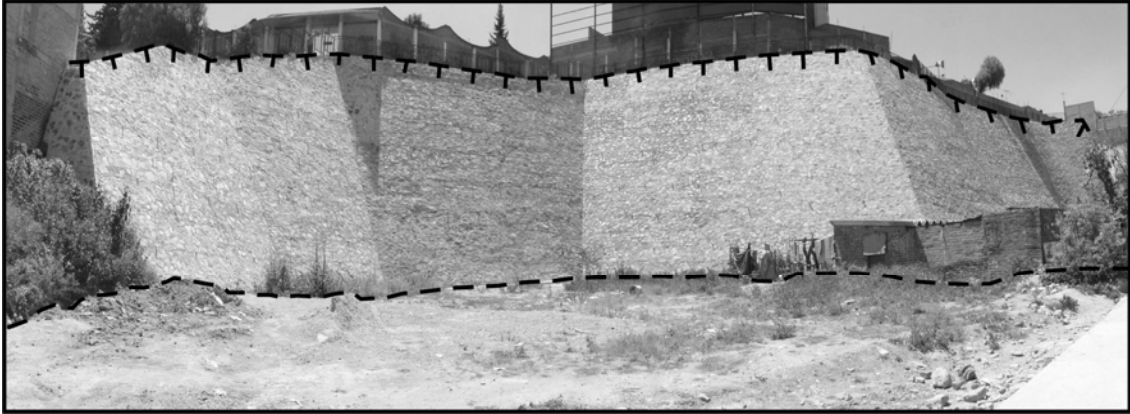


Fig. 14. Antigua corona de deslizamiento; se han realizado obras para evitar una reactivación, calle Pradera, colonia San Juan Zapótlá.

III. Relieve antrópico

3.1 Minas a cielo abierto

Se localizan en el límite SE del municipio, se extrae *tezontle* (escoria volcánica), el tipo de explotación trae como consecuencia caídas o desprendimientos de rocas (Fig.15), resultado de la inestabilidad de los materiales que constituyen las laderas.



Fig. 15. Mina *La Guadalupeana*, en el flanco sur del volcán de escorias conocido como Las Palomas.

3.2 Grietas

Líneas de debilidad que rompen la superficie de la planicie lacustre, principalmente (Fig. 16), y su origen se asocia con la sobreexplotación de acuíferos. La existencia de pozos clandestinos y el bombeo excesivo son los factores a los que se les atribuye la aparición de grietas (mapa anexo 1: inciso 3.2). Los diseños que se observaron en campo van de rectilíneos a curvos y con ellos se relacionan hundimientos del terreno y desplome de edificios (Fig. 17: a y b). El arreglo de las grietas no es del todo claro, pero su orientación hace pensar que están condicionadas o tienen influencia de la tectónica que se vincula con el origen de la Cuenca de México. Esta hipótesis se fundamenta en la coincidencia entre las orientaciones de las grietas superficiales (Fig. 18) y los lineamientos (Fig. 9: capítulo 2).



Fig. 16. Grieta ubicada en la Escuela Artes y Oficios, la anchura es de 12 cm y la profundidad varía entre 15 cm y 1m.



Fig. 17. Ejemplos relacionados con la dinámica de las grietas: a) Hundimiento del terreno sobre la Avenida el Molino en el fraccionamiento del mismo nombre. b) Desplome y deformación de las paredes del edificio; el movimiento diferencial ha descuadrado las ventanas y roto los cristales.

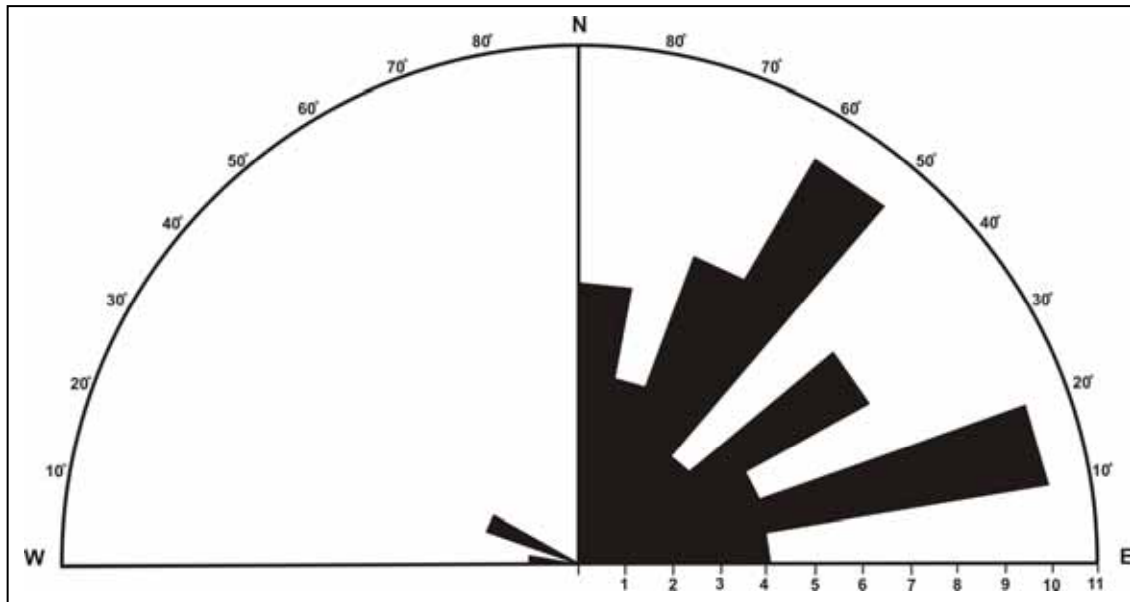


Fig.18. Orientaciones y frecuencia de las grietas superficiales identificadas en campo.

IV. Símbolos complementarios

4.1 Contactos:

a) inferidos: fronteras aproximadas entre cada una de las unidades geomorfológicas, si bien no son precisos pueden darse como validos.

b) reales: fronteras bien definidos entre las formas de relieve.

4.2 Nivel altitudinal relativo entre lavas y volcanes

Indica la posición altitudinal relativa entre volcanes y lavas; de esta forma se puede inferir su edad relativa o evolución.

4.3 Límite municipal

Comprende la delimitación de las actividades político–administrativas del municipio, con base al mapa elaborado por el Gobierno del Estado de México *et al.* (2000).

El análisis geomorfológico requiere de una ardua tarea de interpretación del medio natural, debido a que en el se integran la identificación y análisis de formas del relieve, su génesis, dinámica y arreglo espacial. De esta manera las aportaciones del mapa geomorfológico, tienen como objetivo establecer las causas y efectos de los procesos exógenos presentes en la zona de estudio. Esta información es de importancia cuando se pretende caracterizar la dinámica del relieve, en un mapa de peligros.

Capítulo. IV. Susceptibilidad a Peligros Geomorfológicos en el Municipio de Chimalhuacán.

La susceptibilidad se entiende como la potencialidad de ocurrencia, en un territorio determinado, de presentarse procesos asociados con la evolución del relieve, que representen un peligro para los asentamientos humanos y sus actividades. De manera particular nos referimos al efecto de las inundaciones, los procesos de ladera, la depositación y la subsidencia del terreno asociada a la formación de grietas.

En este capítulo, se identifican, analizan y se evalúan áreas vulnerables a presentar los procesos mencionados. La información que se obtuvo se integra en una cartografía que representa la dinámica del territorio en procesos activos. Se explica por medio de una leyenda donde se muestran de manera sintetizada, los escenarios de ocurrencia, así como su grado de afectación.

La intensidad de los peligros geomorfológicos depende de las condiciones naturales del lugar y, en algunos casos, de su manejo; es decir, no hay una constante. Sin embargo, pueden ser provocados o magnificados por la actividad humana, de esta manera, la extracción minera ilícita; la deforestación; la falta de una adecuada infraestructura de sanidad y un alto índice demográfico, que obliga a la gente a ocupar espacios que no son adecuados para la construcción de viviendas; entre otros más, son condicionantes que favorecen y propician el desarrollo e incremento de peligros geomorfológicos.

Es importante mencionar que los niveles de ocurrencia fueron establecidos con base en el análisis geomorfológico, que está soportado en la interpretación de fotografías aéreas (distintas escalas y fechas), aplicación de métodos indirectos (morfometría: altimetría e inclinación del terreno), así como en un intenso trabajo de campo que permitió localizar en un mapa las inundaciones recurrentes, así como la profundidad que alcanzan en la

temporada de lluvias. El mapa de peligros es la síntesis de la información que se obtuvo a partir del proceso mencionado, a continuación se explica la metodología que se siguió.

Los intervalos de análisis, que aparecen en cada mapa morfométrico son resultado de varias pruebas, donde el criterio geomorfológico tuvo un papel determinante. De esta manera, se establecieron distintos rangos, de ellos se escogió donde el relieve tenía expresión (una relación directa); así, se tiene la certeza de que los datos representados en cada mapa están cerca de la realidad.

Mapa altimétrico.

A partir del análisis de la distribución de datos altimétricos, fue posible establecer tres regiones altitudinales representativas para este territorio. Cada una de ellas tiene características genéticas, morfológicas y de procesos modeladores particulares. En su elaboración se utilizó una base topográfica escala 1:12 500 (IIIGCEM, 2003) y se aplicó el método sugerido por Lugo (1991). Los datos se pasaron a formato digital y después se integraron al programa Arc View. De esta manera, se obtuvo la versión final del mapa (Fig.19). Las regiones que se establecieron a partir de este método morfométrico son las siguientes:

Planicie lacustre: ocupa la mayor parte de la zona de estudio, es un nivel de base local y su altitud está por debajo de los 2240 msnm. Su origen tiene que ver con la formación de la Cuenca de México.

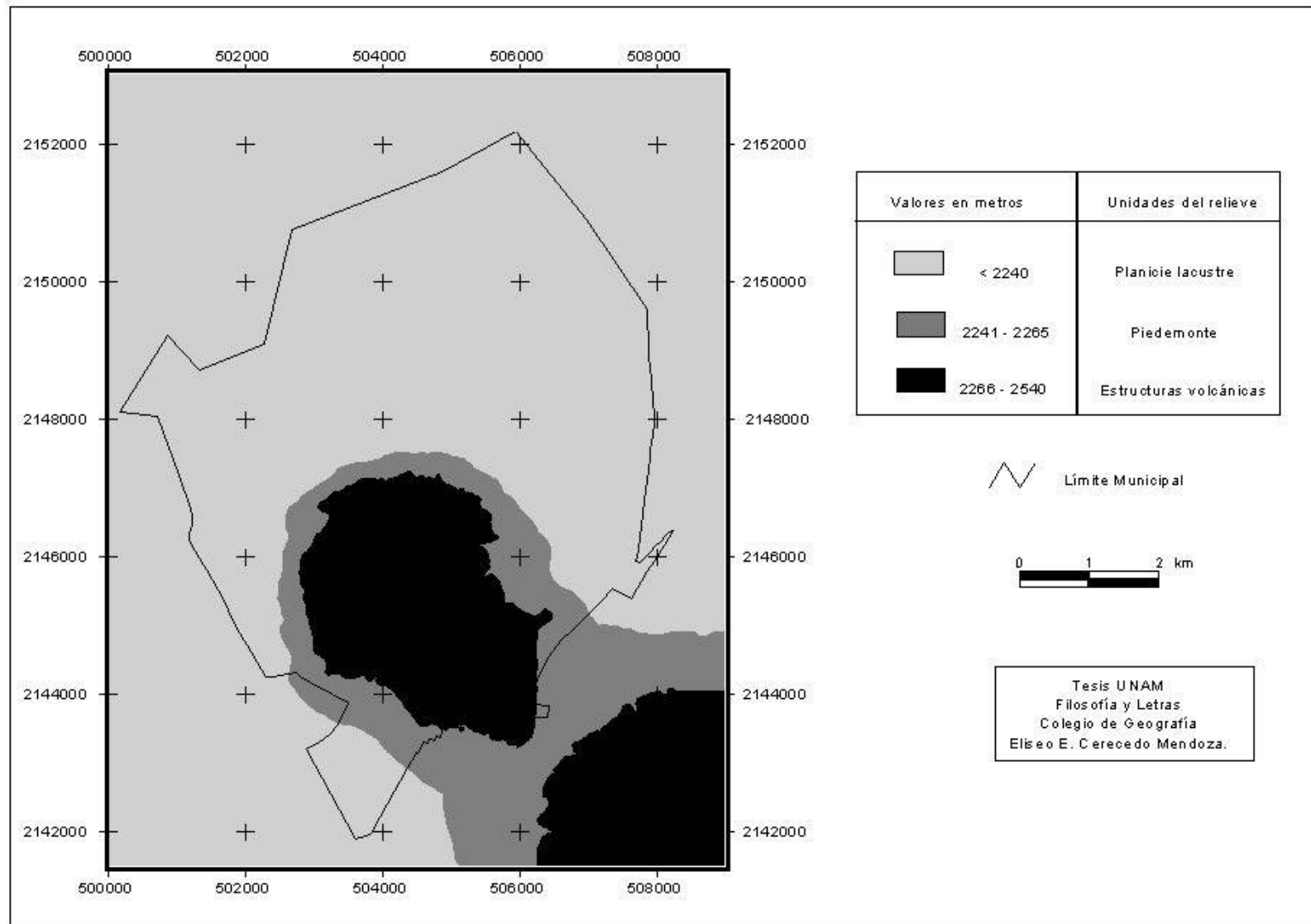


Fig. 19. Mapa altimétrico y de unidades del relieve (geomorfológicas) de Chimalhuacán.

Piedemonte: se trata de una rampa constituida de detritos de acarreo fluvial, que se dispone de manera marginal a la unidad más alta de la zona de estudio: los volcanes. Esta rampa ocupa un rango altitudinal que va de los 2241 hasta los 2265 msnm y se formó a partir de la coalescencia y sobreposición de abanicos proluviales.

Estructuras volcánicas y lavas asociadas: representan el nivel altitudinal más alto del municipio (2266-2540 msnm). Estas formas de relieve, forman parte de algunas elevaciones aisladas sin arreglo aparente, que rompen la continuidad de planicie lacustre de la Cuenca de México.

Las regiones geomorfológicas muestran un panorama general, sobre el área de influencia de los procesos modeladores responsables de la evolución del relieve. Este factor es importante cuando se tiene el interés de caracterizar, en una cartografía especializada, el grado de peligrosidad y magnitud de estos agentes de transformación.

Mapa de inclinación del terreno.

Es otro método morfométrico indirecto, permite conocer la potencialidad de procesos geomorfológicos que se asocian con la fuerza de gravedad. En este sentido, la magnitud e influencia de los procesos de ladera, así como, la velocidad - erosión - sedimentación de los escurrimientos temporales, pueden ser evidenciados en un primer diagnóstico.

Este mapa muestra las inclinaciones del relieve, a partir de la transformación de las distancias entre las curvas de nivel a valores de pendiente (Lugo, 1991). La función matemática es:

$$m = \text{inv. Tang (DV/DH)}$$

Donde: m = pendiente, DV = distancia vertical, DH = Distancia horizontal.

La cartografía obtenida (Fig. 20), se analiza a partir de las regiones geomorfológicas establecidas en el mapa anterior:

La planicie lacustre, con inclinaciones de $< 0.5^\circ$ a 1.5° , representa una zona de acumulación de detritos y aguas torrenciales, características que en tiempos históricos favorecieron la existencia de ciénagas y la presencia de lagos. Esta superficie es el nivel de base local de la cuenca endorreica de México; de ahí su dinámica acumulativa en todos los sentidos.

El piedemonte se fusiona de manera casi imperceptible con la planicie lacustre, por lo que en su base tiene una inclinación de entre 1.5° a 3° . Mientras que, en el territorio más proximal a las fuentes de su origen (estructuras volcánicas), presenta 6° de inclinación.

La rampa acumulativa es una zona de transición que suaviza el cambio de inclinación abrupto entre los edificios volcánicos y la planicie. Este cambio, inicialmente abrupto, en la inclinación del terreno, es el que ha favorecido el depósito de detritos a manera de abanicos alrededor de las estructuras volcánicas que a lo largo del tiempo se han sobrepuesto unos con otros hasta definir una rampa acumulativa.

Las estructuras volcánicas y lavas asociadas presentan una inclinación superior a los 6° , tanto en laderas volcánicas como en los frentes de lava. Esta característica hace de estos territorios los más idóneos, para desarrollar procesos de ladera (deslizamientos, caídas y reptación). Con respecto a la acción fluvial, es aquí donde tienen desarrollo saltos de cabecera que avancen con una acción remontante hacia la cima de los volcanes. Si bien los procesos mencionados están en una fase inicial, su desarrollo es continuo.

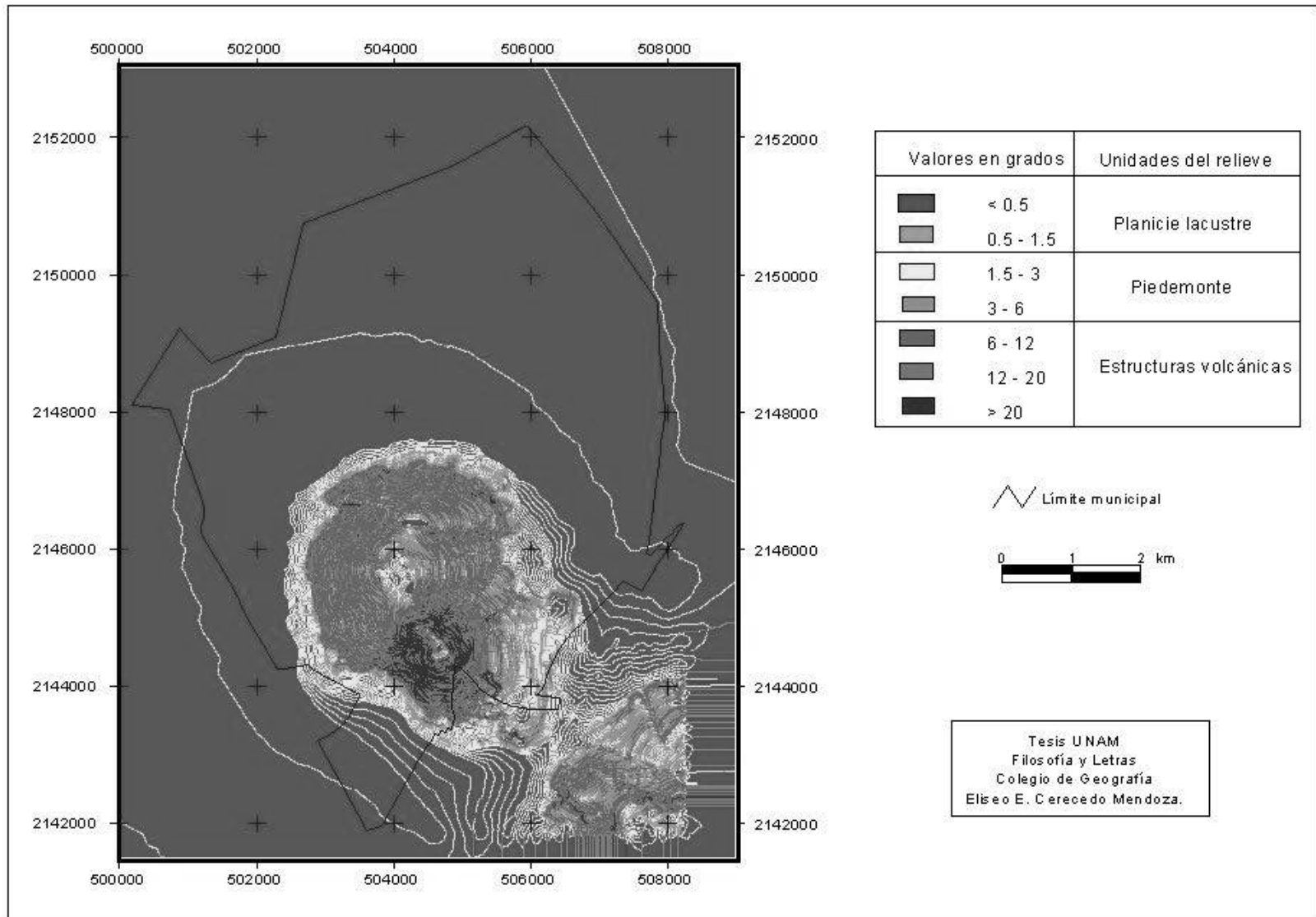


Fig. 20. Mapa de Pendientes y unidades del relieve (geomorfológicas) de Chimalhuacán.

Con el fin de contar con más elementos de análisis en la elaboración del mapa de peligros de Chimalhuacán, se midieron (tirantes de agua) rastros de inundación en paredes, postes y banquetas; la información se registró en un mapa, asimismo se verificó y completó por medio de entrevistas informales a los habitantes de la región; el resultado obtenido se muestra en el siguiente mapa, su explicación es la siguiente.

Mapa de inundaciones estacionales.

La elaboración requirió de un exhaustivo trabajo de campo; la información se obtuvo por medio del recorrido de calle por calle, se registraron aquellas evidencias que la población reconocía como el nivel de inundación. Estos datos fueron capturados en Excel para después interpolarlos por triangulación (*krigin*) en el programa Surfer (versión 8).

El mapa muestra terrenos deprimidos que contienen distintos tirantes de agua (Fig.21); estos encharcamientos son frecuentes en la temporada de lluvias. Sus profundidades se representan por medio de isolíneas en intervalos de 10 cm. La profundidad máxima de los encharcamientos estacionales es de 70 cm y la mínima de 10 cm. Las diferencias en la profundidad están condicionadas en gran medida con la morfología de la planicie, que no es del todo plana y presenta variaciones en su morfología (mapa anexo1: inciso 2.3). También se observó que las construcciones (casa habitación, banquetas, bardas, bordos, avenidas, etc) y la basura (tiraderos clandestinos), condicionan el retardo en la evacuación del agua de lluvia (Fig. 22).

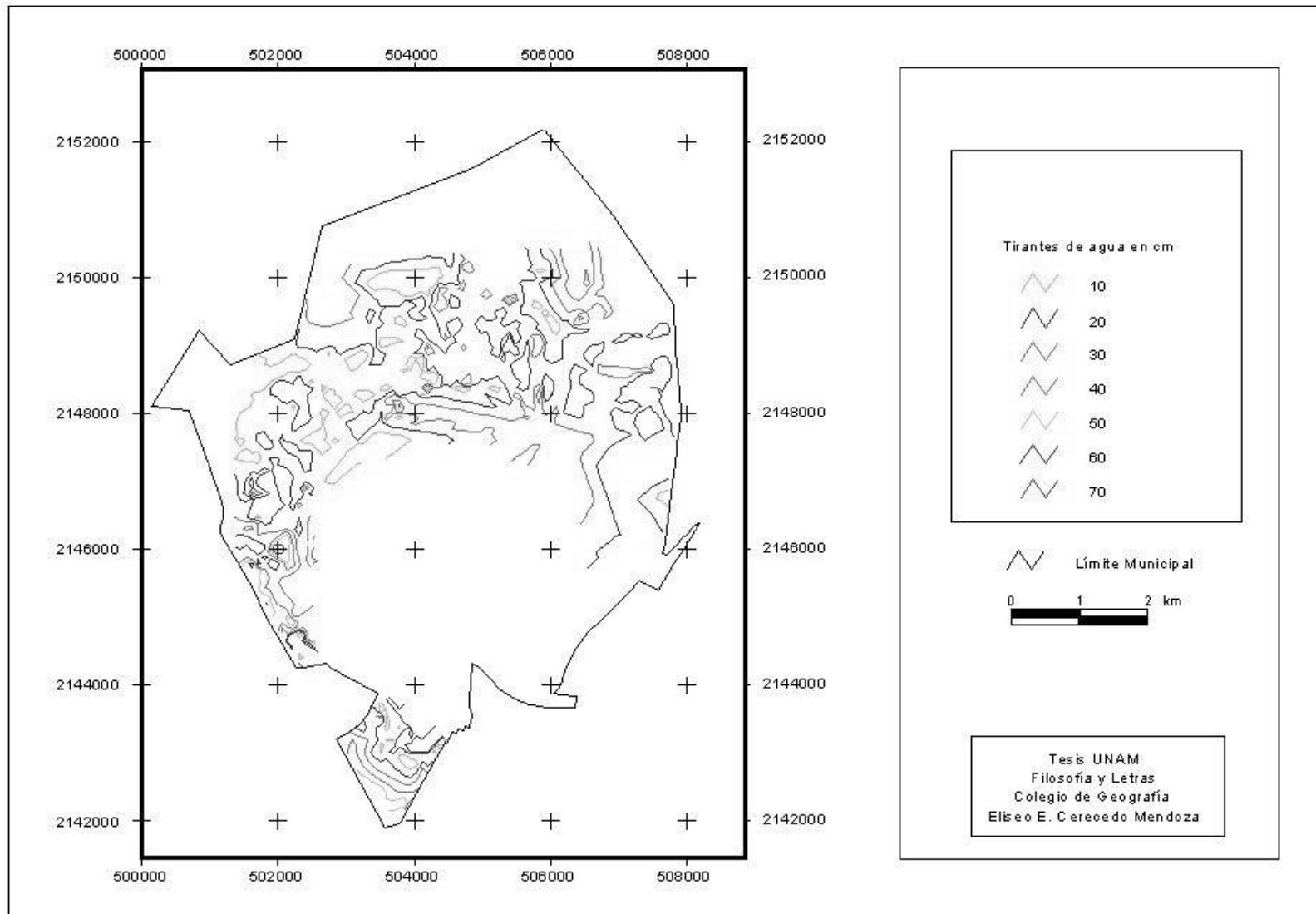


Fig. 21 Mapa de inundaciones estacionales de Chimalhuacán.



Fig. 22. Coladera azolvada por detritos y basura; calle Ignacio Allende, Col. Filiberto Gómez.

Las inundaciones estacionales son frecuentes en lo que se conoce como *Colonias Nuevas*; es decir, terrenos que se han urbanizado desde los años 80 hasta la fecha. La superficie se caracteriza por ser una antigua zona lacustre deprimida y susceptible a inundarse, forma parte de los antiguos bordes del actual *lago* Nabor Carrillo.

Mapa de Peligros geomorfológicos (mapa anexo 2).

La finalidad del mapa de peligros es la de hacer evidente aquellos territorios (colonias) más vulnerables a presentar amenazas por inundación, procesos de ladera y grietas.

Su cartografía presupone que la dinámica del territorio tendrá similitud en el futuro; la aplicación del documento es identificar las colonias más susceptibles al peligro con la finalidad de reducir sus efectos, en algunos casos devastadores sobre la población y las obras de infraestructura.

El mapa de peligros está sustentado en el análisis geomorfológico, y su elaboración consistió en unificar la información cualitativa y cuantitativa, donde también se incluye a la geología, recopilación hemerográfica y el intenso trabajo de campo. Con esta información se establecen parámetros de ocurrencia, magnitud, áreas de influencia y la secuencia de los procesos modeladores que representen un peligro; su explicación es la siguiente:

I. Terrenos susceptibles a inundaciones.

Se entiende por inundación al proceso de acumulación de agua superficial sobre una porción de tierra, que por lo general permanece seca, a continuación se presentan los niveles de ocurrencia.

A) Planicie de inundación excepcional; se presenta con un terreno ligeramente convexo y escalonado, esta morfología permite la circulación del agua (de lluvia y fluvial); característica que la hace una zona libre de encharcamiento. Esta superficie plana representa el sector con mayor altura relativa de todo el conjunto, por tanto, es la menos vulnerable a inundaciones estacionales o a las que se asocian a lluvias extraordinarias; en la actualidad se encuentra urbanizada en su totalidad.

B) Planicies de transición: inundación estacional o por lluvias extraordinarias.

B.1) Ondulada con resaltes convexos amplios, este territorio está sometido a una presión urbana intensa, que se asocia con la cercanía de la Ciudad de México; los pequeños sectores que no han sido ocupados por construcciones se encuentran cubiertos por pastos halófitos. Estas superficies presentan inundaciones (con 10 cm de tirante de agua), asociadas con fenómenos meteorológicos especiales.

B.2) Subhorizontales-horizontales ligeramente inclinadas; no presentan un arreglo aparente y se distinguen de las anteriores por concentrar en su superficie concreciones salinas, a manera de costras de caliche. Se inundan en temporada de lluvias, con tirantes de agua que varían entre los 20 y 40 cm. El crecimiento urbano anárquico y las consecuentes transformaciones que sufre el relieve (rellenos), hace que se magnifique el fenómeno; algunas construcciones (casa, avenidas, muros de contención, etc.), retardan la evacuación natural del agua de lluvia o incluso funcionan como diques, lo que favorece los encharcamientos.

C) Planicies horizontales con alternancia de superficies cóncavas, forma parte del nivel más bajo de la Cuenca de México; ciénegas y terrenos de inundación permanente, son sus principales características. En el sector norte, el canal de aguas negras Chimalhuacán y la Avenida Arenal, definen una frontera rectilínea de dicha planicie; ambas construcciones no permiten que los escurrimientos lleguen a su nivel base local, condición que favorece la presencia de inundaciones severas, que en algunos sectores presentan hasta un metro de profundidad.

La planicie lacustre ocupa un área de 31.6 km². En toda esta superficie hay morfologías que condicionan distintos niveles y tipos de inundación. Sin embargo, existe un territorio muy venerable que amerita la atención por parte de las autoridades correspondientes; se trata de las planicies horizontales con alternancia de superficies cóncavas (mapa anexo 2: inciso 1C), sobre ellas existe un constante crecimiento de la mancha urbana, sin importar que esta superficie es la porción más deprimida del municipio y con mayor susceptibilidad a inundarse, hasta con un tirante de agua de 70 cm (Fig. 23).



Fig. 23. La demanda de vivienda provoca la ocupación de terrenos que no son favorables para un uso urbano. Al fondo *lago* Nabor Carrillo, ubicado en un territorio que presenta una morfología horizontal con alternancia de superficies convexas.

Existe otra zona que demanda una regulación en cuanto a construcción de casas habitación, se trata de las planicies subhorizontales-horizontales ligeramente inclinadas (mapa anexo 2: inciso B2), debido a que en estos territorios se presentan encharcamientos estacionales recurrentes, con tirantes de agua mayores a 20 cm (Fig. 24).



Fig. 24. Pequeño muro de contención construido como una medida de mitigación para las inundaciones estacionales. La foto fue tomada en la calle Juan de la Barrera, Colonia Villa San Lorenzo Chimalco.

Como medida de prevención la población recurre al constante relleno y nivelación de sus terrenos, con el fin de liberarlos de la influencia de las inundaciones. Estos métodos funcionan para las personas que realizaron la inversión, pero el problema se traslada a otra zona y nunca termina (Fig.25).



Fig. 25. Acumulación de material en ambos flancos de la calle M. Ávila Camacho y Miguel Alemán (Col. Filiberto Gómez), con el fin de elevar el nivel de los terrenos y evitar las inundaciones estacionales.

Los canales de aguas negras que se localizan en casi todo el límite municipal, son elementos determinantes en la magnitud de las inundaciones estacionales (La compañía (W); Dren III Chimalhuacán (límite norte); El tejolote (NE) y Manzano (E)). Estas construcciones interrumpen la dinámica natural del desagüe, funcionan a manera de represas.

Otro aspecto de importancia y que atañe a los canales, es su continuo azolve provocado por la gran cantidad de desechos orgánicos e inorgánicos (basura) que diariamente transportan. Por otro lado, la continua construcción de puentes improvisados (piedras, palos y costales de arena) utilizados para cruzar de un borde al otro, actúan como diques que interrumpen el flujo continuo de las aguas. Como ejemplo de lo anterior, se tiene el siguiente testimonio “Al aumentar el caudal por la lluvia, un hombre estuvo a punto de ser arrastrado al tratar de cruzar por un puente, pero la oportuna intervención de algunos vecinos que alcanzaron a verlo caer evitó que pasara a mayores” (Diario de México, 2006).

II. Procesos de Ladera.

Naturales.

A) Laderas volcánicas cubiertas de piroclastos, presentan una inclinación que varía entre 12° y 20° . Se consideran terrenos potenciales a presentar procesos de ladera (deslizamientos de tierra) debido al tipo de materiales (lavas andesíticas con una alta densidad de fracturas), y a sus características morfológicas (alternancia de superficies rectas y convexas). En la actualidad esta superficie está ocupada por asentamientos humanos, es posible que el peso de las construcciones sea un catalizador del proceso mencionado.

B) Corona de deslizamiento, esta forma de relieve pone en evidencia una zona de inestabilidad de laderas. En la actualidad este escarpe de caída está estabilizado con muros de contención, no obstante se considera como una zona de peligro potencial.

Antrópicos.

C) Caídas, se presentan en los frentes y tajos de extracción de materiales para la construcción; ésta actividad transforma el relieve de manera constante, nivela el terreno y crea amplias terrazas, dentro de la mina a cielo abierto, estas áreas representan un atractivo para la urbanización. El interés de considerar a estas zonas como peligrosas, es hacer evidente que no son favorables para la construcción. Las minas a cielo abierto están limitadas por paredes verticales, que al estar constituidas por *tezontles*, sin ningún tipo de cementación las hace susceptibles a los procesos de ladera.

La demanda de terrenos para la vivienda, no solo se lleva a cabo sobre la planicie, sino también hacia las partes altas, en las laderas de las estructuras volcánicas. La construcción de viviendas transforma las laderas y debilita el terreno, esta situación llega a favorecer la presencia de procesos de ladera, como lo demuestra el siguiente boletín informativo.

“Personal de Protección Civil Municipal, trabaja en las faldas del cerro del Chimalhuachi, en la zona de Ampliación Villa San Agustín, en la demolición y retiro de 18 rocas con un peso de 3 a 6 toneladas, que se estaban a punto de deslizarse, lo cual ponía en peligro a 25 familias que habitan en igual número de viviendas”.

Boletín informativo, Ayuntamiento de Chimalhuacán (2005).

III. Grietas.

Líneas de debilidad sin arreglo aparente, son frecuentes en las distintas regiones que componen a la planicie; su génesis se asocia con la extracción de agua subterránea (pozos clandestinos). En el mapa aparecen de manera individual o en grupos; los daños que ocasionan son devastadores para casas y conjuntos habitacionales; de igual manera desnivelan calles (desplazamientos relativos en la horizontal, como en la vertical) y rompen el pavimento.

El desarrollo de grietas es una constante en la zona de planicie, en la periferia de los cuerpos de agua, asociadas con la desecación (Fig. 26); no representan ningún tipo de peligro. Existe otro tipo de disyunciones que no son exclusivas de las planicies, se trata de hundimientos provocados por la sobre explotación de los mantos acuíferos (Fig.27 y 28).

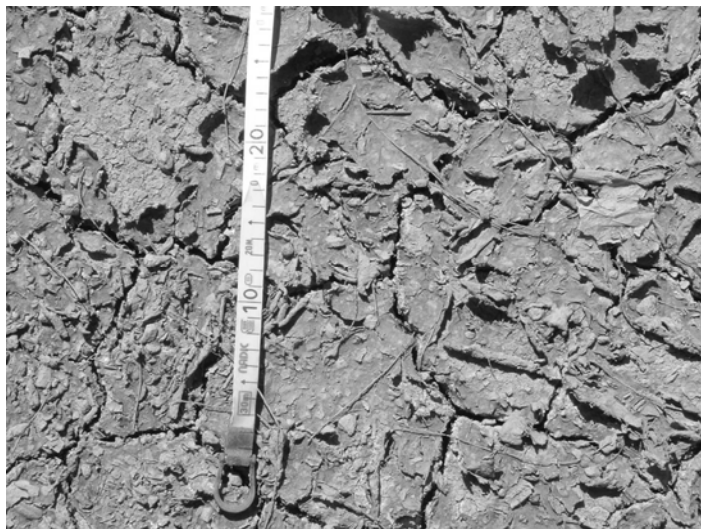


Fig. 26 Presencia de grietas de desecación o también conocidas como de primer orden (Lugo *et al.*, 1999). La fotografía fue tomada en el patio de la Escuela de Artes y Oficios en el Barrio Fundidores.



Fig. 27 Grieta cuya génesis se asocia a hundimientos del terreno provocados por la sobre explotación de los mantos acuíferos. El ejemplo que se muestra se localiza entre Avenida Organización Popular y Yacatlí; con 30 m de longitud y 46cm e ancho, la profundidad visible es de 15 cm. promedio.



Fig.28. Grieta asociada a subsidencia del terreno, su longitud es de 300 m aproximados, presenta una anchura entre 30 y 60 cm y su profundidad visible es de 60 cm. Los daños han sido severos en la Escuela Primaria Federal Rafael Ramírez, ubicada en la calle de Holanda esquina con México. La fotografía muestra los rellenos como medida de mitigación, este proceder en la mayoría de los casos favorece el crecimiento de las grietas.

IV. Zonas con estabilidad aparente.

Se refiere a aquellos lugares que en apariencia no presentan algún tipo de proceso peligroso, sin embargo no se descarta la posibilidad de que se lleguen a generar.

IV. A) Laderas volcánicas cubiertas de piroclastos, con inclinaciones entre 6° y 8°. Los procesos modeladores actuales son de tipo areal y lineal. En el primer caso, se reconocen la reptación y la erosión laminar como los más importantes: no representan peligro. En el segundo grupo, destacan los barrancos, no todos representan un peligro solo algunos sectores localizados cerca de la cabeceras en donde persistente una erosión remontante (saltos de cabecera).

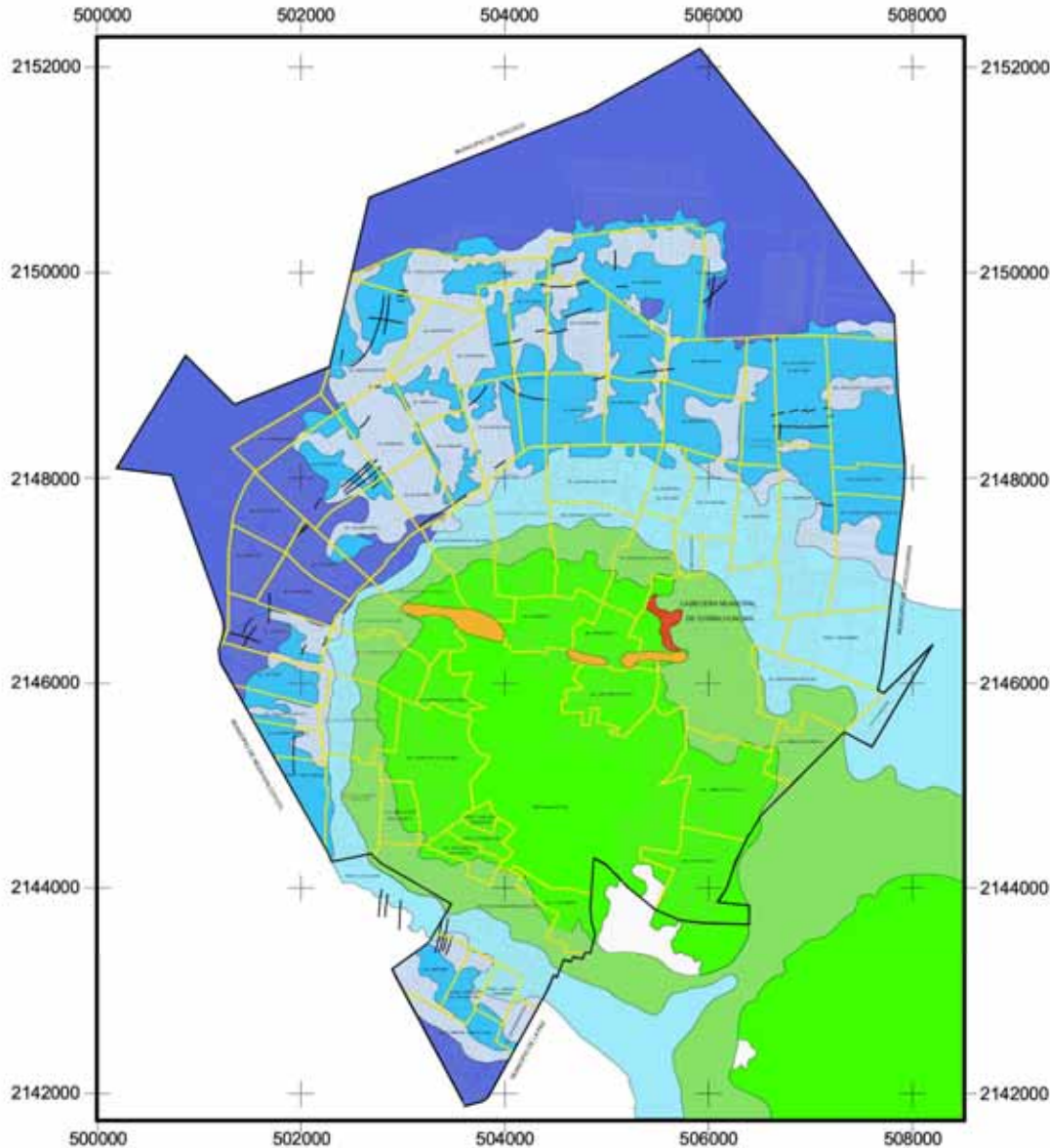
IV. B) Rampa acumulativa; asociada con la sedimentación por el desarrollo de abanicos proluviales; fenómeno frecuente en temporada de lluvia estacional o extraordinaria. Este fenómeno se identifica por azolves de detritos en calles (cauces urbanizados) y obstrucción de coladeras por acarreo de escombros.

La aportación del mapa de peligros es proporcionar información práctica y clara que sirva para la elaboración de planes de manejo y políticas de regulación en el desarrollo urbano. Pero su esencia principal está en la toma de decisiones, enfocadas a la mitigación y prevención de peligros naturales; sin embargo, la intervención humana puede modificar las características (magnitud, frecuencia y zona de influencia), así como el comportamiento de uno o varios peligros geomorfológicos, llegando incluso a originar uno nuevo.

Un elemento a considerar es el rápido crecimiento poblacional que demanda una progresiva necesidad de vivienda, esto ocasiona que cada vez se ocupen espacios “inadecuados”, sin planeación urbana, por tanto, la susceptibilidad a sufrir daños o pérdidas por inundaciones, deslizamientos y grietas, es alta.

Las actividades antrópicas modifican las condiciones del relieve, en este sentido, la gente emplea de manera negligente *medidas de mitigación y prevención*, las cuales consisten en construir bordes alrededor de sus casas; nivelar por medio de relleno de escombros caminos y terrenos para uso habitacional y hacer canales sobre las calles para desviar el agua. Estos factores favorecen que se obstruyan las coladeras, que haya azolve en el drenaje y que existan encharcamientos estacionales. No obstante, el crecimiento urbano continúa y mantiene latente al desastre.

MAPA DE PELIGROS GEOMORFOLÓGICOS EN EL MUNICIPIO DE CHIMALHUACÁN



LEYENDA

I. Terrenos susceptibles a inundaciones.

A) Planicie de inundación excepcional; se presenta con un terreno ligeramente convexo y escalonado, esta morfología permite la circulación del agua (de lluvia y fluvial), a lo largo de su superficie, característica que la hace una zona libre de encharcamientos. Esta superficie plana, representa el sector con mayor altura relativa de todo el conjunto, por tanto es la menos vulnerable a inundaciones estacionales o a las que se asocian a lluvias extraordinarias; en la actualidad se encuentra urbanizada en su totalidad.

II) Planicies de transición: inundación estacional o por lluvias extraordinarias.

B.1) Ondulada con rasgos convexos amplos, este territorio está sometido a una presión urbana atenuada que al asociarse con la cercanía de la ciudad de México, los pequeños sectores que no han sido ocupados por construcciones, se encuentran cubiertos por pastas alófticas. Estas superficies presentan inundaciones (con 10 cm de frente de agua), asociadas a fenómenos meteorológicos especiales.

B.2) Subhorizontales-horizontales ligeramente inclinadas, no presentan un arreglo aparente y se distinguen de las anteriores por concentrar en su superficie precipitaciones salinas, a manera de blanqueales. Se mudan en temporadas de lluvias, con frentes de agua que varían entre los 20 y 40 cm. El crecimiento urbano antiguo y las consecuentes transformaciones que sufre el relieve (rellenos), hace que se magnifique el fenómeno; algunas construcciones (casas, avenidas, muros de contención, etc.), retardan la evacuación natural del agua de lluvia o incluso funcionan como diques, lo que favorece la existencia de encharcamientos.

C) Planicies horizontales con alternancia de superficies cóncavas, forma parte del nivel más bajo de la cuenca de México; ciénagas y terrenos de inundación permanente, son sus principales características. En el sector norte, la existencia del canal de aguas negras Chimalhuacán y la avenida Arenal, definen una frontera rectilínea de dicha planicie; ambas construcciones no permiten que los escurrimientos lleguen a su nivel base local, condición que favorece la presencia de inundaciones severas, que en algunos sectores presentan hasta un metro de profundidad.

III. Procesos de Ladera.

Naturales.

A) Laderas volcánicas cubiertas de proclastos, presentan una inclinación que varía entre 12° y 20°. Se consideran terrenos potenciales a presentar procesos de ladera (deslizamientos de tierra) debido al tipo de materiales (lavas andesíticas con una alta densidad de fracturas), y a sus características morfológicas (alternancia de superficies rectas y convexas). En la actualidad esta superficie está ocupada por asentamientos humanos, es posible que el peso de las construcciones sea un catalizador del proceso mencionado.

B) Corona de deslizamiento; esta forma de relieve zona en evidencia una zona de inestabilidad de laderas. En la actualidad este escarpe de caída está estabilizado con muros de contención, no obstante se considera como una zona de peligro potencial.

Antropóicos.

C) Caídas, se presentan en los frentes y bajos de extracción de materiales para la construcción, esta actividad transforma el relieve de manera constante, revela el terreno y crea amplias terrazas, dentro de la mina a cielo abierto, estas áreas representan un atractivo para la urbanización. El interés de considerar a estas zonas como peligrosas, es hacer evidente que no son favorables para la construcción. Las minas a cielo abierto están limitadas por paredes verticales, que al estar constituidas por leuante; sin ningún tipo de cementación las hace susceptibles a los procesos de ladera.

IV. Grietas.

Lineas de debilidad sin arreglo aparente, son frecuentes en las distintas regiones que componen a la planicie; su génesis se asocia con la extracción de agua subterránea (pozos clandestinos). En el mapa aparecen de manera individual o en grupos; los daños que ocasionan son devastadores para casas y conjuntos habitacionales; de igual manera destruyen calles (desplazamientos relativos en la horizontal, así como en la vertical) y rompen el pavimento.

IV. Zonas con estabilidad aparente.

IV. A) Laderas volcánicas cubiertas de proclastos, con inclinaciones entre 6° y 8°. Los procesos modeladores actuales son de tipo areal y lineal. En el primer caso, se reconocen la rotación y la erosión laminar como los más importantes; no representan peligro. En el segundo grupo, destacan los barrancos, no todos representan un peligro solo algunos sectores localizados cerca de la cabecera en donde persiste una erosión remanente (saltos de cabeceira).

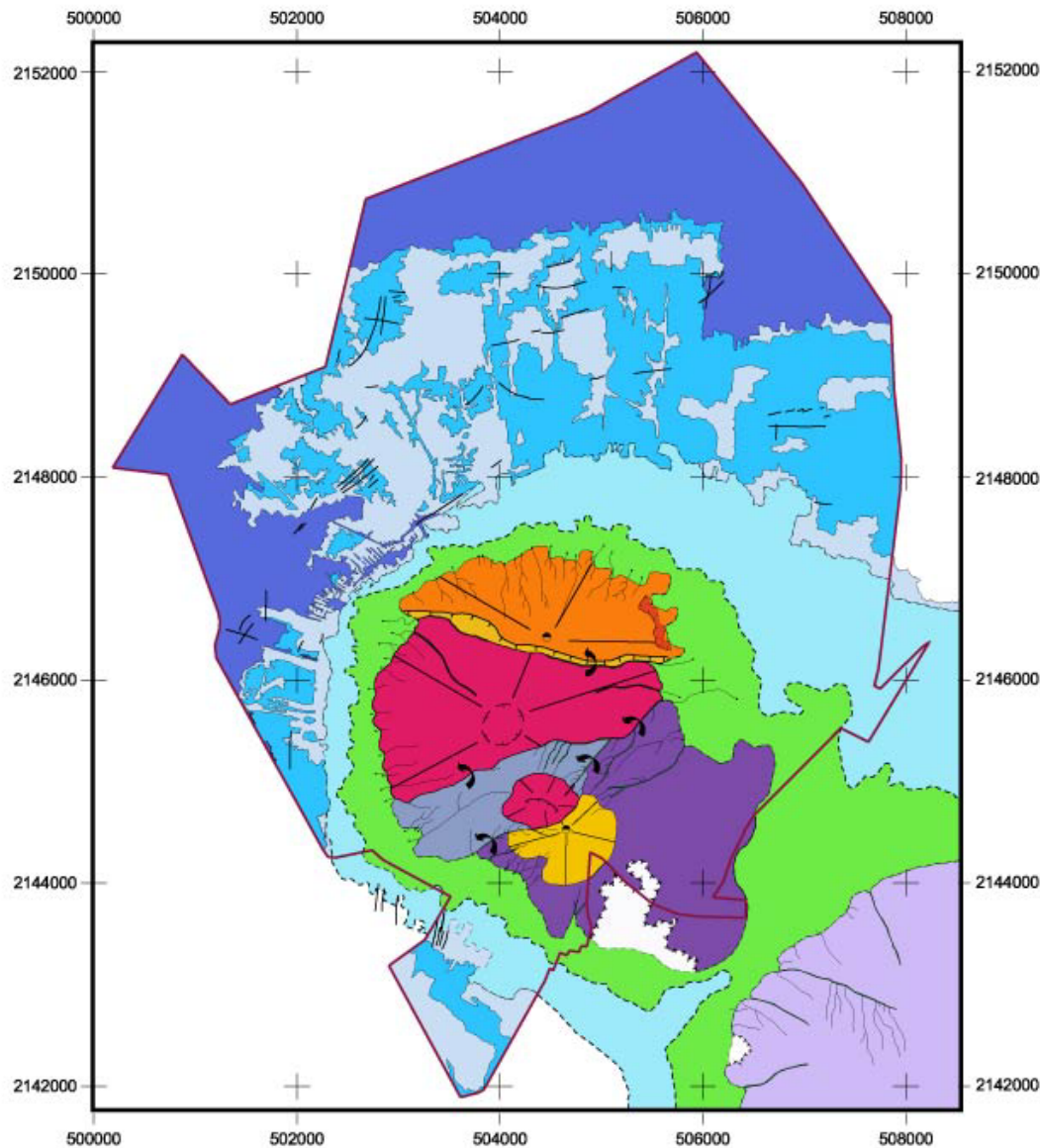
IV. B) Rampa acumulativa; asociada a la sedimentación por el desarrollo de abanicos proluviales, fenómeno frecuente en temporadas de lluvias estacionales o extraordinarias. Este fenómeno se identifica por acúmulos de detritos en calles (causas urbanizadas) y obstrucción de cocheras por acúmulos de detritos y basura.

Colonias y traza urbana.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
 COLEGIO DE GEOGRAFÍA
 TESIS DE LICENCIATURA
 Autor: Eliseo E. Cerecedo Mendoza
 Asesor: Dr. José Juan Zamorano Orozco

0 1 2 Km

MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL MUNICIPIO DE CHIMALHUACÁN



LEYENDA

- | | |
|--|---|
| I. Relieve endógeno | C. Acumulativo lacustre |
| A. Volcánico acumulativo | 2.3 Planicies: |
| 1.1 Volcán de lava | a) Ligeramente convexas y escalonadas (nivel más alto del conjunto). |
| a) Con cráter cerrado | b) Onduladas con resaltes convexos amplios. |
| b) Con cráter abierto | c) Subhorizontales – horizontales ligeramente inclinadas. |
| 1.2 Volcán de escoria | d) Horizontales con alternancias de superficies cóncavas (nivel más bajo del conjunto). |
| 1.3 Domo de lava | |
| 1.4 Coladas de lava asociadas al Conjunto Chimalhuacán | D. Gravitacional |
| 1.5 Coladas de lava asociadas al volcán El Pino | 2.4 Corona de deslizamiento |
| B. Volcánico tectónico | III. Relieve antrópico |
| 1.6 Escarpe | 3.1 Minas a cielo abierto |
| II. Relieve exógeno | 3.2 Grietas |
| A. Erosivo fluvial | IV. Símbolos complementarios |
| 2.1 Cauces con profundidad: | 4.1 Contactos |
| a) > 3 metros | a) Inferidos |
| b) < 3 metros | b) Reales |
| B. Acumulativo fluvial | 4.2 Nivel altitudinal relativo entre lavas y volcanes |
| 2.2 Rampa proluvial | 4.3 Limite municipal |

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
 COLEGIO DE GEOGRAFÍA
 TESIS DE LICENCIATURA
 Autor: Eliseo E. Cerecedo Mendoza
 Asesor: Dr. José Juan Zambrano Orozco

0 1 2Km

Conclusiones.

Los procesos geomorfológicos se convierten en peligro cuando afectan el ambiente y la cotidianidad de una sociedad. Los peligros presentes en Chimalhuacán tienen una génesis que obedecen a las características naturales del lugar (inundaciones estacionales o extraordinarias y la consecuente sedimentación). También los hay inducidos, relacionados con la sobre explotación de los mantos acuíferos (grietas y subsidencia del terreno) y con la ocupación de terrenos no aptos para la construcción de viviendas (procesos de ladera). El efecto, de los procesos peligrosos, se magnifica en función de las características de la sociedad: calidad de la vivienda, nivel económico-cultural (marginación), edad y composición de la población.

La morfología y la dinámica del relieve están en estrecha relación con la estructura geológica; elementos que junto con el clima, determinan la espontaneidad y magnitud de fenómenos naturales peligrosos para la población. En este sentido, los modelos sombreados del terreno fueron determinantes en el conocimiento del arreglo, distribución y orientación de los lineamientos. La distribución radial de estas estructuras, se asocian con la existencia de volcanes; así como con movimientos horizontales (de cizalla: hacia el W). Lo que ocasiona que los edificios volcánicos afectados se disloquen, este hecho condiciona el estilo eruptivo y por tanto la actual morfología volcánica de la zona de estudio. Por otro lado, la orientación preferencial de los lineamientos (NE), es similar a los responsables de la existencia del vulcanismo que dio origen a la cuenca de México (De Cserna *et al.* 1998), de ahí la relativa *juventud* de lo que denominamos Complejo Volcánico Chimalhuacán.

A partir de la identificación geomorfológica se determinó que, el *Cerro Chimalhuacán* está formado por cuatro estructuras volcánicas superpuestas en donde la más antigua es la del norte y la más reciente la del sur. Asimismo se distinguieron diversas planicies asociadas a dinámicas de inundación: ligeramente convexa y escalonada; Onduladas con resaltes convexos amplios y Subhorizontales-horizontales con alternancia de superficies cóncavas. Esta diferenciación controla en gran medida el fenómeno mencionado.

El arreglo espacial de los territorios afectados por procesos geomorfológicos, es el objetivo del mapa de peligros. En este documento se identifican, se explica su ocurrencia y se pone de manifiesto la vulnerabilidad del territorio (colonias afectadas).

La finalidad del mapa de peligros es proporcionar información práctica y clara que sea de utilidad en la elaboración de planes de manejo y políticas de regulación de desarrollo urbano, así como de su mitigación y prevención de desastres.

Bibliografía.

Alcántara-Ayala, I. (2002). Geomorphology, Natural hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries. **Geomorphology**, vol. 47, pp. 107-124.

Alvarado-González, R. (2003). **Cartografía geomorfológica del complejo volcánico Sierra de San Juan, Nayarit, México**. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, D. F., 139p.

Araña, V. y López, J. (1974). Volcanismo. **Dinámica y petrología de sus productos**. Ed. Istmo. Colegio Universitario, Madrid. 481 p.

Ayala–Carcedo y Olcina-Cantos (Coordinadores) (2002). **Riesgos Naturales**. Ariel Ciencia, Barcelona, 1512 p.

Bashenina, V. N., Velikovskais, B., Drovlovolsky., P., Zarushkaia, B., Mirnova, V. Talskia, N. y Feldbarg, E. (1975). **Cartografía Geomorfológica**. Universidad Estatal de Moscú. Moscú, 262 p. (en ruso).

Borja, B. (2003). **Análisis de susceptibilidad y riesgos asociados a procesos de remoción en masa en Zacapoaxtla, Puebla**. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, D.F. 154 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**, Tomo 13, pp. 1 – 20, México.

Cardona, O. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo. En

Maskrey, A. (Compilador). **Los desastres no son naturales**, La Red. Tercer Mundo editores. Santafé, pp. 51 – 74.

Cerecedo-Mendoza, E., Alvarado-González, R. y Zamorano-Orozco, J. (2006). Análisis geomorfológico y peligros: el caso del municipio de Chimalhuacán, México. **XVII Congreso Nacional de Geografía**. 26 al 30 de marzo de 2006. Acapulco, Guerrero.

De Cserna, Z., De la Fuente, M., Palacios, M., Triay, I., Mitre, I. y Mota, R. (1988). Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la cuenca de México. **Boletín del Instituto de Geología**, No. 104, UNAM, México, 67 p.

Delgadillo, M. (Coordinador) (1996). **Desastres Naturales. Aspectos Sociales para su prevención y tratamiento en México**. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México, 292 p.

Delgado-Granados, H. (1994). Comparative studies on the Tectonics and Volcanism of Circum-Pacific Arcs. **Geofísica Internacional**, vol. 33, núm. 1, pp. 5-19.

Dirección General de Protección Civil. (2000). **Atlas municipal de Riesgos (1ª Versión)**. Subsecretaría de Seguridad Pública. Gobierno del Estado de México, 34 p.

Ego, F. y Ansan, V. (2002). Why is the Central Trans – Mexican Volcanic Belt (102° -99° W) in transitive deformation?. **Tectonophysis**, núm. 359, pp. 189 – 208. Elsevier, Amsterdam.

Flores-Lorenzo, P. (2002). **Inestabilidad de las laderas y riesgos asociados en Teziutlán, Puebla**. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, D.F. 120 p.

- Frausto-Martínez, O. (2002). **Análisis geomorfológico enfocado a los procesos de ladera en la sierra de Guadalupe, México.** Tesis de Maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, D.F. 146 p.
- Garay, R. (1974). Morfología de la región volcánica Chimalhuacán – Cerro de la Estrella / Sierra de Santa Catarina. **Anuario de Geografía**, Facultad de Filosofía y Letras. UNAM, México, pp. 10 – 65.
- García-Romero, A. (1995). **Análisis geomorfológico de la distribución de los riesgos naturales en la delegación Cuajimalpa de Morelos, Distrito Federal.** Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, D.F. 163 p.
- González-Salinas, F. y Contreras-Galeana, M. (2001). **Análisis de fenómenos naturales que presentan amenaza, en el municipio de Acambay, Estado de México.** Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Geografía, UAEM, Estado de México, 94 p.
- Kuriowa, J. (2001). **La reducción de Desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza.** Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, 354 p.
- Ledo, L., Rodríguez, O. y Serrano, R. (1981). **Ecología Urbana.** Instituto Politécnico “José A. Echeverría”. Editora de la ENSPES. La Habana, 50p.
- López, M. (2003). **Distribución espacial de los procesos de remoción en masa y riesgos asociados en el Municipio de Tlatlauquitepec, Puebla.** Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, D.F. 151 p.

- Lugo-Hubp, J. (1991). **Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos)**. Instituto de Geografía, UNAM, México, 128 p.
- Lugo-Hubp, J. (1992). Mapa de procesos exógenos en la cuenca de México (predominio en superficies amplias). **Atlas Nacional de México** (1992). Relieve. Geomorfología 2. No. IV. 3. 4. Vol. 2. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Lugo-Hubp, J., Mooser, F., Pérez-Vega, A. y Zamorano-Orozco, J. (1994). Geomorfología de la Sierra de Santa Catarina, D. F., México. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**, Instituto de Geología, UNAM, México, Vol. 11, núm. 1, pp. 43-52.
- Lugo-Hubp, J., Cordero-Estrada, M. y Zamorano-Orozco, J. (1995) Relieve, litología y riesgos en la zona urbana de la delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal, México. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**, Instituto de Geología, UNAM, México, Vol. 12, núm. 1, pp. 52-67.
- Lugo-Hubp, J., Salinas-Montes, A. (1996). Geomorfología de la Sierra de Guadalupe (al norte de la Ciudad de México) y su relación con peligros naturales. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**. Instituto de Geología. UNAM, México, Vol. 13, No. 2, pp. 240 –251.
- Lugo-Hubp, J., Salas G., García A, (1999). Grietas en campos de cultivo. Un tipo de riesgo. **Prevención, Órgano Informativo del Sistema Nacional de Protección Civil**. CENAPRED, México, Mayo 1999, núm. 22, pp. 18–23.

- MacGregor, M., González, J. y Zamorano, J. (2005). **La Cuenca de México y sus cambios demográficos-espaciales**. Temas selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía, UNAM, México, 155 p.
- Marín-Córdova, S. y Aguayo-Camargo, J. (1987). Evolución geológica de la Cuenca de México e importancia de sus rasgos estructurales. En: Gio-Argaez (Editor) (1987). **Memorias del congreso sobre ecología urbana**. México, pp. 1 – 6.
- Mooser, F. (1975). Historia Geológica de la Cuenca de México. En: Dirección del Distrito Federal (1975). **Memorias de las obras del drenaje profundo del Distrito Federal**, tomo 1, DDF, México, pp. 11 -38.
- Mooser, F. (1990). **Características geológicas y geotécnicas del Valle de México**. COVITUR, Secretaria General de Obras. D. D. F., pp. 11 – 37.
- Mooser, F., Montiel, A y Zúñiga, A. (1996). **Nuevo mapa geológico de las Cuencas de México, Toluca y Puebla. Estratigrafía, Tectónica Regional y Aspectos Geotérmicos**. Comisión Federal de Electricidad, México, pp. 22 – 44.
- Mota-Palomino, R., Zamorano-Orozco, J., Frausto-Martínez, O. (1992). Mapa de Regionalización geomorfológica y Sismicidad en la Cuenca de México. **Atlas Nacional de México** (1992). Medio ambiente. Fenómenos naturales que provocan desastres en la Cuenca de México. Vol. 2. No. V. 2. 10. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Ollier, C (1972). **Volcanoes**. Ed. The mit press. Australia. 179 p.
- Ortiz-Pérez, M. y Oropeza-Orozco, O. (1992 a). Consideraciones Críticas sobre la Investigación Geográfica de los Desastres de Origen Natural.

Geografía y Desarrollo. Colegio Mexicano de Geografía, México, Vol. III, Num. 7, pp. 2 – 8.

Ortiz-Pérez, M., Zamorano-Orozco, J., Lugo-Hubp, J. (1992 b). Mapa de susceptibilidad a corrimientos de tierras. **Atlas Nacional de México** (1992). Medio Ambiente, Principales fenómenos naturales que provocan desastres en la cuenca de México. Vol. 2 No. V. 2. 10. Instituto de Geografía, UNAM, México.

Palacio, J. (1985). El croquis geomorfológico: Una alternativa en geomorfología aplicada. **Divulgación Geográfica.** Instituto de Geografía. UNAM, México, núm. 3, 24 p.

Palacio-Prieto, López-Blanco y Ortiz-Pérez (1991). Evaluación Geomorfológica Estructural a través de modelos sombreados y pares estereoscópicos, generados a partir de modelos digitales del terreno. **Investigaciones Geográficas.** Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, México, núm. 23. pp. 89 – 101.

Pedraza, G. (1996). **Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones.** Editorial Rueda, Madrid, 414 p.

Peña, M. (1997). **Cartografía geomorfológica básica y aplicada.** Geofoma Ediciones, Logroño, 227 p.

Romero y Maskrey (1993). Como entender los desastres naturales. En Maskrey A. (Compilador) (1993). **Los desastres no son naturales.** La RED. Tercer Mundo editores, Santafé, pp. 1 - 8.

- Salas, O. (1995). **Estudio de riesgos naturales en la ciudad de Pachuca de Soto Hidalgo**. Tesis de Licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, D. F., 110 p.
- Schlaepfer, J. (1968). **Resumen de la geología de la hoja México, Distrito Federal y Estados de México y Morelos**. Hoja México 14 Q –h (5), escala 1: 10, 000. Instituto de Geología, UNAM. México.
- Secretaria de Gobernación (1998). **Guía técnica para la implementación del Plan Municipal de Contingencias**. Coordinación general de protección Civil. Dirección General de Protección Civil. México, pp. 1 - 2.
- Simonov, Y. G. (1985). **Análisis morfométrico**. Universidad Estatal de Moscú. 30 p. (en ruso).
- Slaymaker, O. (1996) (editor). **Geomorphic Hazards**. Ed. Wiley Chichester, New York. United Status of América, pp. 1 – 7.
- Thornbury, W. (1960). **Principios de geomorfología**. Traducción Dr. Juan Carlos A. Turnes. Editorial Kapeluz. Buenos Aires, 627 p.
- Toscana, A. (1998). **Análisis Geomorfológico detallado del volcán Ajusco y zonas adyacentes**. Tesis de Licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 97 p.
- Toscana, A. (2003). **Paulina. La configuración de un desastre**. Tesis de Maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 182 p.
- Valdez, M. (2004). Lucha conjunta de la UNAM y el CENAPRED para prevenir desastres. **Gaceta UNAM**. 19 de agosto del 2004. No. 3740, pp. 9 – 11.

Verstappen, H. (1992). El concepto de Geomorfología Aplicada, Ejemplos de Colombia, Indonesia y Tailandia. En: López, B., Conesa, G y Romero, D. (Editores) (1992). **Estudios de Geomorfología en España**, II Reunión Nacional de Geomorfología, Sociedad Española de Geomorfología. Murcia, España, pp. 9 – 30.

Wilches–Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global. En: Maskrey A. (Compilador) (1993). **Los desastres no son naturales**. La RED. Tercer Mundo editores, Santafé, pp. 95 – 109.

Zamorano-Orozco, J., Ortiz-Pérez, M., Martínez-Frausto, O. (1992). Mapa de susceptibilidad a inundaciones en la cuenca de México. **Atlas Nacional de México** (1992). Medio ambiente. Fenómenos naturales que provocan desastres en la Cuenca de México. Vol. 2. No. V. 2. 10. Instituto de Geografía, UNAM, México.

Zamorano-Orozco, J. (2006). Peligros geomorfológicos en la bahía de Acapulco. **XVII Congreso Nacional de Geografía**. Del 26 al 30 de Marzo de 2006. Acapulco, Guerrero.

Zaragoza-Zúñiga, N. (2006). **Procesos de ladera en la región de Cuetzalan: Un enfoque geomorfológico**. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 122 p.

Paginas Web.

Diario de México (2006) en:

www.diariodemexico.com.mx/?module=displaystory&story_id=88399&format

Boletín informativo, Ayuntamiento de Chimalhuacán (2005) en:
www.chimalhuacán.gob.mx.

MACIAL, F. (2004) en:
www.acude.udg.mx/divulga/vinci/vinci7/geologico.pdf.

SEDENA, (2004) en:
www.ventanapresidencia.gob.mx

Fotografías Aéreas.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1973). Fotografías Blanco y negro del Municipio de Chimalhuacán, a escala 1: 50 000.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1979). Fotografías Blanco y negro del Municipio de Chimalhuacán, a escala 1: 40 000.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1989). Fotografías Blanco y negro del Municipio de Chimalhuacán, a escala 1: 37 000.

Cartografía.

Gobierno del Estado de México. Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas. Comisión del Agua del Estado de México (2000). Inventario de Infraestructura Hidráulica: Municipio de Chimalhuacán (1: 12 500).

Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (2003). Base Vectorial del Municipio de Chimalhuacán, a escala 1: 50 000.