



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**INSTITUTO DE GEOLOGÍA**

**POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA  
DELEGACIÓN ÁLVARO OBREGÓN: PELIGROS  
ASOCIADOS Y SU CARTOGRAFÍA.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO  
DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS DE LA  
TIERRA**

**P R E S E N T A**

**ADRIANA HAYDEE GALVÁN GARCÍA**

**Director de tesis:  
Dr. José Juan Zamorano Orozco**



**Noviembre 2012.**



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.

## **DEDICATORIAS**

Dedico este trabajo a mis dos grandes amores, Juan Carlos y Luis Nicolás. Gracias Amor por todas las cosas que hemos compartido, por cada momento vivido, por cada palabra dicha, pero sobre todo por confiar en mí. Gracias por brindarme la fuerza necesaria para continuar en momentos desolados y darme ánimos para culminar este proyecto. Y a tí mi pequeño, gracias por darme el honor de ser tu mamá y darme la dicha de tenerte, por ser mi fuerza y mi motor para continuar. Gracias por hacer de mí una mejor persona los Amo.

Con mucho cariño, amor y respeto, dedico este trabajo a mis padres, Linda y José Luis. Gracias por sus consejos, que me han orientado a tomar las mejores decisiones, por los valores que me inculcan y por confiar en mis determinaciones. Ahora en esta nueva etapa de mi vida siempre he recibido su apoyo incondicional y sobre todo por su amor, eternamente los voy a necesitar. Gracias por ser mis padres.

A mis hermanos José Luis y Thania gracias por estar conmigo y apoyarme siempre. A primos Yadira, Karina, Jaberth y Alejandro por apoyarme y estar presentes en mi vida. A mis sobrinos Angelique, Brisa, Axel, Rodrigo, Jonathan, Marcus, Andrick, Paola, Alejandra, Dana, Yara y ahijadas Kelly y Alpha, gracias por las muestras de apoyo y amor. A Janeth por estar conmigo y consentirme, te quiero. A tí Jorge (q.e.p.d), que aunque no estás conmigo en cuerpo siempre estarás en mi corazón. Gracias por ser mi Ángel.....

A mis suegros Armando y Clotilde, por apoyarme siempre, por su tiempo compartido y por impulsar mi desarrollo profesional, los quiero.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Coordinación de estudios de Posgrado en Ciencias de la Tierra, al Instituto de Geología y al Instituto de Geografía, por haberme brindado todo el apoyo durante mi estancia.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico durante la elaboración de este proyecto.

Un agradecimiento especial a mi asesor, el Dr. José Juan Zamorano Orozco, por su apoyo y sus conocimientos para llevar a cabo esta investigación, pero sobre todo su paciencia para poder culminar este trabajo.

Agradezco a los miembros del jurado, el Dr. José Lugo Hubp, Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo, Dra. Lucía Capra Pedol y al Dr. José Ramón Santana Hernández, por las aportaciones invaluable que hicieron para el trabajo final y por el tiempo que dedicaron en revisar esta investigación.

Agradezco al Dr. Armando García Palomo (q.e.p.d) por sus conocimientos e impulso que me dieron para iniciar la maestría, gracias por ser mi jefe, asesor y amigo.

Al Servicio Geológico Metropolitano y sus integrantes por haber sido parte de mi formación profesional e impulsos académicos.

Agradezco a Gloria Benítez y María Luisa Reyes, Rosario Flores, Francisco Montaña y Rodolfo del Arenal (q.e.p.d), gracias por siempre brindarme su apoyo.

Agradezco a cada uno de mis profesores que formaron parte de mi formación, gracias por todas sus enseñanzas, sugerencias y apoyo.

Agradezco a mis compañeros y amigos de generación por los buenos momentos que pasamos, en especial a Berlaine Ortega, Claudia Serrano, Esperanza Torres, Berenice Solis, Judith Callejas y Lizeth Caballero por ese impulso y apoyo cuando más lo necesitaba, gracias por el ánimo, para continuar lo que había empezado.



Agradezco enormemente a Carlo Mendoza, Sergio Salinas, Raúl (niño), Osvaldo Franco, Miguel Santos, por su ayuda, sus comentarios tan acertados y el apoyo para la realización de este trabajo.

## Í N D I C E

INTRODUCCIÓN.....	1
METODOLOGÍA.....	4

## CAPÍTULO I

### Cartografía Geomorfológica

1.1 Antecedentes.....	11
1.2 Cartografía Geomorfológica y su elaboración.....	15
1.3 Los diferentes tipos de mapas geomorfológicos.....	21
1.4 Materiales y procedimientos usados en la elaboración de los mapas geomorfológicos.....	24
1.4.1 Los mapas topográficos.....	25
1.4.2 Las fotografías aéreas.....	27
1.4.3 La cartografía temática.....	27
1.4.4 Los mapas morfométricos.....	27
1.4.5 El trabajo de campo.....	28
1.4.6 Los sistemas de información geográfica (SIG).....	28
1.4.7 La base de datos geográfica o espacial.....	28
1.4.8 Las bases cartográficas digitales.....	29
1.5 Antecedentes sobre la cartografía geomorfológica en la Cuenca de México.....	29

## CAPÍTULO II

### Marco Físico-Geográfico

2.1 Aspectos regionales: Cinturón Volcánico Transmexicano y Cuenca de México.....	34
2.2 Localización.....	39
2.3 Marco geológico local: delegación Álvaro Obregón.....	42
2.4 Clima.....	47
2.5 Suelos.....	49

2.6 Vegetación y uso de suelo.....	50
2.7 Hidrología.....	52

### **CAPÍTULO III**

#### **Morfometría**

3.1 Mapa altimétrico.....	55
3.2 Mapa de inclinación del terreno.....	61
3.3 Mapa de densidad de la disección.....	66
3.4 Mapa de profundidad de la disección.....	70
3.5 Mapa de energía del relieve.....	73
3.6 Mapa de zonificación de procesos de remoción en masa, con base en valores morfométrico.....	76

### **CAPÍTULO IV**

#### **Geomorfología**

4.1 La clasificación del relieve.....	80
I RELIEVE ENDÓGENO.....	82
II RELIEVE ENDÓGENO MODELADO .....	90
III RELIEVE EXÓGENO.....	94
IV ACUMULATIVO FLUVIAL.....	97
V EROSIVO GLACIAL.....	98
VI ACUMULATIVO GLACIAL.....	98
VII RELIEVE ANTRÓPICO.....	99

### **CAPÍTULO V**

5.1 Susceptibilidad a procesos geomorfológicos peligrosos en la delegación Álvaro Obregón: remoción en masa.....	102
5.2 Conceptualización de los procesos de remoción en masa.....	103

5.3 Clasificaciones.....	104
5.4 Tipos de movimiento en la delegación Álvaro Obregón.....	106
5.4.1 Desprendimientos o caídas.....	106
5.4.2 Deslizamientos.....	107
5.4.2.1 Deslizamiento rotacional.....	107
5.4.3 Flujo.....	109
5.4.3.1 Flujo de rocas.....	110
5.4.3.2 Flujo de suelo.....	110
5.5 Concepto de peligro y susceptibilidad.....	110
5.6 Elaboración del mapa de susceptibilidad.....	114

<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>120</b>
-----------------------	------------

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>123</b>
--------------------------	------------

<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>126</b>
--------------------------	------------

<b>ANEXO FOTOGRÁFICO.....</b>	<b>134</b>
-------------------------------	------------

## **ANEXO MAPAS**

ANEXO 1- Mapa geomorfológico

ANEXO 2- Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

---

## INTRODUCCION

El crecimiento demográfico y la falta de planeación territorial ha propiciado la urbanización de laderas, cuyas características geológicas, geomorfológicas, antrópicas y físicas, se conjugan generando procesos de remoción en masa, los cuales son considerados destructores, causantes de pérdidas humanas y económicas.

En la Delegación Álvaro Obregón se han desarrollado, de manera caótica, una gran cantidad de asentamientos humanos en las laderas. Los procesos de remoción en masa pueden ser causados y/o acelerados por factores naturales, como la acción de la fuerza de gravedad, abundante precipitación y sismos, o bien inducidos por el hombre, ya sea mediante cortes en las laderas, deforestando o induciendo fuerzas externas en las laderas, por el paso constante de vehículos pesados, la sobrecarga de viviendas, el uso de explosivos en la explotación de canteras, o por la infiltración del agua de uso doméstico. El área de estudio es una entidad geológica, que de acuerdo con su origen volcánico, edad y actividad tectónica, se considera como una zona de peligro potencial por procesos de remoción en masa.

Este trabajo tiene como fin crear mapas que ayuden a la población a conocer la dinámica del territorio que habita, en particular con los procesos de remoción en masa. Este fenómeno es común en terrenos inclinados, en donde la construcción de viviendas, no es la mejor opción. No obstante, esta práctica es común en al poniente de la Ciudad de México y cada año en temporada de lluvias, hay noticias de distintos grados de afectación a la población que vive en ese sector.

En esta investigación se toma en cuenta las bases teóricas y los variados métodos de análisis propios del quehacer geomorfológico, como punto de partida en la identificación,

---

análisis y caracterización de superficies susceptibles a presentar procesos de ladera; a través de una cartografía especializada. Sin duda, el estudio de la amenaza asociada a procesos geomorfológicos es el tema central de este trabajo.

El análisis del relieve terrestre, a partir de su génesis, evolución y dinámica, es el objetivo de la geomorfología. Sus métodos de estudio son diversos, algunos de ellos provienen de las ciencias de la Tierra, pero son usados junto a los propios para identificar, explicar, analizar e interpretar los procesos de modelado, que definen la morfología actual de la corteza terrestre.

Referente a los procesos de remoción en masa, su estudio se realizó con criterios geomorfológicos. De esta manera, se pretende reconocer territorios susceptibles a estos fenómenos (su impacto o afectación, regularidad y evolución) y los factores que condicionan su desarrollo, para elaborar una cartografía especializada.

La importancia de este tipo de trabajos es la posibilidad de aplicación inmediata en la evaluación, planeación y manejo del territorio. No obstante, su mejor propósito está encaminado a la mitigación y prevención de peligros naturales.

## **Objetivos**

La cartografía y el análisis geomorfológico es la finalidad de este trabajo, y al mismo tiempo es el punto de partida para la caracterización, la ocurrencia, la dinámica y evolución de los procesos gravitacionales. A partir de estos datos y los mapas obtenidos, se podrá reducir la vulnerabilidad física; al mismo tiempo, la prevención y la mitigación de la remoción en masa.

---

## Objetivos particulares

- Identificar los diferentes tipos de procesos de remoción en masa, sus mecanismos de ocurrencia, y su evolución; a partir de reconocimientos de campo, donde el principal criterio de análisis es el geomorfológico-geológico.
- Elaborar un mapa geomorfológico y de susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

---

## **METODOLOGÍA**

Los métodos de investigación que se aplican en este trabajo se vinculan con las bases teóricas de la geomorfología clásica (de gabinete y campo); así como los que se usan en el estudio de procesos exógenos peligrosos (remoción en masa).

La metodología se ha dividido en dos apartados; el primero es ellos, es de carácter general y hace evidente el tipo de información bibliográfica requerida para entender la dinámica gravitacional. De la misma forma se destaca la importancia del trabajo de campo en la elaboración de los diferentes mapas que integran este estudio; así como, el análisis de la información a partir de un Sistema de Información Geográfico (SIG).

En el segundo bloque metodológico se explica la acción fluvial (densidad y profundidad de la disección), la influencia de la gravedad (inclinación del terreno) y la potencialidad del terreno a magnificar los procesos fluviales y gravitacionales (energía del relieve); a partir de la distribución espacial de índices morfométricos; cada uno de ellos, representa un mapa. En este mismo apartado también se explica el tipo de mediciones, su tratamiento analítico y la elaboración de la cartografía geomorfológica y la de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Simonov, 1985 y Lugo, 1991).

### **1. Métodos generales:**

**A.** La búsqueda y análisis de material bibliográfico (libros, artículos en revistas especializadas, material hemerográfico y cartografía temática), fue la actividad que caracterizó la primera fase de este trabajo. De esta manera fue posible integrar un marco



---

de referencia, que permitió entender el arreglo espacial de la litología, la génesis del relieve, los procesos que lo transforman (dinámica), los peligros asociados con los procesos fluvial y gravitacional; así como, la mejor manera de representarlos en un mapa. Los materiales involucrados en este quehacer, suman ochenta y tres; todos ellos, se enlistan en la bibliografía.

**B.** El Trabajo de campo permitió integrar un inventario de procesos gravitacionales y con ello validar los índices morfométricos; así como verificar o corregir el mapa geomorfológico (versión preliminar), resultado de la interpretación de fotografías aéreas.

Los índices numéricos que integran los distintos mapas morfométricos, se han organizado en rangos que responden a condiciones reales del terreno. En ello la información de campo y la contenida en las fotografías aéreas jugaron un papel importante. Otro aspecto importante de esta fase, es la integración de la leyenda geomorfológica; es decir, un inventario que ordena bajo un criterio morfogenético las distintas formas de relieve.

**C.** La integración de la información de las dos etapas anteriores, son la razón de este apartado. Es en este marco, se totalizan los índices numéricos de todas las variantes morfométricas en un solo mapa. Con el análisis comparativo de esta información, los datos de campo y del análisis geomorfológico, se obtuvo el mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

## **2. Métodos particulares:**

Las distintas metodologías que se explican en este apartado tienen un carácter indirecto; es decir, se realizaron en gabinete y su fuente de información fue el mapa topográfico Ciudad de México a escala 1:50 000 (E14A39; formato vectorial. INEGI, 2000). A partir de este documento, se obtuvieron los datos primarios de cada una de las variables

---

morfométricas. Este análisis consiste en la elaboración de un conjunto cartográfico, que en una primera etapa se examinan de manera individual (altimétrico, inclinación del terreno, energía del relieve, densidad y profundidad de la disección). Los datos que constituyen cada mapa, están organizados en rangos que se establecieron a partir de pruebas ensayo-error, en donde se confrontan índices numéricos con datos de campo e información geomorfológica. Cuando se logra una coincidencia entre el arreglo espacial de los datos cuantitativos y las formas terrestres, se establece el intervalo y se realiza el mapa correspondiente.

La elaboración de la zonificación de procesos de remoción en masa con base en valores morfométricos, representa la segunda fase del análisis numérico. Este documento junto con la cartografía geomorfológica definitiva (corregida y verificada), son el punto de partida en la elaboración del mapa de susceptibilidad a procesos geomorfológicos peligrosos en la Delegación Álvaro Obregón: remoción en masa. De manera puntual, los métodos que se usaron para obtener la cartografía involucrada en el estudio, son los siguientes:

### **Mapa Altimétrico**

El modelo digital del terreno, en formato *raster* y píxel de 20 m, representa la primera fase en la elaboración de este mapa. Para obtenerlo fueron necesarios los datos topográficos en formato vectorial de la carta Ciudad de México (INEGI, 2000), y su respectivo tratamiento en un SIG (ILWIS, V. 3.0: *Academic*).

Los valores altitudinales se capturaron en las intersecciones de la malla de coordenadas UTM; en estos puntos fue leído el dato y de esta manera se obtuvo una muestra de 881 636 alturas absolutas. Con el fin de lograr mayor precisión y calidad, se incluyeron en la misma base de información, el valor máximo de altitud (3 820 msnm) y el mínimo (2 240

---

msnm), debido a que su ubicación no coincidía con la cuadrícula de muestreo. El análisis de los datos tiene desarrollo en el capítulo 3 y el resultado corresponde con la figura 11.

### **Mapa de inclinación del terreno**

La elaboración de este mapa radica en transformar las distancias entre las curvas de nivel en valores de pendiente, ya sea en grados o porcentaje, mediante la siguiente función:

$$m = \text{tang}^{-1} (DV/DH)$$

Donde:

m = pendiente

DV = distancia vertical

DH = distancia horizontal

El tratamiento de los datos se hizo a través de un sistema de información geográfica (ILWIS, V 3.0 *Academic*) este software no sólo minimizó el trabajo, también se logró precisión, detalle y rapidez; al mismo tiempo, se pudo elegir el mapa definitivo, entre distintas variables, hasta visualizar en él características morfológicas observadas en campo y fotografía aérea. (Capítulo 3: Fig. 13).

### **Mapa de densidad de la disección**

El primer paso en la elaboración de esta carta, consiste en remarcar la red fluvial que viene impresa el mapa base (topográfico); una vez concluido este proceso, se procede a completar la hidrografía a partir de la interpretación de curvas de nivel (bajo un criterio geomorfológico) e interpretación de fotografías aéreas (1:40 000).

---

El segundo paso consiste en la medición de la red fluvial (usando un curvómetro), en áreas de 1 km<sup>2</sup>. Los valores obtenidos para cada superficie se capturaron y procesaron en *Excel* (2007) para continuar su análisis en un SIG (ILWIS, V. 3.0 Academic). De lo anterior resultó un mapa de isocotas donde cada una de ellas representa 5 km/km<sup>2</sup>. Para su análisis los datos fueron agrupados en tres rangos de 3.5 5 km/km<sup>2</sup> (Capítulo 3: Fig. 15).

### **Mapa de profundidad de la disección**

Este método valora el trabajo erosivo de los ríos en la vertical; es decir, la distancia que existe entre el talweg y la ruptura de pendiente más representativa y próxima a la ladera inferior del valle (Simonov, en Zamorano 1990). Las mediciones se realizaron en la misma base topográfica que en los casos anteriores, la unidad de muestreo fue respetada (1 km<sup>2</sup>) y en el procesamiento de los datos, se usaron los programas ya mencionados.

Como resultado se obtuvo un mapa de isocotas (Capítulo 3, Fig. 16); en donde cada una de ellas, representa un rango de 10 m. Hay que mencionar que el arreglo espacial de los datos, tienen una clara relación con las regiones morfológicas (montaña y piedemonte superior e inferior).

Como en los casos anteriores los intervalos se han establecido con base en el conocimiento de la zona de estudio, del trabajo de campo realizado, de la interpretación de fotografías aéreas y de la información temática consultada.

### **Mapa de energía del relieve**

Este mapa es un elemento más de análisis y los datos se obtienen de restar a la altitud máxima, la mínima en un área de 1 km<sup>2</sup>. El objetivo de este método es manifestar el potencial erosivo al que puede estar sujeto el relieve.

---

Los valores altos indican la posibilidad de modificaciones a la morfología original por fuerzas exógenas de gran dinámica; por lo contrario, los valores mínimos representarían zonas con aparente estabilidad.

De esta manera se obtuvo un mapa de isoclinas que representan 200 m de diferencia cada una. (Capítulo 3: Fig. 17). El arreglo espacial de los datos tiene una relación clara con las regiones morfológicas; al igual que en los casos anteriores, los valores se agruparon en tres rangos principales (mínimos, medios y máximos).

### **Mapa de zonificación de procesos de remoción en masa, con base en valores morfométricos.**

La zonificación de áreas susceptibles a presentar procesos de remoción en masa, resultado de sobreponer los índices numéricos máximos de cada mapa morfométrico (representados de manera espacial), en un nuevo documento; a través de un SIG (ILWIS, V. 3.0: *Academic*).

En una segunda etapa, el nuevo mapa es sobrepuesto para su análisis con la carta topográfica base. En este proceso se cuida que las fronteras de las áreas que fueron determinadas por criterios morfométricos, sean equivalente (lo más posible) con las regiones y unidades del relieve establecidas en campo y por el mapa geomorfológico (versión final). De esta manera, se obtiene una nueva versión que este de acuerdo a un relieve y una dinámica cercana a la realidad.

El mapa de zonificación de procesos de remoción en masa en base a valores morfométricos, divide el territorio de la Delegación Álvaro Obregón en zonas de máxima susceptibilidad de ocurrencia; ocurrencia frecuente y estabilidad aparente (Capítulo 3: Fig. 18).

---

## **Mapa Geomorfológico**

Este documento fue elaborado a partir de la interpretación de fotografías aéreas escala 1: 40 000 (INEGI, 2005). La información que se obtuvo, se trasladó de forma directa a una base topográfica escala 1: 25 000, con curvas de nivel cada 10 m. En el trazo, el color y la simbología, se tomó en cuenta lo propuesto por Bashenina *et al.* (1975); no obstante, se hicieron algunas modificaciones con el fin de adecuar este método al territorio de estudio.

La clasificación del relieve (morfoгенética), se hizo de acuerdo a los criterios de Simonov (en Zamorano 1990). De esta manera se obtuvo un mapa en el que se muestran unidades territoriales con afinidades genéticas, morfológicas, dinámicas y de evolución (mapa anexo 1).

## **Mapa de susceptibilidad a procesos geomorfológicos peligrosos: remoción en masa.**

Este mapa es resultado de sobreponer el mapa de zonificación con base en valores morfométricos y el mapa geomorfológico. El cruce de información consiste en integrar los índices morfométricos con las características morfoгенéticas del relieve, en este proceso se integra información de campo y temática. Este documento representa la síntesis de toda la información de este trabajo (mapa anexo 2)

Los párrafos anteriores de alguna manera hacen evidente la existencia de una metodología estructurada y estricta, que se usa en la organización y representación de información en un plano. Si se tiene en cuenta la cantidad de datos especializados que concentra cada mapa, se tendrá en cuenta que cada uno de ellos es un documento complejo y que refleja un aspecto aislado del relieve. No obstante, el análisis integral de todos ellos permite comprender el origen, morfología y dinámica de la superficie terrestre.

---

## **CAPITULO I. CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA**

La elaboración de mapas que involucran la representación del relieve o alguna de sus cualidades, es un tema relevante y actual en Geomorfología. En nuestro país existe una necesidad de hacer este tipo de cartografía, a partir de la implementación de estudios geomorfológicos en cualquier tipo de proyecto que involucren el medio físico (obras públicas, planificación regional, uso-manejo de recursos y sustentabilidad).

En la creación de cartografía geomorfológica, existe otra vertiente que se relaciona con la identificación, caracterización, prevención y mitigación de procesos modeladores del relieve que pueden llegar a representar un peligro. Este tipo de documento se caracterizan por ser coherentes, estructurados, que al proporcionar límites precisos ayudan a un mejor entendimiento de las condiciones del terreno. En particular de la génesis del fenómeno, su dinámica, evolución y materiales involucrados en la inestabilidad de la superficie. Por tanto, la importancia de este tipo de mapas radica en su carácter aplicado y resolutivo en el establecimiento de normas para la construcción, uso del suelo y la determinación de áreas susceptibles a peligros naturales.

### **1.1 Antecedentes**

A mediados del siglo XIX, se crearon en la mayoría de los países centroeuropeos, los institutos geográficos nacionales. De esta manera, la cartografía básica y temática comienza a elaborarse utilizando normas científicas, que responden a características específicas de sus territorios. Es en esta época cuando surge el carácter multipropósito del mapa topográfico (Pérez, 2003).

---

A principios del siglo XX, hubo un persistente interés en el conocimiento de la superficie terrestre, situación que favoreció avances importantes dentro de las ciencias de la Tierra. Uno de ellos fue la representación espacial de los resultados, y con esto el surgimiento de la cartografía temática; en este marco, el mapa topográfico fue la base para representar aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, edafológicos, de vegetación, etc.

La geomorfología y su cartografía se consolidan a partir de la Segunda Guerra Mundial, en donde el interés primordial era la representación de procesos geomorfológicos dinámicos y su relación con el clima. Este hecho favorece que aparezcan nuevas aplicaciones, criterios y métodos en la elaboración de los mapas geomorfológicos. Algunas de estas propuestas llegan a ser tan contundentes y distintivas, que son el fundamento de lo que más adelante se conocería como Escuela Geomorfológica.

Con el fin de caracterizar la cartografía geomorfológica, se hace una revisión del concepto tomando en cuenta el objetivo para el que fue elaborado este tipo de mapa; para ello se consideran los siguientes criterios:

Panizza (1972) define la cartografía geomorfológica como el documento idóneo para analizar las causas que han determinado los procesos y formas, la relación de interdependencia entre éstas, así como, las características evolutivas y el grado de equilibrio que mantienen en el ambiente natural.

Garzón (1978) afirma que la cartografía geomorfológica es una representación gráfica que sigue unas normas generales que definen previamente los contenidos, los signos y los elementos cartográficos necesarios para su percepción. Como primer paso en su elaboración se decide qué método se va a aplicar.



---

Rodolfi (1983) considera que el mapa geomorfológico es un documento que representa sintéticamente las características de las formas del paisaje y su distribución en el interior de una unidad territorial; el detalle de la representación está en función de la escala a la que compete la observación y de la textura del relieve.

Verstappen (1983) menciona que los mapas geomorfológicos son documentos científicos que sirven como fuente de información cartográfica básica para los estudios de recursos naturales y ambientales, es decir, poseen una dimensión de aplicabilidad para solucionar problemas específicos. El mismo autor menciona, que otro de los atributos de este tipo de cartografía, es el de proporcionar la génesis del relieve, la interacción geología-geomorfología, así como, el estudio de peligros y riesgos de una región.

Herrero (1988) indica que los mapas geomorfológicos son temáticos y que proporcionan un inventario explicativo del relieve, debidamente especializado. Su contenido debe ser referenciable sobre el terreno.

González-Cárdenas (1992) considera que los mapas geomorfológicos representan mediante tramas, colores y símbolos el relieve de un área concreta de la superficie terrestre, continental u oceánica. Se trata de mapas detallados con contenidos morfométricos, morfográficos, morfogenéticos y morfocronológicos. Se sintetizan en cartografías básicas, teóricas o generales y tienen una representación variada y compleja. En la opinión de este autor no existe un acuerdo general, que permita unificar la producción cartográfica mundial, ya que existen diferentes métodos, códigos y leyendas.

Pérez (2003) considera que los mapas geomorfológicos describen las formas más significativas del relieve y su distribución en el espacio, así como, las interrelaciones y

---

procesos que las han generado. Por su contenido son de gran utilidad, entre otros, en proyectos de medio ambiente, ingeniería y planificación territorial.

Con base en lo anterior, se puede considerar al mapa geomorfológico como un documento gráfico que representa de manera sintética el relieve de un territorio. Si bien es una interpretación subjetiva del paisaje geomorfológico, es precisa y referenciable en el terreno. Determinar de manera individual la génesis de las formas del relieve, es la principal característica de este tipo de mapas y su importancia radica en la posibilidad de definir regiones con el mismo origen y la existencia de procesos geomorfológicos muy dinámicos, que puedan representar un peligro para los asentamientos humanos o infraestructura, en general. La metodología y escala en la elaboración de este tipo de documentos depende del objetivo o problema a resolver.

En este marco, la geomorfología actual desarrolla y consolida nuevas tendencias en la elaboración de métodos de estudio y representación cartográfica de superficies con susceptibilidad a presentar peligros naturales, cambios globales (relación clima-relieve, erosión-acumulación, desertización, variaciones glaciares, etc.), análisis sistémico-paisajes y modelización de agentes, tanto exógenos como endógenos, todo ello con el objetivo de lograr una geomorfología más integral (De Pedraza, 1996).

En otras palabras, se puede afirmar que los mapas geomorfológicos explican la génesis del relieve, la secuencia cronológica de ocurrencia, expresan de manera gráfica la estructura y la morfología de un determinado espacio. Por medio de la cartografía es posible representar la distribución y configuración espacial de los diferentes tipos de relieves, aspecto que permite establecer vínculos entre ellos y así lograr resultados más cercanos a la realidad.

---

La elaboración de la cartografía geomorfológica se ha facilitado con el uso de los SIG (sistemas de información geográfica). A partir de estos medios el proceso de edición y análisis se hace con rapidez, se minimiza el costo, se facilitan las correcciones y su actualización.

## **1.2 Cartografía geomorfológica y su elaboración**

La realización de este tipo de mapas cuenta con un respaldo filosófico y metodológico previo, que en mucho depende de la Escuela Geomorfológica que se tome en cuenta. No obstante, existen dos factores recurrentes: el tipo de mapa y la escala.

El primer aspecto está en función de los objetivos y necesidades de los usuarios finales. Como ejemplos de destacan los de información básica o general, de investigación geomorfológica y los destinados a resolución de un problema en concreto. Con respecto a la escala, depende de la extensión de la zona de estudio y del detalle que se quiera mostrar, hay que tener en cuenta que las formas de relieve varían de tamaño y morfología si el factor en cuestión se modifica, de ahí la importancia de tener claro el objetivo.

De manera muy convencional las escalas se clasifican en grande, medianas y pequeñas. Un ejemplo de la escala más pequeña es la que representa en su totalidad al planeta Tierra. La escala media es la idónea para representar el relieve exógeno y tectónico-estructural. La escala considerada como grande es usada para localidades pequeñas donde se requiere una representación a detalle, lo que generalmente tiene fines prácticos inmediatos, como zonas inundables, construcción de obras de infraestructura (carreteras, presas, etc.), procesos de ladera etc.

---

De acuerdo con Gellert (1972), los mapas geomorfológicos pueden clasificarse de acuerdo a su escala en seis categorías (Fig. 1).

DENOMINACIÓN	ESCALAS
Planos geomorfológicos	Hasta 1: 10 000
Mapas geomorfológicos a escala grande	De 1:10 000 a 1:50 000 (a veces 1:100000)
Mapas geomorfológicos a escala media	De 1: 100 000 a 1:500 000
Mapas geomorfológicos a escala pequeña	De 1:500 000 a 1:1 000 000
Mapas geomorfológicos de países	De 1:1 000 000 a 1:5 000 000
Mapas geomorfológicos de continentes	De 1:5 000 000 a 1:30 000 000
Mapas geomorfológicos del mundo	1:30 000 000 y menores

Figura 1. Clasificación de los mapas geomorfológicos de acuerdo con su escala (Gellert, 1972). La cartografía que se presenta en este estudio es 1: 30 000 y se inserta en la categoría denominada de escala grande.

La elección de la escala es un factor de importancia en la elaboración de mapas geomorfológicos, en esto también tiene que ver la textura-densidad de las formas del relieve y del objetivo. A estos tres factores se suma la disponibilidad de un levantamiento topográfico, de una base geológica detallada y de fotografías aéreas recientes y de escala grande.

La leyenda y su organización es el reflejo no sólo de los objetivos, también del acervo teórico-metodológico de quien la elabora. En nuestro caso, se sigue un orden genético estricto; el relieve es clasificado en tres categorías: endógeno, endógeno-modelado y

---

exógeno. Dicho proceder taxonómico es característico de la escuela Geomorfológica Rusa; mas no así la simbología que se usa en el mapa, misma que permite la identificación de las diferentes unidades. Los símbolos que se han utilizados en la cartografía de este estudio, son resultado de la fusión de criterios pertenecientes a la mayor parte de las principales corrientes geomorfológicas.

Desde el punto de vista dimensional, los datos geográficos se denominan elementos y se clasifican en: puntuales, lineales (unidimensionales), superficiales (bidimensionales), volumétricos (tridimensionales) y espacio-temporales (cuatro dimensiones). La importancia de este aspecto se hace notar cuando la variación en la dimensión de los datos, es de acuerdo con la escala de representación, por ejemplo, la representación de un volcán, será con un símbolo superficial en escala grande y puntual, en pequeña.

Si bien el espectro de información en la cartografía geomorfológica es variado, existen temáticas recurrentes, sin importar el objetivo del mapa o la escala. Se presentan en conjunto, pares o de manera individual; del mismo modo, pueden ser parte de un solo documento o aparecer independientes. Lo trascendente es que no pueden faltar aspectos como la morfología, génesis, edad del relieve, historia evolutiva y dinámica.

La morfología permite una comprensión general de la superficie terrestre, a partir de ella se puede analizar el relieve de forma cualitativa o cuantitativa. Con este fin se realizaron los siguientes mapas: el altimétrico (hace fácil la lectura de la topografía) y el del relieve sombreado con base en el modelo digital de elevación (expresa el relieve en tercera dimensión). Con el fin de caracterizar los elementos métricos del relieve se elaboraron las cartas morfométricas de inclinación del terreno, energía del relieve, densidad y profundidad de disección. Con estos materiales fue posible establecer las principales unidades morfológicas en la Delegación Álvaro Obregón (planicie, montañas, lomeríos y piedemonte).

---

Las formas del relieve terrestre se clasifican en cuanto a su génesis en endógena, endógena-modelada y exógena. El primer grupo tiene su origen en procesos que se generan en el interior del planeta (magmatismo y tectonismo). Los segundos también, pero al estar expuestos al intemperismo y a la acción destructiva-constructiva de la erosión-acumulación han perdido su morfología primaria. El exógeno es el último grupo genético, resultado de la acción del clima y la fuerza de gravedad que dan como resultado formas de erosión y acumulación. Los principales procesos que modelan el relieve terrestre tienen como condicionante la altitud y la latitud, en este marco se considera: el agua de escurrimiento superficial, el agua subterránea, la gravedad, el viento, el mar, el hielo, organismos y el ser humano (Fig. 2).

La edad de las formas del relieve no debe confundirse con la de la roca; en general, se considera que la mayor parte de la superficie del planeta, tiene una edad que no va más allá de los dos millones de años (Thornbury, 1969). Este dato se asocia con la liberación de varios sectores de la superficie terrestre de extensas y potentes masas de hielo, proceso que coincide con el inicio del Cuaternario.

En particular, existen dos maneras para determinar la edad, la primera se conoce como relativa y se asigna a partir del análisis de la fisonomía o expresión del terreno, es decir entre más tiempo de exposición a la acción de los procesos de modelado, será desintegrado por una densa y bien articulada red de drenaje; por consiguiente, los relieves iniciales habrán perdido sus rasgos primarios.

El segundo método utilizado se conoce como edad absoluta, y se obtiene a partir de distintos métodos radiométricos, cada uno ellos con características específicas que depende de lo que se quiera datar. El grado de confiabilidad del proceso es alto y como única limitante, se tiene su costo. En este trabajo aparecen datos cronológicos de este

---

tipo, hay que aclarar que se tomaron de artículos publicados en revistas especializadas, cuya referencia aparece en el texto y en la bibliografía.

La evolución del relieve (historia evolutiva) se interpreta tomando como punto de partida el mapa geomorfológico, los fechamientos (relativos y absolutos) y los estudios geológicos existentes o los elaborados en campo (columnas estratigráficas). De esta manera, es posible establecer las secuencias genéticas que integran el territorio.

La dinámica hace referencia a la transformación permanente de la superficie terrestre, como consecuencia de la acción de los procesos endógenos y exógenos. La ocurrencia (impredecible) y la velocidad a la que ocurren dichos procesos, determinan que se les considere de peligro para la vida del hombre, su infraestructura y sus actividades económicas.

Esta visión se ha tomado como punto de partida, en la elaboración de la cartografía geomorfológica que se presenta en este trabajo. Con este documento no sólo será posible identificar y conocer la distribución espacial de las formas de relieve que existen en la zona de estudio, sino también los procesos, endógenos y exógenos (Fig. 2).

AGENTES	PROCESOS	FORMAS
Energía solar, agua, cambios de temperatura organismos	Intemperismo	Costra de Intemperismo, suelo
Agua en la superficie	Erosión y acumulación fluvial. Acumulación diluvial y proluvial	Valles, planicie aluvial. Mantos de piedemonte, conos de eyecciones.
Agua subterránea y superficial, nieve, gravedad	Remoción en masa (gravitacionales: erosión o denudación). Acumulación coluvial.	Circos de erosión, escarpes; manto coluvial, cono dendrítico.
Agua subterránea	Carso (Karst) o carsificación	Lapiaz, dolinas, polijes, uvaes, grutas.
Hielo	Erosión glaciárica (exaración) y acumulación.	Circo, valles, morrenas.
Viento	Erosión eólica (deflación y acumulación).	Hoyas de deflación, dunas
Mar (olas, mareas, corrientes)	Erosión (abrasión) acumulación marina	Cantiles, nichos; playas, bancos, barras
Hielo-agua en el subsuelo	Criógenos (termokarst)	Hidrolacólitos, suelos estructurales
Agua subterránea y hielo. Agua superficial-mar	Fluvioglaciáricos Fluviomarinós	Mantos fluvioglaciáricos eskers. Planicie deltaica.
Ser humano	Erosión (excavación) y acumulación (relleno)	Minas a cielo abierto, canteras; jales, basureros.

Figura 2. Agentes de modelado, procesos y formas de relieve (Lugo, 1991).



---

### 1.3 Los diferentes tipos de mapas geomorfológicos.

El mapa puede definirse como la representación gráfica, simplificada y convencional, de datos relacionados con las formas de relieve en un espacio bidimensional, con una relación de similitud denominada escala. Su función primordial es facilitar la visión de los distintos elementos que están involucrados en la arquitectura terrestre, aunque no se limita a eso. Es una herramienta diseñada para el registro, cálculo, exposición, análisis y compresión de los hechos (procesos modeladores y formas asociadas) en sus relaciones espaciales (Pellicer, 1997).

Un sistema de cartografía geomorfológica puede definirse como una serie de elementos ordenados en una leyenda, establecida previamente, siguiendo unos criterios metodológicos y que son aplicados a la elaboración de un mapa geomorfológico (Peña, 1997).

El contenido básico en un mapa geomorfológico está integrado por: información topográfica de base, información geológica (litología, estructura, formaciones superficiales, contexto morfoestructural), información morfográfica, morfométrica, morfogenética, morfodinámica y morfocronológica. La prioridad que se le dé a cada uno de los componentes, utilizando los distintos colores, tramas y símbolos, va a caracterizar cada uno de los sistemas de cartografía.

El objetivo y la escala del mapa determinan las características de la cartografía geomorfológica y a partir de esto se pueden dividir en (Peña, 1997):

- Generales o de síntesis: Incluyen todo el conjunto de elementos posibles en el mapa.

- 
- Parciales: Abarcan solo una selección de las características del relieve.
  - Básicos: Destinados a la pura investigación geomorfológica.
  - Aplicados: Prevención de procesos geomorfológicos peligrosos (terrenos susceptibles a inundación, procesos de ladera subsidencias, etc.)
  - Temáticos: Señalan sólo alguno de los elementos (peligro volcánico).

Bajo esta perspectiva los mapas que se desarrollan y analizan en esta investigación, son de tipo general-sintético y aplicado. En el primer caso, se representan formas de relieve clasificadas por su génesis, su morfología, los procesos que las modelan y edad; en el segundo documento se determinan terrenos susceptibles a la inestabilidad de laderas e inundaciones.

De acuerdo con Peña (1997), los mapas geomorfológicos se clasifican en:

a) Mapas geomorfológicos generales, de síntesis o parciales. Todos ellos incluyen morfografía, morfometría, génesis y edad del relieve.

b) Aplicados, por una parte están los básicos que se utilizan en la investigación geomorfológica pura. Los aplicados que se centran en resolver un problema específico, como determinar zonas de inundación, subsidencia, procesos gravitacionales, etc. Finalmente los especiales que se componen de información seleccionada y simplificada y que responden a otras disciplinas no geomorfológicas. Los mapas que proceden de la reelaboración de una cartografía básica, se denominan mapas derivados.

c) Por la escala, los mapas geomorfológicos reciben diferentes denominaciones. Hay una clasificación establecida por la Comisión del Mapa Geomorfológico, de la Unión Geográfica Internacional (Gellert, 1972) (Fig. 1).

---

d) Por su carácter temático, los mapas pueden abarcar todos los elementos básicos que comprenden de forma específica algún elemento:

**Morfoestructurales.** Mapas de escala pequeña en los que la estructura (arreglo y disposición de los materiales) tiene gran importancia. Destacan los mapas de tecto-morfo-isohipsas (Bashenina, 1978) para áreas de deformación reciente de superficies erosivas.

**Morfométricos.** Mapas donde se representan diferentes características cuantitativas del relieve como: inclinación del terreno, densidad de formas (volcanes, dolinas etc.) o cauces fluviales (densidad de la disección), límites (estructuras disyuntivas) y altitudes. Son indispensables en estudios de evolución de laderas, evaluación de la erosión del suelo, peligros, etc.

**Morfográficos.** Se utilizan para la definición de unidades geomorfológicas, de tipos de terrenos, paisajes, regiones estructurales, etc. Son útiles en la planificación y evaluación territorial.

**Morfogenéticos.** Utilizados en la valoración de la dinámica de procesos y su relación con distintos peligros naturales.

**Morfocronológicos.** Este tipo de mapas ponen de manifiesto la evolución geomorfológica y la temporalidad relativa o absoluta de formas específicas del relieve.

**Morfodinámicos.** Se consideran mapas funcionales que se aplican al estudio de la dinámica de los peligros geomorfológicos.

---

e) La regionalización geomorfológica. Con este enfoque se delimitan áreas o unidades del relieve que resultan de la combinación de numerosos elementos (génesis, morfología, arreglo morfoestructural, etc.) en un espacio territorial de escala media y pequeña (Kugler *et al.*, 1978).

f) Según el grado de elaboración de los mapas y su finalidad, son preliminares, elaborados con información complementaria (mapas, fotogramas aéreos, imágenes de satélite), frente a los geomorfológicos definitivos que corresponden inicialmente a una primera versión cartográfica que ha sido sometida a una estricta verificación de campo y laboratorio, dependiendo de sus características.

g) La cartografía geomorfológica analítica, tiene un fundamento genético y morfológico (mapas sintéticos) que incluye información ambiental y del paisaje. Otra, dentro de este grupo, son los mapas pragmáticos elaborados para una aplicación concreta (Meijerink, *et al.*, 1983).

#### **1.4 Materiales y procedimientos usados en la elaboración de los mapas geomorfológicos.**

Las formas del relieve y el objetivo de la cartografía determinan la escala de representación y los contenidos del mapa final. A escalas pequeñas los rasgos son generales y en su realización puede ser suficiente, un mapa topográfico y uno geológico. En escalas grandes también son necesarios los materiales ya mencionados, como fotografías aéreas e imágenes de satélite. También hay que considerar la búsqueda y análisis documental, de cartografía temática, laboratorio y verificación de campo.

---

**1.4.1. Los mapas topográficos.** Son una representación del relieve terrestre. Y son una herramienta necesaria en la interpretación de las relaciones que existen entre los componentes del paisaje geográfico (García-Arizaga y Lugo, 2003). El mapa topográfico constituye una representación precisa y a escala, de la localización, forma, clase y dimensiones de los accidentes de la superficie terrestre (Lozano-Sánchez, 1997). En México, este tipo de documentos son producidos por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y las escalas más comunes son las siguientes:

- 1: 1 000 000: son representados los principales rasgos fisiográficos que componen el territorio nacional; la colección consta de 9 cartas (cobertura nacional).
- 1: 250 000: cada mapa representa una superficie en el terreno de 23,000 Km<sup>2</sup> (152 cartas), es posible visualizar unidades fisiográficas menores; como la Cuenca de México (aproximadamente 9 600 km<sup>2</sup>), donde se asienta la capital del país.
- 1: 50,000 la colección consta de 2500 mapas, cada uno de ellos representa en el terreno 1000 Km<sup>2</sup>. Esta escala es muy utilizada en la elaboración de cartografía geomorfológica, ya que facilita, representa y analiza, formas de relieve específicas.

Se consideran ventajas de los mapas topográficos:

- La cualidad de representar con líneas todas las formas de relieve existentes en la superficie de la Tierra, es decir, la configuración o arreglo de las curvas de nivel pone en evidencia desde sistemas montañoso con desniveles topográficos muy marcados en distancias muy cortas, hasta superficies casi horizontales y ligeramente inclinadas.
- Las coordenadas y la posibilidad de calcular altitudes, volúmenes, áreas, etc.
- Puede ser el primer contacto con la zona de estudio y la sitúa en un contexto regional.

- 
- La visualización del área de estudio en su totalidad, facilita su delimitación y la planificación del trabajo.
  - Además de representar el relieve, este tipo de documentos proporciona información complementaria sobre sistemas fluviales, lagos, canales, presas, línea costa, ciudades, vías de comunicación etc. Todo ello, a través de una simbología propia.
  - En la actualidad se cuenta con ediciones digitales (vectoriales), lo cual permite un manejo ilimitado de la información topográfica en tareas relacionadas con las ciencias de la Tierra.

Se consideran desventajas de los mapas topográficos:

- La actualización periódica de los documentos.
- La falta de uniformidad y compatibilidad entre los formatos Tiff y Gif en ediciones digitales 1: 250 000 y 1: 50 000.
- El costo de las ediciones digitales en relación con las impresas.
- Falta de unificación entre los modelos digitales de elevación (DEM) en formato \*.bil para todo el país. Los DEM basados en cartas 1:50,000 tienen datos de altura cada 20 y 50 metros. Los DEM basados en las cartas 1:250,000 tienen datos de altura cada 100 metros.

El mapa topográfico con curvas de nivel, preciso, detallado y con una representación fidedigna de la red hidrográfica, es el punto de partida ideal en la elaboración de la cartografía geomorfológica. El mapa topográfico permite el análisis inicial de la zona de estudio y la consecuente planificación de los trabajos morfométricos, estructurales y de representación de formas de relieve.

---

**1.4.2. Las fotografías aéreas.** Se consideran una imagen objetiva de la realidad y la valía de su información y está en dependencia de su actualidad y escala.

La interpretación bajo un criterio geomorfológico, inicia con la identificación de la red fluvial. El emplazamiento de los escurrimientos al organizarse en patrones de drenaje, reflejan las fronteras de las diferentes estructuras que componen el territorio. El reconocimiento de las formas de relieve se hace con ayuda de los siguientes elementos: tono, textura, sombra, forma, tamaño, posición, inclinación, configuración, rasgos asociados, emplazamiento y alineaciones.

La correcta lectura de las fotografías depende en gran medida de la formación, experiencia y del conocimiento geomorfológico (en este caso) que tenga el fotointérprete. La cartografía que resulta de este ejercicio se considera preliminar, para ser definitiva se hace necesaria su verificación y corrección en campo, y edición.

**1.4.3. La cartografía temática** (clima, hidrología superficial y subterránea, vegetación, geología, edafología, uso del suelo, entre otros). Se considera un material de apoyo en la elaboración e interpretación de los mapas geomorfológicos. Sobre todo, si el interés se centra en la evaluación de la dinámica e intensidad de los procesos geomorfológicos.

**1.4.4. Los mapas morfométricos.** Resultan de la cuantificación de determinados elementos del relieve; es decir, a partir de la medición sistemática de la red fluvial (densidad y profundidad de la disección), de las alturas absolutas (altimetría) y relativas (energía del relieve), de la inclinación del terreno (pendientes) y densidad de estructuras disyuntivas. Cada una de las variantes mencionadas es analizada (en este trabajo), a partir de un mapa temático independiente.

---

De esta manera el análisis del relieve, a partir de su cuantificación y elaboración de mapas morfométricos es fundamental, ya que permite la comprensión de los procesos exógenos y endógenos (modeladores y formadores del relieve). Lugo (1991) refiere que los mapas morfométricos son una herramienta indispensable para comprender el relieve, identificar formas, reconocer estructuras, procesos actuales y relaciones existentes entre ellos.

**1.4.5. El trabajo de campo.** La integración de la cartografía geomorfológica es el preámbulo para los estudios de campo, mismos que están supeditados a la verificación y corrección de información que se ha obtenido por métodos indirectos (fotografías aéreas).

Las campañas de campo también proporcionan información directa de contenido geomorfológico, como el análisis de columnas estratigráficas, toma de muestras (rocas y sedimentos) para análisis de laboratorio, elaboración de perfiles geomorfológicos, medición de formas de relieve o el establecimiento de estaciones de medición.

**1.4.6. Los sistemas de información geográfica (SIG).** Se consideran un modelo de una parte de la realidad que se encuentra referido a un sistema terrestre de coordenadas que ha sido construido para almacenar, integrar, analizar, compartir, mostrar y editar la información geográfica georeferenciada. Los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

**1.4.7. La base de datos geográfica o espacial.** Esta información (con extensiones) da soporte a objetos geográficos, permite su almacenamiento, consulta y manipulación de información geográfica y datos espaciales. Si bien algunas de estas permiten el uso de funciones de geoprocésamiento, el principal beneficio, se centra en la capacidad que ofrecen para el almacenamiento de información georeferenciada.



**1.4.8. Las bases cartográficas digitales.** Se puede desarrollar bajo el esquema tecnológico general (Fig. 3), que es similar en algunos aspectos al de la cartografía digital topográfica, pero con la simplificación y generalización de muchos procesos técnicos, así como, adecuaciones a sus requerimientos específicos, principalmente por el diseño y contenido de las bases de datos alfanuméricos del sistema.

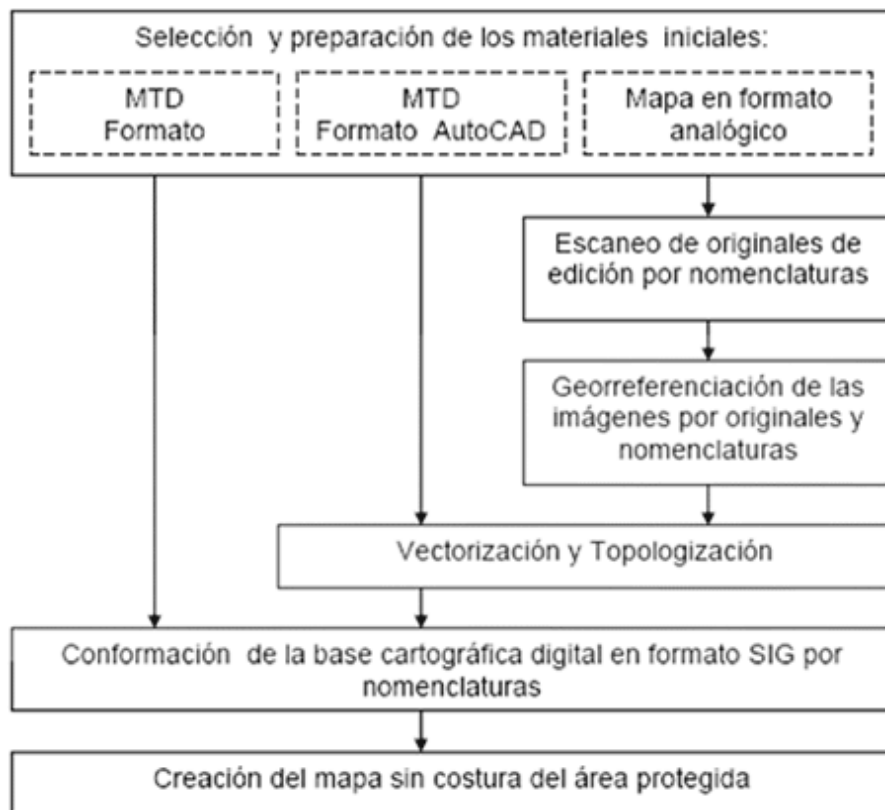


Figura 3. Diagrama guía usado en la elaboración de la cartografía, a partir de bases cartográficas digitales.

## 1.5 Antecedentes sobre la cartografía geomorfológica en la Cuenca de México.

La geomorfología en México es realizada en instituciones de enseñanza superior y de investigación, más no existe un criterio único a seguir en la elaboración de la cartografía geomorfológica y su análisis. No obstante, existen rasgos generales que están presentes

---

en la mayor parte de los mapas de este tipo, a pesar de que estos documentos presentan métodos y criterios, provenientes de las más importantes escuelas geomorfológicas que existen en el mundo. En este marco se citan investigaciones que tienen en común la representación del relieve y su dinámica.

Lugo-Hubp, *et. al.*, (1994), en su trabajo titulado Geomorfología de la Sierra de Santa Catarina (DF); presenta un análisis del relieve, a partir de un mapa geomorfológico detallado. Este documento se acompaña de una leyenda en donde se organizan las formas del terreno bajo un criterio morfogenético; de esta manera, todos los elementos del relieve asociados a los diferentes conos volcánicos son explicados. La importancia de este trabajo radica en la taxonomía y la simbología utilizada en la elaboración de los mapas.

Lugo-Hubp, *et. al.*, (1995), en este caso el punto de partida es la competencia del material a los agentes de modelado presentes en la Delegación Álvaro Obregón y su vínculo con las inundaciones y procesos gravitacionales. Los resultados se presentaron en un mapa de unidades morfogenéticas, característica que no permitió llegar al detalle.

Lugo-Hubp y Salinas-Montes (1996) con el mismo criterio del punto anterior, pero ahora en la Sierra de Guadalupe se analizan las inundaciones y los procesos gravitacionales a escala 1: 50 000. Esta característica y el uso de fotografías aéreas (1:20 000), permitió la elaboración de un mapa de calidad en donde con límites precisos, se delimitan áreas afectadas por la dinámica fluvial y los terrenos inestables, donde se han presentado remoción en masa. Si bien la cartografía geomorfológica es muy completa, no se llega a elaborar un mapa de susceptibilidad enfocado a la prevención de estos fenómenos.

Servicio Geológico Metropolitano (2000) realizó un mapa de peligros geológicos, enfocado a la remoción en masa en la Sierra de Santa Catarina escala 1: 50 000. El punto de partida

---

fue el análisis geológico-geomorfológico a través de fotografías aéreas y numerosos inventarios de campo, donde se clasificaban los tipos de fenómenos. El resultado fue una cartografía que mostraban zonas recurrentes a procesos gravitacionales.

Tapia-Varela y López-Blanco (2001) a partir de criterios de la escuela geomorfológica holandesa (Verstappen y Van Zuidan, 1991), elaboran un mapa a escala 1: 100 000 de unidades morfogenéticas de la porción central de la cuenca de México. El resultado de este estudio fue un mapa difícil de entender debido a la existencia de forzadas subdivisiones a que se somete al relieve. También por considerar como atributo genético, características morfológicas (alto, bajo, ondulado, lomeríos, cóncavo, etc.), bajo esta perspectiva no es confiable la dinámica que estos autores desarrollan para el sector que estudian.

Servicio Geológico Metropolitano (2003) con la metodología que los distingue, estudia la remoción en masa a escala 1: 25 000 de la Sierra de Guadalupe. Hay que mencionar que en este estudio se integra al inventario de campo datos morfométricos (inclinación del terreno y altimetría), morfológicos (geometría de la ladera), litológicos y de vegetación. El resultado, es un mapa que muestra la distribución espacial de los eventos (densidad), que son explicados integrando los datos ya mencionados.

Servicio Geológico Metropolitano (2005) creó un mapa de zonificación de los procesos de remoción en masa en el Distrito Federal escala 1: 75 000; a partir de dos variables: litología e inclinación el terreno. En este documento no se logra establecer la potencialidad del proceso, debido al número modesto de variables y debido a la escala de análisis que se usa (se pierden todos los detalles del relieve); las variables utilizadas fueron insuficientes para estudiar este territorio.

---

Cerecedo, E., (2006) realiza un análisis morfométrico y geomorfológico, con el fin de identificar y delimitar zonas susceptibles a inundaciones y procesos gravitacionales en el Municipio de Chimalhuacán (1:25 000). El resultado fue una cartografía precisa y cercana a la dinámica real del territorio, este documento es utilizado por la oficina de Protección Civil correspondiente.

García-Palomo, *et. al.*, (2006) presentan un inventario de 206 sitios por peligro a deslizamientos en la Sierra de Guadalupe escala 1:25 000. Como método de análisis utiliza la sobreposición de mapas morfométricos (pendiente, altimetría, densidad del drenaje) con la geología y los lineamientos. La falta de la variante geomorfológica no permitió que el mapa no fuera cercano a la dinámica real del terreno.

Hernández, G., (2007), elabora un estudio de geomorfología para caracterizar peligros por hundimientos y agrietamiento, al noroeste de la Delegación de Tláhuac en el Distrito Federal (1: 8 000). En este trabajo se llegó a identificar el origen del agente disparador, así como las condicionantes que favorecen su desarrollo. El amplio conocimiento del territorio de estudio permitió elaborar una cartografía objetiva de daños y un pronóstico a futuro.

Figueroa, A., (2007) es autor de un estudio geomorfológico enfocado a conocer los peligros por inundaciones, hundimientos del terreno y formación de grietas en la zona del lago de Chalco (1: 50 000). El punto de partida fue el análisis detallado de las transformaciones del relieve debido a modificaciones antrópicas. Los resultados se muestran en una cartografía detallada en donde no solo se muestran las zonas de mayor afectación, también se divide al territorio en sectores de peligrosidad.

---

Carlos-Valerio (2010) generó un mapa de susceptibilidad por procesos de remoción en masa para el Distrito Federal escala 1: 75 000. El método que utiliza este autor, coincide hasta con lo realizado por García-Palomo, *et. al.*, (2006); como novedad se incluye el análisis de circos de erosión. Las características del mapa son similares al trabajo hecho por el autor ya mencionado.

En la elaboración de los mapas geomorfológicos existe una gran variedad y este aspecto puede convertirse en un problema. De los ejemplos que se han comentado, podemos decir que la elaboración de cartografía geomorfológica necesita de un planteamiento metodológico previo, además requiere que se haga un balance entre disponibilidad en tecnologías, recursos y la realización de un producto que sea útil para los objetivos de la investigación.

---

## CAPÍTULO II. MARCO FÍSICO-GEOGRÁFICO

### 2.1 Aspectos regionales: Cinturón Volcánico Transmexicano y cuenca de México.

El Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) presenta una morfología de planicies escalonadas, limitadas o interrumpidas por volcanes. Su origen se asocia con el proceso de subducción entre la Placa de Cocos (marina) y la Norteamericana (continental). En este territorio se concentra la mayor parte de la superficie volcánica del país (Fig. 4); presenta una longitud de 1 200 km y se dispone desde el Pacífico hasta el Golfo de México; entre los 19° y 20° de latitud norte, mientras su anchura máxima alcanza los de 100 km. El CVTM, se puede definir como una meseta volcánica de composición calcialcalina, prevalentemente, en donde se emplazan volcanes de distinto origen y forma, que han sido focos de emisión de coladas de lava, y potentes depósitos piroclásticos y volcanoclásticos. Los edificios volcánicos más altos presentan detritos glaciales, como evidencia de procesos de modelado que existieron en condiciones climáticas pasadas. También es el caso de la existencia de numerosas cuencas endorreicas originadas a partir de la obstrucción de cursos fluviales por acumulación de material volcánico, en donde se han desarrollado lagos por represamiento de ríos, que con anterioridad drenaban de forma natural hacia la costa.

Los sistemas montañosos que bordean la Cuenca de México, si bien todos ellos tienen en común un origen volcánico, presentan diferencias en composición, edad, altura y localización. Al oeste está limitada, por la Sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo; al sureste por la Sierra Nevada-Río Frío, que es la de mayor altitud y forman parte de ella el volcán Popocatepetl (5 430 msnm) e Iztaccíhuatl (5 286 msnm); al sur define el límite la Sierra Chichinautzin y se une al suroeste con la Sierra de Zempoala. La frontera sur es la más reciente de todas. De Cserna *et al.* (1988) calculan una edad de 700 000 años. Hacia el norte, el límite de la cuenca es la Sierra de Pachuca, Chichicuautila y Tepozán. La Sierra

---

de Tepozotlán - Tezontlalpan define la porción NW. Dentro de la cuenca, se ubican dos sierras constituidas por rocas volcánicas: la Sierra de Santa Catarina, los Pitos y la Sierra de Guadalupe, entre las más importantes (por extensión y altura).

La Cuenca de México es una unidad hidrográfica definida por varios sistemas fluviales menores de carácter endorreico, lo que favoreció el desarrollo de varios cuerpos lacustres en un pasado no muy lejano. En la actualidad, cuenta con dos desagües artificiales (Tajo de Nochistongo y Drenaje profundo), por donde se vierten las aguas hacia el sistema fluvial Moctezuma – Panuco, para así 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 Km<sup>2</sup>. Esta superficie se reparte entre las siguientes entidades: Estado de México (4 800 Km<sup>2</sup>), Hidalgo (2 540 Km<sup>2</sup>), Tlaxcala y Puebla (840 Km<sup>2</sup> y 100 km<sup>2</sup>) y en gran parte del Distrito Federal (1320 km<sup>2</sup>). El segundo aspecto de importancia radica en la diversidad de paisajes y la existencia de fauna y flora endémica. Esta característica es tan trascendente que Rzedowski (1988), considera como una provincia fisiográfica al Cinturón Volcánico Transmexicano y una Subprovincia (Lagos y Volcanes de Anahuac) a la Cuenca de México.

En la Cuenca de México existe una estrecha relación entre los procesos exógenos y endógenos, y 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 responsable de la agresividad y magnitud que llegan a tener algunos procesos geomorfológicos, responsables de la evolución de este territorio.

La historia geológica de la Cuenca de México comienza hace un millón de años, cuando este territorio era un valle con un sistema fluvial distinto al actual. En esa época la Sierra

de Pachuca era drenada por el río Cuernavaca y la Sierra Nevada 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 de Chichinautzin (De Cserna *et al.*, 1988).

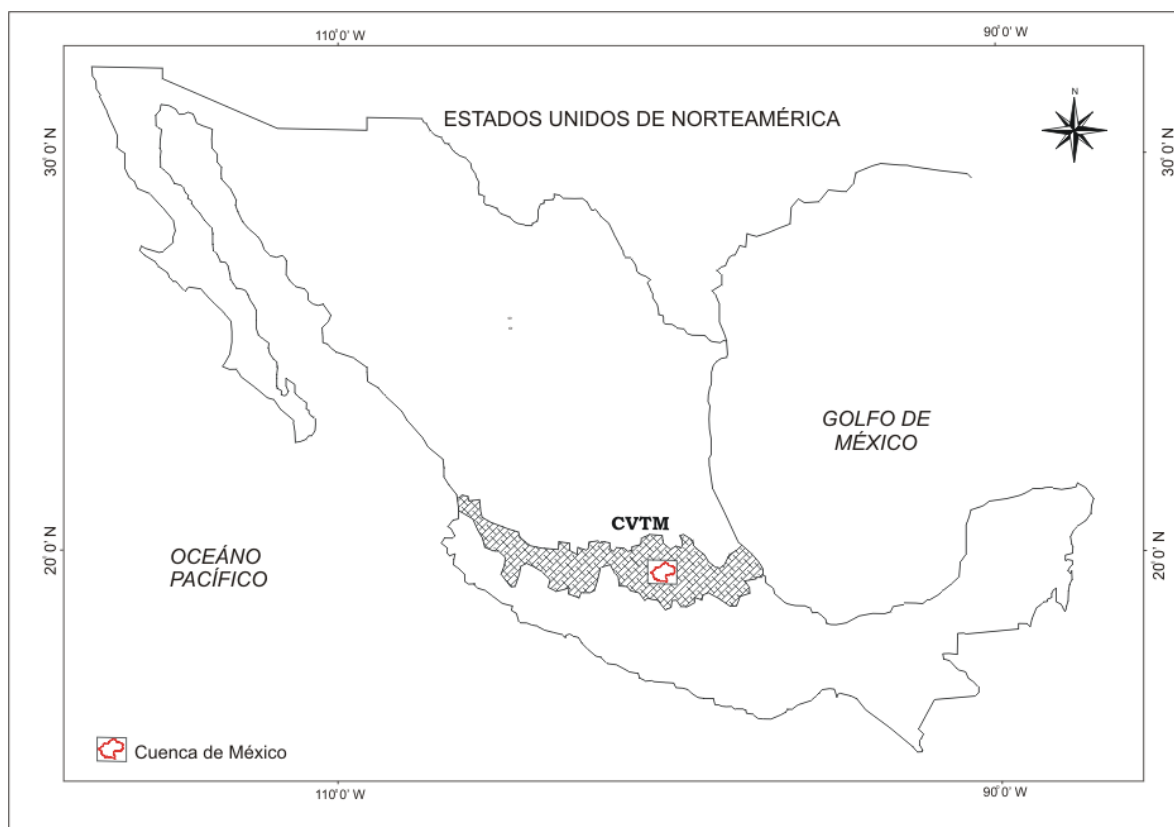


Figura 4. Localización en la República Mexicana del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) y de la Cuenca de México.

La acumulación de lavas y depósitos piroclásticos alcanzaron considerable espesor (Sierra de Chichinautzin) y formaron una cortina natural que represó los escurrimientos que drenaban ese territorio, hecho que fue favorable para la existencia de lagos y al mismo tiempo sedimentos fluviales, lacustres y volcánicos fueron rellenando de forma paulatina el antiguo e irregular fondo de la actual Cuenca de México. Es probable que los desniveles preexistentes, determinan la variación de los espesores de los detritos; 30 m en las cercanías de la ciudad de Pachuca, 200 m en el centro de la cuenca y un máximo de 600 m, en las cercanías de la Sierras 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), en el cual tiene como marco aspectos tectónico-volcánicos:

El Terciario Temprano es el escenario de la primera fase de desarrollo, y se caracteriza por la existencia de rocas volcánicas de composición intermedia a ácida; no afloran en la superficie, pero existen a una profundidad de 2 265 m (Mooser, 1975).

La segunda etapa transcurre en el Oligoceno Medio y se caracteriza por el emplazamiento de numerosas coladas de lava de composición de intermedia a ácida, contemporánea al emplazamiento de depósitos volcanoclásticos y de manera local acarreos fluviales. En general, todos los sustratos de esta fase presentan una fuerte densidad de fractura y fallas que se asocian a un sistema de fosas (graben) y pilares (horst), con dirección noreste. Los afloramientos representativos se localizan al norte de la Sierra de Tepozotlán.

El Oligoceno Tardío representa la tercera fase, en ella tiene desarrollo la base (Formación Xochitepec) de lo que más tarde serán las sierras mayores del E y W de la actual Cuenca de México. El tipo de roca que caracteriza este período es de composición ácida (dacitas, riolitas, 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 por lavas intermedias y ácidas. Otras estructuras asociadas son la Sierra de Tepozotlán, 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 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 de intermedia a 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 las 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 la emisión de materiales andesítico–basálticos que forman los cerros Chimalhuacán, La Estrella, El Pino, Peñón del Marqués, Chiconautla y Gordo. En este apartado se incluye el vulcanismo monogenético 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 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 (Frías, 1960). Cabe mencionar, que el derrame más reciente lo constituyen las lavas del pedregal, las cuales fueron emitidas por el volcán Xitle, hace  $2422 \pm 250$  años (Arnold y Libby, 1951 en De Cserna, 1988). Al respecto Siebe *et al.*, (2003), menciona que la edad de este evento es de 1835 años BP; este dato lo obtuvo a partir de un fechamiento de radiocarbono. En este mismo contexto Sarmiento (1994 en Siebe, 2000) menciona que la erupción del Xitle fue hace 2 000 años, el criterio de esta fecha es arqueológico.

La importancia que tienen los datos mencionados, radica en que en las fechas mencionadas queda definidos los rasgos morfológicos de la actual Cuenca de México. Sin embargo, la actividad tectónica y volcánica aún está presente y se manifiesta en la actual actividad del Popocatepetl que dio inicio en diciembre de 1994 y que se mantiene hoy día.

## **2.2 Localización**

Álvaro Obregón es una de las dieciséis delegaciones que constituyen el Distrito Federal y es parte del área metropolitana de la Ciudad de México, en su sector oeste y suroeste; sus coordenadas extremas son:  $19^{\circ} 14' - 19^{\circ} 25'$  de latitud N y  $99^{\circ} 10' - 99^{\circ} 20'$  de longitud W (Fig. 5). Limita al norte con la Delegación Miguel Hidalgo; al oriente, con Benito Juárez y Coyoacán; al sur, con Magdalena Contreras, Tlalpan; al poniente, con Cuajimalpa. Comprende una superficie de  $96.17 \text{ Km}^2$ , aproximados (6.3 % del total del distrito Federal); de los cuales, el 66.41 % es área urbana y rural el 33.59 % (INEGI, 1989). Con respecto a su morfología, el 70 % es terreno montañoso y el resto es de rampas, lomeríos y planicies; vista en planta presenta una forma alargada con dirección NE-SW. La altitud

---

máxima es de 3 820 msnm y se localiza en el Cerro el Triángulo y la mínima (2 240 msnm) característica del extremo NE; el contraste altitudinal en este territorio es de 1 580 m.

El sector suroeste de la delegación, es montañoso y destacan en altitud estructuras volcánicas complejas, como los cerros San Miguel (3 780 msnm), La Cruz de Cólica (3 610 msnm), Temamatla (3 500 msnm), Ocotál (3 450 msnm) y Zacazontetla (3 270 msnm). Las rampas de piedemonte y la planicie se disponen, en el orden señalado, hacia el noreste.

Diferencias altitudinales muy marcadas en distancias cortas, es la principal característica de la zona de montaña y representa un potencial para el desarrollo y magnitud de la dinámica exógena (en coincidencia con factores climáticos extraordinarios, sustrato competente, geometría e inclinación del terreno), hasta llegar a generar un peligro para los asentamientos humanos.

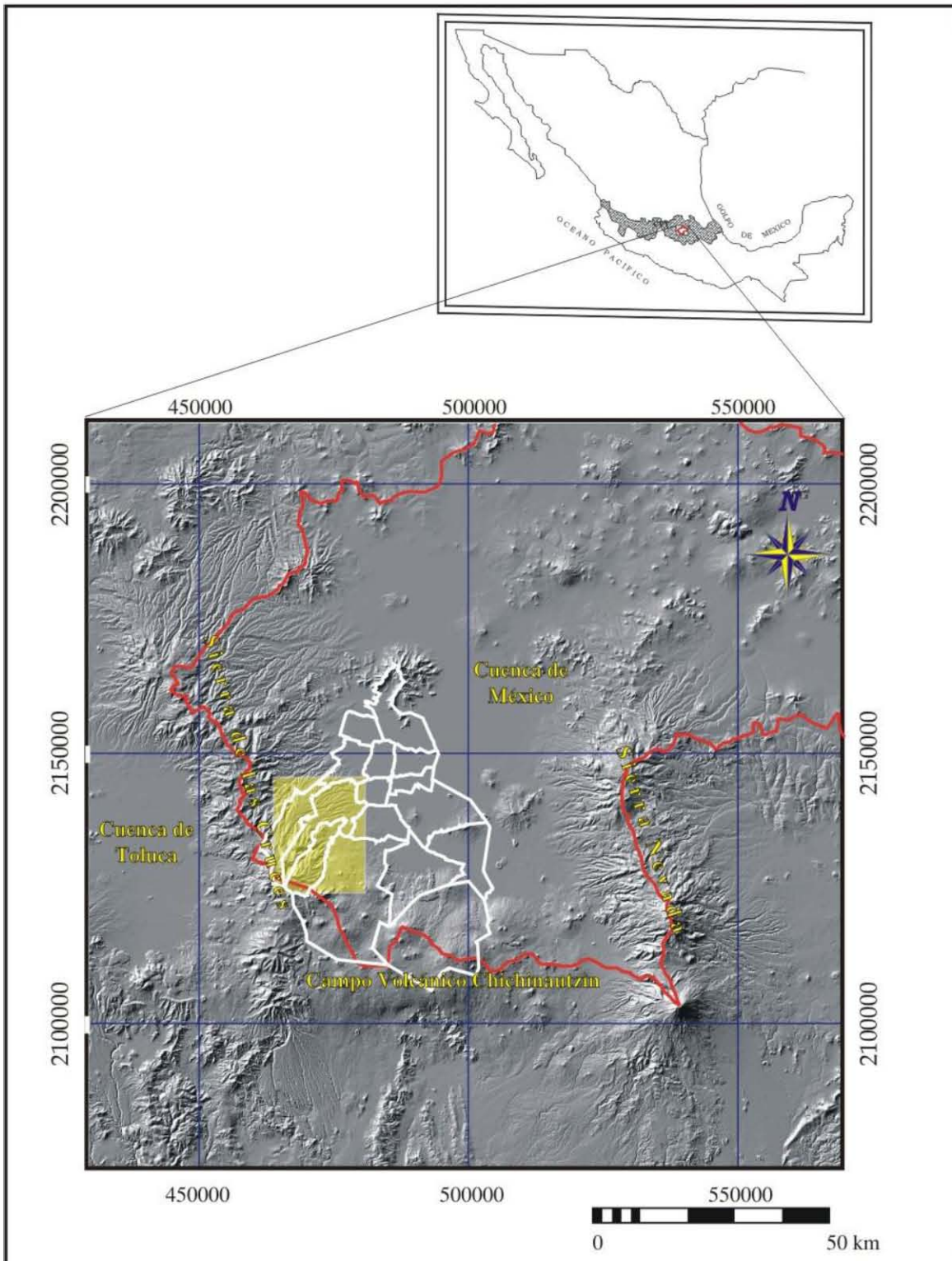


Figura 5- La zona de estudio (Delegación Álvaro Obregón) es parte de la Cuenca de México, estructura que se localiza en la porción central del Cinturón Volcánico Transmexicano.

---

### 2.3 Marco geológico local: delegación Álvaro Obregón

A partir de la información sobre la litología y las estructuras mayores en la Cuenca de México, es necesario un análisis más detallado de la Sierra de las Cruces, el territorio forma parte de esa estructura.

Los primeros trabajos donde se hace referencia a la Sierra de las Cruces son de Mooser (1975); quien es autor del mapa geológico de la Cuenca de México, en este documento se dan a conocer las principales unidades litológicas que definen este terreno montañoso. De Cserna *et al.* (1988), define un nuevo rasgo estructural localizado al SW de la Cuenca de México, lo nombra Cizallamiento Tenochtitlán. Ortiz-Pérez y Bocco (1989) establece una serie de bloques y tres sistemas de fallas (E-W, NE-SW y N-S) para el sector norte de la Sierra de las Cruces e Ixtlahuaca. Marín-Córdova y Aguayo (1989) proponen un modelo tectónico para la Cuenca de México, a partir de dieciséis fallas distensivas con rumbo NE 45°–55° SW.

Vázquez y Jaimes (1989) por su parte, reconocen un conjunto de fallas normales con dirección E-W y la existencia de un sistema disyuntivo conjugado (N55°E) que ha estado activo desde el Plioceno y continúa hasta nuestros días. Mooser (1992) asocia el origen de la Sierra de las Cruces a la dinámica de fallas con sentido lateral derecho y Alaniz-Álvarez *et al.* (1998) consideran que la misma estructura tuvo desarrollo sobre fallas N-S.

Son pocos los trabajos en donde la Sierra de las Cruces (SC) es el objeto principal de estudio, pero esto no limita que se vaya desarrollando el conocimiento de este sector de la Cuenca de México. En este contexto se citan los trabajos de Delgado-Granados y Martín Del Pozzo (1993), quienes consideran que la formación de la SC inicia en el Plioceno Tardío como consecuencia de tres episodios volcánicos; el último de ellos, activo hasta el Holoceno. Estos eventos tuvieron como escenario la actual frontera entre la SC y el

---

Chichinautzin. Mooser *et al.* (1974) establecieron que la evolución de la SC se relaciona con episodios de fallas y fracturas y la formación de estratovolcanes; además mencionan que las estructuras volcánicas migran de manera progresiva. Romero (2001) propone que el volcán San Miguel se considere como un complejo volcánico, debido a que en realidad es una amalgama de estructuras volcánicas.

Recientemente se han realizado trabajos vulcanológicos a detalle en la SC, entre ellos destacan los de Aguirre-Díaz *et al.*, (2006), quienes proponen la presencia de una caldera denominada La Catedral, al norte de la Sierra de Las Cruces. Mientras Capra *et al.* (2002) y Macías (2006) proponen el colapso del edificio volcánico de Zempoala como resultado de la presencia y actividad de un sistema de fallas con dirección E-W y NE-SW y Arce *et al.* 2008 da el fechamiento de este evento en  $0.75 \pm 0.05$  Ma.

En lo que respecta a la edad, hasta la fecha se han realizado cerca de una veintena de estudios radiométricos y paleomagnéticos en la SC, que han establecido una edad que varía entre  $3.71 \pm 0.40$  Ma y  $0.39 \pm 0.16$  Ma (Mooser *et al.*, 1974; Mora-Álvarez *et al.*, 1993; Aguirre- Díaz, 2006). Aunque algunas edades radiométricas han arrojado edad miocénica. La actividad volcánica, más importante en la SC ocurrió durante el Plioceno Tardío-Pleistoceno. La mayoría de los estudios realizados en la Sierra de Las Cruces, son de carácter regional y están encaminados a entender la historia geológica de la Cuenca de México.

Mooser *et al.* (1996) distinguen diversas unidades litológicas, sin embargo no asignan edades a las mismas y no queda clara la evolución de las distintas unidades que propone. Romero-Terán (2001), distingue y asigna edades a las secuencias litológicas del extremo sur de la Sierra de las Cruces; se centra principalmente en el Complejo Volcánico San Miguel (CVSM) que incluye todos los materiales asociados a este estratovolcán, mismo que cubre en gran parte la delegación Álvaro Obregón. En el área de estudio aflora la

---

Formación las Cruces y de manera parcial el Grupo Chichinautzin; ambos intercalados con depósitos aluviales del Cuaternario. De acuerdo con lo establecido por Mooser *et al.*, (1996), se analizan los complejos volcánicos y formaciones geológicas (Fig. 6) que han dado origen a la Sierra de las Cruces:

Caldera doble de Contreras. Se considera la unidad más antigua y se localiza en el sector central del área de estudio, tiene una extensión de 13 Km<sup>2</sup> y representa el 19.9 % de la superficie de la delegación. Esta estructura se compone de dos calderas, cubiertas por las Formaciones Tarango, Chichinautzin y unidades del complejo San Miguel Contreras. De los edificios mencionados, sólo quedan algunos remanentes en el flanco oriental de la sierra. Caldera Santa Rosa, Cerro del Judío. Aflora de manera parcial al sur de la zona de estudio y se trata de un antiguo edificio volcánico en el que se distingue cráter; ésta unidad subyace a los depósitos de la Caldera de Hueyatla, así como a los materiales de la Formación Tarango (cono La Herradura).

Caldera Ocotál. Esta unidad (Formación Ocotál) se halla expuesta al suroeste de la delegación donde es posible reconocer el antiguo edificio, no obstante está cubierto por un domo y detritos provenientes del volcán la Herradura. La caldera Ocotál cubre a las unidades de la caldera de Santa Rosa-Cerro del Judío y a la caldera doble de Contreras.

Volcán Tres Cruces. Está integrado por domos y sus depósitos, que cubren las calderas del Ocotál y la doble de Contreras, así como un sector de la caldera doble Manantiales; toda la secuencia mencionada está cubierta por materiales provenientes del volcán Ajusco y Cuaternario Superior (Grupo Chichinautzin).

Formación Tarango. Está representada por abanicos proluviales que tiene desarrollo al pie de las Sierras Mayores; dentro de ella, se distinguen las siguientes secuencias acumulativas:



- 
- Depósitos de pómez, presenta fragmentos variables del orden de 3 cm hasta menos de 1 mm, también se advirtió que el depósito pumítico descansa sobre una capa de toba fina y arcillosa.
  - Depósitos de la Formación Tarango. Debido a que estos últimos no están diferenciados con base en el origen del material.
  - Tobas en depósitos de flancos. Se trata de depósitos volcánicos asociados a domos, que sobreyacen a la Formación Tarango.

Grupo Chichinautzin. Se presenta en el extremo sur del área de estudio y se trata de una colada de lava que tiene como centro emisor un cono de escoria. En la porción oriental es más evidente este grupo, en este caso se trata de extensos y sobrepuestos flujos asociados al Xitle; las partes más distales, como en algunos sectores al interior del campo de lavas, sobreyacen mantos aluviales del Holoceno.

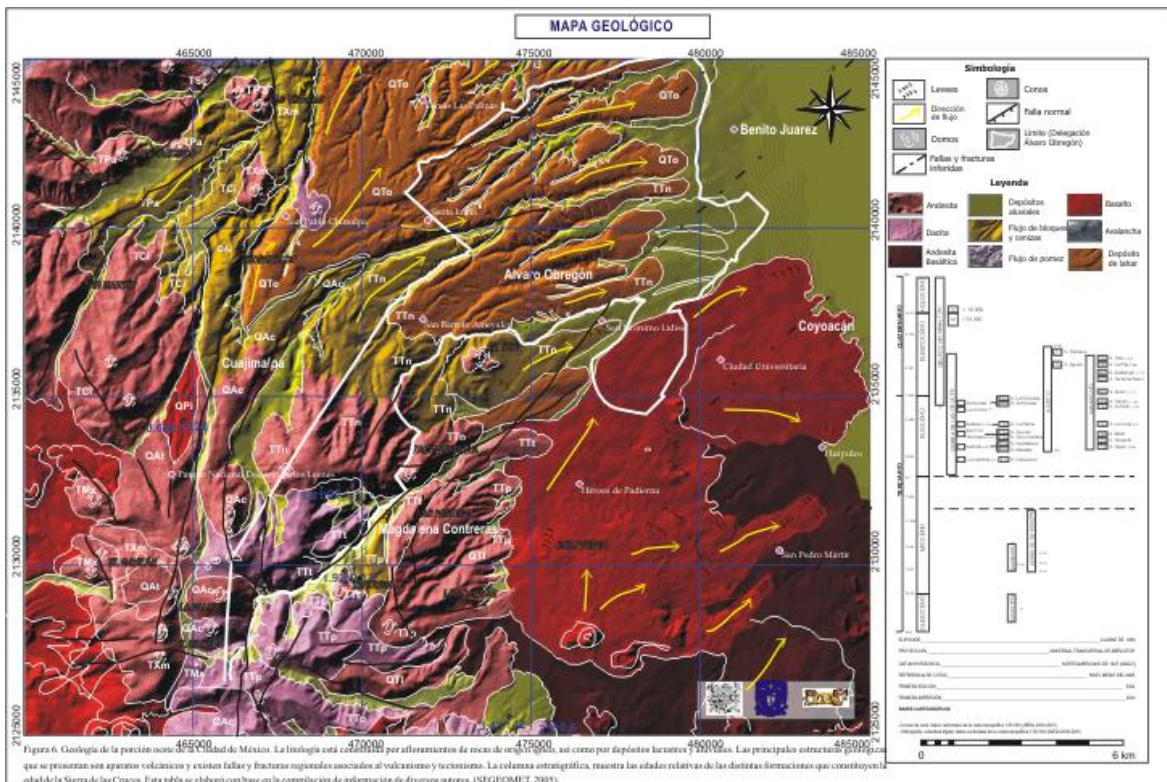


Figura 6. Geología de la porción oeste de la Ciudad de México. (SEGEOMET, 2005).

---

## 2.4 Clima

En la Cuenca México el clima está determinado por altitud, la latitud y la continentalidad; estos tres factores determinan las variaciones la temperatura y humedad. De acuerdo con Jáuregui (1987), el clima de la Ciudad de México está influenciado por los sistemas atmosféricos tropicales y extratropicales, esto se refleja en un periodo de poca precipitación, con bajas temperaturas y relativamente seco (en los meses que corresponden al invierno) que contrasta con otro periodo de altas precipitaciones y altas temperaturas (meses de verano).

En el caso del periodo de influencia extratropical, los vientos se asocian a la presencia de las masas polares provenientes del norte del globo terráqueo, este tipo de vientos causan el descenso de la temperatura, y no producen suficientes lluvias y sí causan otro tipo de fenómenos, como es el caso de la inversión térmica en la Cuenca de México.

En la etapa tropical, los vientos Alisios llegan con fuerte humedad y generalmente se asocian a la temporada de ciclones y vagadas, tanto en la costa del Atlántico como del Pacífico, estos producen en parte del territorio nacional fuertes precipitaciones.

El clima de la delegación Álvaro Obregón está controlado por el factor de continentalidad y las diferencias altitudinales características de un relieve montañoso, mismas que favorecen las siguientes condiciones:

1.- La concentración de humedad en las laderas montañosas y los valles; en el primer caso dependen de la morfología del relieve, lo cual favorece según su tipo la concentración de

---

humedad; la orientación (exposición a la radiación solar) es otro factor a tomar en cuenta. En este contexto los valles son lugares que retienen y concentran humedad en función de su anchura y profundidad, así como, de la capacidad de la cuenca para captar agua.

2.- En el relieve montañoso la temperatura desciende conforme aumenta la altitud, en teoría el gradiente vertical de temperatura es de  $0.78^{\circ}\text{C}$  esto condiciona diferencias climáticas notables entre la porción de menor altura y la de mayor altura.

En la delegación Álvaro Obregón el clima es templado, con diversas variaciones altitudinales debido a las características del relieve. En la parte baja (hasta los 2 440 msnm) la temperatura media anual varía de  $14.9^{\circ}\text{C}$  a  $17.1^{\circ}\text{C}$  durante los meses de abril a junio; la temperatura mínima se da en los meses de diciembre a febrero y alcanza los  $10^{\circ}\text{C}$ .

En el área intermedia de la delegación (3 100 msnm), la temperatura media anual es de  $15.5^{\circ}\text{C}$  y la máxima de  $17^{\circ}\text{C}$ , para los meses de abril a junio; las temperaturas mínimas se presentan de diciembre a febrero y alcanzan los  $13.2^{\circ}\text{C}$ .

En la parte sur de la delegación Álvaro Obregón, el clima deja de ser templado para convertirse en un clima semifrío. La temperatura media anual es de  $10.7^{\circ}\text{C}$ , la máxima se presenta en los meses de abril a junio y alcanza los  $12^{\circ}\text{C}$ ; y la mínima es de  $8.1^{\circ}\text{C}$ .

---

La precipitación anual máxima, corresponde a los meses de junio a septiembre y la mínima, en los meses de noviembre a febrero, entre 1 000 y 1 200 mm/año (Jáuregui 1987).

## 2.5 Suelos

En la delegación predominan cuatro tipos de suelos, (Greene, 1980, en Cordero, 1992) los cuales tienen una estrecha relación con la litología, su grado de intemperismo, la inclinación del terreno y la dinámica erosiva; las variantes edáficas son las siguientes:

### 1) Pheozem hápico y lúvico

Cubre 53.8 % del territorio delegacional; son suelos con una superficie oscura, tienen una consistencia suave, ricos en materia orgánica, nutrientes, y presentan alto contenido de humus. Muestran una secuencia normal en sus horizontes, y su espesor máximo alcanza los 100 cm. Se localiza a lo largo del piedemonte y en los llanos de origen volcánico; entre los 2 500 y 3 000 msnm; el material parental en ambos casos corresponde a piróclastos (pómez y ceniza).

### 2) Litosoles háplicos

Son de origen volcánico rocoso, con un espesor de horizonte máximo de 30 cm; cubren el 28.8 % de la delegación, se encuentran generalmente en relieves montañosos. Se localizan en superficies escarpadas entre los 2 300 y 2 500 msnm. Las características del relieve no han permitido su desarrollo; el sustrato puede ser rocoso, de tepetate o caliche duro.

---

### 3) Andosoles

Ocupan el 21.5 % del suelo de la delegación; se desarrollan sobre cenizas y en materiales volcánicos recientes, generalmente son ricos en vidrio volcánico (Greene, 1980). Se reconocen horizontes superficiales oscuros y tienen un espesor máximo de 50 cm. Su textura es media y se localizan sobre toda la superficie montañosa, donde la litología es de lavas andesíticas y dacíticas (entre 3 000 y 3 800 msnm); también se presentan en basaltos recientes.

### 4) Regosol éutrico

Ocupa el 1.9 % de la extensión delegacional; son suelos de origen volcánico o de procesos de acumulación eólica, poco compactos y tienen un espesor máximo de 30 cm presentan textura gruesa y color café.

## 2.6 Vegetación y uso de suelo

La localización de las distintas especies vegetales se relaciona con ciertas características del medio físico: latitud, altitud, tipo de sustrato geológico, el pH del suelo y el tipo de clima. La vegetación consiste en la parte baja (menos de 2 500 msnm) del territorio delegacional, en arbustos y árboles que han sido sembrados en las áreas verdes o recreativas que rodean a las zonas urbanizadas. En la zona media (2 500 – 3 000 msnm), existen bosques mesófilos que cubren las barrancas y cañadas con vegetación epífita, como musgos, helechos y trepadoras leñosas (Ezcurra, 1990 en Cordero 1992). En la parte del pedregal, hay plantas endémicas: palo loco, palo dulce, tabaquillo, tepozán y copal; especies que se han conservado en la Reserva Ecológica de la UNAM. Las zonas con mayor densidad de vegetación se localizan en las partes elevadas, donde tienen desarrollo bosques de coníferas con abundancia de encinos y pinos.

---

Las especies más frecuentes son el encino, el limoncillo y los pinares bajos, que en general crecen asociados. Los pinos más comunes son los ocotes (*Pinus moctezumae*) y los *Pinus Hartwegii*, estos últimos han resistido las condiciones ambientales adversas de la zona de estudio.

En terrenos de más de 3 000 msnm tienen desarrollo los bosques de coníferas, en ellos predominan los encinos y pinares que alcanzan alturas entre los 5 y 12 m; en el sur de la delegación existen pequeñas comunidades de bosques de oyamel que no llegan a tener gran desarrollo.

La cubierta vegetal, el relieve y los agentes modeladores, tienen un vínculo asociado con la protección o mitigación del efecto erosivo sobre el terreno, este razonamiento no es válido del todo; la vegetación también tiene la capacidad de catalizar el resultado de los procesos de degradación fluvial y gravitacional, en condiciones adecuadas de inclinación del terreno y tipo de sustrato.

Por tanto, la existencia de vegetación, en un contexto geomorfológico, debe ser interpretada con un carácter dual; de protección o catalizador de procesos. Por otro lado, el área que ocupa la cubierta vegetal, en la zona de estudio, está en constante decremento debido al crecimiento urbano (Fig. 7), aumento de superficies de cultivo, erosión hídrica, extracción de material para construcción (destrucción de laderas), tala clandestina e incendios.

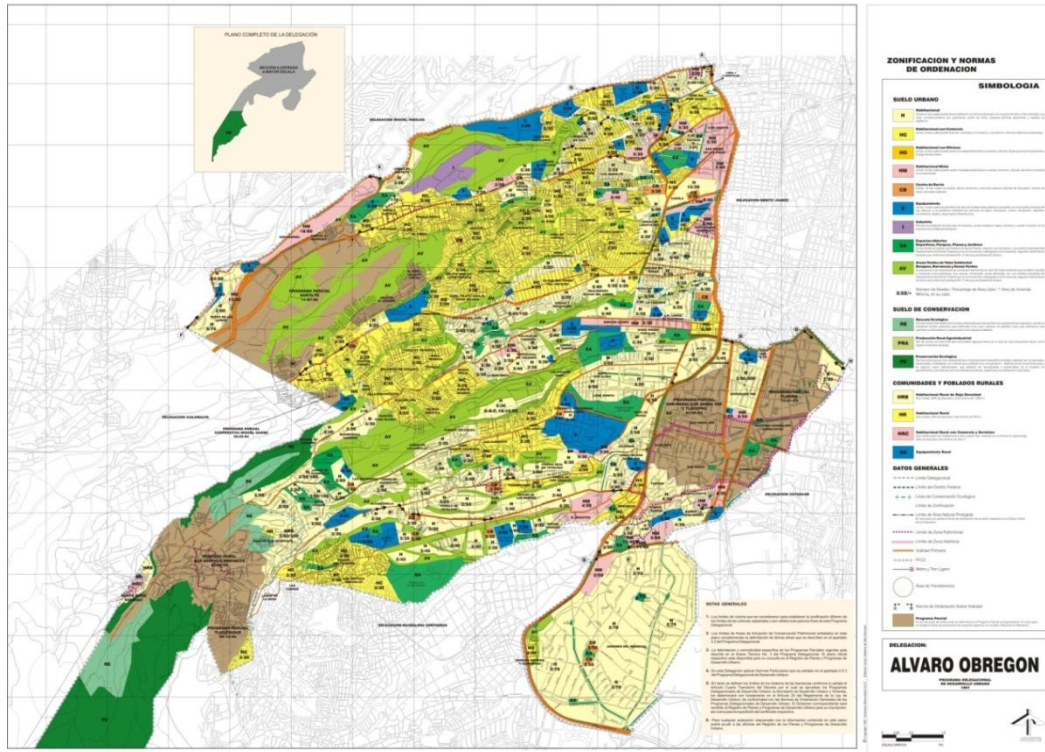


Figura 7. Programa Delegacional de Desarrollo Urbano. La intervención humana en los cambios y alteraciones del medio ambiente es debido a la caótica expansión de la mancha urbana. El crecimiento urbano, la falta de planeación urbana y el inadecuado manejo del uso del suelo han tenido como resultado el crecimiento de la mancha urbana hacia zonas de laderas montañosas que presentan peligros.

## 2.7 Hidrología

La existencia de manantiales y los ríos en la zona de estudio, representa una riqueza natural para la misma delegación y la Ciudad de México. En la Delegación Álvaro Obregón existe una densa red fluvial, que se ve favorecida por abundantes precipitaciones que ocurren en la región de montaña, aquí es donde se localizan las cabeceras de ocho subcuencas fluviales (Fig. 8), responsables de drenar toda la superficie de la delegación: Tacubaya, Becerra, Mixcoac, Tarango, Tequilazco, Tetelpan, Texcalatlaco y Magdalena.



---

Los ríos mencionados presentan como característica un gradiente muy marcado que junto con un régimen torrencial, se favorece el incremento en la velocidad del cauce; por tanto, un aumento en la capacidad erosiva y de carga. En conjunto, los cauces presentan un arreglo espacial o patrón de drenaje, dichas configuraciones están condicionadas por el tipo de materiales y rasgos estructurales.

Las cuencas de los ríos Tacubaya, Becerra, Mixcoac, Tarango y Tequilazco se disponen con un diseño subparalelo-pinado; el primer patrón refleja una inclinación constante; el espaciamiento de los cauces se debe a estructuras disyuntivas dispuestas en un arreglo paralelo. Estas dos características están presentes en los cauces principales. En ellos se desarrollan numerosos afluentes que transforman la red original en una de tipo pinado. Estas características se dan por la existencia de potentes coberturas piroclásticas, que a partir de saltos de cabecera (erosión remontante), se están desmantelando.

Las cuencas de los ríos Texcalatlaco, Tetelpan y Magdalena presentan una configuración subdendrítica-radial, en el primer caso se pone de manifiesto la existencia de rocas volcánicas antiguas que han desarrollado sistemas fluviales más integrados los sistemas radiales y se desarrollan sobre edificios volcánicos y domos, de la Sierra de las Cruces.

El crecimiento demográfico incontrolado ha propiciado la urbanización en las laderas de los valles de los ríos que anteriormente constituían la reserva más abundante de agua potable para la Ciudad de México. Actualmente se ha reducido el volumen de captación de aguas por escurrimiento, a consecuencia de la pavimentación y urbanización de las cuencas. También se ha incrementado la descarga de aguas residuales, tanto industriales como de origen doméstico y a la carga de sedimentos se aumenta un gran volumen de desechos sólidos, ya que los ríos de la zona poniente de Ciudad de México son utilizados como basureros a cielo abierto, lo que da como resultado que en la actualidad, las subcuencas de la delegación Álvaro Obregón presenten un alto grado de alteración y

provocan un grave problema para el funcionamiento del drenaje de la Ciudad de México, por el enorme volumen de desechos sólidos que aportan al colector poniente, constituido por un sistema de túneles que permite controlar el volumen de almacenamiento de cada una de las presas y así evitar las fuertes inundaciones que sufría la Ciudad de México hasta la década de los años cincuenta, en la que fueron construidas estas presas.

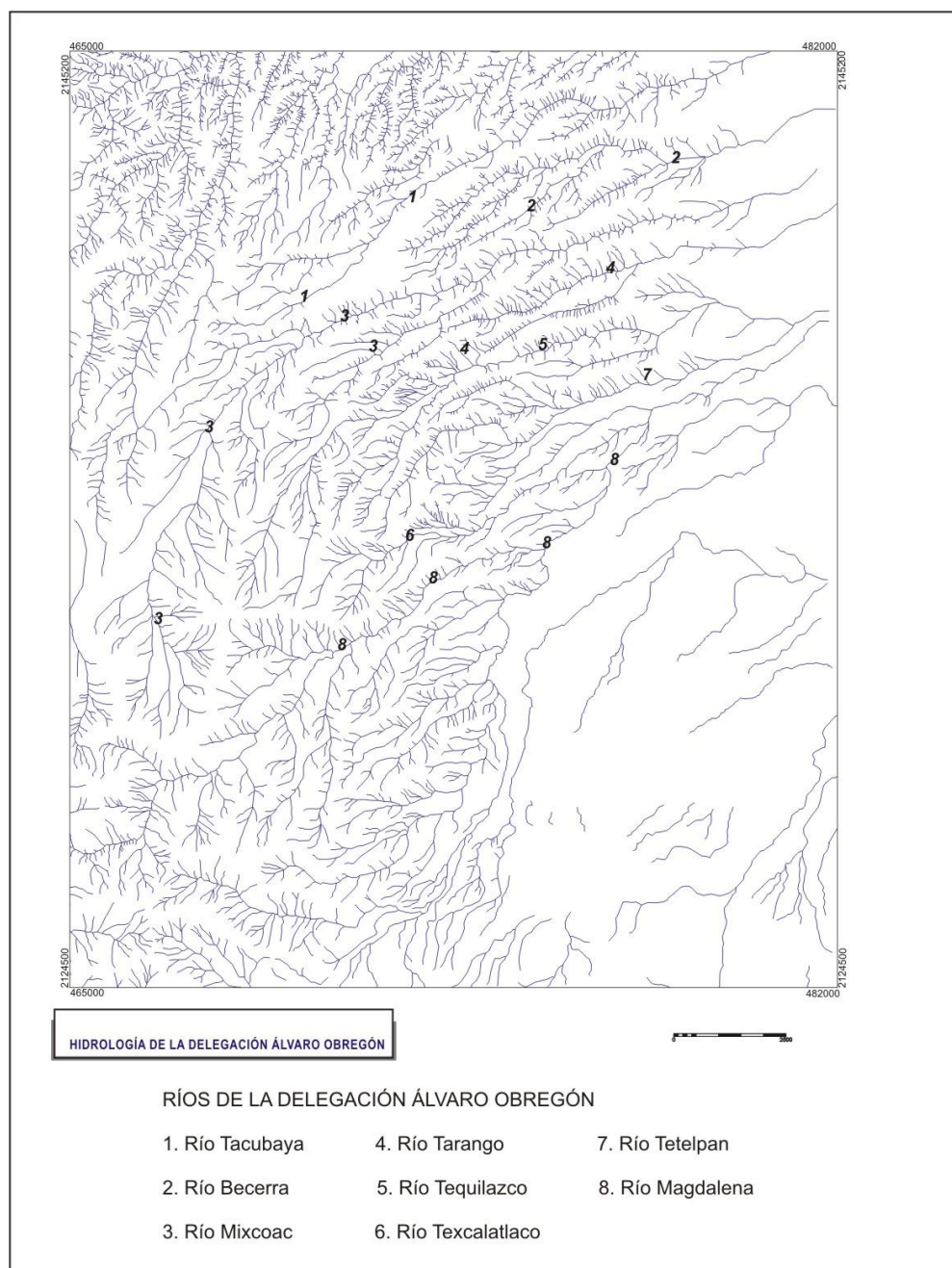


Figura 8. Hidrología de la delegación Álvaro Obregón..

---

## **CAPÍTULO III. MORFOMETRÍA**

En este capítulo se analizan los datos producto de la cuantificación elementos puntuales (cimas, profundidades y su diferencia), lineales (talwegs y disyunciones) y areales (superficies con determinada geometría e inclinación) del relieve; con el fin, de establecer patrones de distribución y dinámica de los procesos exógenos presentes en la Delegación Álvaro Obregón, en particular, con los procesos de ladera.

### **3.1 Mapa Altimétrico**

El mapa altimétrico representa el inicio del análisis morfométrico y tiene como objetivo simplificar, para su comprensión, la topografía de la zona de estudio. Este documento representa una primera clasificación del relieve en donde por altitud, se sintetiza el relieve en unidades mayores que reflejan una génesis y una evolución común.

El manejo de la información a través de un SIG, permitió elaborar varios histogramas de frecuencia y su respectiva cartografía, estos documentos facilitaron la comprensión espacial de los datos. Una vez que fueron analizadas todas las variables, se eligió el rango en donde los valores quedaron agrupados en 8 categorías altitudinales, con intervalos de 60, 150, 200, y 320 metros (Fig. 9).

El histograma de frecuencias (fig. 10) y el mapa correspondiente (fig. 11), hacen evidentes pisos altitudinales con una morfología y génesis común. A partir de esta interacción fue posible determinar dos unidades mayores del relieve: la zona de montaña (2 750 - 3 820 msnm) y el piedemonte (2 240 – 2 750 msnm); esta última diferenciada en superior e inferior.

<b>RANGO</b>	<b>INTERVALO</b>	<b>msnm</b>	<b>DIFERENCIA DE ALTURAS</b>
	<b>DE</b>	<b>A</b>	<b>metros</b>
1	2240	2300	60
2	2300	2500	200
3	2500	2750	250
4	2750	2900	150
5	2900	3100	200
6	3100	3300	200
7	3300	3500	200
8	3500	3820	320

Figura 9. Rangos de altitud del mapa altimétrico.

En la elaboración e interpretación del mapa altimétrico fue necesario hacer uso de un modelo sombreado del relieve y consultar el mapa de pendientes, ya que con sólo una variable (altitud) no era posible tener precisión en la delimitación de las fronteras que definen las unidades morfológicas de la delegación Álvaro Obregón (Fig.11):

**La Zona de Montaña.** Se localiza en el extremo SW de la zona de estudio a una altitud que varía entre los 2 750 – 3 820 msnm. Este territorio se caracteriza por presentar fuertes contrastes altitudinales en distancia cortas y vertientes heterogéneas en cuanto a longitud, geometría y orientación. Esta unidad comprende todas las cumbres y laderas abruptas que constituyen edificios y domos volcánicos, la amplitud del relieve en este territorio es de 1 070 m.

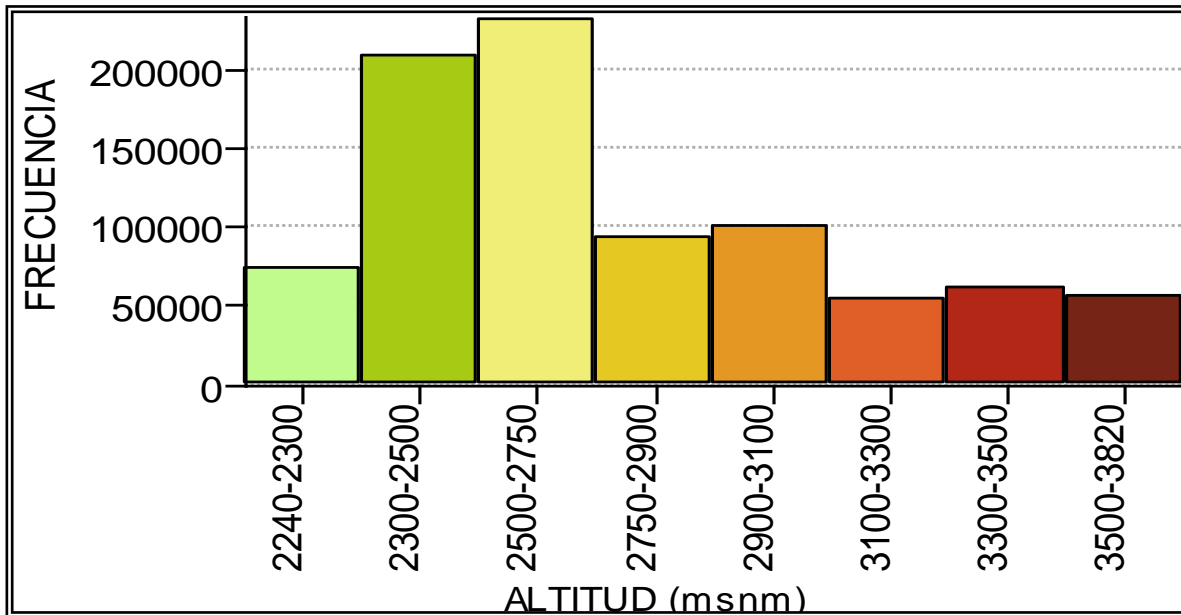


Figura 10. Los valores altitudinales de la zona de estudio, quedaron repartidos en ocho rangos; a partir de esta distribución se realizó el mapa altimétrico y el de unidades del relieve.

Laderas con fuerte inclinación, es la forma de relieve característica de la zona de montaña (mayores de 15°), en su mayoría están constituidas por rocas volcánicas de tipo andesítico y cuando la morfología lo favorece, conservan una cubierta piroclástica de grosor variable (Lugo-Hubp, 1995). Las vertientes más antiguas de este conjunto, datan del Terciario Tardío (Cordero, 1992); las más recientes, de finales del Plioceno y principios del Cuaternario. Estas últimas definen pequeños conos volcánicos (Ocotal, Atesquillo y La Bandera) de composición ácida (Cordero, 1992).

Los procesos fluviales y de ladera, son los responsables del modelado y de la morfología de este territorio; los primeros son los más evidentes, se reconocen por numerosas corrientes fluviales que ocupan valles profundos (Fig. 8), mismos que rompen la continuidad de las montañas. La acción fluvial también se presenta en la porción cumbral o muy cerca de ella; así lo constata la presencia de circos de erosión amplios y activos.



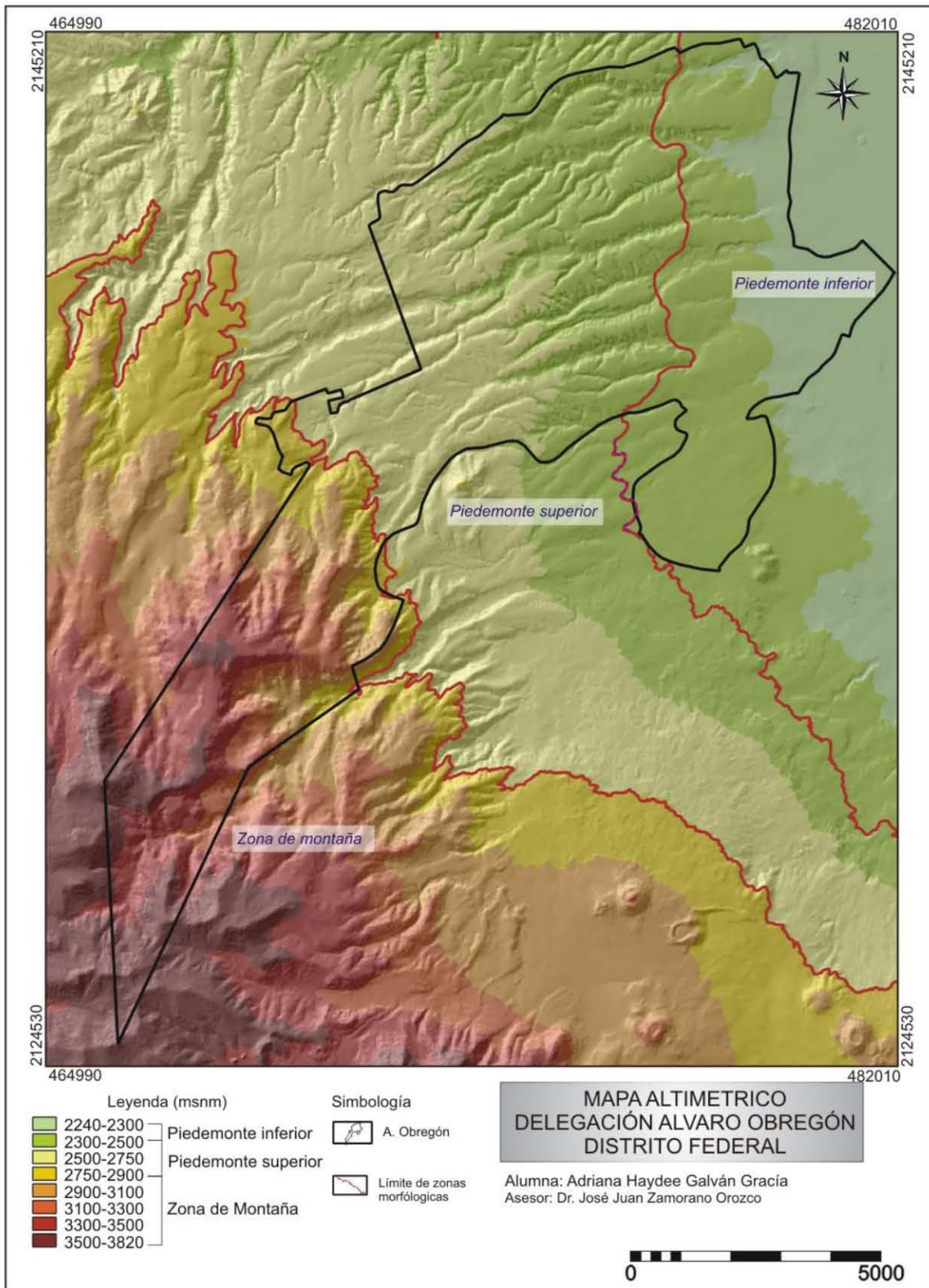


Figura 11. Mapa altimétrico de la Delegación Álvaro Obregón.

---

El desarrollo de los movimientos gravitacionales está en función de la inclinación de las laderas; en sustratos alterados como resultados de un intenso intemperismo o por la existencia de una densa red de fracturas, hecho que las hace susceptibles a este tipo de fenómenos. Estas condicionantes son las más evidentes en el territorio de la delegación Álvaro Obregón y se manifiestan en el desarrollo de caídas y deslizamientos; estos últimos, son poco frecuentes en la zona de montaña.

**El Piedemonte.** Se define como una rampa que se dispone de manera marginal a la zona de montaña; se distingue por mantener altitud y pendiente menor que la unidad inmediata superior. La inclinación de este terreno decrece de forma gradual y no existen contrastes topográficos relevantes. Su origen se explica a partir de la acumulación de potentes capas de piroclastos (flujos, pómez, escorias y lahares) que se alternan con sedimentos proluviales (conos de eyecciones coalescentes). En conjunto estas estructuras definen una rampa continua de perfil convexo-recto; morfología que desaparece cuando densas redes de barrancos disecan o fragmentan el piedemonte.

A lo largo de este territorio los procesos fluviales presentan dinámicas distintas, de lo que resulta una zonalidad morfológica. Estas características sirvieron de criterio para diferenciar la rampa de piedemonte en superior e inferior.

El piedemonte superior se dispone de manera aproximada entre los 2 300 y los 2 750 msnm y su inclinación no es mayor de 15°. De acuerdo con Mooser (1988), su formación inicia en el Oligoceno Tardío, hace 170 000 años y continúa su desarrollo en el Cuaternario con la acumulación de detritos volcánicos provenientes de lahares, pómez y flujos piroclásticos hasta de 30 metros de espesor. La competencia del sustrato a la erosión y una mayor inclinación de este sector (6° a 15°), favorecen la existencia de las redes densas de cauces limitadas por laderas de inclinación superior a 45° y una profundidad de hasta de 50 m, como en el Tarango y Mixcoac.

---

Las barrancas, vistas en planta, presentan un diseño subparalelo; característica que favorece la existencia entre ellas, de superficies interfluviales amplias y rectilíneas que han sido aprovechadas para el trazo de las más importantes vías de comunicación (Av. Las Águilas, Santa Lucía, Vasco de Quiroga y Miguel Hidalgo) y asentamientos humanos.

El piedemonte inferior presenta una altitud que varía entre los 2 240 y los 2 300 msnm; la inclinación general de esta superficie es menor a 6°. La morfología original de esta región ya no existe, debido a que se encuentra totalmente urbanizada, la mayor parte de los ríos se encuentran entubados y las laderas han tenido una transformación total, que se asocia a la construcción de complejos urbanos y comerciales.

El sector del piedemonte inferior, inicia su formación en el Cuaternario, las primeras etapas de integración de esta unidad fueron volcánicas, como consecuencia se acumularon importantes volúmenes de dacítas.

La actividad volcánica fue constante a lo largo del desarrollo de la Sierra de las Cruces (SCs), por tanto tuvo influencia en la morfología y en los materiales de toda la rampa acumulativa, pero en particular de la porción baja o distal. En el Mioceno Tardío, hace aproximadamente 5 millones de años, la SCs inicia un nuevo periodo volcánico que se mantiene hasta el Pleistoceno. Los materiales asociados a esta etapa (tobas de caída, lahares y flujos piroclásticos), constituyen el basamento del piedemonte inferior. La capa más superficial (Cuaternario), se constituye de acarreo detrítico producto de la acción de distintos procesos modeladores, que mantienen y suavizan las irregularidades del terreno en este sector.

La sedimentación es el proceso geomorfológico que predomina en este sector, al existir una disminución en la inclinación del terreno, la acción erosiva fluvial y gravitacional no es representativa. Por otro lado, el entubamiento de los ríos y la urbanización ha modificado la dinámica natural (deposición), aspecto que es analizado en este estudio.



---

Las estructuras disyuntivas son un elemento presente en el piedemonte, su influencia es visible en el arreglo subparalelo y dirección de los ríos Tacubaya, Becerra, Mixcoac, Tarango y Tequilazco. Su origen está asociado a la actividad tectónica regional, las más antiguas se formaron en el Mioceno Tardío, hace unos 5.3 millones de años (Manual de exploraciones geotécnicas, 1988) y las más recientes, producto de tectónica local, en el Pleistoceno y Holoceno, con una edad aproximada entre 170 000 y 100 000 años (De Cserna *et al.*, 1988)

A partir del mapa altimétrico fue posible establecer y caracterizar dos regiones morfológicas mayores, la zona de montaña y el piedemonte; esta última, diferenciada en superior e inferior. Con el mismo documento, de manera indirecta, se determinó la génesis y la dinámica (procesos) de cada una de las unidades principales. Es estos aspectos son determinantes para entender la geomorfología de este territorio.

### **3.2 Mapa de inclinación del terreno**

Este documento tiene como objetivo clasificar el relieve a partir de su inclinación, con el fin de establecer la relación entre la dinámica de las laderas, la morfología y la estructura geológica; con estos puntos, es posible identificar áreas susceptibles a procesos de laderas y erosión.

La inclinación del terreno se vincula con factores como: litología, los procesos fluviales, gravitacionales, presencia de estructuras disyuntivas y hasta con condiciones ambientales, en particular como densidad de vegetación, grado de saturación y ángulo de estabilidad de los materiales (Fig. 12).

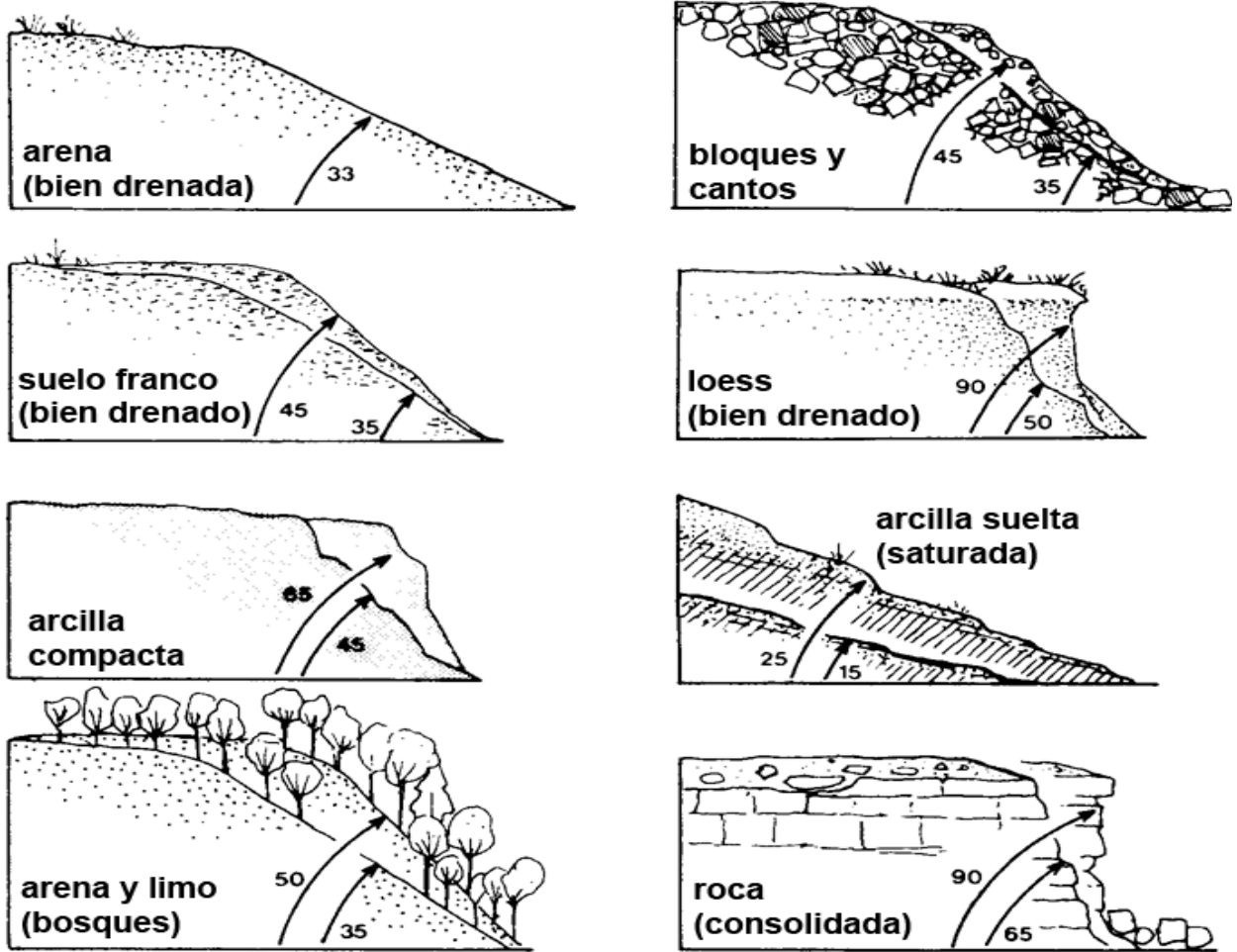


Figura 12. Ángulo de estabilidad de algunos materiales de acuerdo con su composición y estado físico (tomado de Marsh, 1991).

El mapa de pendientes presenta una clara correspondencia con las unidades morfológicas que fueron establecidas en el análisis altimétrico, esto se debe a la existencia de sólo dos regiones importantes, en donde cada una de ellas tiene un sustrato definido, una edad y dinámicas bien diferenciadas (Fig. 13).

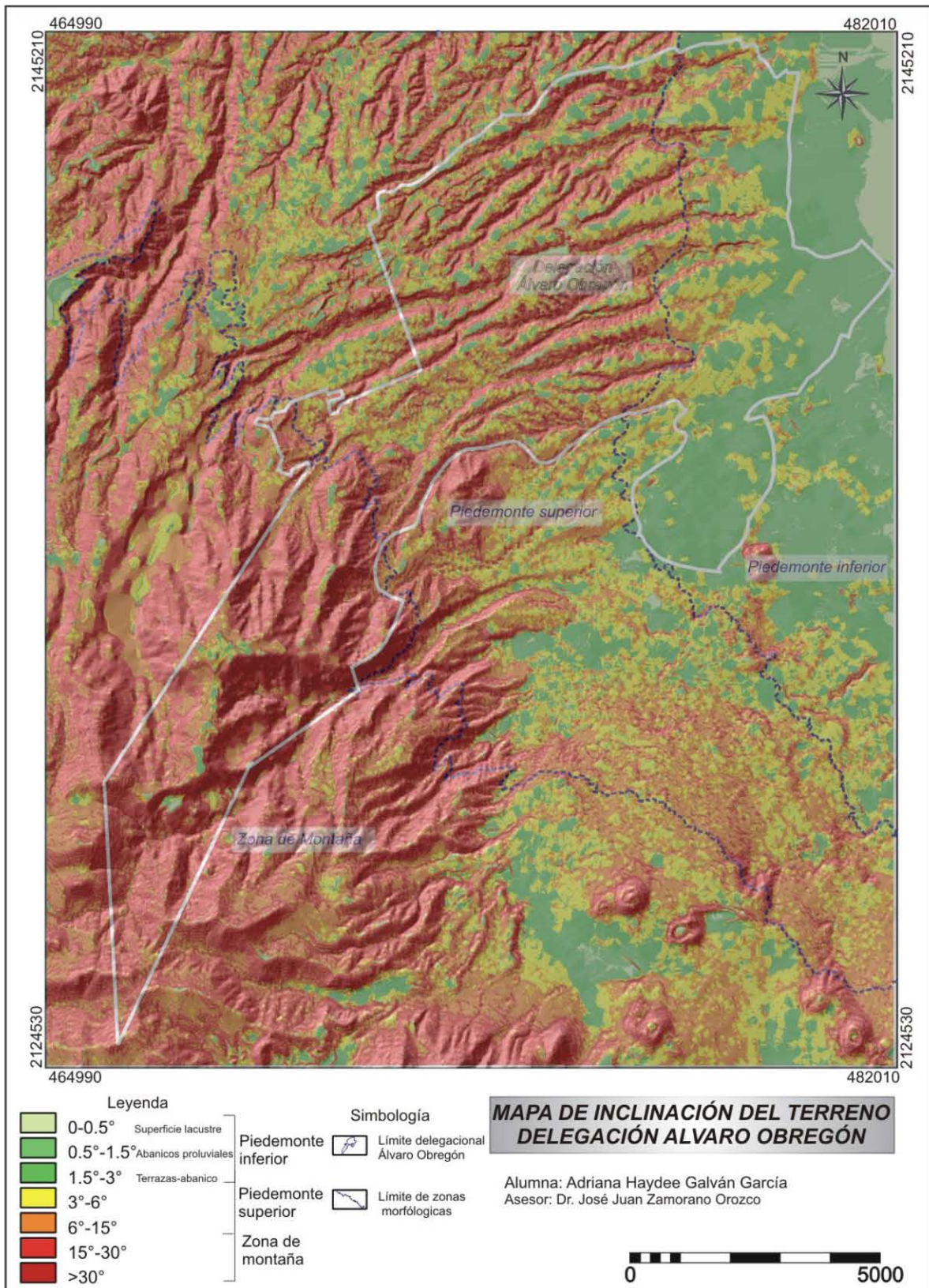


Figura 13. Mapa de inclinación del terreno, los rangos son correspondientes con las regiones morfológicas establecidas en el mapa altimétrico (Fig. 11).

Para la interpretación y análisis de este mapa fue necesario agrupar los valores, respetando las unidades mayores del relieve, de esta manera los valores de inclinación del terreno, para cada categoría quedaron representados de la siguiente manera (Fig. 14).

RANGO	INTERVALO DE PENDIENTE		UNIDADES DE RELIEVE
	DE	A	
VALORES MÍNIMOS	0	6°	Piedemonte inferior
VALORES MEDIOS	6°	15°	Piedemonte superior
VALORES MÁXIMOS	>	15°	Zona montañosa

Figura 14. Se observa una clara correspondencia entre las inclinaciones del terreno y las unidades mayores del relieve, este hecho facilita que todos los valores se agrupen en mínimos medios y máximos.

### Valores mínimos

Este rango considera inclinaciones que van desde 0 a 6°; representa el 37.65 % de la zona de estudio y son característicos del piedemonte inferior. En este sector hacen evidente relieves acumulativos, en particular amplios abanicos proluviales y superficies ligeramente inclinadas o de transición hacia las planicies lacustres del centro de la Cuenca de México.

Estos valores también están presentes, en menor medida, en las cimas montañosas e interfluvios (largos y amplios), estos terrenos presentan una convexidad poco pronunciada o casi horizontal; esta morfología indica que los procesos de modelado, no han incidido en estos territorios. Por tanto, mantienen una superficie plana, continua y ligeramente inclinada.

---

La interpretación de fotografías aéreas reveló la existencia de formas de relieve asociadas a una dinámica erosivo acumulativa, que se hizo evidente al definir los siguientes rangos de inclinación: de 0 a 0.5°, esta representada la superficie lacustre de la Cuenca de México (extremo NE); de 0.5° a 1.5°, quedaron identificados los abanicos proluviales que constituyen la antigua rivera lacustre, en la actualidad este territorio se encuentran totalmente urbanizado. En el rango de 1.5° a 3° fue posible distinguir las terrazas-abanico, formas que se disponen en los flancos de las estructuras más recientes. Su existencia se interpreta como una redisección (o *retrabajamiento*) de una forma similar anterior, lo que ha dado como resultado un conjunto de desniveles que disminuyen en dirección al ápice.

### **Valores medios**

Esta categoría comprende las inclinaciones que van de los 6° a los 15° y representa un porcentaje mínimo en el territorio de la delegación: 28.65 %. Este rango es característico de valles fluviales asimétricos localizados, sin arreglo aparente, en el piedemonte superior. En este sentido, hay que comentar que del conjunto de vertientes definen la forma erosiva, la ladera con menos inclinación forma parte de este grupo.

Estos valores también caracterizan las laderas superiores que rodean las cimas, los interfluvios y circos de erosión fluvial; en todos los casos, las áreas con esta inclinación no son grandes superficies.

### **Valores máximos**

Este rango comprende inclinaciones > 15° de inclinación y representa el 33.70 % del área de estudio, en esta estimación esta contemplada la zona de montaña y la mayor parte de las laderas que integran los valles de los ríos Mixcoac, Becerra, Tacubaya y Magdalena.



---

Las laderas con fuerte inclinación, que integran la zona de montaña, son resultado de una historia volcánica compleja que se refleja en la existencia de potentes y variados depósitos volcánicos, cada uno de ellos con diferente competencia a la acción de los procesos fluviales y gravitacionales. Este hecho que favorece el modelado diferencial, que se reconoce por la existencia de frecuentes contrastes altitudinales en distancias horizontales muy cortas.

Por otro lado, la presencia de estructuras disyuntivas sumadas a las características ya mencionadas, favorecen la incisión vertical de los ríos y como consecuencia la existencia de terrenos abruptos.

Los valles fluviales, se presentan formas negativas del relieve y de manera clara en este rango, debido. Esta característica se observa en el mapa de pendientes (Fig. 13), donde las corrientes principales y sus afluentes mayores, rompen la continuidad del piedemonte con la presencia de por lo menos cinco barrancas amplias, de vertientes profundas y muy inclinadas. La evolución de estas formas del relieve fue favorecida por los contactos litológicos y por la actividad de las estructuras disyuntivas. Estos factores tienen relación ya que la presencia de estos favorece los procesos gravitacionales.

El mapa de inclinación del terreno es primordial para entender y poder analizar la génesis y dinámica del relieve de la zona de estudio. A partir de esta información fue posible realizar la zonificación de los procesos de ladera, así también se identifican las formas del relieve que se encuentran asociadas con la dinámica fluvial.

### **3.3 Mapa de densidad de la disección**

De acuerdo con Lugo (1991), el objetivo de este mapa es mostrar la intensidad de la erosión fluvial sobre un área determinada, de esta manera se hacen evidentes zonas con

---

mayor competencia a la erosión. Los datos obtenidos para su análisis se agruparon en tres categorías de valores (mínimos, medios y máximos). Cada una de ellas refleja un vínculo con la intensidad del proceso.

Los factores que condicionan la densidad de la disección se dividen en directos (tienen relación con el relieve) e indirectos (dependen de las condiciones climáticas). En el primer grupo, se considera el tipo de roca, la estructura geológica, la existencia y densidad de fracturas y fallas, inclinación del terreno, geometría (morfología) y compactación de los materiales. El segundo apartado hace referencia a la precipitación estacional (estación más húmeda del año) y extraordinaria (ciclones y frentes fríos).

El resultado fue un mapa de isocías con valores cada 0.5 km/Km<sup>2</sup>; para su interpretación, los datos se agruparon en los siguientes rangos; 0 a 3.5 km/Km<sup>2</sup> (mínimos), 3.5 a 7.0 km/Km<sup>2</sup> (medios) y 7.0 a 10 km/Km<sup>2</sup> (máximos) (Fig. 15).

El análisis de la información deja claro que las isocías (densidad de la disección), no tienen una clara relación con las unidades morfológicas de la figura 11. La explicación de este hecho, tiene relación con heterogeneidad de la litología, la edad de los diferentes sustratos y con su arreglo estructural. Por otro lado, la influencia antrópica tiene un papel importante ya que en este sector (poniente de la Ciudad de México), tiene desarrollo un continuo proceso de urbanización que modifica el relieve de manera radical; es decir, se pierde la morfología original.

### **Valores mínimos**

Son los del rango de 0 a 3.5 Km/km<sup>2</sup>, presentes en el 42 % de la superficie de estudio y se distribuyen en casi todo el piedemonte inferior. La falta de escurrimientos en este sector obedece al antiguo nivel de base local (Lago de Texcoco) y al entubamiento de ríos.

---

Estos valores también están presentes, en menor proporción, en el piedemonte superior y en la zona de montaña. En ambos casos, se asocian con superficies de lava reciente y llanos volcánicos (superficies piroclásticas subhorizontales).

### **Valores medios**

Representan el 54 % de la zona de estudio y comprenden un intervalo que varía de 3.5 a 7 km/km<sup>2</sup>. El arreglo espacial de los datos, se presenta continuo, tanto en la zona de montaña como en el piedemonte, sin importar, en apariencia, la diferencia genética entre estas dos regiones. La disección fluvial se ve favorecida por la acción del intemperismo y la erosión, además de las fracturas y fallas.

El piedemonte se ha formado a partir de la depositación de detritos tanto de acarreo (erosión), como de origen volcánico. En ambos casos, se trata de materiales poco consolidados. Esto se refleja en la existencia y desarrollo de numerosos ríos en esta unidad. La zona de montaña tiene esta misma característica; existencia de numerosos cauces, solo que en este caso el factor que favorece su desarrollo es la edad de los materiales, al ser más antiguos han estado expuestos a un proceso erosivo más largo, lo que ha permitido la integración de una red de drenaje densa y bien desarrollada.

### **Valores máximos**

Los intervalos más altos, de los 7 a los 10 km/km<sup>2</sup>, se presentan el 4 % de la zona de estudio y se reconocen en el piedemonte superior, en un sustrato detrítico muy inclinado que ha favorecido el desarrollo de una densa red de drenaje.

El mapa de densidad de la disección refleja la evolución del relieve a partir de procesos fluviales en un espacio y en un tiempo; este último factor, se hace evidente cuando el drenaje integra una densa red fluvial. De esta manera, el mapa permite inferir la edad relativa del relieve y de manera indirecta, estructuras disyuntivas.



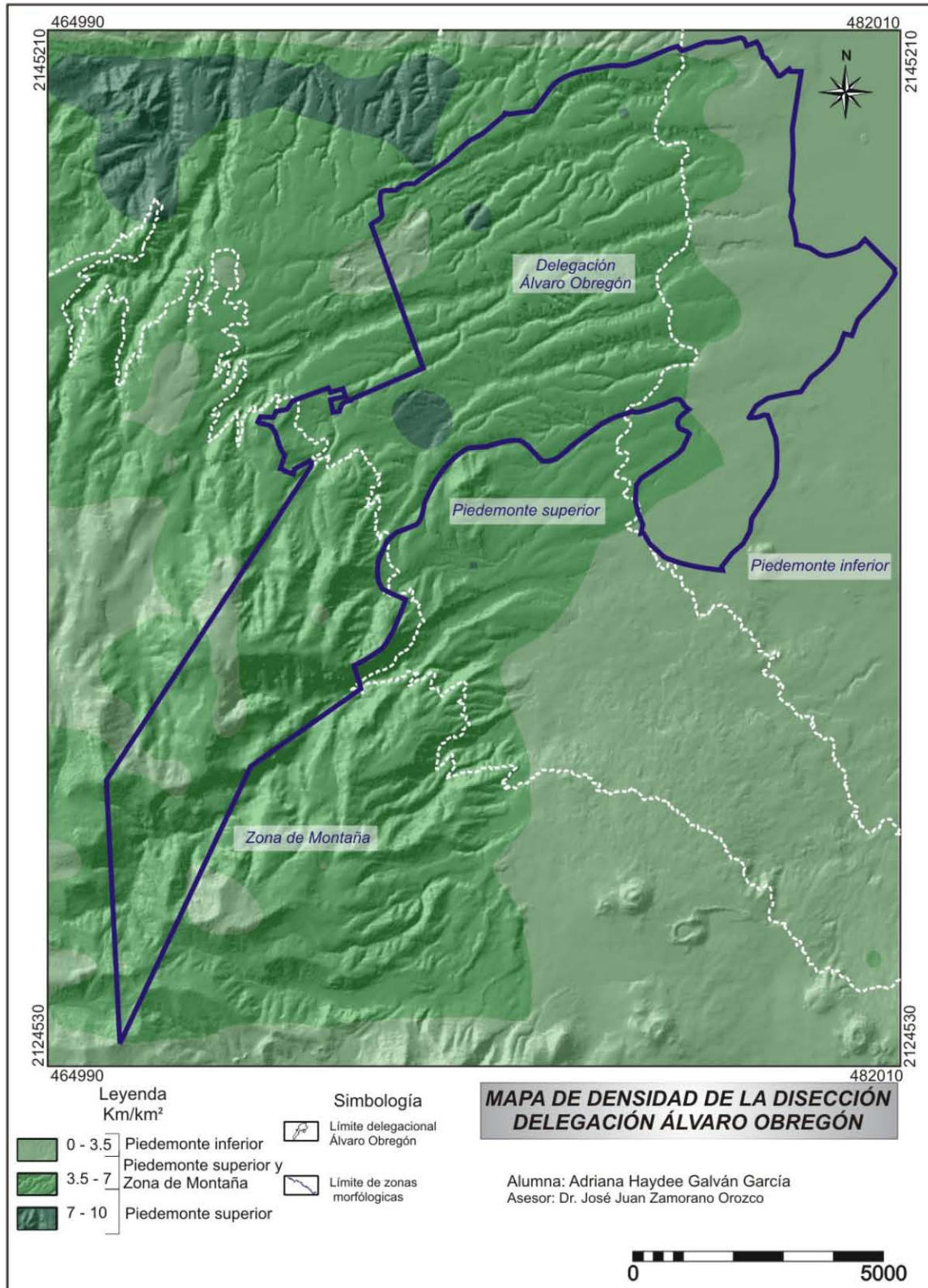


Figura 15. El mapa de densidad de la disección.

---

### **3.4 Mapa de profundidad de la disección**

La profundidad de disección es el reflejo de la acción erosiva, en la vertical, de una corriente fluvial. Entre los factores que condicionan este proceso esta la existencia de estructuras disyuntivas, contactos geológicos o geomorfológicos, la competencia a la erosión del sustrato, la inclinación de terreno y la distancia del escurrimiento respecto a su nivel base.

Los valores obtenidos se agruparon de la misma forma que en los casos anteriores, para esto se usaron los criterios ya mencionados. La interpretación es la siguiente:

#### **Valores mínimos**

Esta categoría está representada por un rango de < 10 m de profundidad y representa el 31 % de la zona de estudio (Fig. 16). Es característico del piedemonte inferior y del sureste del superior. El decremento de la profundidad se explica por la cercanía del nivel de base local; el del lago de la Cuenca de México.

El extremo sureste del piedemonte superior también presenta valores bajos, este hecho tiene dos explicaciones. Una parte de este sector, corresponde a la región proximal (ápices) de amplios abanicos proluviales, en donde la inclinación del terreno no favorece la erosión vertical. El segundo caso las lavas del volcán Xitle, favorecen la infiltración sobre el escurrimiento. Estas superficies se encuentran fuera de la zona de estudio.

#### **Valores medios**

Este rango comprende de los 10 a los 20 m de profundidad; es característico de la zona de montaña y del piedemonte superior, y representa el 59 % del territorio. Si bien la zona de

---

montaña está constituida de rocas en general compacta, la erosión vertical, aprovecha las fracturas, fallas y contactos litológicos.

El piedemonte superior está constituido por detritos de diferente origen y susceptibles a la erosión, esta característica cobra importancia cuando existen estructuras disyuntivas tan claras, que son capaces de condicionar el diseño en planta de los principales escurrimientos. Con estos argumentos se explican los valores de profundidad de la disección que existen en este sector de la rampa acumulativa.

### **Valores máximos**

Esta categoría representa el 10 % de la zona de estudio, agrupa valores entre 30 y 40 m y se reconocen cinco áreas distintas (Fig. 16). La menor se localiza en el extremo SW de la zona de montaña, las restantes, se ubican a lo largo del piedemonte superior

Los valores altos se explican por el sustrato rocoso o detrítico y debilitado por fracturas. Estas características al ser muy particulares, son dispersas y no presentan continuidad. Por último hay que mencionar, que en la zona de montaña, la inclinación del terreno es un condicionante que debe de tomarse en cuenta, ya que favorece que los ríos crezcan en la vertical.

El mapa de profundidad de la disección hace evidente la relación entre las fallas (su arreglo espacial), los procesos erosivos y acumulativos. De manera particular y para el primer caso, el crecimiento en la vertical de los valles y su vínculo con la existencia de procesos gravitacionales (desarrollo en la horizontal del valle).

El segundo caso hace referencia a la sedimentación, proceso que se hace evidente en la medida que la inclinación del terreno disminuye y los escurrimientos se acercan a un nivel de base local, que en este caso es la parta más deprimida de la Cuenca de México.

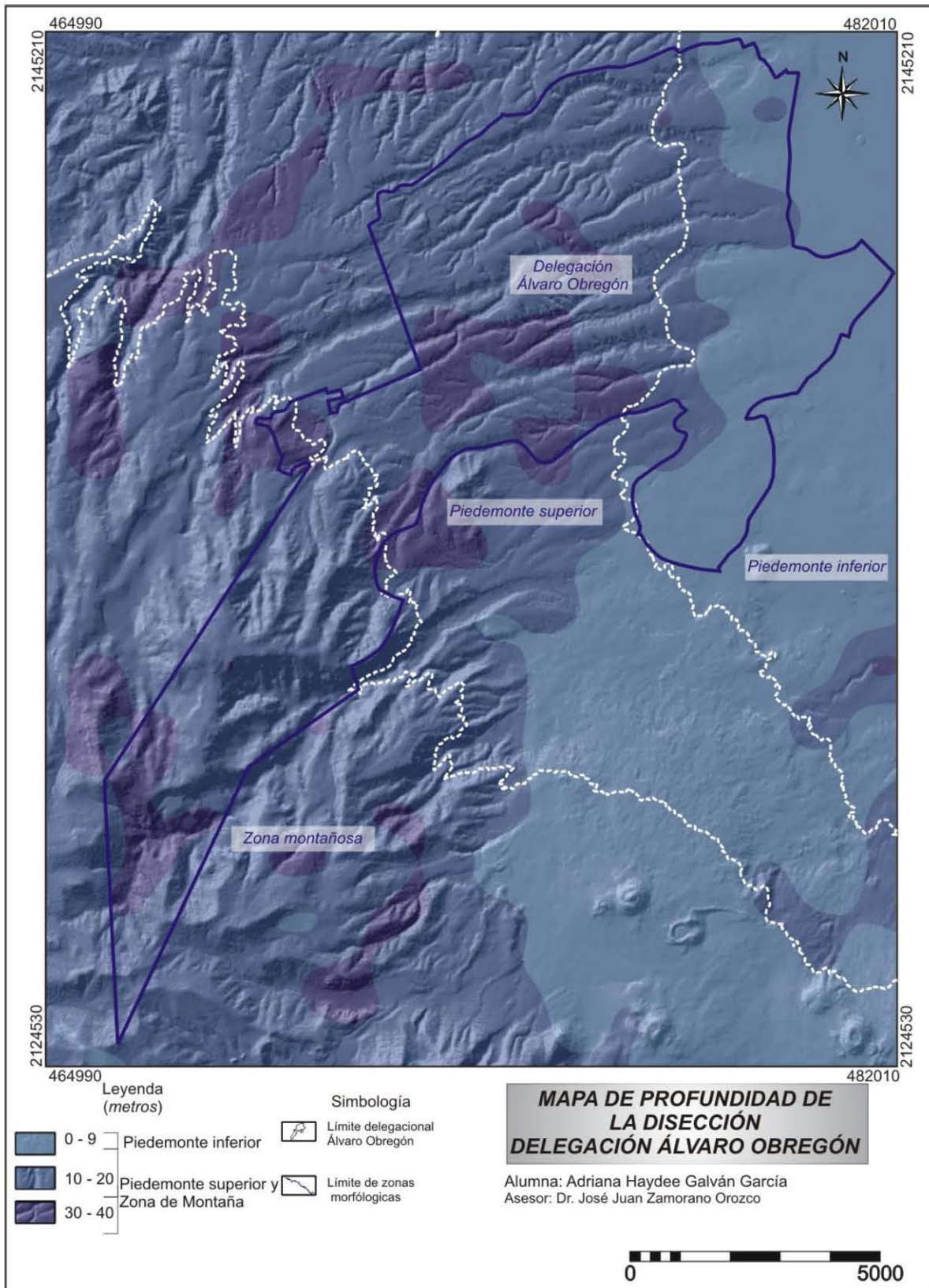


Figura 16. Mapa de profundidad de la disección.



---

### 3.5 Mapa de energía del relieve

La energía del relieve es un indicador comparativo entre la actividad endógena y exógena; si bien, el mapa de la energía del relieve muestra los desniveles de altura en áreas de igual tamaño, la interacción de procesos endógenos y exógenos no se visualiza de manera directa, más el análisis integral de la cartografía, pone evidencia áreas potenciales y susceptibles a magnificar procesos fluviales y gravitacionales (Fig. 17)

Este índice morfométrico, por sí mismo, no es suficiente para explicar la ocurrencia de los procesos gravitacionales, ya que existen numerosos factores que los generan. Entre los más importantes está el tipo de roca, las estructuras disyuntivas, intemperismo y la inclinación del terreno, fallas activas, los sismos, etc. Por lo anterior, se hace necesaria la aplicación y el análisis de otros métodos para el estudio de la dinámica del relieve. La energía del relieve es un factor integrador de la disección en planta y la disección vertical, junto a la pendiente (Díaz, 2002).

#### Valores mínimos

Esta categoría agrupa diferencias de altura relativa menores a 150 m y ocupa 55% del área de estudio. Se presenta en la mayor parte de la rampa acumulativa (inferior y superior); al NE, caracteriza terrenos subhorizontales (estribaciones de superficie lacustre de la Cuenca de México) y superficies ligeramente inclinadas que corresponden al piedemonte inferior (abanicos proluviales coalescentes).

El carácter exógeno-acumulativo del piedemonte no permite la existencia de desniveles topográficos marcados; en conjunto la altitud (2 600 msnm, valor promedio) (Fig. 11), se explica a partir de un aumento progresivo de la inclinación del terreno, hasta alcanzar los 15° de pendiente (Fig. 13).

---

## **Valores medios**

El rango comprende desde los 150 a los 350 m de altura relativa, representa el 40 % del territorio de estudio y se localizan en la zona de montaña, casi en su totalidad. El piedemonte superior, también presenta estos valores en una zona angosta y alargada que forma parte de su frontera SW. En la zona de montaña estos valores caracterizan estructuras volcánicas complejas, edificios menores, laderas y coladas de lava. Con la existencia de este relieve se explica el incremento de los valores, la continua acumulación de productos volcánicos, que se han apilado, como resultado de distintas épocas de actividad (además que se sobrepone a un relieve anterior), favorecieron la existencia de los desniveles altitudinales.

Los valores medios que se localizan en el piedemonte superior (extremo SW), ocupan la porción más inclinada de toda la estructura ( $15^{\circ}$  aproximados); en este territorio se localizan los ápices o antiguos focos de distribución de detritos, que fueron los responsables de formar la extensa rampa acumulativa. Estos índices se vinculan con la existencia de un terreno inclinado o de un manto de detritos de poco espesor, que sobreyace a un relieve preexistente accidentado.

## **Valores máximos**

Esta categoría refleja diferencias de altura relativa desde los 350 a los 550 m y representan el 5 % de la zona de estudio. Se presenta, a manera de alvéolos, sin arreglo aparente sobre la zona de montaña. Se explica por un relieve volcánico heterogéneo, tanto en edad como en composición, que favoreció desniveles topográficos, a partir de la sobreposición de variados materiales volcánicos. Los valores altos pueden explicarse de dos maneras, por acumulación volcánica y por la disección vertical. La importancia de este mapa radica en su comparación con los otros mapas morfométricos que se han realizado. Representa un elemento más para la identificación y zonificación de los procesos exógenos que se explican en el siguiente apartado.

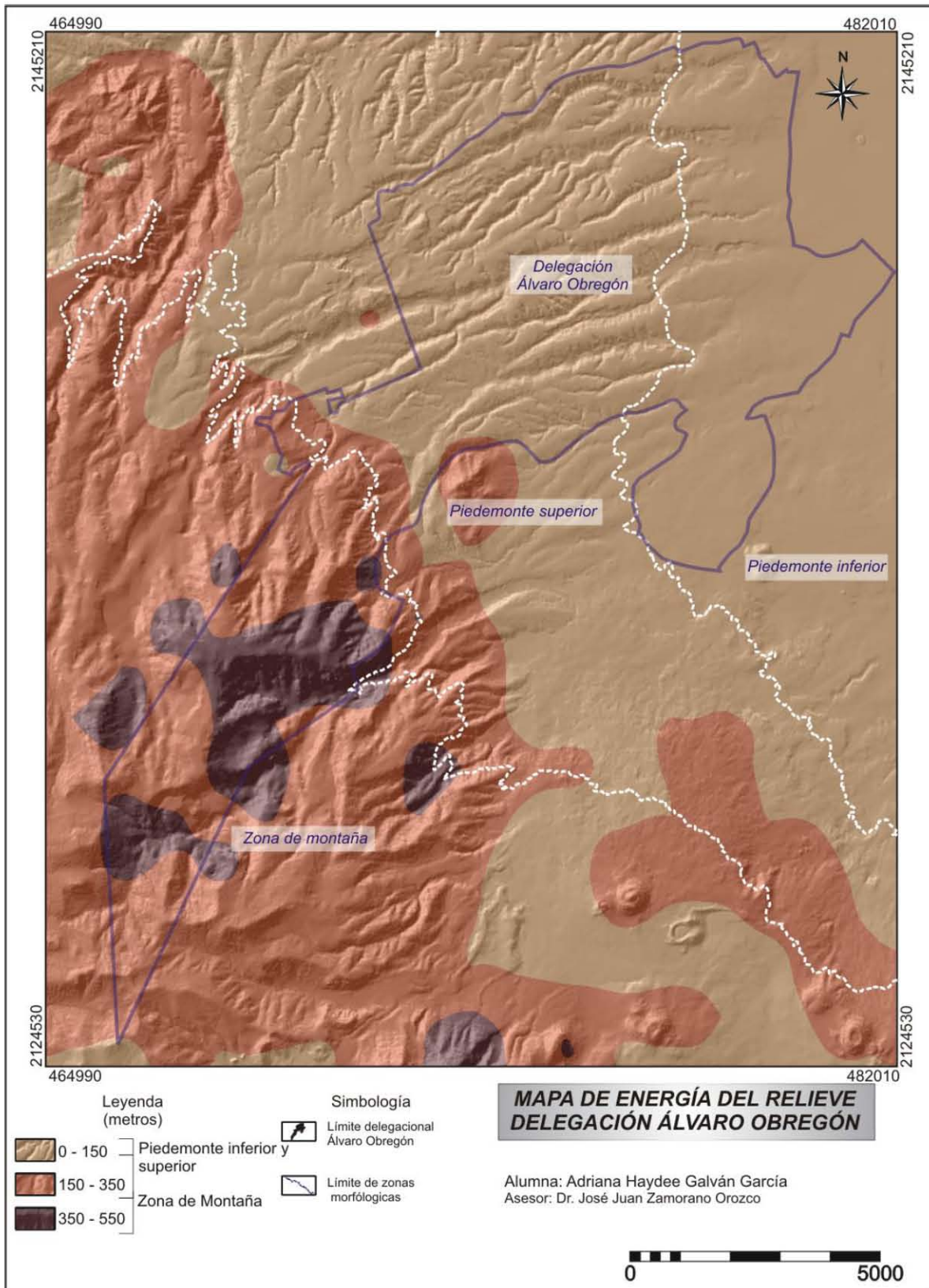


Figura 17. Mapa de energía del relieve.

---

### **3.6 Mapa de zonificación de procesos de remoción en masa, con base en valores morfométricos.**

La evaluación de amenazas naturales, especialmente lo que respecta a procesos de ladera, constituye un tema de educación y política ambiental en México, actualmente, en las zonas montañosas, la supervisión de laderas inestables debería ser primordial para las autoridades, ya que es un objetivo fundamental en la gestión de riesgos.

La zonificación de procesos exógenos permitió dirigir el trabajo de campo hacia lugares vinculados con la remoción en masa y a su vez la interpretación de fotografías aéreas, fue útil en la búsqueda de rasgos morfológicos que pusieran en evidencia la dinámica en cuestión.

#### **Asociación de la morfometría con los procesos de ladera**

En este apartado se explica la distribución espacial de los índices morfométricos más elevados y su relación con el relieve, de manera específica con escarpes (tanto de erosión como de falla), laderas de montaña y de valles fluviales. La zona de estudio quedó dividida en las siguientes categorías (Fig. 18):

#### **Máxima susceptibilidad de ocurrencia**

Este terreno fue considerado como el más susceptible a desarrollar procesos gravitacionales, debido a que en estos territorios se intersectan (los valores más elevados) cuatro de cinco factores morfométricos analizados, y tienen relación directa con la dinámica de laderas (pendiente, densidad de la disección, profundidad de la disección y energía del relieve). Estas superficies representan una extensión aproximada de 53 126 Km<sup>2</sup> (15 % del área de estudio) y coinciden con las laderas de los principales valles



---

fluviales, con inclinación mayor a  $30^{\circ}$  y hasta 40 m de altura, estas características las hacen susceptibles a presentar movimientos de ladera.

En este estudio se analiza la susceptibilidad del territorio a presentar procesos de ladera, para ello se toman en cuenta factores geomorfológicos por tanto hay que considerar otros elementos como: la lluvia extraordinaria, la actividad sísmica, el uso y manejo indebido del territorio, así como la construcción de obras de infraestructura y vivienda, pueden ser un factor catalizador de la dinámica de las laderas.

### **Ocurrencia frecuente**

Los territorios comprendidos en esta categoría presentan características similares a las del inciso anterior; se trata de laderas de valles fluviales con menor inclinación ( $15^{\circ}$  a  $30^{\circ}$ ) y altura de 20 m. Si bien en estas áreas existen las condiciones morfológicas y estructurales para la ocurrencia de procesos de ladera, solo falta un agente detonador como las lluvias extraordinarias que se asocian a la temporada de ciclones. Estas áreas suman una extensión de  $106\,974\text{ km}^2$  aproximados y representan el 30 % del área de estudio.

### **Estabilidad aparente**

En estos territorios las condiciones morfológicas y estructurales para la ocurrencia de procesos de ladera, no son claras o están disimuladas por la cubierta urbana de la creciente Ciudad de México. Predominan las laderas convexo-rectas, y son parte de la porción cumbre de la zona montañosa o de los interfluvios en el piedemonte; suman un área de  $192\,459\text{ km}^2$ , lo que representa el 55 % del territorio en estudio.

La integración de mapas morfométricos, permitió una caracterización de unidades morfológicas y, en algunos casos, formas del relieve específicas. La zonificación de procesos exógenos que se obtuvo fue validada en campo. El mapa de síntesis (Fig. 18) es

---

resultado de un análisis que será confrontado con la cartografía geomorfológica, con el objetivo de lograr una interpretación morfodinámica y de peligros.

La morfometría es una posibilidad de análisis del territorio, los resultados son valiosos, pero no hay que olvidar que se trata de una fuente indirecta y que sin una interpretación geomorfológica estricta, no pueden tomarse como válidos.

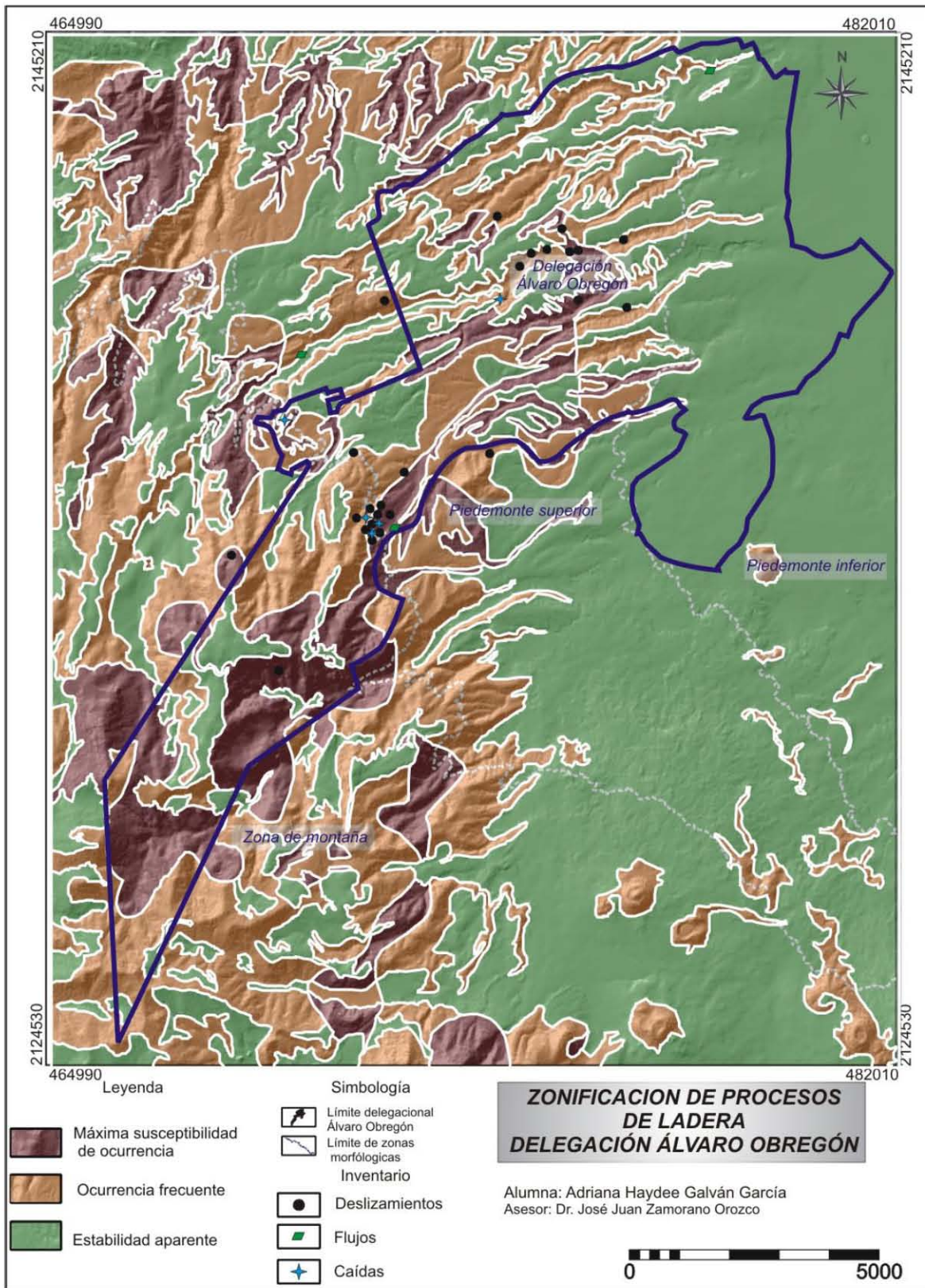


Figura 18. Zonificación de procesos de ladera con base en valores morfométricos.

---

## **CAPITULO IV. GEOMORFOLOGÍA**

### **4.1 La clasificación del relieve.**

A continuación se presenta la leyenda del mapa geomorfológico, en donde se clasifica el relieve en orden jerárquico, se analiza cada uno de los apartados y se desglosa a continuación:

#### **I RELIEVE ENDÓGENO**

##### *VOLCÁNICO ACUMULATIVO*

#### 1.1 Edificios Volcánicos

- a) Volcán de Lava
- b) Domo
- c) Volcán Cinerítico
- d) Caldera: San Miguel

#### 1.2 Coladas de lava asociadas a:

- a) Sierra de las Cruces
- b) Complejo Ajusco
- c) Chichinautzin
  - c1. Volcán Cuatzontle
  - c2. Volcán La Magdalena
  - c3. Volcán Yololica
  - c4. Volcán Xitle

#### 1.3 Centro de emisión parcialmente sepultados

#### 1.4. Llanos volcánicos

#### 1.5. Frentes de lava

---

## **II RELIEVE ENDÓGENO MODELADO**

### **VOLCÁNICO EROSIVO**

- 2.1 Laderas de montaña de origen volcánico modeladas por la acción fluvial.
- 2.2 Laderas de montaña de origen volcánico modeladas por la acción fluvioglacial:  
Complejo Ajusco.
- 2.3 Edificio volcánico erosionado y/o parcialmente sepultado

### *SÍMBOLOS ASOCIADOS AL RELIEVE VOLCÁNICO*

- a) Cráter cerrado
- b) Cráter abierto o en herradura
- c) Cráter discontinuo
- d) Vents o bocas eruptivas
- e) Laderas interiores de cráter (atrio)
- f) Fondo de cráter
- g) Estructura de geometrías convexas

## **III RELIEVE EXÓGENO**

### *EROSIVO FLUVIAL*

- 3.1 Valles principales (profundidad > a 10 y < a 20 m)
- 3.2 Valles afluentes o secundarios (profundidad < a 10 m)
- 3.3 Valles (profundidad > a 20 m)
- 3.4 Circos inactivos
- 3.5 Escarpes fluviales

## **IV ACUMULATIVO FLUVIAL**

- 4.1 Abanicos Aluviales
- 4.2 Valles amplios de fondo plano

---

## **V EROSIVO GLACIAL**

5.1 Circo inactivo

5.2 Fondos sobreexcavados de antiguos valles glaciares

## **VI ACUMULATIVO GLACIAL**

6.1 Rampa fluvioglacial

6.2 Morrenas laterales

6.3 Cresta morrénica

## **VII RELIEVE ANTRÓPICO**

7.1 Superficies transformadas: urbanizaciones y minas a cielo abierto

7.2 Cauces urbanizados

7.3 Laderas de fuerte inclinación, densamente pobladas (laderas de barrancos)

## *SÍMBOLOS COMPLEMENTARIOS*

a) Nivel altitudinal relativo entre lavas

b) Contactos

b1. Reales

b2. Inferidos

b3. Diferido

## **I RELIEVE ENDÓGENO**

Comprende las formas de relieve que han sido originadas por procesos tectónicos, magmáticos intrusivos y volcánicos; estos últimos presentan una variedad de morfologías muy amplia en la zona de estudio.

---

## VOLCÁNICO ACUMULATIVO

En este apartado, se analiza la presencia de volcanes (de escoria y lavas), calderas, domos, coladas de lava y otras formas de relieve derivadas de esta actividad.

### 1.1 Edificios Volcánicos

#### a) Volcán de Lava

Son estructuras constituidas por potentes secuencias de lavas de composición básica e intermedia, es decir andesitas basálticas hasta dacitas. Se cartografiaron 27 volcanes de lava, todos ellas forman parte de la Sierra de las Cruces (extremo W de la zona de estudio). El emplazamiento de estas estructuras ocurre en diferentes tiempos, lo que se deduce por un mejor desarrollo de la red fluvial; es decir, se alcanza una mayor integración de cauces en las estructuras más antiguas. La altura relativa de estos volcanes presenta un rango muy amplio, de 40 a 230 m, mientras el eje mayor varía de 500 m a 4.5 Km.

#### b) Domo

Se caracterizan por ser edificios de dimensiones menores respecto a la unidad anterior, se asocian a lavas con una alta viscosidad y baja temperatura, lo que hace que su reología sea diferente a las lavas menos viscosas. En particular los domos identificados, son de tipo endógeno; es decir, presentan una relación altura-longitud elevada. Lo que indica una composición ácida posiblemente riodacítica que se vincula con un volcanismo poligenético (estratovolcanes y calderas). En la zona se reconocieron 20 estructuras de este tipo y se encuentran en conjunto, aislados o anidados. Los domos no presentan un arreglo aparente, pero es notoria su ausencia en el sector NE. Una característica morfológica constante de estas estructuras es su forma convexa-asimétrica, lo que se explica a partir

---

de la emisión de lavas ligeramente menos viscosa y a su ubicación; es decir, si se dispone sobre un terreno con pendiente considerable, el domo se elongará a favor de la inclinación por la fuerza de gravedad, lo que define la simetría.

Los domos presentan alturas relativas, que van de los 40 hasta los 330 m y, en su mayoría, están constituidos por lavas riolíticas (Castillo, 2003). La base de estas estructuras tiende a ser un semicírculo, en donde se pueden distinguir el eje mayor y el menor. Los datos extremos en el primer caso, varían de los 280 m a 1.3 km, y para el segundo, la longitud va de los 180 m a 850 m, datos aproximados en todos los casos.

La morfología de los domos no es homogénea, algunos presentan barrancos incipientes < a 10 m de profundidad y configuración radial, algunos alcanzan los 40 m. Esta expresión permite asociarlas con un tiempo mayor de exposición a los agentes erosivos fluviales, por tanto poseen un drenaje más integrado. En el caso de los domos volcánicos, el proceso erosivo no ha logrado borrar su forma original.

Otros domos, en el extremo SW del terreno presentan un incipiente modelado glacial, lo que se reconoce en laderas suavizadas, pulidas con estrías e incluso cubiertas con un ligero manto de detritos morrénicos.

### c) Volcán Cinerítico

Son el resultado de la acumulación de ceniza, lapillí y bloques con texturas escoráceas que se acumulan alrededor de un punto de emisión. La actividad que los origina es típicamente estromboleana a vulcaneana; es decir, de baja intensidad y menor dispersión (de los materiales). La composición de estas estructuras se asocian al volcanismo básico: desde basalto hasta andesitas. En el territorio existen nueve volcanes cineríticos, todos ellos con cráter abierto y de morfología simétrica; se localizan en el extremo S y SE.



---

#### d) Caldera San Miguel

Es resultado de una actividad volcánica de gran intensidad, se reconoce como una estructura de dimensión y explosividad mayor. Su morfología se puede definir como una depresión entre circular-elíptica, en donde la parte central esta deprimida.

La caldera de San Miguel es la unidad más antigua de la Sierra de las Cruces, se localiza en el sector sur poniente de la Cuenca de México. Por los rasgos que presenta, se infiere que se trata de dos estructuras que se sobreponen, al estar manteadas por las Formaciones Tarango, Chichinautzin y algunas unidades del Complejo San Miguel-Contreras, se hace difícil su delimitación, no obstante, su gran tamaño, 3.7 km de diámetro.

En su génesis han participado dos procesos, por un lado hay evidencias de un vaciado de la cámara magmática, y por otro, actividad freatomagmática (Castillo, 2003). Esto último se deduce por localizarse en una planicie lacustre, donde el manto freático es somero. Una vez concluido el evento explosivo, se genera una resurgencia de material magmático, a través de diversos focos de emisión (domos y estratovolcanes), que se emplazan al centro y en los bordes del edificio actual.

Las laderas interiores del cráter presentan una inclinación  $>$  a los  $30^\circ$ , mientras las exteriores favorecen el desarrollo de un drenaje subparalelo, que no sobrepasa los 20 m de profundidad de disección, su altitud promedio es de 3 400 msnm.

#### 1.2 Coladas de lava.

Representan la actividad efusiva asociada a un foco emisor (volcán cinerítico o de lava), su emplazamiento evidencia las morfologías negativas del relieve antecedente. La longitud de las coladas identificadas alcanzó un máximo de 6.5 Km y una amplitud de 500 m. Algunas muestran una morfología fresca, en donde las señales de flujo permanecen (levées y crestas de compresión). De acuerdo con los resultados morfométricos (espesor,

---

longitud, anchura), la composición de estas coladas varía de andesita-basáltica a dacitas. En la región, se han diferenciado cinco grupos principales de coladas de lava, cada uno se asocia con un centro emisor y sus características son las siguientes:

a) Sierra de las Cruces

Las lavas de este grupo tienen una amplia distribución, todas ellas se encuentran manteadas por distintos tipos de materiales piroclásticos o parcialmente sepultadas por otras lavas. Los flujos de este grupo no son recientes, se asocian con las fases tempranas de formación de la Sierra de las Cruces (García-Palomo *et al.*, 2008).

La morfología característica de este grupo de lavas es de superficies ligeramente onduladas, que de manera gradual alcanzan los 6° de inclinación. Los flujos de lava son elongados y, en algunos casos, presentan fronteras escarpadas, su rango longitudinal varía entre los 700 a 6.5 km de longitud y su anchura es de 0.5 a 2.1 km.

Los desniveles topográficos y las irregularidades que son características de estas formas, están cubiertas por potentes acumulaciones de piroclastos, ocurridos en distintas épocas. La actividad fluvial es la responsable de la expresión actual, definen sistemas de barrancos que se disponen de manera paralela y subparalela. Los valles más profundos llegan a tener hasta 40 m y evidencian las fronteras entre flujos.

b) Complejo Ajusco

El foco emisor de este complejo se localiza al centro-oeste de la zona de estudio, se constituye de flujos alargados que no presentan una continuidad, debido a desniveles topográficos muy marcados, las cubiertas de piroclastos que existen sobre ellas no permite asegurar la existencia de fallas.

---

Gutiérrez (2005) menciona que la mayoría de las lavas que componen este grupo se formaron en el Mioceno, como resultado de una intensa actividad volcánica de variada composición. Al término de este periodo, el vulcanismo tuvo un decremento significativo y es en ese momento que el límite oeste-suroeste de la Cuenca de México, queda definido y se mantiene con pocas modificaciones hasta nuestros días.

### c) Chichinautzin

La Sierra del Chichinautzin es resultado de una intensa actividad volcánica (de composición andesítico-basáltica) que cierra el antiguo valle de México, por el sur, e interrumpe un sistema fluvial que era parte del río Amacuzac. Los ríos Cuautla y Cuernavaca eran parte de la cuenca alta del sistema ya mencionado (Mooser, 1975).

En los últimos 700 000 años la actividad volcánica en la Sierra de Chichinautzin, se ha caracterizado por eventos cortos y locales (De Cserna *et al.*, 1988). Algunas de estas estructuras (conos de escoria) han emitido importantes volúmenes de lava, los que tienen relación con la zona de estudio son los siguientes:

#### c1. Volcán Cuatzontle o Conejo

Se trata de una de las bocas del volcán Xitle de hace aproximadamente 2 000 años (Delgado-Granados *et al.*, 1998), que se dirigieron al NE. Los rasgos de estas estructuras no son visibles, debido a la urbanización, sólo es posible, distinguir desniveles (escarpes posiblemente) que en conjunto definen un superficie ondulada.

#### c2. Volcán La Magdalena

Se localiza en el extremo sureste del mapa geomorfológico (anexo), es un cono de lava que no presenta cráter; las coladas asociadas a este foco eruptivo presentan un espesor

---

que varía entre los cinco y los cincuenta metros. En la superficie es posible observar estructuras primarias y frentes de poca altura. Estos se presentan como desniveles sin un arreglo aparente; algunos están manteados por piroclastos de poco espesor, que suavizan su morfología.

### c3. Volcán Yololica

En este caso, las coladas de lava están intercaladas o manteadas por flujos piroclásticos. El campo de lavas en conjunto es muy irregular, con numerosas depresiones semicirculares u ovoides de variada profundidad, formadas por una liberación violenta de volátiles; la composición de la roca es intermedia.

### C4. Volcán Xitle

Las coladas de lava del Volcán Xitle se formaron en el Pleistoceno Tardío (basaltos y andesita-basalto); es decir, hace 720 000 años (Martín del Pozo, 1980), pero existen más recientes (~2,000 años AP:  $1\ 977 \pm 43$  años.) (Delgado-Granados *et al.*, 1998). Al respecto Siebe (2000) da la fecha de:  $1\ 670 \pm 35$  años.

El Xitle se localiza al sureste de la zona de estudio, sus depósitos se consideran producto de una actividad efusiva terminal y de baja viscosidad del magma (ver mapa geomorfológico anexo). Las coladas de lava crearon una variada morfología, que en algunos sectores, no puede observarse debido a la existencia de bosques densos o por las numerosas urbanizaciones que existen en este campo de lavas. Pero en los espacios libres fue posible reconocer lavas acordonadas, lavas vesiculares, falsos domos, túneles de lava y depresiones de colapso (por caída de bóvedas o liberación violenta de volátiles).

---

### 1.3 Centro de emisión parcialmente sepultado

Se trata de edificios volcánicos o domos que están parcialmente sepultados por lavas y diversos tipos de piroclastos; por consiguiente, resulta difícil hacer una caracterización de su morfología. El rasgo distintivo que se usó en su identificación, fue la desviación de las coladas de lava, que al fluir esquivaban el obstáculo. Las cubiertas de detritos volcánicos al ser de gran espesor, simplificaron la morfología de la estructura cubierta hasta lograr un montículo convexo simétrico.

### 1.4 Llanos volcánicos

Son depresiones que se forman entre flujos de lava o entre los límites de domos y volcanes, se rellenan por material piroclástico de caída (ceniza y pómez), que proviene de conos adyacentes. La morfología de estas superficies es subhorizontal, ligeramente inclinadas u ondulada; de menos de 5°. Se localizan al sur, en las cercanías del Volcán Cuatzontle y del Complejo Ajusco. En algunos casos, presentan mantos de detritos en su periferia, producto de acarreo fluviales o gravitacionales.

### 1.5 Frentes de lava

Se presentan en las porciones frontales y laterales de los flujos de lava que caracterizan de la Sierra de las Cruces, Complejo Ajusco, y Chichinautzin. Su inclinación varía entre los 30° y 45°. Su origen puede explicarse de las siguientes maneras:

- 1) Al cesar la emanación de material fundido, el flujo se detiene de forma súbita y no gradual.
- 2) Cuando el flujo experimenta un cambio en su velocidad, producto de un desnivel topográfico con pendiente considerable; esto ocasiona la ruptura de la porción superficial y origina escarpes.

- 
- 3) Por erosión remontante, donde se presentan caídas o vuelcos. Este proceso se ve favorecido por la disposición de las grietas de enfriamiento y el relieve pre existente.

## **II RELIEVE ENDÓGENO MODELADO**

En este apartado, se agrupan las formas relieves originadas por procesos endógenos, tectónicos, volcánicos que no conservan su morfología original como consecuencia de la transformación sustancial de la actividad exógena.

### **VOLCÁNICO EROSIVO**

Una vez que termina la actividad volcánica los relieves asociados no permanecen intactos por mucho tiempo, la erosión actúa de manera inmediata, lo transforma y crea otros relieves. En este caso, el proceso de modelado se asocia a factores exógenos, la edad, estructura y composición del sustrato rocoso, este último favorece la erosión diferencial.

La intensidad de la erosión varía de acuerdo con el tipo de sustrato, es más agresiva en depósitos detríticos no cementados (ceniza, pómez, lapilli, etc.) que en materiales compactos como las laderas de lava. En la zona de estudio existen relieves que han perdido su morfología original como consecuencia de un intenso modelado.

#### **2.1 Laderas de montaña de origen volcánico modeladas por la acción fluvial.**

Las geometrías predominantes son vertientes rectas y cóncavas; sobre ellas tiene desarrollo una intensa disección fluvial representada por una red densa de barrancos en un diseño subparalelo. El territorio presenta dos sectores representativos, al suroeste y en

---

la porción central. En el primer caso las laderas presentan una longitud de 260 m y su inclinación varía entre los 6° y 15°. El segundo caso es muy semejante en altura, pero no en inclinación. Donde la pendiente es mayor a 30°.

2.2 Laderas de montaña de origen volcánico modeladas por la acción fluvioglacial: Complejo Ajusco.

Este tipo de vertientes son características de la porción sur de la zona de estudio, en general presentan una inclinación entre los 15° a 30°, pero en algunos barrancos del sector alcanzan una pendiente mayor a 30°, estas superficies son modeladas por procesos fluviales, pero en el pasado no muy lejano fueron los fluvioglaciales.

2.3 Edificio volcánico erosionado y/o parcialmente sepultado

En la porción central de la zona de estudio, se reconocieron 7 estructuras con estas características, integradas al piedemonte. La evolución de esta rampa acumulativa es por erosión-depositación fluvial y caída de detritos volcánicos. El diámetro promedio es de 850 m y la altura desde su base entre 160 y 180 m. El drenaje se dispone en un patrón radial, donde los barrancos alcanzan profundidades que no exceden los 20 m.

### *SÍMBOLOS ASOCIADOS AL RELIEVE VOLCÁNICO*

a) Cráter cerrado

Siete volcanes localizados al sur de la zona de estudio presentan esta morfología en su cima. Es una depresión volcánica semicircular, frecuente en edificios volcánicos con actividad reciente. En todos los casos se observó un borde convexo como parte del cráter,

---

el labio, es efímero, ya que es muy sensible a la erosión, por lo que cuando se observa, afirma la juventud del volcán.

#### b) Cráter abierto o en herradura

Son depresiones abiertas hacia un flanco del edificio, se debe a emisiones constantes dirigidas, al colapso parcial de una ladera a procesos exógenos posvolcánicos. En la zona de estudio, se reconocieron 4 morfologías de este tipo en un volcán cinerítico y en tres de lava (por derrame continuo).

Este tipo de cimas son volcanes bien conservados, que presentan rasgos primarios frescos, no obstante, están sepultados de manera parcial por coladas lávicas y piroclastos pertenecientes a otros focos secundarios de emisión.

#### c) Cráter discontinuo

Existe un solo ejemplo de este tipo y se localiza en el sector oeste de la zona de estudio, una depresión elipsoidal segmentada, en donde el eje mayor es de un kilómetro y medio, mientras el menor alcanza uno; el volcán donde, tiene una altura de 110 m medidos desde su base.

Su origen se explica por erosión remontante (saltos de cabecera) que ha interrumpido o seccionado los bordes del cráter.

#### d) Vents o bocas eruptivas

La única forma de este tipo está asociada al volcán Xitle y se localiza al SE del mismo. Se encuentra a 2 960 msnm y corresponde a una segunda fase eruptiva de extensos y potentes flujos de lava de composición basalto-andesítica.



---

e) Laderas interiores de cráter (atrio)

Corresponde a las vertientes del cráter, puede ser cerrado o abierto.

f) Fondo de cráter

Se trata de superficies planas ligeramente onduladas, en el fondo del atrio. Pueden estar rodeadas por completo o abiertas en algún sector, su tamaño está en función de la estructura volcánica a la cual se asocia.

g) Estructuras de geometría convexa

Se trata de volcanes con cima convexa que emitieron lavas de composición intermedia a ácida, y fluyen desde el centro de emisión para ocupar los bordes inferiores del edificio hasta bordearlo. Los volcanes sin cráter pueden confundirse con domos volcánicos, la diferencia radica en que los primeros, por lo general, se presentan coladas más largas y complejas en su arreglo espacial. Al respecto, Ollier (1969) menciona que algunos volcanes basálticos no presentan signos de cráter (lava mounds o montículos de lava) y considera que se pueden originar, en parte por erosión y por la emanación de lava cercana al cráter.

En la zona que se estudia existen 41 estructuras distribuidas de manera heterogénea; su morfología es de cúpula simétrica con laderas suaves y redondeadas. La falta de cráter en la cima se ha interpretado como un relleno de lavas y piroclastos provenientes de otras fuentes, esta idea se fundamenta en el incipiente modelado que presentan las laderas.

Su origen se explica por procesos volcánicos, aunque también pueden ser exógenos. En el primer caso son erupciones efusivas tranquilas, de coladas de lava cortas y espesas que al sobreponerse (momentos antes de la solidificación) en torno al foco de emisión adquieren

---

un aspecto cupuliforme. De acuerdo con Ollier (1966) estas estructuras también suelen denominarse montículos de lava o volcanes cúpula.

En el caso de que estas formas se asocien a factores exógenos, debieron haber estado sometidas a una intensa denudación áreal que borró en su totalidad cualquier evidencia de cráter, esto refleja una posible evolución de una cima cóncava (cráter) a una convexa. En general, estas estructuras presentan diámetros que varían entre 400 m hasta 4 km; las alturas relativas están entre los 110 y 360 m (datos promedio).

### **III RELIEVE EXÓGENO**

En este apartado se analizan formas erosivas y acumulativas, resultado de los procesos exógenos; el inicio de esta dinámica se conoce como intemperismo o meteorización.

Los procesos exógenos en terrenos volcánicos son controlados por la litología, estructura, pendiente y condiciones climáticas locales. Los materiales más susceptibles a la erosión son los depósitos piroclásticos, poco cementados. Un caso contrario sucede con los flujos de lava, en donde la meteorización tiene un mayor desarrollo en las fracturas (de enfriamiento), que inicia a partir de una concentración de humedad e infiltración de agua de lluvia.

#### **EROSIVO FLUVIAL**

##### **3.1 Valles con afluentes o secundarios (profundidad < a 10 m)**

Los cauces secundarios son afluentes de los principales. En la época de crecida transportan un volumen considerable de sedimentos. Realizan una erosión intensa, lo que

---

se reconoce en numerosos saltos de cabecera que alcanzan la cima interfluvial. Definen un patrón dendrítico (Fig. 8).

### 3.2 Valles Principales (profundidad > a 10 y < a 20 m)

Con este término se nombra a la zona más deprimida dentro del valle o una llanura ocupada por un escurrimiento. El cauce principal concentra los escurrimientos de toda la cuenca.

La zona de montaña se caracteriza por tener un patrón fluvial dendrítico muy denso, en donde el cauce principal es un colector profundo (hasta 30 m), en el que descargan numerosos afluentes (Fig. 8).

En el piedemonte superior el drenaje presenta un arreglo dendrítico, con menor densidad de afluentes, no obstante, el sustrato es más resistente a la erosión. En los cauces principales se observan tramos rectos y largos, hecho que se explica por un control estructural: los ríos siguen líneas de debilidad (fracturas o fallas).

En el piedemonte inferior el drenaje se dispone de manera subparalela con numerosos afluentes de corta longitud, lo que favorece los interfluvios anchos. La mayoría de los valles de este sector presentan un fondo plano, a manera de llanura de inundación, que desaparece de manera gradual (al igual que los afluentes) antes de desembocar en la planicie de la Cuenca de México. Se forman abanicos proluviales que al sobreponerse definen una pequeña rampa. Hay que mencionar que la morfología que se ha descrito, es modificada de manera continúa por el crecimiento de la Ciudad de México hacia estos terrenos.

---

### 3.3 Valles (profundidad > a 20m)

Presentan un patrón combinado entre subdendrítico y subparalelo, controlado por la estructura geológica (disposición, acomodo de material y presencia o ausencia de estructuras disyuntivas).

Los barrancos presentan un patrón trellis, en el sector N-NW de la zona de estudio. Se dispone sobre depósitos poco resistentes y ligeramente inclinados, que cubren sistemas de fallas. De esta manera, se explica la constante en el rumbo de los escurrimientos y su disposición subparalela.

### 3.4 Circos inactivos

Se definen como depresiones cóncavas a manera, de anfiteatros, con laderas muy inclinadas, que ocupan algunas cabeceras de corrientes fluviales, a la erosión remontante por procesos gravitacionales y escorrentías que inciden en un canal principal. Es una morfología común en el sector central y suroeste de la zona de estudio.

Los circos inactivos no presentan rasgos de actividad reciente, las laderas son amplias y suaves, lo que ha permitido que la vegetación se desarrolle en los anfiteatros y en los cauces fluviales, estas condiciones indican un estado de equilibrio. Otro factor que ha influido en una aparente estabilización de estas superficies es la actividad antrópica que se reconoce en las modificaciones del terreno con fines agrícolas (terrazas para el cultivo).

### 3.5 Escarpes fluviales

Son cambios abruptos de inclinación del terreno, debida a procesos endógenos (frentes y flancos en coladas de lava) como exógenos, de origen erosivo fluvial-gravitacional. La

---

morfología es de vertientes de desplome, de altura variable y, en la mayoría de los casos, se vinculan con la dinámica de los ríos.

#### **IV. ACUMULATIVO FLUVIAL**

Las formas de este tipo de relieve se reconocen en las desembocaduras y áreas de desborde.

##### **4.1 Abanicos Aluviales**

De acuerdo con Derrau (1983), los abanicos aluviales se forman cuando la corriente fluvial reconoce un cambio de pendiente brusco, que ocasiona que el río deposite sus sedimentos, formando un medio cono recostado. En perfil transversal al eje mayor, presentan una geometría convexa. Su inclinación es de  $0.5^\circ$  a  $3^\circ$ , este rango está en función de la granulometría de los materiales que las componen.

El perfil longitudinal muestra una geometría cóncava o ligeramente cóncavo-convexa y la pendiente va disminuyendo progresivamente al alejarse del ápice, hasta hacerse mínimas en las zonas dístales. En la zona de estudio tienen desarrollo en el extremo NE y representan un relieve de transición hacia la planicie lacustre de la Cuenca de México.

##### **4.2 Valles amplios de fondo plano**

En la zona se reconocen cuatro relieves de este tipo, dos de ellos se encuentran en el extremo NW, otro al centro y el último al sur de la zona que se estudia. Su origen se vincula con la obturación parcial del valle (o total, en un pasado cercano) y por consiguiente la colmatación de los acarreos fluviales, y por tanto, fondos planos a manera de llanuras intermontanas.

---

## **V. EROSIVO GLACIAL**

### 5.1 Circo glacial inactivo

Los circos glaciales del mapa geomorfológico, se localizan en el centro sur, en la vertiente norte del volcán Ajusco; actualmente no están activos y han sido testigo de uno o varios estadios glaciales en el pasado.

### 5.2 Fondos sobreexcavados de antiguos valles glaciales

Los fondos de sobreexcavación se localizan al NE del volcán La Palma (caldera de San Miguel), y en general, al centro oeste de la zona de estudio. Este terreno representa el fondo de un circo glacial amplio, que se desarrolló antes de la formación de la caldera de San Miguel. Esto se deduce por la existencia de coladas y laderas volcánicas, que se disponen sobre esta superficie.

## **VI. ACUMULATIVO GLACIAL**

### 6.1 Rampa fluvioglacial

Esta forma de relieve ocupa el extremo centro-sur del mapa geomorfológico, se asocia al volcán Ajusco, se dispone en la base de la vertiente NE, con una inclinación menor a los 15°, su altura relativa es de 180 m y su altitud varía entre los 2 960 y los 3 130 msnm.

Consiste en materiales que formaron parte de morrenas de varios tipos, que fueron erosionadas por corrientes fluviales de deshielo. A lo largo del tiempo, este proceso favoreció la destrucción y transformación de los efímeros depósitos glaciales, localizados hoy en día en los valles del Águila y de Santo Tomás. La estructura en general está

---

constituida por detritos heterométricos, mal clasificados y soportados por una matriz arcillosa.

## 6.2 Morrenas laterales

Son acumulaciones de detritos rocosos, que fueron transportados y depositados por la acción glacial; se localizan al NE del volcán La Palma (caldera de San Miguel) y tienen un estrecho vínculo con los fondos sobreexcavados de antiguos valles glaciales (inciso 5.2). Las morrenas identificadas son de tipo lateral, asociadas a una dinámica glacial de valle o tipo alpino; su existencia evidencia las antiguas márgenes del glacial. Los materiales que las componen son heterogéneos en textura, en acomodo y en composición del material.

## 6.3 Cresta morrénica

Representa la parte cumbral de las morrenas laterales, se reconoce por un resalte o cresta de morfología variable (aguda o convexa). Esta forma de relieve es muy efímera, al estar constituida por detritos finos y sin consolidar, es muy susceptible a la erosión; por tanto, su existencia tiene que ver con la juventud de las morrenas.

# VII. RELIEVE ANTRÓPICO

## 7.1 Superficies transformadas: urbanización y minas a cielo abierto

Los relieves que han sufrido una transformación importante, se localizan al norte de la zona de estudio, en Santa Fe, en el sector oeste de la Ciudad de México. Estos terrenos fueron minas a cielo abierto. Esta práctica generó una drástica alteración, que vino acompañada por una intensa erosión fluvial y gravitacional.

---

Las construcciones, en algunos casos, han sido un catalizador en la generación de caídas, vuelcos, deslizamientos de tierra y flujos de lodo. Hay que hacer notar que este territorio ha sido afectado por hundimientos del terreno, asociados al colapso del techo de túneles (minas), que sirvieron para extraer material de construcción (pómez).

El período de mayor ocurrencia de procesos gravitacionales e inundaciones temporales, es la estación del año y la temporada de ciclones.

## 7.2 Cauces urbanizados

Se ubican esparcidos en toda la zona de estudio. El crecimiento urbano desmesurado se ha permitido expandido hacia zonas poco favorables para los pobladores, tal es así, que han invadido los cauces, afectando y generando cambios en la dinámica del río que pueden generar un peligro.

## 7.3 Laderas de fuerte inclinación densamente pobladas (laderas de barrancos).

Estas vertientes presentan una inclinación mayor a 30° y llega a alcanzar una altura de 70 m. La construcción de viviendas en estas superficies, favorece la inestabilidad de los taludes, lo que sumado al peso de las construcciones, la competencia del material a ser desplazado y a la acción del agua en el subsuelo, hace que el impacto de la remoción en masa sea más devastador.

## SÍMBOLOS COMPLEMENTARIOS

a) Nivel altitudinal relativo entre lavas.

b) Contactos



---

b1 Reales

b2 Inferidos

b3 Diferido

El análisis geomorfológico permitió integrar la información geológica, genética y morfológica, de una manera coherente, estructurada y con límites precisos, que ayudaron a un mejor entendimiento de las condiciones naturales de la zona de estudio, para poder determinar terrenos susceptibles a procesos de remoción en masa.

Con la información contenida en el mapa geomorfológico, se puede decir, que el relieve tiene un vínculo muy estrecho con la actividad volcánica de la cuenca de México y la acción erosiva fluvial, en general, se encuentra condicionada a las estructuras disyuntivas, el tipo y disposición de los materiales.

Los procesos volcánicos han originado laderas montañosas escarpadas y de altitud considerable, con numerosos edificios de morfología diversa, asimismo, el tipo de relieve volcánico se relaciona con erupciones de magmas intermedios a intermedios-ácidos que han dado lugar a la formación de volcanes de lava y domos con numerosas coladas de lava y depósitos piroclásticos; el volcanismo intermedio-básico, se encuentra en el extremo sur, corresponde al Grupo Chichinautzin y los volcanes que lo constituyen son, por lo general, los conos de escoria.

---

## **CAPÍTULO V.**

### **5.1 Susceptibilidad a procesos geomorfológicos peligrosos en la delegación Álvaro Obregón: remoción en masa.**

Los procesos gravitacionales se consideran un proceso geomorfológico que puede representar un peligro en el territorio. Su magnitud e impacto depende de condiciones geológicas, morfológicas y climáticas (exceso de lluvias); no obstante, no se puede pronosticar ni el período de ocurrencia y sitio específico de impacto.

El interés de estudiar peligros en México surge a partir de los sismos sucedidos en septiembre de 1985. Desde la fecha se mantiene el interés por temas relacionados con prevención y mitigación de desastres.

El vínculo estrecho entre el origen volcánico del sustrato, la morfología heterogénea y las características geográficas hacen que este territorio sea potencial a presentar procesos de remoción en masa. En este marco, la Delegación Álvaro Obregón, junto con la Secretaría de Protección Civil del Distrito Federal, dio a conocer el 24 de octubre de 2009 un diagnóstico, en el cual detectan ochocientos localidades en riesgo; de éstas, quinientas fueron catalogadas como de alto riesgo, mismas que coinciden con laderas escarpadas. De acuerdo con este informe el 70 % de la población que vive en la delegación, está amenazada por la dinámica de vertientes intensa; ejemplo de ello, es el deslizamiento ocurrido en septiembre de 2009 en una ladera, que representa el límite con la delegación Magdalena Contreras. En este evento fallecieron 3 personas (Fig. 19).

Los procesos de remoción en masa son fenómenos frecuentes que perturban, destruyen obras de infraestructura y afectan asentamientos humanos, en particular, los que se localizan en el poniente de la Ciudad de México.

---

De acuerdo con las características geográfico-geomorfológicas y la existencia de asentamientos humanos densos y en proceso de crecimiento, se justifica la elaboración de un mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, donde se muestre la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos mencionados.



Figura 19. La corona es una forma de relieve erosiva asociada a los deslizamientos. Este ejemplo es uno de muchos que tuvieron desarrollo en septiembre de 2009, en los límites con la Delegación Magdalena Contreras.

## **5.2 Conceptualización de los procesos de remoción en masa.**

La remoción en masa involucra movimiento de materiales formadores de las laderas bajo la influencia de la gravedad y sin la asistencia de un transporte fluido (Brunsden, 1979).

---

Por otro lado Cruden (1991), define el término deslizamiento como el movimiento de una masa de rocas, detritos o tierras hacia debajo de una ladera. Usualmente este término se utiliza en un sentido amplio y en él, se incluyen casi todas las variedades de movimiento en masa (caídas, vuelcos o flujos). Este hecho ha causado confusión en el quehacer geomorfológico mexicano, ya que el término en realidad es un tipo de movimiento por tanto no es correcto usarlo como sinónimo de procesos de ladera, gravitacionales o de remoción en masa.

El término movimiento en masa es el más preciso para designar genéricamente estos procesos, puesto que el calificativo, establece la diferencia con otros agentes en los que el transporte no es masivo (Brunsden, 1984). Para este estudio se utilizará el término procesos de remoción en masa; con esto se pretende diferenciar los tipos, mecanismos, material involucrado y dar una interpretación para cada uno de ellos, los criterios que se utilizan son los publicados por Alcántara (2000).

### **5.3 Clasificación**

La clasificación de los procesos de remoción en masa más aceptada y utilizada a nivel internacional, considera el mecanismo del movimiento y se dividen en: caídas o desprendimientos, vuelcos o desplomes, deslizamientos, expansiones laterales, flujos y movimientos complejos (Fig. 20). Este criterio es el que se utiliza en este trabajo, si bien las clasificaciones pueden ser equivocadas o no tienen consenso a nivel internacional, debido a que no son óptimas para todas las regiones, ya que poseen limitantes y dependen de las características del medio que se estudie.

Mecanismos de movimiento	Tipo de material involucrado		
	Tipo	Roca ( <i>rock</i> )	Derrubios ( <i>debris</i> )
Desprendimientos ( <i>fall</i> )	Caída o desprendimiento de rocas ( <i>rockfall</i> )	Caída o desprendimiento de derrubios ( <i>debris fall</i> )	Caída o desprendimiento de suelos ( <i>soil fall</i> )
Vuelco o desplome ( <i>Topple</i> )	Vuelco o desplome de rocas ( <i>rock topple</i> )	Vuelco o desplome de derrubios ( <i>debris topple</i> )	Vuelco o desplome de suelos ( <i>soil topple</i> )
Deslizamiento Translacional o de bloques-no rotacional ( <i>Translational slide, non-rotational</i> )	Individual ( <i>simple</i> ) Múltiple ( <i>multiple</i> ) Sucesivo ( <i>successive</i> )	Individual ( <i>simple</i> ) Múltiple ( <i>multiple</i> ) Sucesivo ( <i>successive</i> )	Individual ( <i>simple</i> ) Múltiple ( <i>multiple</i> ) Sucesivo ( <i>successive</i> )
Deslizamiento planar	Deslizamiento de rocas ( <i>rock slide</i> )	Deslizamiento de derrubios ( <i>debris slide</i> )	Deslizamiento translacional de suelos ( <i>slab slide</i> )
Flujos ( <i>flow</i> )	Flujos de rocas ( <i>Rock flow</i> )	Corrientes de derrubios ( <i>debris flow</i> )	Flujos de tierra, arena o suelos ( <i>soil flow</i> )
Expansión lateral ( <i>lateral spreading</i> )	Expansiones laterales En rocas ( <i>rock spreading</i> )	Expansiones laterales en derrubios ( <i>debris spread</i> )	Expansiones laterales en suelos ( <i>soil spreading</i> )
Complejo ( <i>complex</i> )	Ejemplo: Alud de rocas ( <i>rock avalanche</i> )	Ejemplo: flujo deslizante ( <i>flow slide</i> )	Ejemplo: Rotación con flujo de tierras ( <i>Slump-earthflow</i> )

Figura 20. En esta tabla se muestra la clasificación de los procesos de remoción en masa de acuerdo con los materiales formadores. Fuente: EPOCH (1993) a partir de la clasificación de Varnes (1978) y Hutchinson (1988). Tomado de Alcántara (2000).



---

## 5.4 Tipos de movimientos en la delegación Álvaro Obregón

### 5.4.1 Desprendimientos o caídas

Los desprendimientos se consideran un movimiento en caída libre, involucra materiales diversos como rocas, detritos y suelos. Su origen se vincula a laderas con fuerte inclinación en donde el material desprendido rebota, se desliza o rueda, para posteriormente quedar depositado al pie de la ladera (Fig. 21).



Figura 21. Se muestran distintos tipos de caídas, hay que mencionar que la inclinación de la ladera condiciona que el material rebote, ruede o se deslice (Servicio Geológico Metropolitano, 2005).

La forma de la superficie inicial de rotura puede ser planar, en cuña, escalonada o vertical (Flageollet y Weber, 1996). La velocidad de estos movimientos puede ser rápida o extremadamente rápida, a excepción de cuando la masa desplazada sufre socavamiento o incisión y el desprendimiento o caída es precedido por deslizamientos o vuelcos que separan el material desplazado de la masa intacta (Cruden y Varnes, 1996)

Se consideran como factores condicionantes a las discontinuidades en la masa rocosa, de esta manera se favorece la separación del material, ya que funcionan como planos de debilidad, en la zona de estudio este elemento está representado por un denso agrietamiento que ha sido resultado del enfriamiento de las lavas que conforman las laderas.

---

Las lluvias intensas también suelen constituir un importante factor desencadenante; en la delegación Álvaro Obregón, este fenómeno se presenta con una mayor intensidad en la temporada ciclónica, es decir de mayo a noviembre. En este periodo son frecuentes en el territorio de estudio este tipo de procesos de remoción en masa.

Otro mecanismo frecuente lo constituye la socavación de la margen inferior de las laderas, este fenómeno se conoce como zapa y está presente en todos los valles que mantienen un escurrimiento a lo largo de todo el año (Tacubaya, B Herrera, Magdalena, Tarango y Mixcoac).

Por último hay que mencionar que la sismicidad también puede provocar este tipo de fenómeno, la historia sísmica de la zona de estudio está vinculada a la de la Cuenca de México y a la región sismo-generadora conocida como trinchera mesoamericana.

#### **5.4.2 Deslizamientos**

Se consideran movimientos ladera abajo de una masa de suelo, detritos o roca que ocurren sobre una superficie de ruptura reconocible (Alcántara, 2000), la geometría de este plano, sirve para su diferenciación; si existen superficies con morfología cóncavas o en forma de cuchara se relacionan con un deslizamiento rotacional; las planas a los deslizamientos planares y las subhorizontales u onduladas se asocian a un deslizamiento translacional. En la delegación Álvaro obregón está presente solo el primero de los tipos de remoción en masa mencionados.

**5.4.2.1 Deslizamiento rotacional:** El desplazamiento sucede a lo largo de una superficie cóncava que es visible o puede reconocerse con dificultad (Fig. 22), este plano puede adoptar una forma circular o de cuchara y puede desarrollarse en sustratos rocosos fracturados en detritos y suelos (Fig. 23).

---

En la parte superior del deslizamiento los bloques se inclinan hacia atrás, mientras el escarpe principal por lo general es vertical. La masa desplazada se acumula ladera abajo, presentan un pequeño grado de deformación interna, hecho que lo distingue de los flujos (Buma y Van Asch, 1996). Después de iniciarse la ruptura la masa desplazada se agrieta y comienza a rotar para desintegrarse en varios bloques.

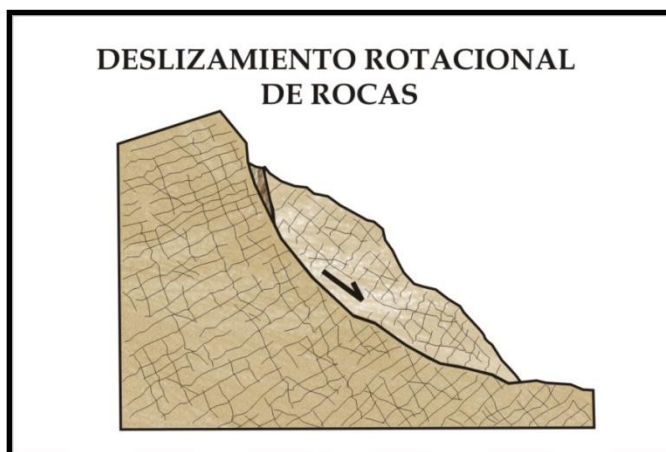


Figura 22. La superficie de ruptura en un deslizamiento es circular o en curva, esta área vista en planta presenta una morfología cóncava a manera de *cuchara* (Servicio Geológico Metropolitano, 2005).



Figura 23. El diagrama muestra la superficie de rotura y el movimiento de la masa deslizante (Almaguer y Guardado, 2006).

La velocidad y extensión de este tipo de movimiento varía de acuerdo con el material involucrado. Varnes (1958) menciona que cuando se trata de rocas el desplazamiento es



---

de centímetros al año, si predominan los detritos (suelos) el desplazamiento llega hasta 3 metros por segundo. En la delegación Álvaro Obregón este tipo de fenómenos involucran un mayor porcentaje de detritos que de bloques, no se conoce con certeza la velocidad que han llegado a alcanzar, al respecto la población local menciona que se mueven de lentos a rápidos.

Entre los factores que favorecen los deslizamientos rotacionales en la zona de estudio, se puede mencionar la existencia de laderas densamente fracturadas que llegan a definir bloques (tanto en vertientes montañosas como en frentes de lava); vertientes ligeramente inclinadas y cubiertas por potentes capas de detritos volcánicos (cenizas, pómez y flujos piroclásticos); terrenos inclinados sin vegetación que dejan expuesto el suelo al efecto de la hidratación y de la fuerza de gravedad (existe una tendencia de cambio de uso de suelo: de bosque a terrenos agrícolas). La precipitación, la zapa y los sismos también son factores desencadenantes en la zona que se estudia y su influencia presenta características similares al del inciso anterior.

#### **5.4.3 Flujo**

El flujo es un movimiento espacialmente continuo, en el que las superficies de cizalla son muy próximas, de poca duración y, por consiguiente, difíciles de observar (Alcántara, 2000). El movimiento es parecido al de un fluido viscoso, razón por la cual su velocidad no es homogénea, por lo general adoptan una morfología lobulada.

Los flujos incluyen todos los tipos de materiales rocosos y se clasifican con base en su contenido, en flujos de rocas, flujos de arena o suelo y flujos o corrientes de derrubios (Hutchinson, 1988). En la zona de estudio este tipo de fenómenos no son frecuentes y se presentan los dos primeros subtipos.

---

**5.4.3.1 Flujo de roca** Son flujos extremadamente rápidos de bloques que se mueven en seco y tienen desarrollo sobre depresiones preexistentes, es decir ocupan el fondo del valle o un sector del mismo. El río Mixcoac a la altura del puente de Rómulo O´ Farril, ha sido escenario de este tipo movimiento.

**5.4.3.2 Flujo de suelo.** Es un movimiento relativamente lento de forma lobular o alargada; se presenta en material detrítico inmerso en una matriz arcillosa y el movimiento se desarrolla por deslizamiento en superficies ligeramente inclinadas. En este movimiento se distinguen tres partes: área fuente, trayectoria y lóbulo o zona de acumulación. El área fuente suele tener forma de anfiteatro, la longitud de la trayectoria depende de la pendiente y la longitud de la ladera y la zona de acumulación lobulada se desarrolla en la base de la ladera y tiene un ángulo bajo y grietas radiales (Dikau, *et al.*, 1996).

Factores que propician los flujos. Existen tres factores que favorecen la existencia de los flujos, el primero está relacionado con la alternancia de un sustrato permeable sobreyaciendo a un impermeable, la inclinación de la ladera sería la segunda condición y la existencia de lluvias extraordinarias es el más importante; este último elemento es el que satura el suelo provocando la pérdida de cohesión y fricción de los materiales y de esta manera fluir ladera abajo.

## **5.5 Concepto de peligro y susceptibilidad**

Para poder entender el concepto de peligro y de susceptibilidad es necesario definir una serie de términos que en la actualidad no se tiene muy claro. Hoy en día, algunas personas creen que un desastre puede producirse por fuerzas naturales o sobrenaturales que ejercen y causan daños a la población. Esta visión fatalista inhibe la acción y conduce a la resignación y al conformismo (Romero y Maskrey, 1983). También se piensa que un fenómeno natural y un desastre natural se entienden por igual o son lo mismo, por lo que también se cae en un error.

---

De acuerdo con Romero y Maskrey (1983), un fenómeno natural es toda manifestación de la naturaleza. Se refiere a cualquier expresión que adopta ésta como resultado de su funcionamiento interno. Los hay de cierta regularidad o de aparición extraordinaria y sorprendente. Los fenómenos naturales de extraordinaria ocurrencia pueden ser previsibles o imprevisibles, dependiendo del grado de conocimiento que los hombres tengan acerca del funcionamiento de la naturaleza. La ocurrencia de un fenómeno natural sea ordinario o incluso extraordinario, no necesariamente provoca un desastre natural. Los fenómenos deben ser considerados siempre como elementos activos, es decir procesos geomorfológicos con capacidad de modelar o cambiar la expresión del relieve. Lo anterior nos indica que los efectos de ciertos fenómenos naturales no son necesariamente desastrosos. Lo son únicamente cuando los cambios producidos afectan una fuente de vida, con la cual el hombre contaba, o un modo de vida realizado en función de una determinada geografía.

Desastre natural. Es la correlación entre fenómenos naturales peligrosos (como un terremoto, un huracán, un maremoto, etc.) y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas vulnerables. Cuando estas situaciones están presentes, se dice que hay un alto riesgo de desastre si uno o más fenómenos naturales peligrosos ocurrieran en situaciones vulnerables como las mencionadas.

El hombre convive día a día con fenómenos naturales y no todos ellos son peligrosos como las lluvias de temporada, pequeños sismos, vientos, etc. Adquieren un carácter de peligro cuando el proceso aumenta su magnitud y coincide con condiciones de vulnerabilidad ya sea de índole físico (concernientes a la naturaleza del terreno) o socio-económico.

Con respecto a la vulnerabilidad se puede decir que es una condicionante del peligro; ser vulnerable a un fenómeno natural, es ser susceptible de sufrir daño y tener dificultad de recuperarse de ello. (Romero y Maskrey, 1983).

---

La vulnerabilidad aumenta cuando la población comienza a asentarse en terrenos que no son aptos como laderas con fuertes inclinación y fondos de valles, ya sean amplios o estrechos; también, influye la precaria situación económica y cultural.

Con base en lo anterior se deduce que existen varios tipos de vulnerabilidad, una de ellas es la que tiene relación con los estudios geomorfológicos y se conoce como física. Este concepto se define como el desconocimiento de una sociedad acerca del entorno que habita. Los estudios geomorfológicos a través de los mapas de peligros da a conocer la dinámica exógena y endógena del territorio de esta manera el peligro pierde su condición.

Por tanto se puede afirmar que están presentes condiciones de vulnerabilidad física detrás de las cuales existen causas socioeconómicas que magnifican el fenómeno natural o proceso geomorfológico activo.

Para el fin de evitar y prevenir la ocurrencia de desastres naturales, la investigación tiene que ser activa. Las estadísticas muestran que la ocurrencia de desastres naturales en países en vías de desarrollo ha aumentado significativamente en los últimos cincuenta años (Romero y Maskrey, 1983). Dado que el peligro permanece más o menos constante, la explicación tiene que encontrarse en el hecho de que las condiciones de vulnerabilidad de la población y sus asentamientos están empeorando aceleradamente.

Las posibilidades de controlar la naturaleza son remotas (salvo en el campo de la predicción de desastres). Por lo tanto, la única manera de poder reducir las posibilidades de ocurrencia de desastres es actuar sobre la vulnerabilidad. En nuestro caso la física, que está vinculada de manera directa con la evolución y dinámica del relieve.

La clave para reducir la vulnerabilidad está en la población misma y sus organizaciones. Dado que la vulnerabilidad se produce a este nivel, su mitigación también tiene que realizarse por parte de la gente misma.

---

Aquí vemos la vinculación imprescindible entre la investigación y la acción. Los desastres tienen que estudiarse junto con la población misma y desde su punto de vista, a la vez que la población tiene que actuar y presionar para mitigar la vulnerabilidad y reducir la ocurrencia de desastres.

El estudio de los peligros entonces tiene la finalidad de concientizar a la población sobre su situación de vulnerabilidad y otorgarle los conocimientos necesarios para poder alcanzar condiciones de seguridad, una de las posibilidades es el estudio de la dinámica del relieve bajo criterios geomorfológicos.

El término susceptibilidad hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos y no implica el aspecto temporal del fenómeno. La mayor parte de estudios de peligrosidad evalúan únicamente la susceptibilidad a la rotura, a su espacialidad y los factores que los condicionen; esta es la esencia de este trabajo.

Es importante mencionar que las áreas susceptibles pueden variar con el tiempo ya que el uso del suelo puede ser modificado y el crecimiento de la ciudad puede ser más acelerado y con tendencia a la construcción en zonas montañosas que no son aptas para las viviendas.

En el estudio de susceptibilidad a procesos de remoción en masa se evaluaron parámetros cuantitativos (morfometría) y cualitativos (interpretación de fotografías aéreas), con representación espacial, donde se midieron y se relacionaron con las características específicas de cada movimiento todo esto con la intención de mostrar áreas que presenten dichos procesos.

---

## 5.6 Elaboración del mapa de susceptibilidad (mapa anexo)

Los mapas constituyen la herramienta más efectiva para representar la información sobre la peligrosidad en una zona o región y los trabajos de cartografía tienen como finalidad dividir el territorio en zonas o unidades con diferente grado de susceptibilidad.

La susceptibilidad (Suárez, 1998) expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La susceptibilidad se entiende como la potencialidad de ocurrencia, en un territorio determinado, de presentarse procesos asociados con la evolución del relieve, que represente un peligro para los asentamientos humanos y sus actividades.

Los procesos geomorfológicos, que se reconocieron son de origen exógeno y representan agentes modeladores del relieve, su magnitud dependen de las condiciones ambientales del territorio. Sin embargo, pueden ser magnificados por fenómenos extraordinarios, como las lluvias.

El mapa de susceptibilidad, surge a partir del análisis geomorfológico y de los procesos modeladores evidenciados por el análisis morfométrico. El proceso consistió en unificar la información cualitativa y cuantitativa, donde también se incluye la geología, y trabajo de campo. 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 deforestación, la extracción de material y el alto índice demográfico, que obliga a la gente a ocupar espacios que no son adecuados para la construcción de viviendas, entre otros más y son condicionantes que favorecen y propician el desarrollo e incremento de peligros geomorfológicos.

---

A partir de esta información, se determinaron niveles de susceptibilidad, los cuales se explican a continuación:

**Máxima ocurrencia:**

Esta zona corresponde a valles montañosos (barrancos y cañadas) donde las laderas presentan fuerte inclinación (> a 30°), que están constituidas por rocas volcánicas de composición básica, intermedia e intermedia-ácida (basaltos, andesitas, dacitas), que se encuentran intercaladas. Todas ellas tienen distintos grados de resistencia a la erosión. Estas vertientes encauzan los ríos Tacubaya, Mixcoac, Becerra, Tarango y Magdalena; todos ellos, con un continuo proceso de urbanización.

En este territorio son frecuentes los contrastes altitudinales (en distancias cortas), que llegan hasta los 300 metros de desnivel. Los barrancos y cañadas se disponen de acuerdo al patrón tectónico disyuntivo que se asocia con la Cuenca de México. Esta área representa una extensión de 46 550 Km<sup>2</sup> y el 13 % de la delegación.

**Área Potencial:**

Comprende la superficie que existe entre el talweg y la cumbre, las inclinaciones que se presentan son de 15 a 30°. Dentro de este territorio se reconocen coladas de lava y laderas volcánicas con morfología cóncava, resultado de una intensa erosión. La litología de esta zona presenta condiciones similares al del punto anterior (erosión diferencial). La existencia de una pendiente moderada y la ausencia de desniveles topográficos, hacen que los procesos de remoción en masa tengan un carácter potencial, su ocurrencia se asocia a lluvias extraordinarias, incendios, deforestación o a la transformación del relieve por actividad antrópica (urbanización, minas a cielo abierto y desvío de cursos fluviales). La superficie total es de 64 811 Km<sup>2</sup>, y representa el 18 % de la zona de estudio.

---

**Baja susceptibilidad de ocurrencia:**

Son terrenos de geometría convexa-recta y caracterizan los terrenos cumbresales montañosos, también son frecuentes en coladas de lava de poca inclinación ( $< 10^\circ$ ), constituye un área de 29 921 Km<sup>2</sup>, esto es el 8.5 % de la delegación.

**Estabilidad aparente:**

Representa un territorio en el cual no ocurren procesos gravitacionales, sin embargo no se descarta la posibilidad de que se lleguen a generar. El relieve que está representado en esta categoría, corresponde a las superficies cumbresales de montaña, a las coladas de lava del volcán Xitle y a llanos volcánicos. La morfología de todas las formas mencionadas, en términos generales, es de ondulada a subhorizontal y en algunos casos pueden definir lomeríos. La extensión de esta unidad es de 203 249 km<sup>2</sup>, lo que representa el 58 % del territorio en estudio.

**Zona excepcional:**

Corresponde a territorios en donde el relieve ha sido transformado en su totalidad, la morfología original ya no existe debido a la fuerte presión urbana que ejerce la Ciudad de México hacia las estribaciones de la Sierra de las Cruces, que se visualiza en la existencia de densos núcleos de urbanos, numerosas minas a cielo abierto y construcción de complejas redes viales (autopistas). Los factores antrópicos que se mencionan alteran radialmente la funcionalidad natural de los procesos geomorfológicos. A la fecha no se tienen noticias de colapsos o subsidencia del terreno asociado a procesos de remoción en masa, más no se descarta la posibilidad. El tamaño de esta unidad es de 7 499 km<sup>2</sup>, lo que constituye el 2.5 % del terreno expuesto.



Con base en trabajo de campo se cartografiaron 35 zonas donde se han presentado procesos de remoción en masa (en el año 2009), la mayoría de ellos causaron afectaciones a la población o infraestructura civil, (Fig. 24). El inventario realizado y plasmado en el mapa de susceptibilidad (Fig. 25), ha servido para validar y orientar los criterios mediante los cuales se combinaron variables o mapas temáticos para la generación del mapa final de susceptibilidad.

<b>Tipos de procesos de remoción en masa</b>	<b>Número de procesos</b>	<b>Máxima ocurrencia</b>	<b>Área potencial</b>
Deslizamientos	25	19	6
Flujos	4	2	2
Caídas	6	4	2

Figura 24. Inventario de procesos de remoción en masa cartografiados en campo en el año de 2009.

El interés de considerar a estos territorios como peligrosos (máxima ocurrencia; Fig. 25) es hacer evidente que no son favorables para la construcción.

La demanda de terrenos para la vivienda, no sólo es en la planicie, sino también hacia laderas volcánicas, esto es debido a la presión que tiene el crecimiento de la Ciudad de México hacia su límite poniente. La construcción de viviendas transforma las laderas y debilita el terreno, esta situación llega a favorecer la presencia de procesos de ladera.

Los mecanismos de urbanización han ocasionado un impacto ecológico, además que en los últimos diez años se han presentado procesos de remoción en masa que afectaron a la población de bajo nivel económico que habita asentamientos irregulares. Asimismo, algunos que ya se han consolidado y se encuentran en áreas de procesos exógenos activos.

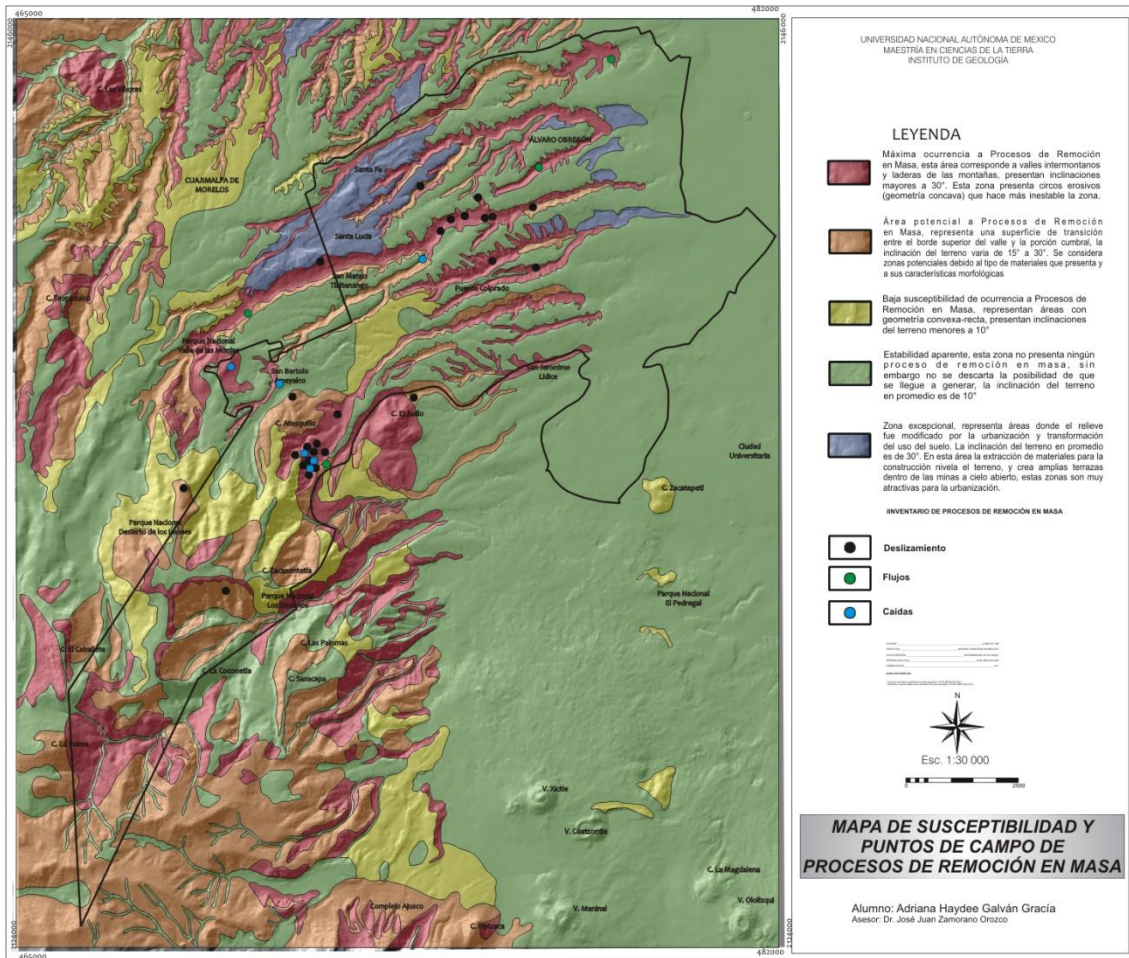


Figura 25. Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa. Este documento es resultado del análisis conjunto de la zonificación morfométrica, del mapa geomorfológico y trabajo de campo.

Del análisis se deduce que la mayoría de los deslizamientos están controlados por factores geomorfológicos y estructurales (fallas y fracturas). Y formas de relieve específicas como las cabeceras de los circos de erosión fluvial. La peligrosidad de los deslizamientos fue determinada con un alto grado de confiabilidad ya que los factores o condicionantes fueron estudiados cuidadosamente.

El mapa de susceptibilidad (Anexo 2), es una herramienta de aplicación inmediata, sobre todo en situaciones críticas (activación de procesos de remoción en masa en temporada de lluvias) y en donde el factor tiempo es vital para evacuar o salvar vidas. Asimismo es un respaldo a la toma de decisiones, encaminada a la prevención, protección o evacuación de

---

la población. Si la información que se presenta es tomada en cuenta antes de la ocurrencia de los fenómenos, se puede hacer una planeación encaminada a la prevención.

En el momento en el que se presente la contingencia el mapa en cuestión, hace evidente los territorios de mayor impacto o afectación. Una vez que el periodo de crisis ha pasado, la información sigue siendo válida debido a que mostrara las vías de acceso menos afectadas, para evacuar o ayudar a la población.

---

## DISCUSIÓN

Los métodos de análisis geomorfológico permitieron una interpretación integral del relieve en donde la morfología y la litología tienen una estrecha relación con los procesos gravitacionales, en este marco podemos afirmar que los resultados obtenidos con el análisis morfométrico fue el punto de partida idóneo en la evaluación de los procesos erosivos gravitacionales.

El primer mapa morfométrico permitió diferenciar las grandes unidades del relieve, de manera particular la montaña y el piedemonte superior e inferior. Esta zonificación representa la primera aproximación espacial de los procesos de ladera. La inclinación del terreno fue un elemento que se sumó a la caracterización de la remoción en masa, el fundamento de este método fue la selección de rangos específicos a partir de datos y observaciones de campo, en donde la litología y la geometría de las laderas (rectas y convexas) fueron las principales variables.

Los mapas de densidad y profundidad de la disección fue el medio para caracterizar la dinámica fluvial con una resolución de  $1 \text{ Km}^2$ . En el primer caso se hacen evidentes superficies susceptibles a desarrollar densos patrones de drenaje y por tanto de mayor movilidad de material. La profundidad de la disección (segundo caso), muestra el trabajo vertical de los ríos, proceso que se vincula con la inclinación de las vertientes y por tanto con la existencia de material a ser transportados ladera abajo.

El mapa de energía del relieve muestra a partir de las diferencias altitudinales en un área específica ( $1 \text{ Km}^2$ ) la potencialidad del material a ser removido, este factor analizado con la información anterior permite una aproximación para determinar áreas de potencialidad gravitacional

---

El análisis integral de todos los mapas morfométricos (a partir de un SIG), permitió zonificar la Delegación Álvaro Obregón en las siguientes zonas: estabilidad aparente, frecuente y máxima ocurrencia.

Los procesos gravitacionales observados en campo, coincidieron con los territorios que aparecen en el mapa síntesis como de máxima ocurrencia (un total de 35), de esta manera podemos afirmar que la metodología utilizada fue determinante en el entendimiento de la dinámica gravitacional. Por otro lado hay que mencionar que este análisis es de bajo costo, de fácil aplicación y de alta resolución.

El análisis morfométrico debe de entenderse como la etapa previa de todo estudio geomorfológico y debe ser complementado con una cartografía de precisión, en donde se muestre el arreglo espacial de las formas del relieve así como su génesis, su morfología y su dinámica, información indispensable en la elaboración de un mapa de susceptibilidad a procesos gravitacionales. Si bien los resultados son favorables, consideramos que hizo falta trabajo de campo, de esta manera se podría complementar en el mapa para las zonas de máxima ocurrencia, tipos específicos de remoción en masa.

Si bien no era nuestro objetivo es necesario comentar que los procesos de ladera asociados a la actividad antrópica (transformaciones del relieve por construcción de obras de infraestructura, desarrollos urbanos o actividad minera: a cielo abierto o socavón), se mencionan en el texto. En el mapa geomorfológico aparecen los de mayor tamaño y en la cartografía final no se toman en cuenta. Este aspecto es una limitante de la metodología utilizada, no funciona de manera adecuada para sectores urbanizados o para terrenos que no conservan su morfología original. La escala de análisis es otro factor a tomar en cuenta, lo recomendable es 1: 5 000 o 1: 10 000, de lo contrario no será posible obtener

---

resultados confiables en territorios que no presenta su aspecto primario. Hay que mencionar que estas condiciones aparecen en la porción más distal del piedemonte inferior.

El mapa final (anexo 2) es resultado del análisis del mapa geomorfológico y de zonificación morfométrica, de esta manera se ha logrado una cartografía detallada, precisa y de aplicación inmediata que puede ser utilizada en la elaboración de planes de manejo territorial, de políticas de regulación de desarrollo urbano, así como aplicado a la prevención y mitigación de peligros asociados con la remoción en masa.

---

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el presente estudio, se considera que los procesos de remoción en masa, que afectan a la porción oeste de la Ciudad de México, están controlados por los siguientes factores:

**Geológico estructural.** La presencia de sistemas de fallas y fracturas en el área de estudio afecta de la siguiente forma: genera zonas de debilidad estructural, delimita bloques cuyos mecanismos de movimiento están influenciados por la forma del fallamiento a nivel regional. Los escarpes que se forman están expuestos a la acción de los agentes detonantes como: sismos, fuerzas de filtración, erosión, fuerzas debidas a factores biológicos y antrópicos.

**Factor antrópico.** La influencia del hombre como modificador del relieve terrestre, da como resultado cortes en las laderas, hechos con el propósito de urbanizar y extraer material. Dichas actividades pueden generar inestabilidad en las laderas. La acción antrópica genera vibraciones, sobrecarga al terreno y filtraciones en fracturas, lo que tiende a inestabilizar las laderas que conforman la zona de estudio.

**Geomorfológico.** El origen, la edad y los procesos modificadores del relieve tienen influencia sobre la morfología. Los circos de erosión controlan parte de los peligros por remoción en masa, pues definen laderas de captación en las cuales frecuentemente hay detritos y bloques de roca que pueden ser incorporados en un flujo o bien iniciar su rodamiento, respectivamente. Las formas del relieve son un factor que tiene gran influencia en los peligros, ya que controla la trayectoria de los bloques de roca que inician su movimiento.

---

El análisis de los aspectos geográficos (clima, hidrología, suelos y vegetación) relacionados con la dinámica endógena y exógena presentes en la zona de estudio, fueron determinantes para conocer la causalidad y magnitud de fenómenos peligrosos, a escala regional.

El análisis morfométrico del relieve es una metodología confiable, con la cual se elaboró una primera clasificación del relieve (montañas, lomeríos y planicies). Con el análisis de cada mapa temático y el cruce de información se realizó uno de zonificación relacionada con la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

La clasificación del relieve utilizada permitió identificar, explicar y representar la alternancia entre relieves antiguos y recientes, no obstante la heterogeneidad de materiales y morfologías. La tipología que se propone es el resultado de la homologación de criterios antecedentes, publicados en revistas y textos especializados, así como del análisis de la morfología, edad relativa y dinámica (procesos). Lo anterior representa un aporte de este estudio.

Con el análisis geomorfológico se integró la información geológica, genética, morfológica, dinámica y edad relativa del relieve, con lo que se realizó una cartografía geomorfológica coherente, estructurada y con límites precisos, que ayudaron a un mejor entendimiento de las condiciones del relieve en la zona de estudio.

A partir de las variables anteriores, se obtuvo el mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, el cual permite identificar y conocer aquellas áreas que tienen afectaciones de manera precisa y de fácil identificación. Mediante este documento se logra la reducción de la vulnerabilidad física, que conlleva a la prevención y mitigación del evento catastrófico.



---

El estudio de susceptibilidad para la zona de estudio está dado en función de la vulnerabilidad desde una perspectiva geomorfológica, la cual se da de acuerdo con los diferentes elementos y factores que participan, como el clima, el suelo, la vegetación o los factores endógenos y exógenos, es decir, si es un fenómeno natural (amenaza) encuentra las condiciones y elementos necesarios para hacer a un lugar u objeto vulnerable, entonces se presenta el peligro y posteriormente el desastre, si alguno de esos elementos o factores condicionantes no se presenta, entonces no habrá peligro, ni desastre.

Los sistemas de información geográfica (SIG) son una herramienta indispensable en la generación de mapas de peligros, ya que son un acercamiento a la problemática de los procesos de remoción en masa. Los mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa son de gran utilidad, sobre todo en situaciones críticas, donde el factor tiempo es vital y de igual forma en las políticas de planeación territorial, de uso de suelo y para delimitar zonas de reservas ecológicas. Este documento es un respaldo en la toma de decisiones, encaminadas a la prevención, la protección o la evacuación de la población.

---

## BIBLIOGRAFÍA

**Aguirre-Díaz, G., López-Martínez, M., Rendón-Marquéz, G., 2006.** La caldera de la Catedral, Sierra de las Cruces, una caldera al norponiente de la Ciudad de México (resumen), en Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana, Puerto Vallarta, Jal. Geos, 26, p. 215.

**Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., Tolson, G., 1998.** A graphical technique to predict slip along a preexisting plane of weakness: Engineering Geology, vol. 49, pp. 53-60.

**Alcántara-Ayala, I., 2000.** Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. Investigaciones Geográficas, UNAM, núm. 41, p. 7-25

**Almaguer-Carmenates, Y. y Guardado-Lacaba R., 2006.** Tipología de movimientos de masa desarrollados en el Territorio de Moa, Cuba. Minería y Geología V. 22 N. 1

**Arce, J.L., García-Palomo, A., Capra, L., Macías J.L., Rueda, H., Layer P. 2008.** Late Pleistocene flank collapse of Zempoala Volcano (central Mexico) and the role of fault reactivation, Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 177 (4), p. 944-958.

**Bashenina, N. V., Gellert, J.F., Joly, F., Klimaszewski, M., Scholoz, E., 1975.** Cartografía geomorfológica en escalas grandes leyenda unificada para cartas geomorfológicas de detalle, Universidad de Moscú, pp. 18-68.

**Bashenina, N.V., 1978.** In Demek, J. y Embleton, C. Eds. Maps of morpho-and tectono-morpho-isohyses. Guide to Medium-Scale Geomorphological Mapping, Czechoslovak Academy of Sciences, pp 68-79.

**Brunsdén, D., 1979.** Mass movements, en Embleton, C.E. y J.B. Thornes (eds). Progress in Geomorphology, Arnold, pp. 130-186.

**Brunsdén, D., 1984.** Mudslides, in Brunsdén, D. y D.B.Prior (eds), slope instability, Wiley & Sons, Chichester, pp. 363-418.

**Buma y Van Asch 1996.** Slide (rotational) In Dikau, R., Brunsdén, D., Schrott, L. y M-L. Ibsen 1996. Landslide recognition. Identification, movement and causes, Wiley Chichester, etc. pp. 43-61.

**Carlos-Valerio, V., 2010.** Procesos de Remoción en Masa en rocas volcánicas, porción SO de la Cuenca de México. Tesis de doctorado, Instituto de Geología, UNAM, pp. 113-236.

---

**Capra L., Macias J.L., K. M. Scott, M. Abrams and Garduño-Monroy V., 2002.** Debris avalanches and debris flows transformed from collapses in the Trans-Mexican Volcanic Belt, México - behavior, and implications for hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, V. 113(1-2) pp. 81-110.

**Castillo, M., 2003.** Procesos exógenos en la delegación La Magdalena Contreras, Ciudad de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, D.F.

**Cerecedo, M. E., 2006.** Peligros geomorfológicos en el Municipio de Chimalhuacán, Edo. De México: una cartografía para la prevención. Tesis de Licenciatura, Colegio de Geografía, UNAM, pp. 1-72.

**Cordero E, M, 1992.** El origen y Evolución del relieve en la Delegación Álvaro Obregón. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, UNAM. México D.F.

**Cruden 1991.** A simple definition of a landslide. *LAEG Bull*, 43, pp. 27-29.

**Cruden D. M. y Varnes, D.J., 1996.** Landslides types and processes, Chapter 3 in *Landslides Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board. Special Report 247. National Academy Press, Washington D.C., pp. 36-75.

**De Cserna, Z., De la Fuente, M., Palacios-Nieto, M., Triay, L. Mitre-Salazar, L., y R. Mota-Palomino, R., 1988.** Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México, Instituto de Geología, UNAM, México. *Boletín* 104, p. 71.

**De Pedraza J., 1996.** Geomorfología, Principios, Métodos y Aplicaciones. Editorial Rueda, Madrid, p. 414.

**Delgado-Granados, H. y Martín del Pozzo, A.L., 1993.** Pliocene to Holocene geology at the junction of Las Cruces, Chichinautzin and Ajusco ranges, Southwest of Mexico City. *Geofísica Internacional*, 32(3), pp. 511-522.

**Delgado-Granados, H., Molinero, R., Cervantes, P., Nieto-Obregón, J., Lozano-Santa Cruz, R., Macías-González, H., Mendoza-Rosales, C., and Silva-Romo, G., 1998.** Geology of Xitle volcano in southern Mexico City a 2000-years old monogenetic volcano in an urban area. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, V. 15, No. 2 p. 115-131.

**Derrau, M., 1983.** Geomorfología. Ed. Ariel, Barcelona. p. 536.

**Díaz, J.L., 2002.** Dinámica del relieve en la Sierra de Trinidad, Cuba Central. Instituto de Geografía Tropical, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba. Cursos de Sistemas de Información Geográfica por Internet.

---

**Dikau, R., Brunsten, D., Schrott, L., e Ibsen, M. 1996.** Landslide recognition, identification, movement and causes. Chichester, Jonh Wiley & Sons p. 251.

**Ezcurra E, 1990.** De las Chinampas a la Megalópolis (el medio ambiente de la Cuenca del Valle de México). Colecc. La ciencia desde México, Núm. 91. SEP, CONACYT; FCE. México. En: Cordero E, M; 1992. El origen y Evolución del relieve en la Delegación Álvaro Obregón. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, UNAM. México D.F.

**Figueroa E. A., 2007.** Estudio geomorfológico general y aplicado a peligros en la zona del Lago de Chalco, Estado de México. Tesis de Licenciatura, Colegio de Geografía, UNAM, pp. 1-110.

**Flageollet J.C., y Weber D., 1996.** Geotechnical investigations into the Super Sauze landslide. Geomorphological and hydrogeological results In: Workshop Landslide and flash flood, Barcelonnette pp. 30-38.

**Fries, Carl, Jr., 1960.** Bosquejo Geológico de las partes central y occidental del Estado de Morelos y áreas contiguas de los estados de Guerrero y México. Congreso Geológico Internacional 20th México, D.F., Libreto-guía de la excursión, p. 17-53.

**García-Palomo, A., Carlos-Valerio, V., López-Miguel, C., Galván-García. A., Conchas-Dimas, A., 2006.** Landslide inventory map of Guadalupe Range, north of the Mexico Basin. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana: número especial de geología urbana, LVIII (2); 195-204.

**García-Palomo A., Zamorano, J., López, C., Galván-García, A., Carlos, V., Ortega, R., y Macías, J., 2008.** El arreglo morfoestructural de la Sierra de las Cruces, México central. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, V. 25, núm. 1, pp. 158-178.

**García-Arizaga, M.T., y Lugo-Hubp, J., 2003.** El relieve mexicano en mapas topográficos, Serie Libros, Instituto de Geografía. UNAM, México, núm. 5, pp. 148.

**Garzón, M., 1978.** Metodología de la cartografía geomorfológica. Su interés científico y aplicado. Fundación J. March, Madrid, p. 152.

**Gellert, J.F., 1972.** Zur systemstellung der topographisch-morphologischen Spezialkarten und einer geomorphologischen. Übersichtskarte 1:1 Mill. Von Westdeutschland (BRD). Peterm. Geograph, Mitt., 115 pp. 161-171. Tomado de Peña, M.J., 1997. Cartografía Geomorfológica básica y aplicada. Ediciones Geoforma, España. p. 16-18.

**González Cárdenas, E., 1992.** Aspectos geomorfológicos del volcanismo hidromagmático del campo de Calatrava. En estudios de geomorfología en España, Murcia, pp. 569-583.

---

**Greene, M, A., 1980.** Análisis Geográfico de la delegación Álvaro Obregón. Tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. En: Cordero E, M; 1992. El origen y Evolución del relieve en la Delegación Álvaro Obregón. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, UNAM. México D.F.

**Gutiérrez de MacGregor, M. T., González Sanchez, J. y Zamorano Orozco, J.J. 2005.** La Cuenca de México y sus cambios demográfico-espaciales. Temas selectos de geografía de México. Instituto de geografía, UNAM. 155 p.

**Hernández, C. G., 2007.** Zonificación de riesgos por hundimiento y agrietamiento al noroeste de la Delegación Tlahuac, Distrito Federal. Tesis de Licenciatura, Colegio de Geografía, UNAM. pp. 1-93.

**Herrero M., 1988.** Método de trabajo para la formación y el diseño de mapas geomorfológicos. Anales de Geografía de la Universidad Complutense, núm. 8, España pp. 25-39.

**Hutchinson. J. N., 1988.** General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to Geology and Hydrogeology, Proceedings of the fifth International Symposium on Landslides. vol. I, edited for Christophe Bonnard, Netherlands in Bonnard, pp. 3-35.

**Jáuregui, E., 1987.** Urban heat island development in medium and large urban areas in Mexico. Erdkunde No. 41, pp. 48-51.

**Karátson, D., Thouret, J., and Moriya, I., 1999.** Erosión Calderas: origins, processes, structural and climatic control. Bulletin of Volcanology, V. 61 pp. 174- 193.

**Kugler, H., Czudek, T. y Blagovolin, N.S., 1978.** Geomorphological regionalization. In Demek, J. y Embleton, C. Guide to Medium-Scale Geomorphological Mapping. Stuttgart. Pp. 239-253.

**Lozano Tena, M. V., Sánchez Fabre, M., 1997.** Documentos básicos para la realización de mapas geomorfológicos. Tomado de Peña, M.J., 1997. Cartografía Geomorfológica básica y aplicada. Ediciones Geoforma, España. pp. 25-48.

**Lugo, H. J., 1991.** Elementos de Geomorfología aplicada (Métodos Cartográficos). Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México, D.F. p. 128.

**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 núm. 11 (1) pp. 43-52.

---

**Lugo-Hubp. J., Cordero-Estrada, M., 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. v. 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, v. 13, num. 2, pp. 240-251.

**Macías, V.R., 2006.** Avalancha de escombros del volcán Zempoala: Taxco, Guerrero, Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad Académica de Ciencias de la Tierra, tesis de licenciatura, p. 71.

**Manual de exploraciones geotécnicas, 1988.** Secretaría General de obras del departamento del D.F., México pp. 11-33.

**Marsh, W.M., 1991.** Landscape Planning: Environmental applications, John Wiley & Sons, New York, pp 339.

**Marín-Cordova y Aguayo 1989.** Origen y evolución de los rasgos morfotectónicos, posteretácicos de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana V. 48 núm. 2, pp. 15-39.

**Martín Del Pozo, A. L., 1980.** Volcanología de la Sierra de Chichinautzin. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.

**Meijerink, J., Verstappen, H., y Van Zuidam, R.A., 1983.** Developments in applied geomorphological survey and mapping. In Terwindt, J. y Van Steijn, H. Eds. Developments in Physical Geography. Geologie in Mijnbouw. Núm. 62, pp. 621-628.

**Mooser, F., Nair, A.E.M., Negendank, J.F.W., 1974.** Paleomagnetic investigations of Tertiary and Quaternary igneous rocks; VII, A paleomagnetic and petrologic study of volcanic of the Valley of Mexico: Geologische Rundschau. V. 63, pp. 451-483.

**Mooser, F., 1975.** Historia geológica de la Cuenca de México. En: Memorias de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal. México, D.F., DDF, T. 1.

**Mosser, F., 1988.** Geología de la Cuenca de México. En Atlas de la ciudad de México DDF y Colegio de México. pp. 23-26.

**Mooser, F., 1992.** Nuevo mapa geológico del sur-poniente del valle de México. Experiencias Geotérmicas en la zona poniente del Valle de México. Sociedad Mexicana de Suelos, pp. 1-6

---

**Mooser, F., Montiel, A., Zuñiga A., 1996.** Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla: Estratigrafía, tectónica regional y aspectos geotérmicos: México, Comisión Federal de Electricidad. Primera impresión, Atlas, p. 27.

**Mora-Álvarez, G., Caballero, C., Urrutia-Fucugauchi, J., Uchiumi, S., 1993.** Southward migration of volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, basin of México?. A preliminary K-Ar dating and palaeomagnetic study, *Geofísica Internacional*, V. 30, núm. 2, pp. 61-70.

**Nuevo Atlas Nacional de México. 2007.** Atlantida Coll-Hurtado, Editora, Recopilado por el Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, escala 1 : 8 000 000.

**Ollier, C. D., 1966.** Desert gilgai, *Nature*. 212, pp. 581-583.

**Ollier, C. D., 1969.** Volcanoes, Cambridge, M.I.T. Press, 177 p.

**Ortiz-Pérez, M.A., y Bocco, G, 1989.** Análisis morfotectónico de las depresiones de Ixtlahuaca y Toluca, México. *Geofísica Internacional* V. 28 (3), pp. 507-530.

**Panizza, M., 1972.** La carte geomorfologischer: finalitá e metodi. *Assoc. Mineraria Subalpina*, Torino, pp. 99-101. Tomado de Peña, M.J., 1997. *Cartografía Geomorfológica básica y aplicada*. Ediciones Geoforma, España. p-14.

**Pellicer C. F., 1997.** El lenguaje Cartográfico, en Peña Monné 1997. *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*. Ediciones Geoforma. España pp. 67-84.

**Peña, M.J., 1997.** *Cartografía Geomorfológica básica y aplicada*. Ediciones Geoforma, España pp. 13-203.

**Pérez, G. R., 2003.** Propuesta de normalización para la representación cartográfica en internet. Aplicación a los mapas geomorfológicos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, pp. 1-156.

**Rzedowski, 1988.** La vegetación en México. Limusa, México.

**Rodolfi, G., 1983.** Frane e franosita nell area di Mptespertoli. I paesaggio naturale e la sua evoluzione. *Annali Ist. Sper. Studio e Difesa Suolo*, XIV. Firenze pp. 337-346. Tomado de Peña, M.J., 1997. *Cartografía Geomorfológica básica y aplicada*. Ediciones Geoforma, España. p-14.

**Romero-Terán, E., 2001.** Geología del complejo volcánico San Miguel al sur poniente de la Cuenca de México. México D.F. Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM, Instituto de Geofísica, Tesis de Maestría, p. 63.

---

**Romero, G., y Maskrey, A., 1983.** Como entender los desastres naturales, en Maskrey Andrew, 1993, Los desastres no son naturales, LA RED, Bogotá.

**Servicio Geológico Metropolitano, 2000.** Proyecto Valoración del peligro por deslizamientos y caída de rocas en la Sierra de Santa Catarina, México, D.F.

**Servicio Geológico Metropolitano, 2003.** Proyecto Evaluación y zonificación de los peligros geológicos por deslizamiento en las laderas de la Sierra de Guadalupe, Estado de México, proyecto realizado para el instituto de Protección Civil del estado de México.

**Servicio Geológico Metropolitano, 2005.** Atlas de peligros geológicos por procesos de Remoción en masa y sismicidad de la Ciudad de México, Primer Avance. Instituto de Geología, UNAM.

**Siebe, C. (2000).** Age and archaeological implications of Xitle volcano, southwestern Basin of Mexico-City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 104, pp. 45-64.

**Siebe, C., Rodríguez-Lara, V., Schaaf, P., Abrams, M., 2003.** Radiocarbon ages of Holocene Pelado, Guespalapa, and Chichinautzin scoria cones, south of Mexico City: Implications for archaeology and future hazards. *Bull. Volcanol.* (in press).

**Simonov, Y. G., 1985.** Análisis morfométrico. Ed. Universidad Estatal de Mósquí, p. 30. (en ruso)

**Suárez D. J., 1998.** Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Universidad Industrial de Santander, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos Escuela de Ingeniería Civil. Colombia Publicaciones UIS p. 87-136.

**Tapia-Varela G., y López-Blanco J., 2001.** Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogénicas a escala 1: 100 000. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 19 (1) pp. 50-65.

**Thornbury, W., 1969.** Principles of Geomorphology. John Wiley & Sons, Inc. 2 Edition, Indiana, p. 593.

**Vázquez, S., y Jaimes, P., 1989.** Geología de la Cuenca de México, *Geofísica Internacional*, México, vol. 28, núm. 2, pp. 133-190.

**Varnes, D. J., 1958.** Landslides types and process. In Eckel, E. B. (ed) *Landslides and Engineering Practice*. Highway Res , Board Special Report 29, pp. 20-47.

**Verstappen, H. Th. y Van Zuidam, R., 1991.** The ITC System of Unites Geomorphologic Survey. ITC. Enschede, Publ. 10 pp. 89.



---

**Verstappen, H. Th., 1983.** Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development. Amsterdam. 437 p.

**Zamorano, J. J., 1990.** Análisis ingeniero-geomorfológico de la cuenca de México. Tesis de doctorado. Universidad Estatal de Moscú. Lomonosov, Moscú, URSS (en ruso).

## **Cartografía**

**INEGI, 2000.** Curvas de nivel en formato vectorial digital, cotas cada 20m.

**INEGI, 2000.** Conjunto vectorial, Curvas de Nivel, cotas cada 10 metros.

**INEGI, 2005.** Fotografías aéreas a color escala 1: 40 000

**INEGI 2005.** Carta topográfica Ciudad de México (E14A39) en formato vectorial, escala 1: 50 000.

### **Fotografías aéreas**

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2005). Fotografías aéreas en formato análogo a color de la zona poniente de la Ciudad de México, escala 1: 40 000.

Páginas de internet:

<http://www.cartesia.org/geodoc/ingegraf2005/T4.pdf>

Consulta: Enero 2011

<http://www.uclm.es/profesorado/egcardenas/MAPA%20geomorfol%C3%B3gico.pdf>

Consulta: Enero 2011

[http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/101/html/sec\\_7.html](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/101/html/sec_7.html)

Consulta: Marzo 2011.

[http://www.aobregon.df.gob.mx/atlas/mensaje\\_atlas.html](http://www.aobregon.df.gob.mx/atlas/mensaje_atlas.html)

Consulta: Junio 2011.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua 2006. Estado Plurinacional de Bolivia.

Consulta: Agosto 2011.

---

## ANEXO FOTOGRÁFICO



Deslizamiento ocurrido en el poblado de Ixtlahuantongo, delegación Magdalena Contreras. Se produce cuando el material es transportado ladera abajo sobre una superficie definida y que delimita la geometría del deslizamiento.



Deslizamiento superficial, este movimiento dejó una cicatriz en forma de herradura.





El movimiento presentó por un reblandecimiento de tierra y por características que propiciaban dicho movimiento: asentamientos irregulares sobre la ladera, escurrimiento, ladera cóncava, la superficie de debilidad tenía forma circular o de cuchara.



En este tipo de movimiento es muy común reconocer estrías en las superficies del deslizamiento, otro condicionante que favorece la existencia de los deslizamientos son las actividades antrópicas (construcción).





Deslizamiento ocurrido en la delegación Álvaro Obregón.



Deslizamiento rotacional, este material se desplazó sobre una superficie cóncava. Las características físicas como las intensas lluvias y las antrópicas son los principales agentes desencadenantes de estos procesos.





El crecimiento urbano hacia zonas poco favorables para la vivienda suele ser un factor condicionante para generar movimientos.



Medidas implementadas por los habitantes de la colonia Las Golondrinas (delegación Álvaro Obregón) que tienen el objetivo de frenar el crecimiento de saltos de cabecera (erosión remontante). Estas formas de relieve, evolucionan hasta convertirse en circos de deslizamiento y son frecuentes en laderas urbanizadas.



La filtración de agua incrementa la presión de poro. La ocurrencia de este tipo de movimientos está relacionada por los periodos de lluvia. Poblado de San Mateo, delegación Álvaro Obregón.



Las actividades humanas perturban la estabilidad de las laderas. La construcción de viviendas precarias en cortes, tipo terrazas, ejercen un desequilibrio. Belem de las Flores, delegación Álvaro Obregón.





Desprendimiento de rocas sobre vías de comunicación. Este tipo de movimiento depende de la forma de la ladera y del ángulo de inclinación.



Flujos de detritos, Colonia la Araña delegación Álvaro Obregón. Este es un movimiento rápido con alto grado de saturación, es muy común que este movimiento siga su trayectoria sobre los cauces fluviales.





Se observó socavación, existen más riesgos a la población, ya que por esa calle pasan vehículos pesados y es el cruce de personas.



En esta foto, se observa como una de las calles de esta colonia presenta grietas en forma circular y presenta un desnivel notable.

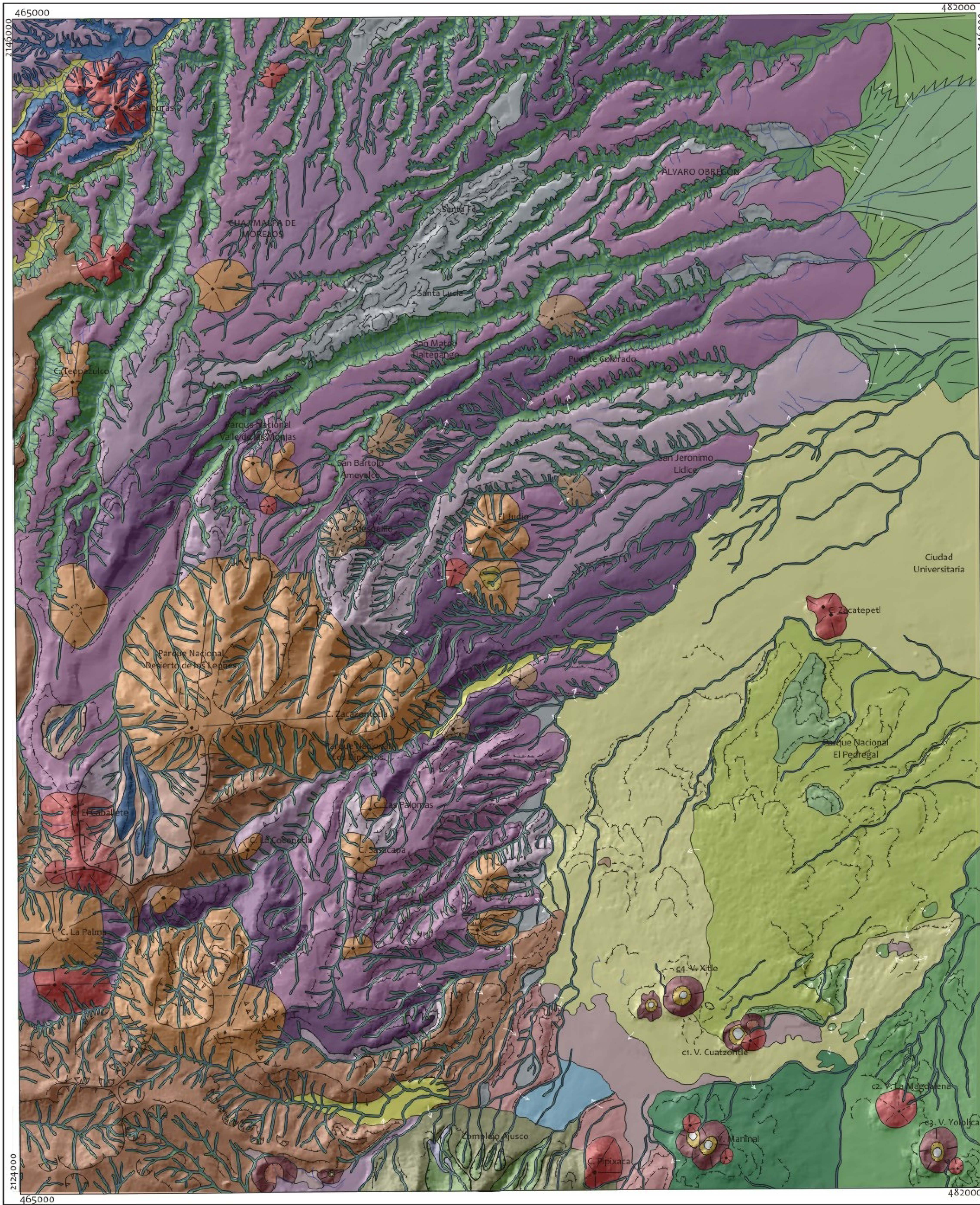




El factor antrópico es condicionante de generar procesos de remoción, pero se intensifica cuando las construcciones de viviendas están sobre las laderas con poca estabilidad.







# MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA DELEGACIÓN ÁLVARO OBREGÓN

## LEYENDA

### I RELIEVE ENDÓGENO VOLCÁNICO ACUMULATIVO

- 1.1 Edificios Volcánicos
  - a) Volcán de Lava
  - b) Domo
  - c) Volcán Cinerítico
  - d) Caldera San Miguel
- 1.2 Coladas de lava asociadas a:
  - a) Sierra de las Cruces
  - b) Complejo Ajusco
  - c) Chichinautzin:
    - c1. Volcán Cuatzontle
    - c2. Volcán La Magdalena
    - c3. Volcán Yololica
  - c4. Volcán Xitle
- 1.3 Centro de emisión parcialmente sepultados
- 1.4 Llanos volcánicos
- 1.5 Frentes de lava

### II RELIEVE ENDÓGENO MODELADO VOLCÁNICO EROSIVO

- 2.1 Laderas de montaña de origen volcánico modeladas por la acción fluvial
- 2.2 Laderas de montaña de origen volcánico modeladas por la acción fluvio-glacial: Complejo Ajusco
- 2.3 Edificio volcánico erosionado y/o parcialmente sepultado

### SÍMBOLOS ASOCIADOS AL RELIEVE VOLCÁNICO

- a) Cráter cerrado
- b) Cráter abierto o en herradura
- c) Cráter discontinuo
- d) Vents o bocas eruptivas
- e) Laderas interiores de cráter (atrio)
- f) Fondo de cráter
- g) Estructuras de geometría convexa

### III RELIEVE EXÓGENO EROSIVO FLUVIAL

- 3.1 Valles Principales (profundidad >a 10 y < a 20 m)
- 3.2 Valles afluentes o secundarios (profundidad < a 10 m)
- 3.3 Valles (profundidad >a 20m)
- 3.4 Circos inactivos
- 3.5 Escarpes fluviales

### IV ACUMULATIVO FLUVIAL

- 4.1 Abanicos Aluviales
- 4.2 Valles amplios de fondo plano

### V EROSIVO GLACIAL

- 5.1 Circo glacial inactivo
- 5.2 Fondos sobreexcavados de antiguos valles glaciales

### VI ACUMULATIVO GLACIAL

- 6.1 Rampa fluvio-glacial
- 6.2 Morrenas laterales
- 6.3 Cresta morrenica

### VII RELIEVE ANTRÓPICO

- 7.1 Superficies transformadas: urbanizaciones y minas a cielo abierto
- 7.2 Cauces urbanizados
- 7.3 Laderas de fuerte inclinación densamente pobladas (laderas de barrancos)

### SÍMBOLOS COMPLEMENTARIOS

- a) Nivel altitudinal relativo entre lavas
- b) Contactos
  - b1. Reales
  - b2. Inferidos
  - b3. Diferido

ELIPSOIDE: CLARKE DE 1886  
 PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERKATOR  
 DATUM HORIZONTAL: NORTEAMERICANO DE 1927 (NAD27)  
 REFERENCIA DE COTAS: NIVEL MEDIO DEL MAR  
 PRIMERA EDICIÓN: 2011

#### BASES CARTOGRÁFICAS

-Curvas de nivel: datos vectoriales de la carta topográfica 1:50 000 (INEGI, 2000-2011)  
 -Hidrografía, cobertura digital: datos vectoriales de la carta topográfica 1:50 000 (INEGI, 2000-2011)



Esc. 1:30 000



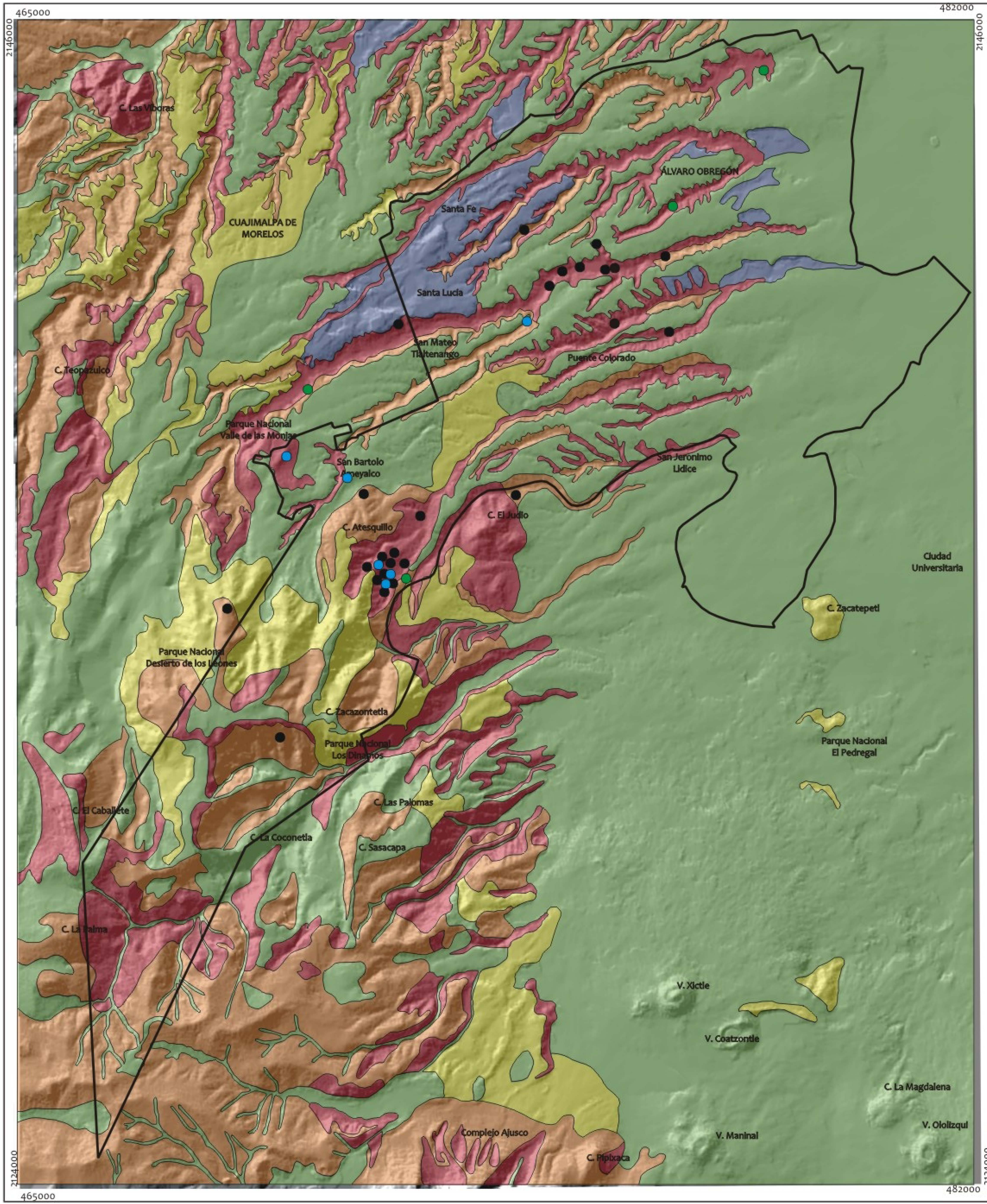
Alumna: Adriana Haydee Galván Gracia  
 Asesor: Dr. José Juan Zamorano Orozco



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
 INSTITUTO DE GEOLOGÍA







# MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA DELEGACIÓN ÁLVARO OBREGÓN

## LEYENDA

**Máxima Ocurrencia:** Esta zona corresponde a valles montañosos (barrancos y cañadas) donde las laderas presentan fuerte inclinación ( $> 30^\circ$ ), que están constituidas por rocas volcánicas de composición básica, intermedia e intermedia-ácida (basaltos, andesitas, dacitas), que se encuentran intercaladas. Todas ellas tienen distintos grados de resistencia a la erosión. Estas vertientes encauzan los ríos Tacubaya, Mixcoac, Becerra, Tarango y Magdalena; todos ellos, con un continuo proceso de urbanización.

En este territorio son frecuentes los contrastes altitudinales (en distancias cortas), que llegan hasta los 300 metros de desnivel. Los barrancos y cañadas se disponen de acuerdo al patrón tectónico disyuntivo que se asocia con la Cuenca de México. Esta área representa una extensión de 46 550 Km<sup>2</sup> y el 13% de la delegación.

**Área Potencial:** Comprende la superficie que existe entre el talweg y la cumbre, las inclinaciones que se presentan son de  $15^\circ$  a  $30^\circ$ . Dentro de este territorio se reconocen coladas de lava y laderas volcánicas con morfología cóncava, resultado de una intensa erosión. La litología de esta zona presenta condiciones similares al del punto anterior (erosión diferencial). La existencia de una pendiente moderada y la ausencia de desniveles topográficos, hacen que los procesos de remoción en masa tengan un carácter potencial, su ocurrencia se asocia a lluvias extraordinarias, incendios, deforestación o a la transformación del relieve por actividad antropica (urbanización, minas a cielo abierto y desvío de cursos fluviales). La superficie total es de 64 811 Km<sup>2</sup>, y representa el 18% de la zona de estudio.

**Baja susceptibilidad de ocurrencia:** Son terrenos de geometría convexa-recta y caracterizan los terrenos cumbreales montañosos, también son frecuentes en coladas de lava de poca inclinación ( $< 10^\circ$ ), constituye un área de 29 921 Km<sup>2</sup>, esto es el 8.5% de la delegación.

**Estabilidad aparente:** Representa un territorio en el cual no ocurren procesos gravitacionales, sin embargo no se descarta la posibilidad de que se lleguen a generar. El relieve que está representado en esta categoría, corresponde a las superficies cumbreales de montaña, a las coladas de lava del volcán Xitle y a llanos volcánicos. La morfología de todas las formas mencionadas, en términos generales, es de ondulada a subhorizontal y en algunos casos pueden definir lomeríos. La extensión de esta unidad es de 203 249 km<sup>2</sup>, lo que representa el 58% del territorio en estudio.

**Zona excepcional:** Corresponde a territorios en donde el relieve ha sido transformado en su totalidad, la morfología original ya no existe debido a la fuerte presión urbana que ejerce la Ciudad de México hacia las estribaciones de la Sierra de las Cruces, que se visualiza en la existencia de densos núcleos de urbanos, numerosas minas a cielo abierto y construcción de complejas redes viales (autopistas). Los factores antrópicos que se mencionan alteran radicalmente la funcionalidad natural de los procesos geomorfológicos. A la fecha no se tienen noticias de colapsos o subsidencia del terreno asociado a procesos de remoción en masa, más no se descarta la posibilidad. El tamaño de esta unidad es de 7 499 km<sup>2</sup>, lo que constituye el 2.5% del terreno expuesto.

### PUNTOS DE OBSERVACIÓN DE CAMPO (2009)

-  Deslizamientos
-  Flujos
-  Caídas

ELIPSOIDE: CLARKE DE 1858  
 PROYECCIÓN: UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR  
 DATUM HORIZONTAL: NORTEAMERICANO DE 1927 (NAD27)  
 REFERENCIA DE COTAS: NIVEL MEDIO DEL MAR  
 PRIMERA EDICIÓN: 2011



Alumna: Adriana Haydee Galván Gracia  
 Asesor: Dr. José Juan Zamorano Orozco



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO  
 POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
 INSTITUTO DE GEOLOGÍA





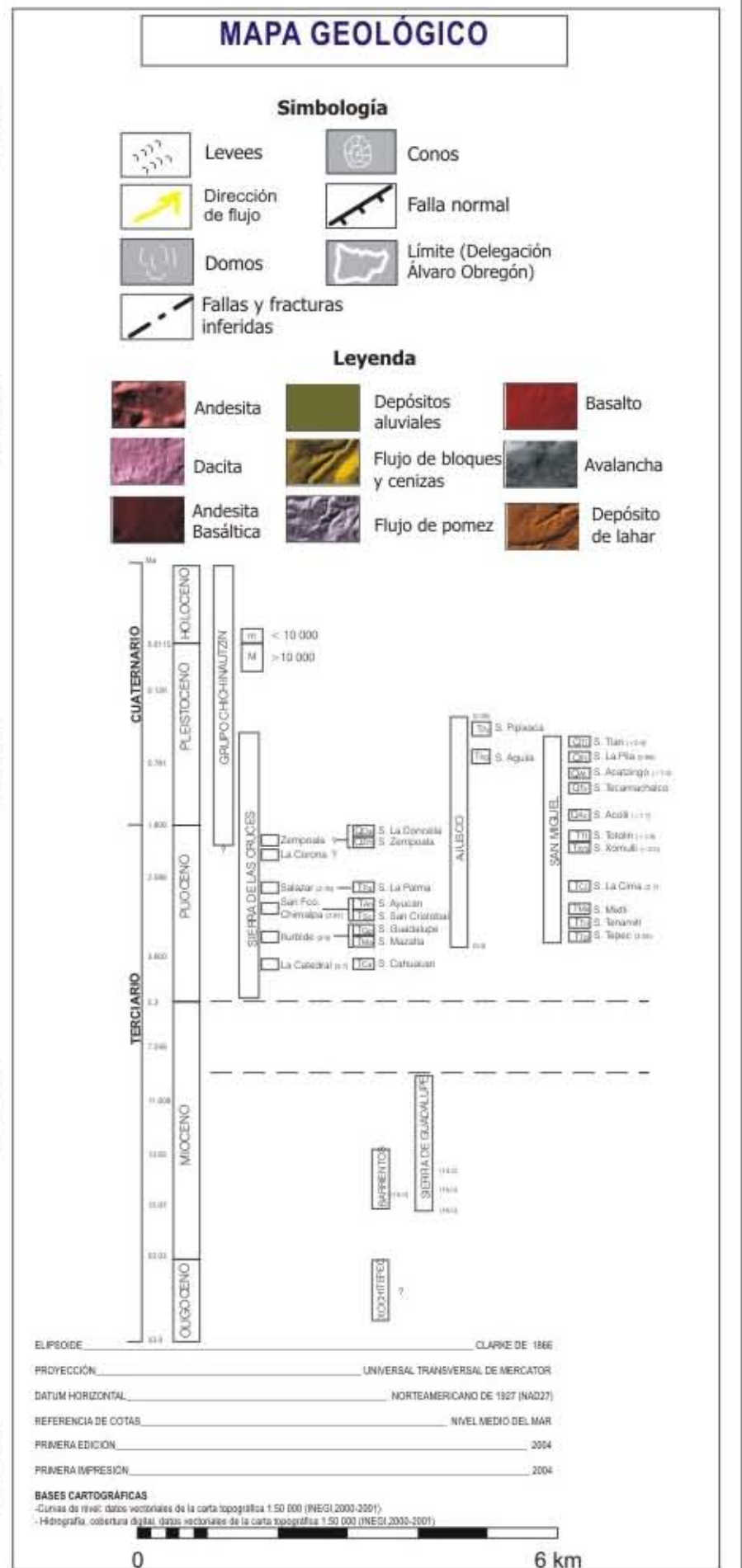
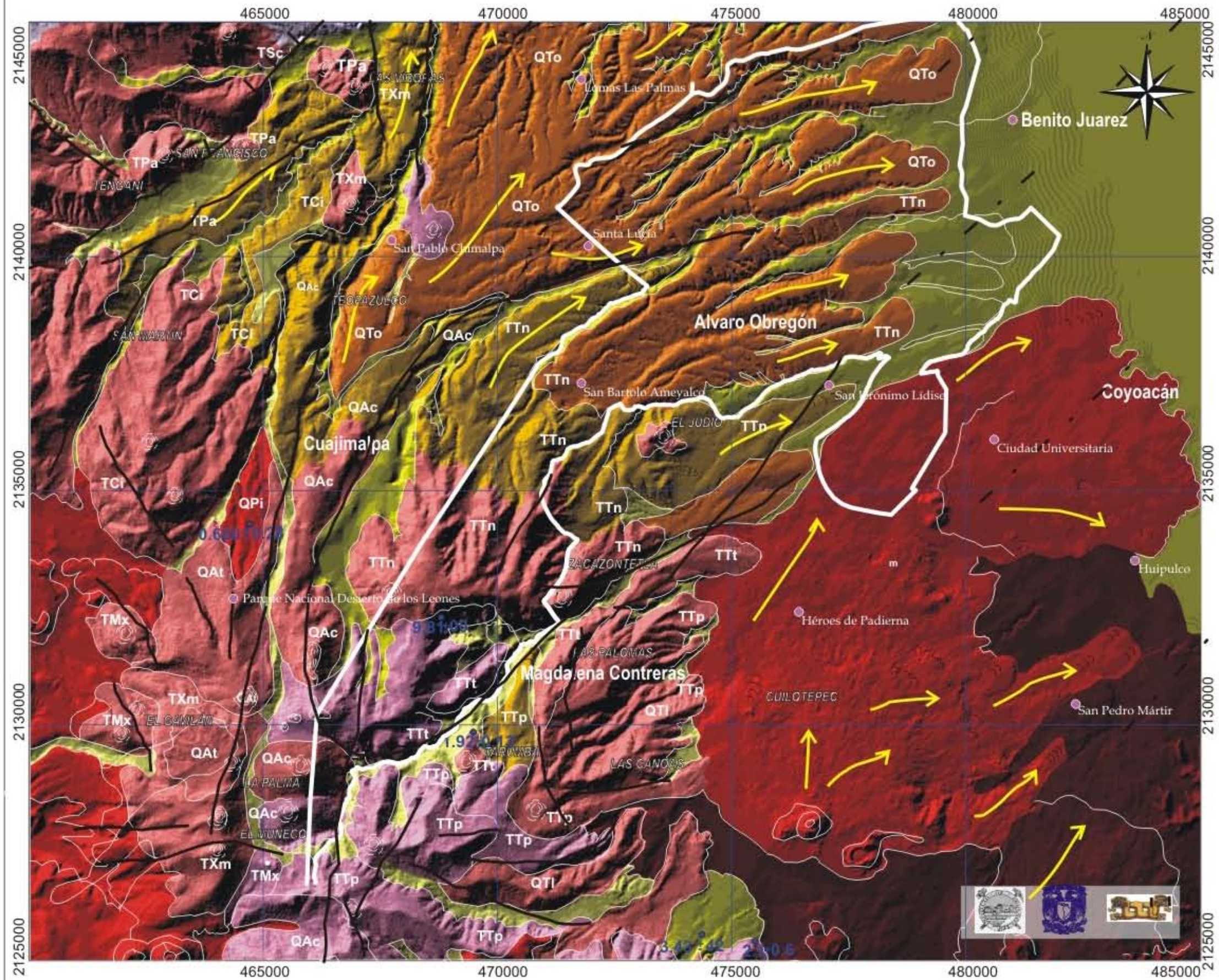


Figura 6. Geología de la porción oeste de la Ciudad de México. La litología está constituida por afloramientos de rocas de origen ígneo, así como por depósitos lacustres y aluviales. Las principales estructuras geológicas que se presentan son aparatos volcánicos y existen fallas y fracturas regionales asociados al vulcanismo y tectonismo. La columna estratigráfica, muestra las edades relativas de las distintas formaciones que constituyen la edad de la Sierra de las Cruces. Esta tabla se elaboró con base en la compilación de información de diversos autores. (SEGEOMET, 2005).