



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA



PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA Y ZONIFICACION DE PELIGROS  
EN LA LADERA OESTE DE LA SIERRA DE GUADALUPE, ESTADO DE  
MÉXICO

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**LICENCIADO EN GEOGRAFIA**  
P R E S E N T A :  
**ADRIANA HAYDEE GALVÁN GARCÍA**

DIRECTOR DE TESIS: DR. ARMANDO GARCÍA PALOMO



MÉXICO, D. F.



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFIA

SEPTIEMBRE DEL 2005

m347844



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.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.  
NOMBRE: Adriana Haydee Galván García  
FECHA: 13-09-05  
Adriana Haydee Galván García

***PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA  
Y ZONIFICACIÓN DE PELIGROS  
EN LA LADERA OESTE  
DE LA SIERRA DE GUADALUPE, ESTADO  
DE MÉXICO***

---

Por:  
**Adriana Haydee Galván García**

México D.F., 2005

**AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a las personas e instituciones, que me ayudaron e hicieron posible la realización de este trabajo.

En primer lugar, a la **Universidad Nacional Autónoma de México**, por haberme enseñado tantas cosas y a ser mejor cada día. Al **Instituto de Geología** en especial a su director el Dr. Gustavo Tolson Jones; a la **Dirección General de Protección Civil**, en particular a su Director, Luis Wintergets Toledo.

De manera muy especial agradezco al Dr. Armando García Palomo coordinador del **Servicio Geológico Metropolitano**, quien dirigió y asesoró esta tesis, gracias a sus enseñanzas y atinadas observaciones.

Quiero agradecer a cada uno de los sinodales por su tiempo, dedicación, enseñanzas y aportes para este trabajo Dr. Mario Arturo Ortiz, Dr. Lorenzo Vázquez Selem, M. en C. Arturo Garrido Pérez, Dr. José Ramón Hernández.

Al personal del Servicio Geológico Metropolitano, en especial a la Geogr. Celia López Miguel, al M.I. Victor Carlos Valerio, a la Geogr. Mónica Vera Pérez, a la Secr. Silvia Vázquez Mancilla, por su colaboración, comentarios y recomendaciones acertadas.

Al personal de computo del Instituto de Geología, a Rosario Flores y Francisco Montaña.



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las dos personas que más amo en esta vida, a mis padres, Jose Luis Galván Herrera y María Herlinda García Martínez, gracias a ustedes, a su apoyo incondicional, consejos, enseñanzas, ejemplos y sobre todo a su amor he llegado hasta aquí. Son un motivo muy grande en mi vida para seguir adelante. Nunca podré olvidar todo lo que han hecho por mi.

A mis hermanos Thania y Jose Luis, por estar conmigo en los momentos de alegría y de tristeza, por su comprensión y sobre todo por su cariño. Siempre los llevaré en mi corazón.

A mi sobrino Jorge, que es la luz de mi vida, me robaste el corazón, y me diste toda la alegría del universo. A mi cuñada Janeth, gracias por tu apoyo.

A mis abuelitos David, Herminio, Carmen y Juanita; a mis tíos, mamá tere, Antonio, Teresa, Guillermo, Irma; a mis sobrinos, Rodrigo, Jonatan, Alpha, Alejandra, kelly, paola, Daniela, Dana, gracias por su apoyo y cariño.

## **Contenido**

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1 <i>Antecedentes.....</i>	<i>3</i>
1.2 <i>Planteamiento del problema.....</i>	<i>4</i>
1.3 <b>Objetivos.....</b>	<b>4</b>
1.3.1 <i>General.....</i>	<i>4</i>
1.3.2 <i>Particular.....</i>	<i>5</i>
1.4 <b>Justificación e Hipótesis.....</b>	<b>5</b>
1.4.1 <i>Justificación.....</i>	<i>5</i>
1.4.2 <i>Hipótesis.....</i>	<i>6</i>
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA Y MATERIALES.....</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Metodología.....</i>	<i>7</i>
2.2 <i>Materiales.....</i>	<i>12</i>
<b>CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL.....</b>	<b>13</b>
3.1 <i>Conceptos y clasificación de procesos de remoción en masa.....</i>	<i>13</i>
3.1.1 <i>Definición.....</i>	<i>13</i>
3.1.2 <i>Clasificación.....</i>	<i>13</i>
3.1.3 <i>Tipos de movimientos.....</i>	<i>14</i>
3.2 <i>Factores detonadores del movimiento del terreno.....</i>	<i>18</i>
<b>CAPÍTULO 4. ÁREA DE ESTUDIO, ASPECTOS FÍSICOS.....</b>	<b>20</b>
4.1 <i>Localización geográfica.....</i>	<i>20</i>
4.2 <i>Aspectos Físicos.....</i>	<i>22</i>
4.2.1 <i>Clima.....</i>	<i>22</i>
4.2.2 <i>Hidrología.....</i>	<i>26</i>

4.2.3 Relieve.....	26
<b>CAPÍTULO 5. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>30</b>
5.1 Marco geológico regional.....	30
5.2 Marco geológico local.....	30
5.3 Geología del área de estudio.....	31
5.3.1 Estratigrafía.....	33
5.4 Geología estructural.....	39
5.5 Densidad de fracturamiento, resultados.....	43
5.6 Geomorfología.....	47
5.7 Altimetría, resultados.....	48
5.8 Pendientes del terreno, resultados.....	50
5.9 Densidad de drenaje, resultados.....	52
5.10 Modelo de relieve sombreado e imágenes de satélite.....	54
5.10.1 Modelo de relieve sombreado, resultados.....	54
5.10.2 Imagen de satélite.....	56
5.11 Influencia Antrópica.....	57
<b>CAPÍTULO 6. ZONIFICACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE PELIGROS.....</b>	<b>59</b>
6.1 Tipos de procesos de remoción en masa identificados en la porción oeste de la Sierra de Guadalupe.....	65
6.2 Mapa de zonificación, resultados.....	65
6.3 Mapa de peligros, métodos y resultados.....	70
<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>92</b>

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

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 Sierra de Guadalupe 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 las fuerzas de gravedad, abundante precipitación y sismos, o bien inducidos por el hombre, ya sea mediante cortes en las laderas, deforestando la región o bien induciendo fuerzas externas en las laderas, debido al constante cruce 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.

En el presente trabajo, se utilizó una metodología (Servicio Geológico Metropolitano, 2003) para zonificar y jerarquizar las zonas de peligro por procesos de remoción en masa en la porción oeste de la Sierra de Guadalupe, con el fin de obtener una evaluación cualitativa del peligro y realizar una zonificación de las áreas susceptibles a la ocurrencia de dichos fenómenos.

## 1.2 Planteamiento del problema

El área de estudio es una entidad geológica que de acuerdo a su origen volcánico, edad y tectonismo, se considera como una zona de peligro potencial por procesos de remoción en masa. Por citar algunos ejemplos recientes de cómo afectan a la población este tipo de fenómenos, se tienen la zona de deslizamiento del flanco poniente del Cerro el Chiquihuite (Servicio Geológico Metropolitano, 2001), así como la zona de fuerte fracturamiento del flanco sur y oriente que genera “vuelcos ó volteo” de grandes bloques de roca; la zona de caída de rocas del cerro conocido como Pico del Águila o bien las laderas inestables del Cerro El Tenayo (Carlos, 2003).

En zonas como el Cerro el Picacho o el Jaral predomina el deslizamiento y caída de rocas, asociadas generalmente al fracturamiento, a la estructura geológica y a la presencia de agentes detonantes, como la precipitación y la pendiente, entre otras.

Estos fenómenos han estado presentes tiempo atrás, afectando de manera importante a obras y personas asentadas en las laderas de la Sierra de Guadalupe; por lo tanto, es necesario realizar un estudio para zonificar y evaluar, de manera cualitativa, los procesos de remoción en masa. Esta información será importante para fines de planeación territorial y para identificar zonas prioritarias con fines de mitigación.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 General

Zonificar y evaluar el peligro por procesos de remoción en masa en la porción oeste de la Sierra de Guadalupe.

### 1.3.2 Particular

- Identificar los factores más importantes, que inciden en la generación de los peligros por procesos de remoción en masa.
- Cartografiar los procesos de remoción en masa para conocer la distribución espacial, extensión y tipo potencial de movimiento, a través de un mapa de inventarios a escala 1:50 000.
- Jerarquizar el área de estudio en zonas de bajo, medio y alto peligro, de acuerdo con la combinación cualitativa de cinco factores: precipitación, pendiente, altimetría, densidad de drenaje y fracturamiento.

## 1.4 Justificación e Hipótesis

### 1.4.1 Justificación

Desde el punto de vista del ordenamiento territorial, es importante y necesario contar con un mapa de inventarios de los diferentes tipos de procesos de remoción en masa para:

- Conocer las zonas donde existen problemas procesos de remoción en masa.
- Tener un mayor y mejor control de los peligros geológicos en el área.
- Jerarquizar las zonas de alto, medio y bajo peligro.
- Definir en qué ladera se podrían realizar estudios a detalle.
- Establecer sitios prioritarios con fines de mitigación.
- Normar el uso del suelo y evitar que se urbanice en zonas de peligro o de reserva.

### 1.4.2 Hipótesis

1. Los procesos de remoción en masa en el área de estudio, están controlados por factores geológicos, geomorfológicos, físico-químicos, y antrópicos.
2. La cartografía de los procesos de remoción en masa, permite conocer la distribución espacial de los tipos de movimientos.
3. La combinación y análisis de los factores, proporciona y define la ponderación cualitativa del peligro en el área de estudio.

## **CAPITULO 2. METODOLOGÍA Y MATERIALES**

### **2.1 Metodología.**

De acuerdo con los objetivos señalados, para zonificar y evaluar el peligro por procesos de remoción en masa, así como identificar los factores que inciden en su generación, se siguieron tres etapas:

#### **Etapa 1.**

##### **1.-Recopilación bibliográfica.**

Se realizó una recopilación bibliográfica para identificar teorías, conceptos y clasificaciones referentes a los procesos de remoción en masa.

##### **2.- Compilación cartográfica.**

La cartografía utilizada es la carta topográfica a escala 1:50 000. Se compilaron las fotografías aéreas a escala 1: 37 500, de igual forma se revisaron imágenes de satélite Landsat y ortofotos procedentes de INEGI (1997).

##### **3.- Interpretación del material obtenido.**

Se analizó e interpretó la información y el material cartográfico, donde fue posible identificar rasgos geomorfológicos. Asimismo, se elaboraron fichas de campo para recopilar las características más importantes en la siguiente etapa de trabajo y posteriormente integrarlas en una base de datos.

#### **Etapa 2.**

##### **1.- Trabajo de campo.**

Cada zona que presenta algún proceso de remoción en masa fue cartografiada y representada como “polígonos”, además de georeferenciar cada punto de control, utilizando un receptor de Sistema de Posicionamiento Global (GPS).



En cada punto se utilizaron fichas de campo, (generadas por el Servicio Geológico Metropolitano, 2003) para determinar las principales características de los tipos de movimientos identificados en la región, como son: el tipo de mecanismo, área estimada de afectación, material, forma de la ladera, altitud, tipo de erosión, drenaje, tipo de movimiento, etc. (ANEXO 1).

2.- Se creó una base de datos en un ambiente SIG (Sistema de Información Geográfica), además de digitalizar los diferentes tipos de movimientos (ILWIS).

3.- En esta etapa se determinaron los factores que inciden en los procesos de remoción en masa y que afectan el área de estudio, como es la precipitación, pendiente, altimetría, densidad de drenaje y densidad de fracturamiento.

### **Etapa 3.**

1.- Procesamiento de la información.

En esta etapa fueron elaborados los mapas morfométricos para la elaboración de los mapas finales (Inventarios y Peligros).

La consulta, interpretación y el trabajo de campo realizado, permitieron la elaboración del siguiente material cartográfico:

a) Mapa de isoyetas

El mapa de isoyetas consiste en la configuración de isolineas de igual precipitación (mm), mediante geo-estadística utilizando método de Kriging.

b) Mapa de densidad de fracturamiento

El mapa de densidad de fracturamiento consiste en la configuración de isolineamientos, que se obtiene a partir de la suma total de longitudes (L) de los lineamientos comprendidos en un área (A) determinada, y la superficie del área se considerada como unitaria, quedando representada por la fórmula:

$D = L / A$ . Para el análisis de la Sierra de Guadalupe el área que se determinó fue de 1 km<sup>2</sup>. Después, utilizando métodos geo-estadísticos se realizó la interpolación de los isolineamientos, mediante el método de Kriging.

c) Mapa altimétrico

Para la realización del mapa altimétrico ó hipsométrico del área de estudio, se utilizó la siguiente metodología: con base en el mapa topográfico se obtuvieron las cotas mínima y máxima de la zona de estudio, siendo éstas de 2,240 a 2,910 msnm. Los intervalos altitudinales fueron de 100 m, de acuerdo a los histogramas realizados, con estos se determinaron 7 intervalos:

1. < 2,340 m
2. 2,341-2,440 m
3. 2,441-2,540 m
4. 2,541-2,640 m
5. 2,641-2,740 m
6. 2,741-2,840 m
7. >2,841 m

d) Mapa de pendientes.

La elaboración del mapa de pendientes consiste en convertir la distancia que hay entre curvas de nivel a valores de pendiente en grados o en porcentajes. Para su realización se utilizó el Sistema de Información Geográfica ILWIS 3.0. Se obtuvieron cinco intervalos de pendientes que son de 0°-15°, 16°-30°, 31°-45°, 46°-60° y > 60°. definidos después de elaborar histogramas, generados a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT),

e) Mapa de densidad de drenaje.

Para la realización de este mapa fue necesario marcar la red fluvial en el mapa topográfico, a escala 1: 50 000, de INEGI (1997), infiriéndose aquel

drenaje que no estaba marcado por medio de la configuración de las curvas de nivel. Posteriormente todas las corrientes fueron digitalizadas en un Sistema de Información Geográfica (Ilwis) y se procedió a calcular la densidad de drenaje con el siguiente procedimiento:

Con los arroyos trazados, sobre el mapa topográfico se sobrepuso una retícula de 1000 m por lado, dando un área de 1 km<sup>2</sup>. En esta rejilla fue medida la longitud de cauces por unidad de área (1 km<sup>2</sup>). El resultado se colocó en el centro de cada cuadrado que formaba la retícula y posteriormente se realizó una configuración con los resultados obtenidos. El producto final fue un mapa de densidad de drenaje que muestra 8 intervalos de valores por unidad de área, tales como:

1. De 0 a 1 km/km<sup>2</sup>
2. De 1.1 a 2 km/km<sup>2</sup>
3. De 2.1 a 3 km/km<sup>2</sup>
4. De 3.1 a 4 km/km<sup>2</sup>
5. De 4.1 a 5 km/km<sup>2</sup>
6. De 5.1 a 6 km/km<sup>2</sup>
7. De 6.1 a 7 km/km<sup>2</sup>
8. Mayores a 7.1 km/km<sup>2</sup>

f) Modelo de relieve sombreado

Con las curvas de nivel en formato digital, se elaboró el Modelo Digital del Terreno (MDT), que es una representación digital del relieve, en donde se interpolan las curvas, a través de píxeles del mismo valor.

Para realizar una mejor interpretación de los rasgos del terreno, se obtuvo un mapa de relieve sombreado, que es simplemente la simulación de luz proveniente de una dirección (en este caso, es el poniente con un ángulo de 45°),

que muestra una perspectiva tridimensional y permite una mejor interpretación morfológica del área de estudio.

g) Mapa de zonificación de peligros geológicos.

Para la elaboración del mapa de zonificación a escala 1:50 000, se digitalizaron y etiquetaron los “polígonos” correspondientes a las áreas que se marcaron en el proceso de cartografía, donde se indicaron los tipos de movimiento y se integraron en un Sistema de Información Geográfica (ILWIS).

h) Mapa de jerarquización de peligros geológicos.

La jerarquización se realizó mediante “tablas de decisión”, donde se evaluaron las siguientes variables: pendiente, altura, densidad de drenaje, la densidad de fracturamiento y precipitación. Posteriormente, para la elaboración del mapa de peligros fue necesario integrar la información en una base de datos, los mapas generados en la etapa anterior, se sobrepusieron con la finalidad de obtener el mapa y su jerarquización.

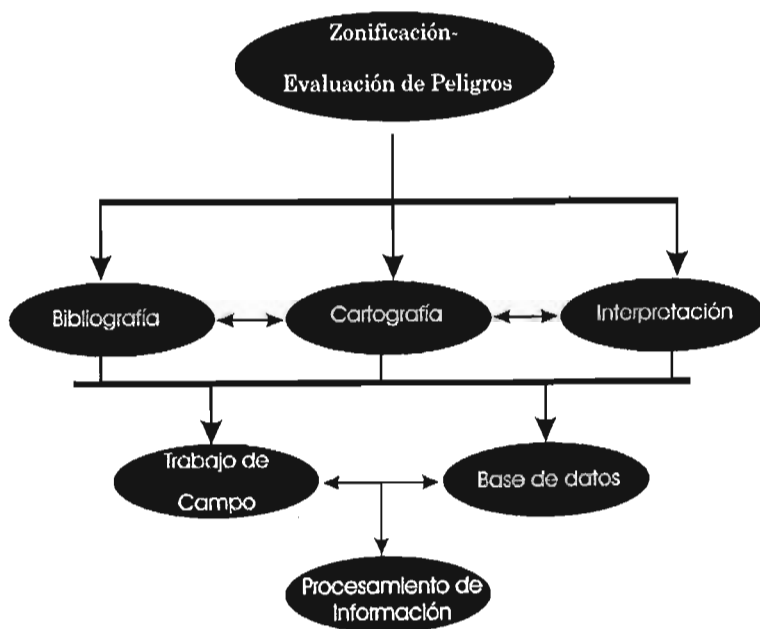


Figura 2.1 Pasos metodológicos para zonificar y jerarquizar los procesos de remoción en masa.

## 2.2. Materiales. |

Los materiales utilizados en este trabajo de investigación fueron los siguientes: la carta topográfica clave E14A29, Hoja Cuautitlán a escala 1:50000, además de una imagen de satélite Landsat ETM 7, compuesto en falso color 4, 3 y 2 (RGB), fotografías aéreas en blanco y negro a escala 1:37 500 , unas ortofotos provenientes del Instituto Nacional de estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1997) GPS y brújula.

## **CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL**

Los fenómenos naturales que pueden provocar desastres no se pueden pronosticar en términos de magnitud o intensidad, tiempo de ocurrencia y sitio específico de impacto (CENAPRED, 2001). En las últimas décadas, investigadores de diversas disciplinas como geomorfólogos, geólogos, geofísicos, ingenieros y geofísicos, han estudiado los procesos de remoción en masa, que es uno de los fenómenos naturales más peligrosos, los cuales causan daños en la población y la economía.

Cada disciplina maneja términos diferentes referidos a la remoción en masa; conceptos como inestabilidad de laderas, deslizamiento de tierra, movimientos del terreno, procesos de ladera; indican que una ladera no tiene estabilidad (CENAPRED, 2001).

### **2.1- Conceptos y clasificación de procesos remoción en masa**

#### **2.1.1 Definición**

La terminología para los procesos de remoción en masa ha ido cambiando y requiere de una revisión cuidadosa, ya que se trata de términos que por no ser descriptivos pueden causar confusión. Brunsden (1979; citado en Alcántara, 2000), define a los procesos de remoción en masa, como aquellos movimientos de ladera abajo que no requieren el transporte de un medio como el agua, el aire o el hielo.

#### **2.1.2 Clasificación.**

Una clasificación de los procesos de remoción en masa, aplicada en el ámbito internacional, se basa en el mecanismo de movimiento y que se dividen en: caídas o desprendimientos, vuelcos o desplomes, deslizamientos, expansiones laterales, flujos y movimientos complejos (Alcántara, 2000).

En este trabajo se utiliza la clasificación y descripción de los tipos de procesos de remoción en masa, de acuerdo con los materiales formadores como son: las rocas, los detritos y los suelos. (Hutchinson, 1996).

### 2.1.3 Tipos de movimientos

**Reptación.** Se refiere a movimientos de laderas extremadamente lentos, perceptibles sólo durante períodos largos de medición.

1.- En la reptación superficial el movimiento está confinado a las capas superiores y está asociado a cambios de volumen por variaciones en el contenido de agua y de temperatura.

2.- En la reptación profunda se presenta deformación de la ladera, que se extiende más allá de un metro de profundidad; es posible identificar una superficie de falla.

**Deslizamientos.** Son movimientos relativamente rápidos del talud, en los cuales la masa de suelo o roca se mueve a través de una o más superficies bien definidas y que definen la geometría del deslizamiento.

1.- Deslizamiento rotacional. El movimiento se presenta por corte, a través de una superficie de falla curva (circular o lítrica) a moderada velocidad. Se presenta en suelos cohesivos y en rocas muy fracturadas o alteradas (Fig. 3.1).

### DESLIZAMIENTO ROTACIONAL DE ROCAS

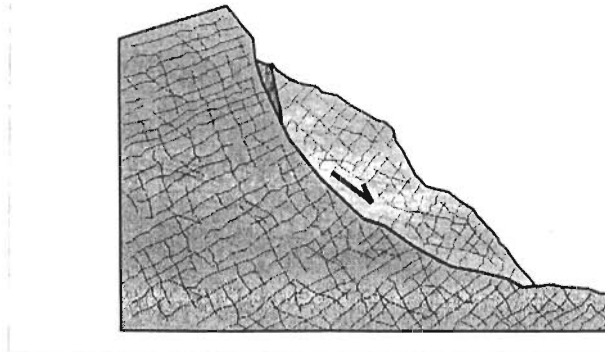


Figura 3.1-Movimiento rotacional en suelo y rocas.

2.- Deslizamiento traslacional. El movimiento se presenta por corte, a través de una superficie relativamente plana. Por los rasgos estructurales que afectan a las rocas conviene hacer una sub-clasificación de este tipo de deslizamientos.

a) Deslizamientos planos de roca. Son movimientos traslacionales de masas monolíticas de roca, que se presentan en superficies planas formadas por discontinuidades como son: planos de estratificación, foliación, clivaje y fracturas, que pueden estar rellenas de materiales arcillosos (Fig. 3.2 A).

b) Deslizamientos en cuña. Se refiere al tipo de movimiento que se presenta en masas rocosas en las cuales el deslizamiento se desarrolla sobre la línea de intersección de dos discontinuidades planas (Fig. 3.2 B).

### DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL DE ROCAS



Figura 3.2- Movimiento traslacional A) Deslizamiento plano. B) Deslizamiento en cuña.



c) Deslizamientos escalonados. Se presentan en rocas donde existen por lo menos dos sistemas de fracturas y en superficies escalonadas (Fig. 3.3).



Figura 3.3- Movimiento traslacional de rocas sobre una superficie de deslizamiento escalonada.

3.- Deslizamientos de detritos. Estos deslizamientos afectan a los detritos que conforman la capa superficial de la ladera. La velocidad de salida y de movimiento tiende a incrementarse con el ángulo de la ladera.

**Movimientos de detritos en forma de flujo.** La morfología es determinante para este tipo de movimientos (Fig. 3.4).

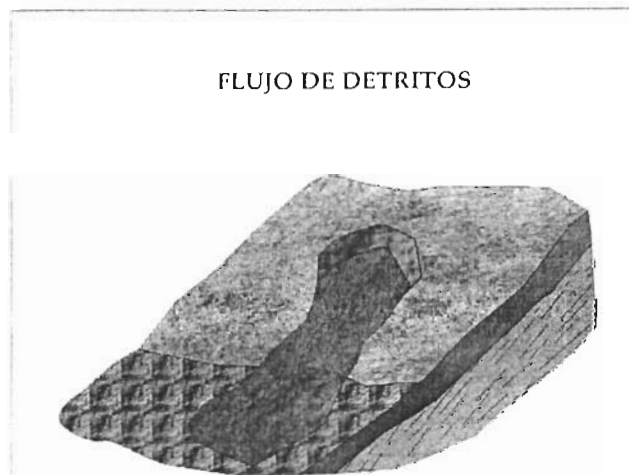


Figura 3.4- Movimiento de detritos en forma de flujo.

1. Deslizamientos de lodo. Son movimientos relativamente lentos, de forma lobular o elongada; se presentan en material detrítico inmerso en una matriz arcillosa y el movimiento se desarrolla por deslizamiento en superficies discretas.
2. Flujo de detritos. Son movimientos rápidos a muy rápidos de detritos húmedos o con alto grado de saturación y generalmente, se presenta un exceso de presión de poro. Esta forma destructiva del movimiento está asociada a zonas montañosas, donde una precipitación o un deshielo intenso puede movilizar los detritos del manto e incorporarlos en un flujo.
3. Avalancha. Son flujos extremadamente rápidos de detritos secos. Algunos deslizamientos o caídas de roca de gran magnitud pueden convertirse en avalanchas.

**Vuelcos ó Volteos.** Este tipo de movimiento ocurre cuando la resultante de las fuerzas aplicadas a un bloque pasa o cae fuera de un punto pivote en la base del mismo y alrededor del cual se produce un giro o volteo. Este tipo de movimiento es común en masas rocosas con discontinuidades casi verticales. Puede existir el volteo de bloques monolíticos separados por fracturas o bien por flexión y rotura de los estratos (Fig. 3.5).

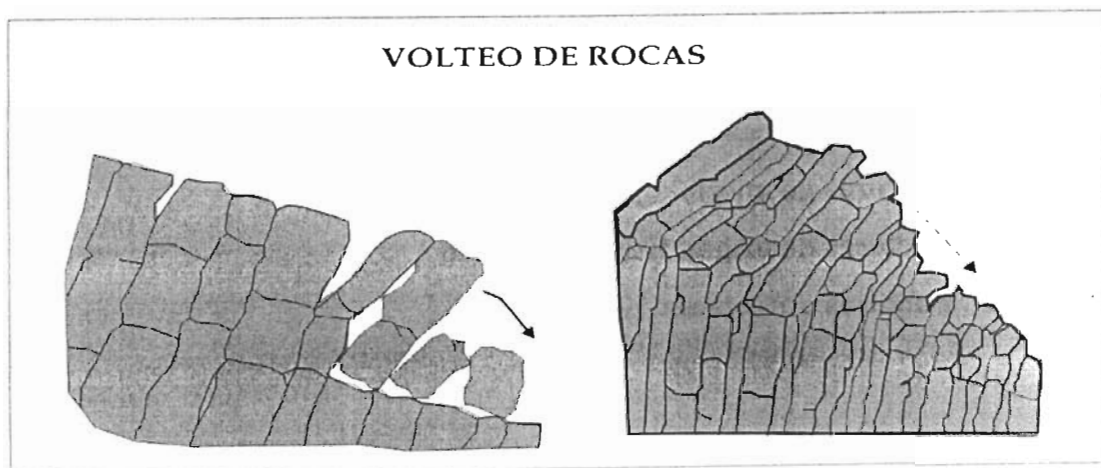


Figura 3.5-Volteo de bloques de roca y volteo con flexión.

**Caída.** Comprende el descenso rápido y libre de bloques de roca con tamaño variable, de laderas con fuerte pendiente o de acantilados. El movimiento puede incluir deslizamiento, rodamiento, rebotes y caída libre (Fig. 3.6).



Figura 3.6- Caída y desprendimiento de rocas.

**Movimientos complejos.** Se refiere a la combinación de dos o más tipos de movimientos.

## 2.2- Factores detonadores del movimiento del terreno

Los factores que potencialmente pueden generar procesos de remoción en masa, se pueden agrupar en cuatro categorías (Herrera, 2002):

- 1) Características y condiciones geológicas
- 2) Factores geomorfológicos
- 3) Factores de origen físico y químico
- 4) Factores antrópicos

➤ **Características y condiciones geológicas**

Materiales débiles, intemperizados, sujetos a cizallamiento, discontinuidades estructurales (fallas, fracturas, discordancias, contactos), permeabilidad contrastante y heterogeneidad de materiales con diferente competencia.

➤ **Factores geomorfológicos**

Erosión glacial, erosión fluvial al pie de las laderas, erosión marina al pie de los acantilados, erosión en márgenes laterales, disolución kárstica.

➤ **Factores de origen físico-químico**

Precipitación intensa en periodos cortos, precipitación prolongada, deshielo, actividad sísmica, erupciones volcánicas, expansión, contracción de suelos y crecimiento de raíces en discontinuidades.

➤ **Factores antrópicos**

Excavación de laderas para obras civiles (caminos, canales y viviendas), incremento de peso en las laderas, vaciado y llenado rápido de cuerpos de agua, deforestación, irrigación, fuga de agua por mantenimiento deficiente del drenaje, vibraciones artificiales, incendios provocados, creación de tiraderos con materiales sueltos y actividad minera.

El primer factor es de tipo antecedente. Los demás pueden ser de tipo antecedente y también detonadores.

## CAPITULO 4. ÁREA DE ESTUDIO, ASPECTOS FÍSICOS.

### 3.1- Localización geográfica

La Cuenca de México es una unidad hidrográfica está delimitada, al oeste, por la Sierra de las Cruces; al este, por la Sierra Nevada; al sur, por la Sierra Chichinautzin y hacia el norte, por la Sierra de Pachuca. Dentro de la cuenca se ubican dos sierras constituidas por rocas volcánicas: la Sierra de Santa Catarina y la Sierra de Guadalupe, esta última objeto del presente estudio (Fig. 4.1).

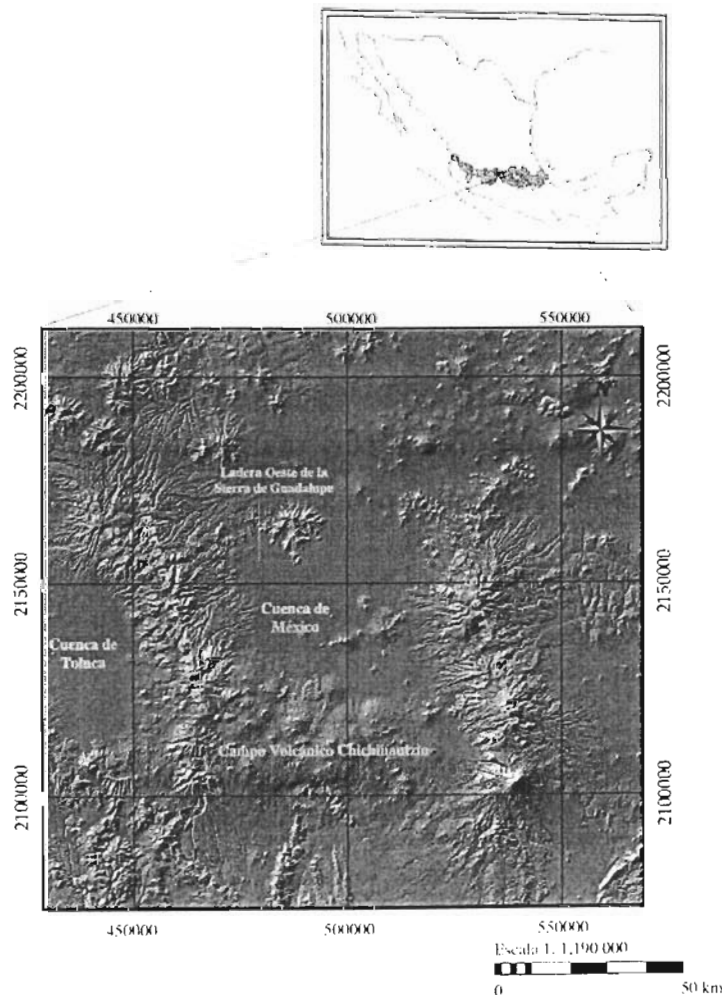


Figura 4.1- Localización de la porción oeste de la Sierra de Guadalupe, dentro de la Cuenca de México.

La Sierra de Guadalupe se localiza en la porción central de la Cuenca de México, entre las coordenadas 2,156,000- 2,171,000 UTM y 500,000-479,000 UTM (Zona-UTM 14) y la comparten los municipios de Tlalnepantla, Tultitlán, Coacalco, Ecatepec en el Edo. de México y la Delegación Gustavo A. Madero, en el Distrito Federal. Tiene una altitud aproximada de 3,010 msnm y vista en planta presenta una forma circular, con un diámetro de 17 Km. (Lugo-Hubp y Salinas- Montes, 1996).

El presente trabajo se enfoca en la parte oeste de la Sierra de Guadalupe, delimitada por las coordenadas 478,000-2,156,000 UTM y 488,000-2,172,000 UTM, abarcando los municipios de Tlalnepantla de Báz (porción oeste) y Tultitlán, ya que en estos municipios se presentan continuamente problemas de remoción, además el crecimiento urbano se ha desarrollado hacia esta parte de la sierra (Fig. 4.2).

Las principales elevaciones topográficas que constituyen la porción oeste de la Sierra de Guadalupe son los domos: El Tenayo, Tlayacampa, Las Peñas, y los volcanes: El Picacho y El Jaral. Geológicamente el área de estudio está constituida por un conjunto de domos y volcanes de diferente tamaño, fracturados y afallados. (Figura 4. 2).

En estas elevaciones, el crecimiento urbano empezó a desarrollarse a partir de la década de 1960, teniendo como resultado que gran parte de las viviendas fueron construidas en zonas de laderas potencialmente inestables, que representan serios peligros geológicos por deslizamiento y caída de bloques de roca.

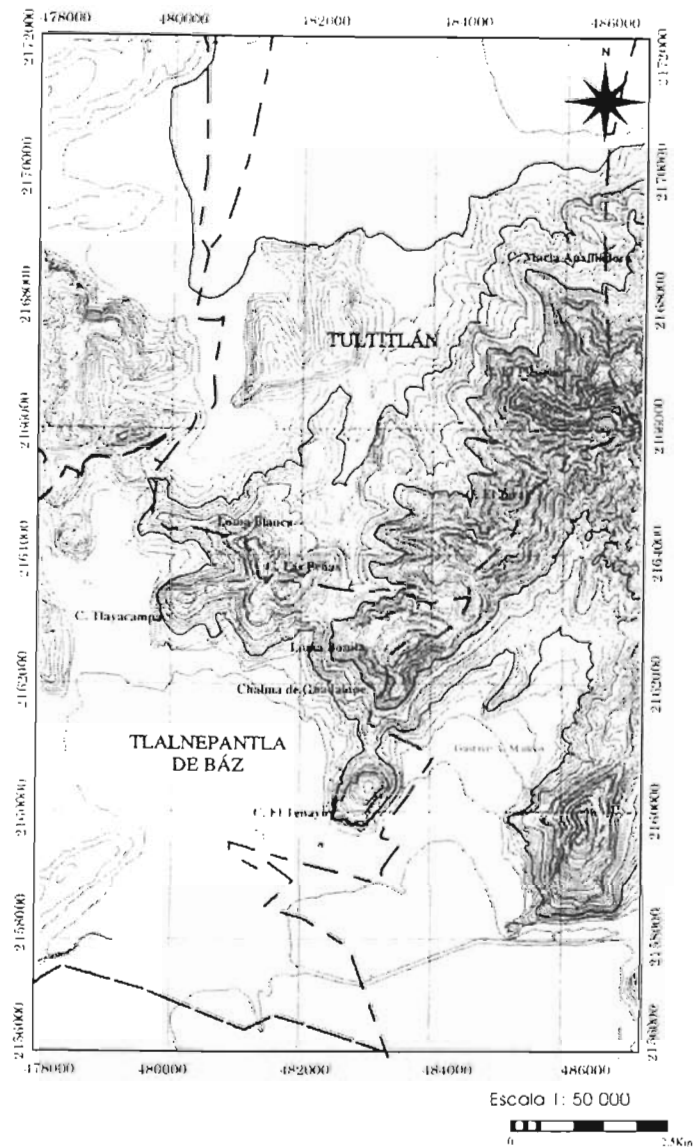


Figura 4.2- Localización del área de estudio. Porción oeste de la Sierra de Guadalupe.

### 3.2-Aspectos Físicos

#### 3.2.1 Clima

En la Sierra de Guadalupe predominan esencialmente dos tipos de climas: 1) El de la parte alta y 2) La planicie.

La fórmula que identifica el clima en el área de estudio es C (Wo) (w) b (i'), donde C= climas templados y húmedos, W= árido (desértico), w= estación seca en invierno, b= temperatura media del mes más cálido que supera los 22 °C e i'= coeficiente arbitrario, lo que representa un clima templado sub-húmedo, de acuerdo a la clasificación de Köppen y modificado por García (1988); su humedad es intermedia entre los subhúmedos, el régimen de lluvias ocurre en verano, durante los meses de junio a septiembre, con un promedio de precipitación entre 100 mm y 180 mm mensuales y una precipitación promedio anual máxima entre 710 y 800 mm. El verano es fresco y largo, con una temperatura promedio de 15.6° C. La temperatura del mes más frío es de 10° C, con heladas ocasionales en los meses de noviembre a febrero y la temperatura más caliente es de 18° C, por lo que la oscilación térmica es moderada.

El otro clima se presenta esencialmente en la planicie, el cual es clasificado como tipo semi-seco del subtipo de los semi-secos templados, cuya temperatura media anual se encuentra entre 12 y 18 °C. Las lluvias ocurren en verano durante los meses de junio a septiembre y los meses más calurosos son marzo, abril, mayo y junio.

### **Precipitaciones. Mapa de isoyetas**

Se realizó un mapa de *isoyetas* que representan líneas que unen puntos con la misma cantidad de precipitación (Fig 4.3) y donde pueden identificarse zonas según concentración de valores de igual precipitación en mm.

En este caso tenemos al Municipio de Tlalnepantla de Baz, en su porción norte (C. Tlayacampa, C. Las Peñas, Loma Blanca, El Olivo) con un registro de 700 a 800 mm anuales, en la porción este (Loma Bonita, Chalma de Guadalupe, Unidad el Tenayo) con un registro de 640 a 730 mm anuales; en la parte sur (C. El Tenayo) con 640 a 700 mm anuales y en la porción oeste del municipio



(Zona arqueológica Santa Cecilia, Colonia Tabla Honda, subestación eléctrica) se tiene valores de 700 a 790 mm.

En el municipio de Tultitlán, el comportamiento pluvial es el siguiente: en su porción norte (Lázaro Cárdenas, Fuentes del Valle, Los Reyes, Ladrilleras, San Mateo Cuatepec) con un registro de 640 a 700 mm anuales, porción este (Santa María Cuatepec, Puerto Vinguineros, El Fraile, C. María Auxiliadora, C. El Picacho) con un registro de 700 a 730 mm anuales, en la porción sur con un registro de 670 a 760 mm anuales, (El Tesoro, C. Jaral, Malacates, San Marcos, Izcallí del Valle) y porción oeste (San Francisco Chilpan, Buenavista, Lomas de Cartagena, Bello Horizonte) con un registro de 670 a 730 mm anuales. Algunos datos puntuales se muestran en la Tabla 4.1.

MUNICIPIO	RASGO TOPOGRÁFICO	PRECIPITACIÓN EN mm.
Tlalnepantla	Complejo Dómico Tlayacampa, con pendientes aproximadas de 45° - 60°	730 - 760
Tlalnepantla	C. Tenayo con pendientes aproximadas de 45° - 60°	640- 700
Tultitlán	C. Picacho con pendientes aproximadas de 30° - 60°	700 - 730
Tultitlán	Porción oeste del Pico Tres Padres, con pendientes aproximadas de 30° - 45°	700 - 740

Tabla 4.1. Precipitación de algunas zonas de la porción oeste de la Sierra de Guadalupe.

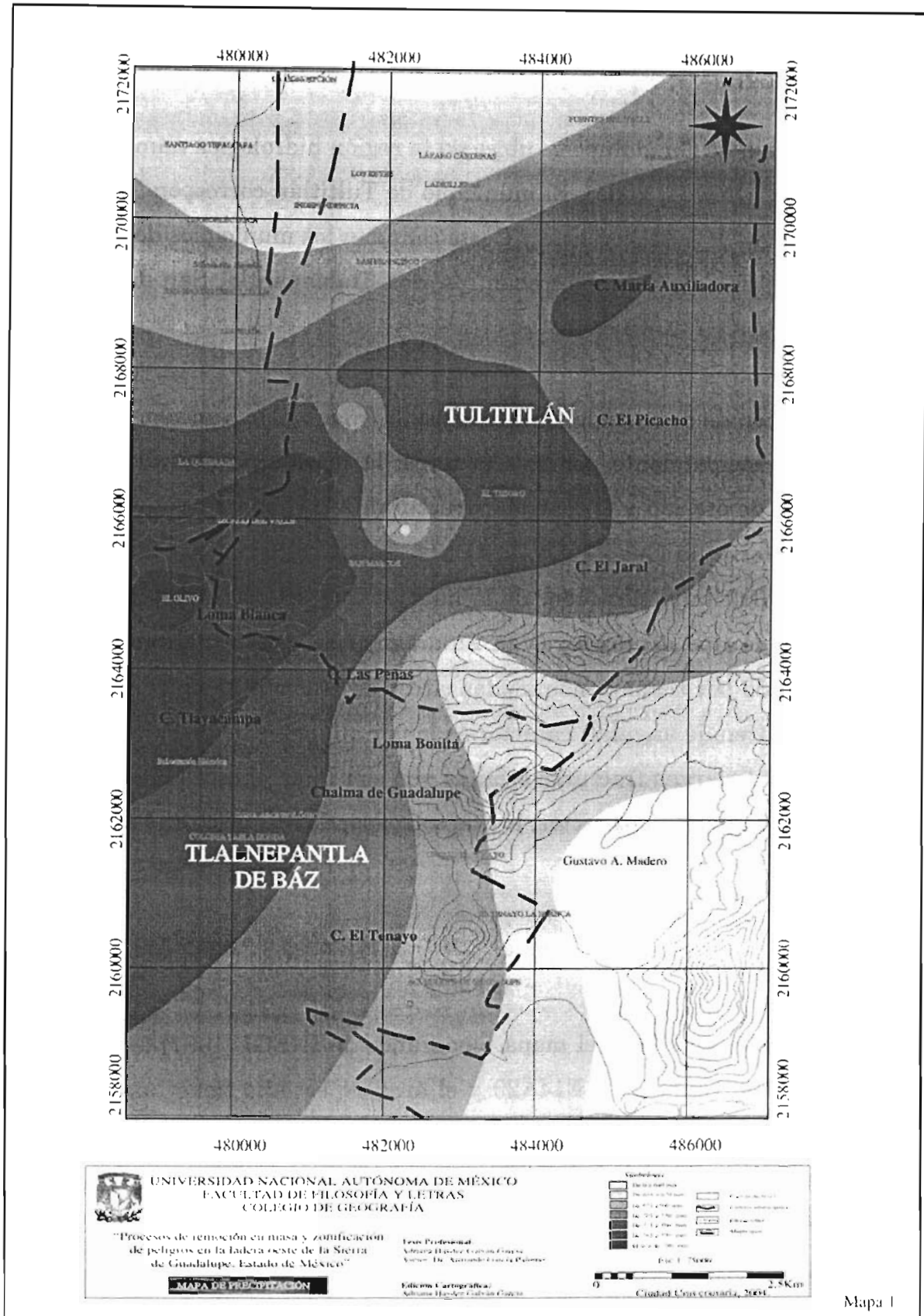


Figura 4.3 Mapa de isoyetas.

### 3.2.2 Hidrología

La Sierra de Guadalupe se ubica en la región hidrológica número 26 o del “Alto Pánuco” (INEGI, 2005). El municipio de Tultitlán corresponde a las subcuencas “ D “ y “ P ”. Al Noroeste y Oeste colindan los municipios de Tultitlán y Tlalnepantla; en éste último, cruzan los ríos Tlalnepantla, San Javier y Los Remedios.

El patrón de drenaje del área de estudio (Fig. 4.4) es variado, ya que está controlado principalmente por tres factores: la morfología semicircular de la sierra, circos de erosión y el control estructural. El principal patrón de drenaje en toda la Sierra de Guadalupe es de tipo radial, se forma en la parte alta-central y se distribuye alrededor de la misma, pero sólo en la porción oeste de la Sierra es de tipo dendrítico (Van Zuidman, 1986). Este patrón de drenaje está controlado por zonas denominadas circos de erosión. También se presenta el patrón de drenaje angular, caracterizado por afluentes de gran longitud, que siguen zonas de largas fracturas o fallas que son interceptados por tributarios más pequeños con ángulos rectos, lo que corresponde a estructuras secundarias menores.

### 3.2.3 Relieve

Se utilizó como base el mapa topográfico de INEGI (1997) a escala 1:50 000, de la hoja Cuautitlán E14A29 y el área de estudio tiene una extensión aproximada de 105 km<sup>2</sup> (Fig. 4.5). De acuerdo a las curvas de nivel del mapa topográfico se puede observar una diferencia de desnivel de más de 650 m, entre las cotas de 2,240 msnm hasta la de 2,910 msnm.

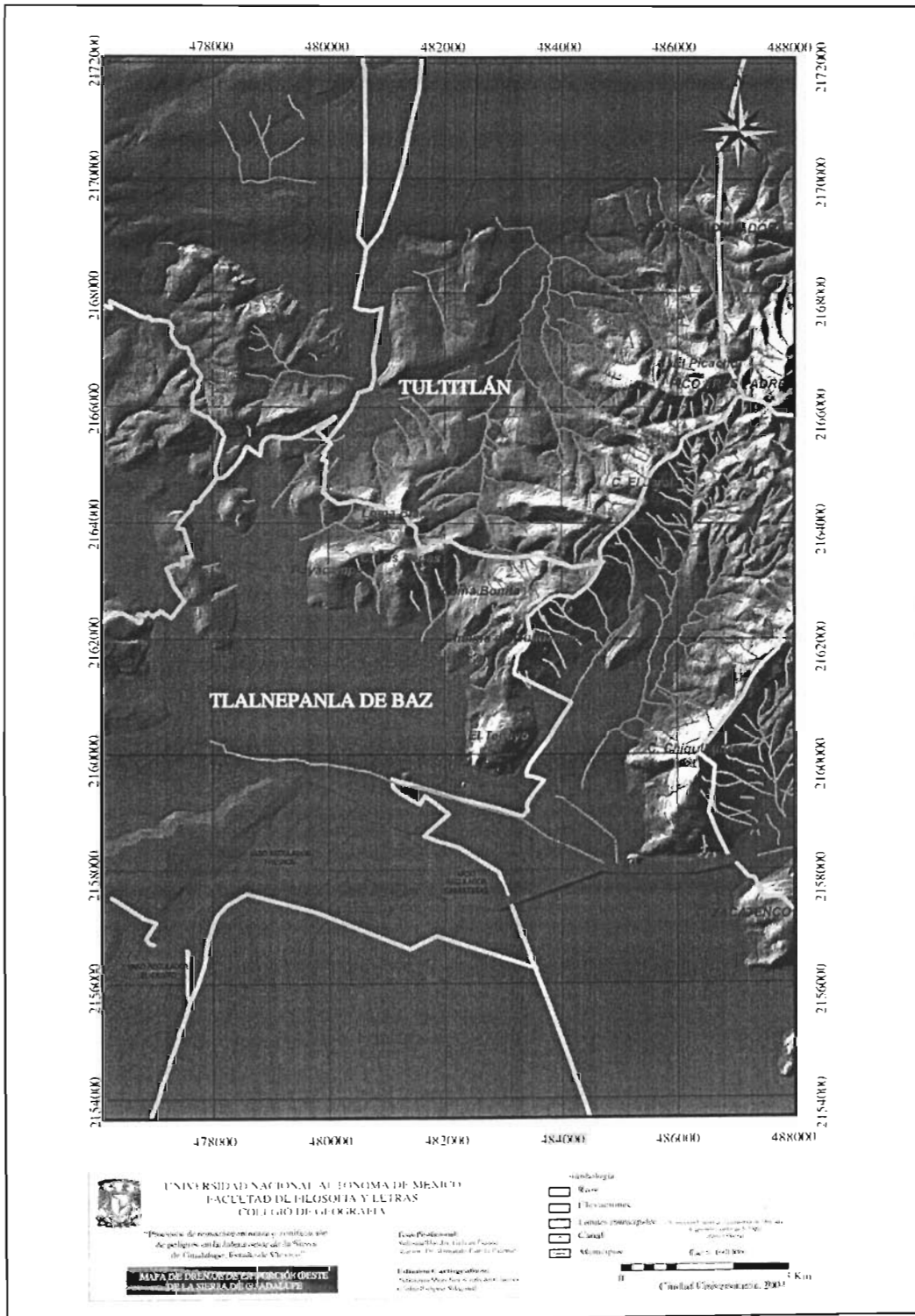


Figura. 4.4- Mapa de drenaje de la porción oeste de la Sierra de Guadalupe.

Las principales prominencias topográficas son: El Tenayo, Jaral, Las Peñas, Loma Blanca, Chalma de Guadalupe, C. Tlayacampa, Loma Bonita y C. Picacho, C. María Auxiliadora.

Cabe señalar que estas prominencias presentan un relieve erosionado, afectado por circos de erosión, que son estructuras en forma cóncava, a manera de anfiteatro, con laderas de pendientes escarpadas, las cuales se originan en la cabecera de algunas corrientes fluviales, por deslizamientos y acción erosiva fluvial de pequeñas escorrentías, que inciden en un canal principal (Lugo-Hubp, 1996) o bien pueden ser originados por colapsos volcánicos o por tectonismo.

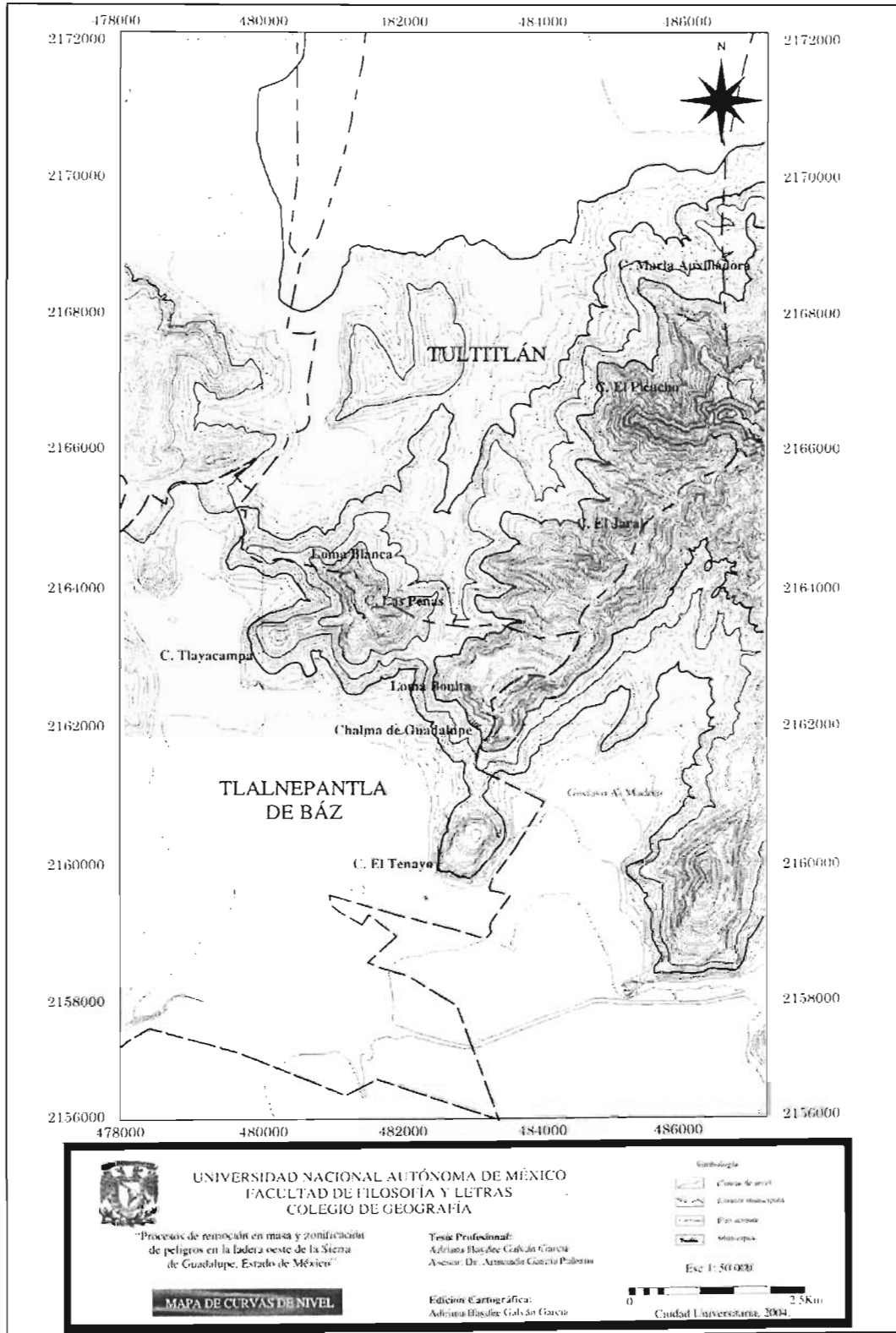


Figura 4.5. Mapa de Curvas de Nivel.

## **CAPITULO 5 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGIA**

### **5.1 Marco Geológico Regional**

La zona de estudio se localiza regionalmente dentro del Cinturón Volcánico TransMexicano (CVTM), que es un arco volcánico continental, que consiste en una serie de planicies escalonadas que se extiende desde las costas de Colima y Nayarit hasta las costas del Golfo de México (Lugo-Hubp, 1990), con una composición predominantemente andesítica-dacítica, con un ancho que varía entre 20 y 200 km y está distribuido de manera oblicua con respecto a la Trinchera Mesoamericana (Molnar y Sykes, 1969).

El origen del CVTM ha sido asociado al proceso de subducción de la Placa de Cocos y Rivera, por debajo de la Placa de Norteamérica (Pardo y Suárez, 1993; Ponce, et. al, 1992). Sin embargo, otros autores han sugerido que el CVTM esta relacionado a zonas de fracturas o megacizallas (Cebull y Shurbet, 1987). Esta provincia volcánica está formada de cuencas de origen volcano-tectónico, entre las que se puede señalar a la Cuenca de México.

### **5.2 Marco Geológico Local**

#### **Cuenca de México**

La Cuenca de México es una cuenca lacustre endorreica, con una altitud promedio de 2,240 msnm y está bordeada por una serie de cadenas volcánicas de diferente edad. Su forma es irregular, alargada en dirección NE-SW; su eje mayor tiene una longitud media de 120 Km, y su eje menor de 80 Km, con una extensión territorial aproximada de 9600 Km<sup>2</sup> (Campa, 1965). Está delimitada, al oeste, por la Sierra de Las Cruces, conformada por edificios volcánicos traslapados, principalmente estratovolcanes, que tienen una orientación que varia de NW-SE a N-S, rodeados por extensos abanicos, constituidos por flujos piroclásticos, depósitos de caída, lahares y depósitos de avalancha.

El límite oriental de la Cuenca de México es la Sierra Nevada, constituida por los volcanes Tláloc, Telapón e Iztaccíhuatl y el volcán activo Popocatepetl, con una orientación N-S, constituida por flujos piroclásticos, lahares, y depósitos de caída. La parte norte de la cuenca está delimitada por la antigua zona volcánica de Pachuca, con una edad del Oligoceno, mientras que al sur, es delimitada por el Campo Volcánico de Chichinautzin, con una orientación general E-W, el cual está constituido por volcanes monogenéticos.

### 5.3 Geología del área de estudio

Geológicamente el área de estudio está constituida por un conjunto de domos y volcanes de diferente tamaño. Los domos son denominados: (Fig. 5.1) El Tenayo, Chalma de Guadalupe, Tlayacampa, Pico Tres Padres (porción oeste), María Auxiliadora (porción oeste); mientras que los estratovolcanes se denominan: El Jaral y El Picacho (Servicio Geológico Metropolitano, 2003). Cada uno de ellos tiene características volcánicas particulares, que permiten diferenciarlos entre sí. Por ejemplo, existen diferentes tipos de flujos de lava, flujos piroclásticos, depósitos de caída y lahares, estos últimos son los que se encuentran ampliamente distribuidos alrededor del área de estudio.

La composición de las rocas que constituyen al área de estudio son predominantemente de composición ácida, como dacitas, ríolitas y, en menor proporción, rocas intermedias como andesitas. En lo que respecta a la edad, se han efectuado diversos fechamientos radiométricos entre 14 y 16 Ma, (Jacobo-Albarrán, 1985), lo que permite ubicarla dentro del Mioceno Medio, constituyendo la sierra más antigua dentro de la Cuenca de México junto con la sierra de Tepetzotlán, ubicada al NW de la zona de estudio (Fig. 5.1).



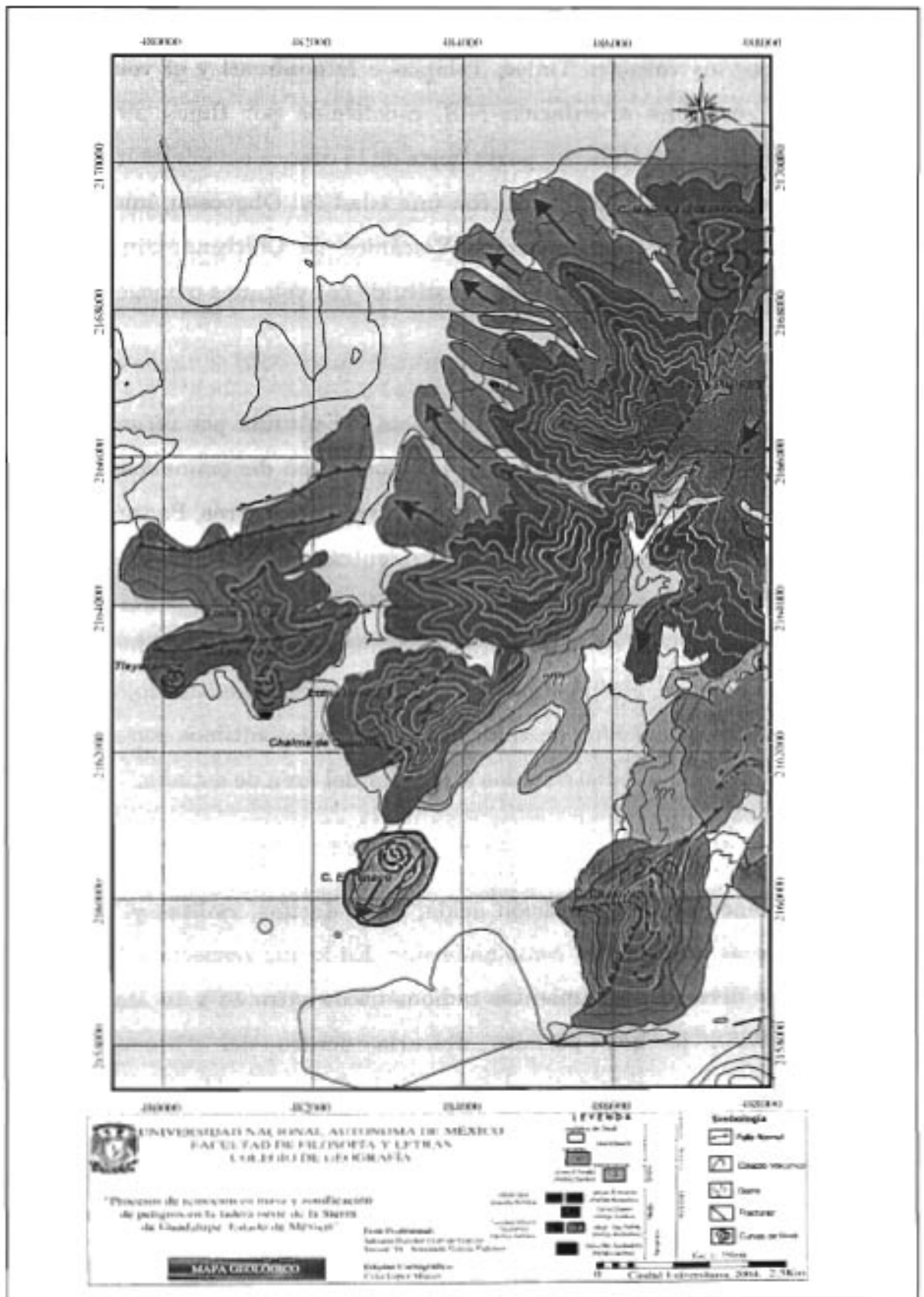


Figura 5.1. Mapa geológico, porción oeste de la Sierra de Guadalupe.

La descripción litológica de las principales estructuras volcánicas que constituyen el área de estudio se describe a continuación y se basan en el trabajo realizado por el Servicio Geológico Metropolitano (2003).

### 5.3.1 Descripción litológica

#### Domo El Tenayo

El Domo El Tenayo está constituido por derrames de lava de composición dacítica. La roca que lo constituye tiene textura porfídica, color gris a rosa claro, con presencia de cristales de cuarzo inmersos en una matriz afanítica. El domo tiene una altitud de 2,470 msnm y pendientes que van de 16° a 60°, está emplazado en dirección SW y corresponde al Mioceno Tardío (Fig. 5.2).

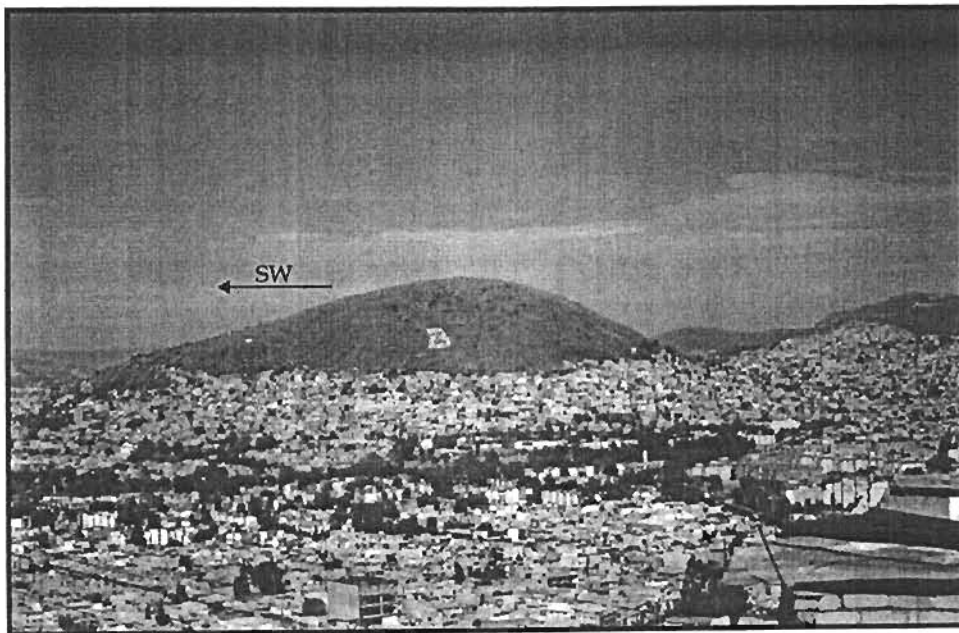


Figura. 5.2-Vista panorámica del Cerro el Tenayo cuya estructura se encuentra emplazada hacia el SW.

### Domo Chalma de Guadalupe

Está formado por flujos de lava riolítica. La roca está muy alterada es de textura porfídica, de color rosa claro, con presencia de cristales. En la cantera localizada al sur del domo, se observan estrías de falla y fracturas verticales (Fig. 5.3).

Tiene una altitud máxima de 2,650 msnm y pendientes que varían de los 16° a >60°, su estructura tiene una pendiente suavizada hacia el NW y escarpada hacia el NE. Su edad corresponde al Mioceno Medio.



Figura 5.3.- Panorámica de la cantera ubicada en el sector sur del Cerro Chalma de Guadalupe.

### Complejo Dómico Tlayacampa

Los afloramientos que caracterizan al Complejo Dómico Tlayacampa, corresponden a rocas de composición dacítica, con textura porfídica de color

rosa. El Complejo esta formado por tres domos, el Tlayacampa alargado en dirección SW (Fig. 5.4), el Cerro Loma Blanca, emplazado en dirección NW y el Cerro Las Peñas, en dirección NE. Presentan estructuras de colapso con depósitos de avalancha, sobre los cuales está construido el cementerio “Jardines del Recuerdo”, la edad de estos domos corresponden al Mioceno Medio.

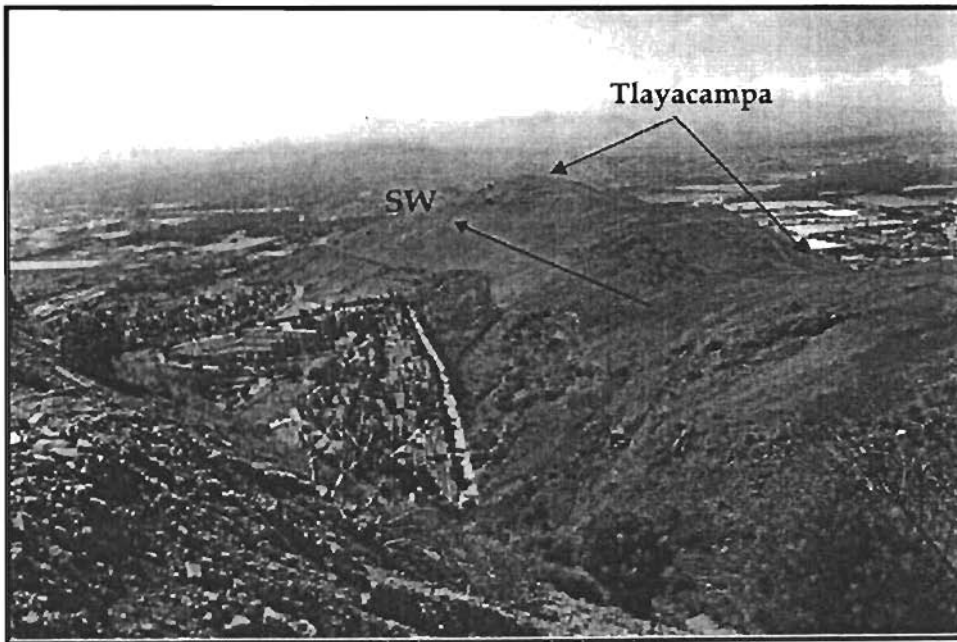


Figura 5.4- Vista panorámica del Cerro Tlayacampa, el cual se encuentra emplazado hacia el SW.

### Volcán El Jaral

El volcán El Jaral se caracteriza por presentar rocas con textura porfídica de color gris oscuro, de composición andesítica. A esta estructura le sobreyacen una secuencia de lahares de 2 m de espesor, de color amarillo, los cuales son cubiertos por depósitos de talud de 50 cm de espesor, compuestos por bloques redondeados de andesita porfídica.

El Volcán El Jaral tiene una altitud de 2,700 msnm, su pendiente es de 31° a 60°, su edad corresponde al Mioceno Medio (Fig. 5.5).



Figura 5.5- Vista panorámica de la parte NW del cerro El Jaral.

### **Volcán El Picacho**

El Volcán El Picacho está compuesto por derrames de lava andesítica, de color gris oscuro, con una textura porfídica. Localmente existen estructuras de flujo con bandas de varias tonalidades de grises entre 2 y 10 cm de espesor.

El volcán tiene una altura de 2,900 msnm y con pendientes desde 31° hasta 60°. Se encuentra afectado por un colapso en la parte NW. La edad del volcán corresponde al Mioceno Medio, (Fig. 5.6).



Figura 5.6- Ladera SW del Cerro El Picacho.

### Domo María Auxiliadora

Estructura volcánica de composición dacítica, formada por lavas de color rosa, con textura porfídica. Hacia el sector de la barranca Las Canosas se encuentra una secuencia de depósitos de caída de 2 m de espesor (Fig. 5.7). El domo tiene una altura aproximada de 2,740 msnm y una pendiente que varía de 16° a 60°, se encuentra emplazado hacia la parte norte y su edad corresponde al Mioceno Temprano.



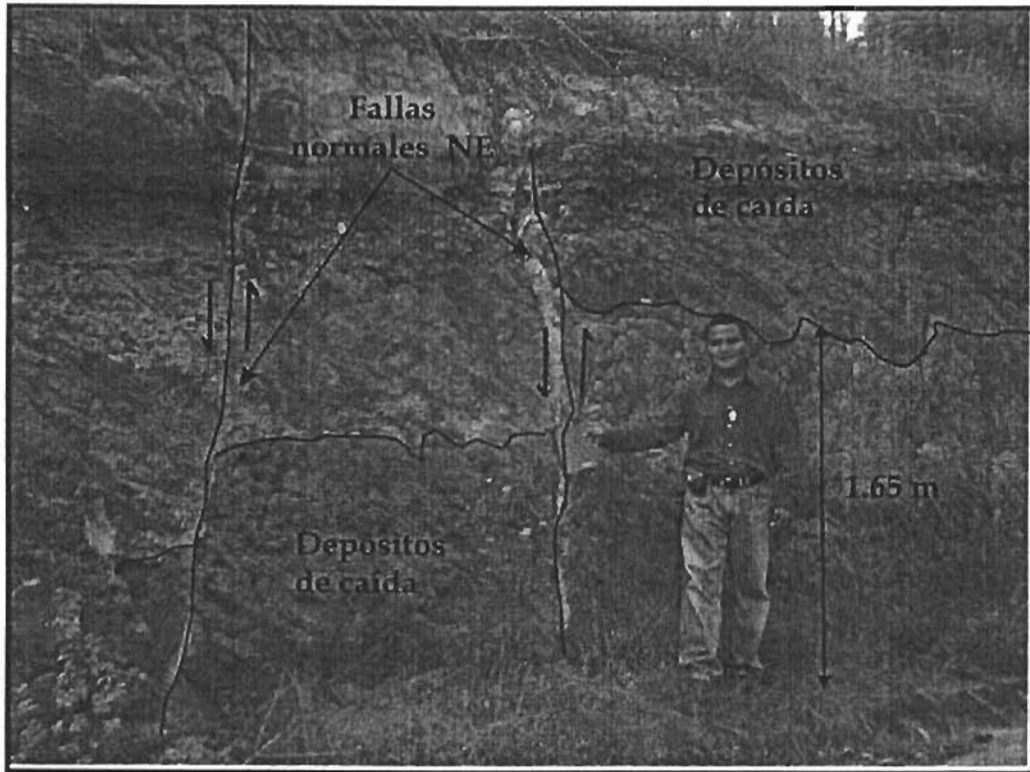


Figura 5.7- Depósitos piroclásticos de caída fallados en dirección NE. Domo María Auxiliadora en zona de reserva ecológica.

### Domo Pico Tres Padres

Domo de composición andesítica, conformado por lavas con textura porfídica de color gris oscuro. En el sector N y en la base del domo descansan secuencias de lahares con espesores de hasta 10 m, soportadas por una matriz de arena fina.

Tiene una altitud 2,900 msnm y pendientes desde 46° a 60°, la edad corresponde al Mioceno Medio.

#### 5.4- Geología Estructural

Entre los trabajos que se refieren a la geología estructural del área de estudio, se encuentra el de Lozano (1968), quien considera la presencia de dos sistemas de fracturas. El primero con una orientación WNW-ESE, asociado con la actividad del Cinturón Volcánico TransMexicano y posiblemente sea el que originó la Sierra de Guadalupe. El segundo es posterior a la formación de la Sierra de Guadalupe y el mejor definido, con una orientación N30°-45°E-, al que pertenecen las fallas Tenayuca y Chiquihuite. Existe otra orientación E-W, que divide a la sierra prácticamente en dos. Mosser (1975) propone la “fosa de Cuauhtepac”, la cual está delimitada por dos fallas con orientación NE-SW. De Cserna et al. (1988) y Mooser et al. (1992) hacen una descripción de la geología estructural de la Sierra de Guadalupe, donde reconocieron fallas con una dirección NE-SW.

Los sistemas de fallas (Fig. 5.8) más importantes que se presentan en el área de estudio, son definidos por el Servicio Geológico Metropolitano (2003) de la siguiente manera:

\* El sistema de fallas y fracturas más antiguo, de orientación NE-SW; que afecta a toda la Cuenca de México.

\* El sistema de fallas y fracturas más jóvenes con orientación E-W, el cual afecta a rocas jóvenes dentro de la Cuenca de México.

#### Falla NE-SW

Mooser et al. (1992), describió la **Falla Tenayuca**, la cual se localiza en la parte central de la Sierra de Guadalupe, se reconoce desde el Cerro El Tenayo hasta el oeste del Cerro María Auxiliadora. Presenta una longitud de 6 km, con una orientación preferencial, de N35°E-SE (Fig. 5.8).



Se reconoce morfológicamente por tener un fuerte escarpe y abundantes zonas inestables (Fig. 5.9).

### **Falla E-W**

**Falla La Quebrada** (Servicio Geológico Metropolitano, 2003) se localiza al oeste de la Sierra de Guadalupe y forma parte de la Fosa de Barrientos, delimitando al bloque de Chilpan. Presenta una longitud de aproximadamente 8 kilómetros. De acuerdo con las rosetas de fracturas la orientación preferencial de estas fallas es ENE, y buzamiento de 70° hacia el SE. Se observan zonas escarpadas, caracterizadas por alto brechamiento y fracturamiento (Fig. 5.10).

Forma parte de la Fosa de Barrientos y presenta elementos que se prolongan hacia la Sierra de Guadalupe, teniendo la mejor expresión en el Cerro María Auxiliadora (Fig. 5.8).

**La Falla Tlayacampa** se localiza al oeste de la Sierra de Guadalupe y es paralela a la falla de La Quebrada, formando ambas la Fosa de Barrientos. Tiene una longitud aproximada de 8 km (Fig. 5.8). Por ser paralela a la falla de La Quebrada presenta la misma orientación, pero con un sentido de buzamiento hacia el NW.

Esta falla tiene su mejor expresión en el Cerro Tlayacampa, donde se caracteriza por un escarpe bien desarrollado (Fig 5.11).



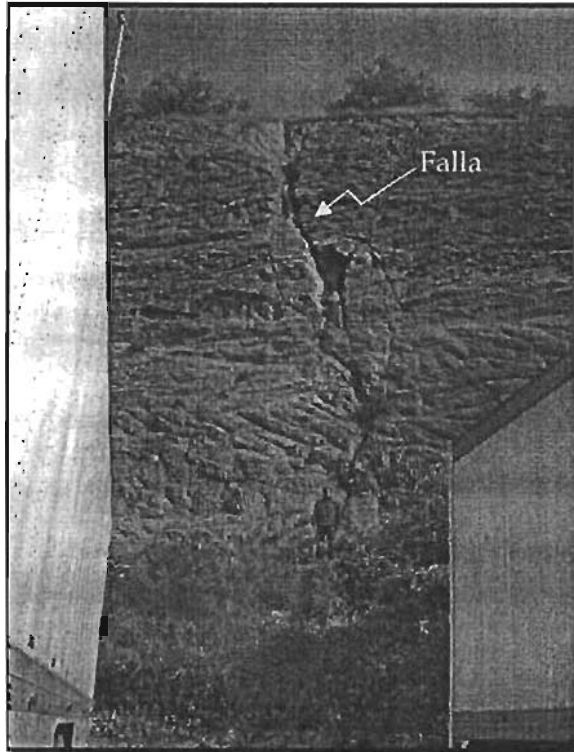


Figura 5.9. Vista de una de las fallas con dirección NE-SW, la cual indica un movimiento normal por desplazamiento de horizontes guías.

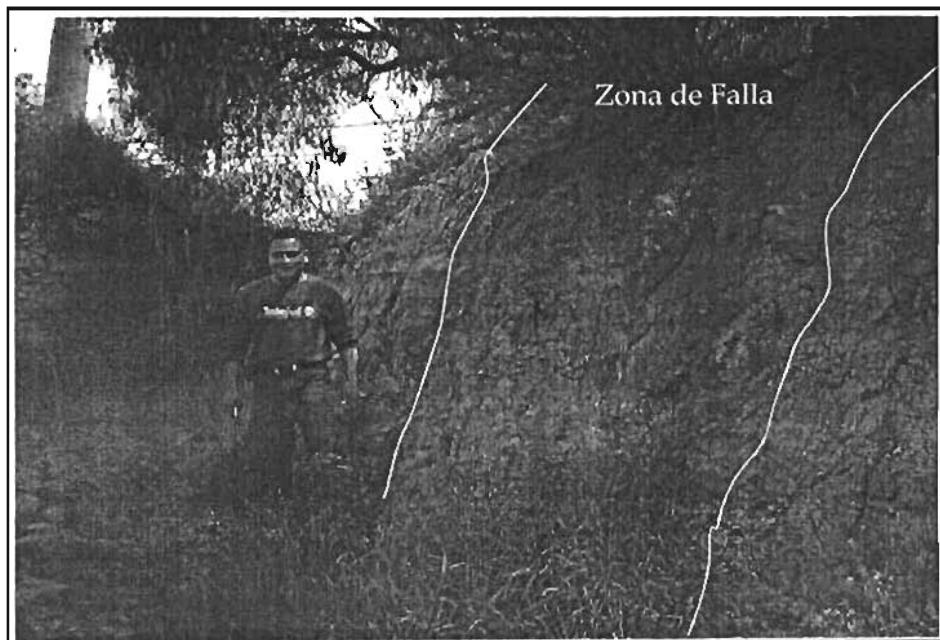


Figura 5.10. Falla La Quebrada, de dirección E-W, que delimita al norte la Fosa de Barrientos.



Figura 5.11. Falla Tlayacampa de dirección E-W, la cual delimita al sur la Fosa de Barrientos.

### 5.5 Densidad de fracturamiento, resultados.

Para determinar los principales lineamientos de la región, se partió de la interpretación de imágenes de satélite, del modelo del relieve sombreado, de fotografías aéreas y de trabajo de campo. Posteriormente, se marcaron los principales lineamientos en modelo de relieve sombreado de la porción oeste de la Sierra de Guadalupe, con lo cual se derivó un mapa de inventarios de lineamientos. (Fig. 5.12 ).

A partir del inventario de lineamientos se generó el mapa de densidades (Fig. 5.13 ).

De acuerdo con los valores obtenidos y al análisis geo-estadístico se establecieron 6 intervalos para la densidad de fracturas, los cuales son:

- 1) 0 a 0.5 km/ Km<sup>2</sup>
- 2) 0.5 a 1.0 km/Km<sup>2</sup>
- 3) 1.0 a 1.5 km/Km<sup>2</sup>
- 4) 1.5 a 2.0 km/Km<sup>2</sup>
- 5) 2.0 a 2.5 km/Km<sup>2</sup>
- 6) Mayor a 2.5 km/ Km<sup>2</sup>

### **Resultados del mapa**

Se determinó que estos lineamientos reflejan la presencia de fallas y fracturas en tres direcciones: el más antiguo, con dirección N-S; le sigue el sistema NE-SW y el más joven, el sistema E-W (Fig. 5.13).

Las estructuras de la región definen una tendencia de la densidad de las fracturas en dirección noreste, de la cual sobresalen distintas regiones:

Las regiones que presentan una densidad de fracturas mayores a 2.5 km/km<sup>2</sup> se localizan en el centro del volcán El Jaral. La densidad de fracturas que van de 1.5 a 2.0 y de 2.0 a 2.5 km/km<sup>2</sup> abarcan los volcanes El Jaral y el oeste del Pico Tres Padres.

Estas regiones corresponden a la parte central de la Sierra de Guadalupe, mientras que los rangos menores a 1.5 km/ km<sup>2</sup> se presentan en los bordes de la Sierra de Guadalupe, como en los domos El Tenayo, C. Tlayacampa y María Auxiliadora.

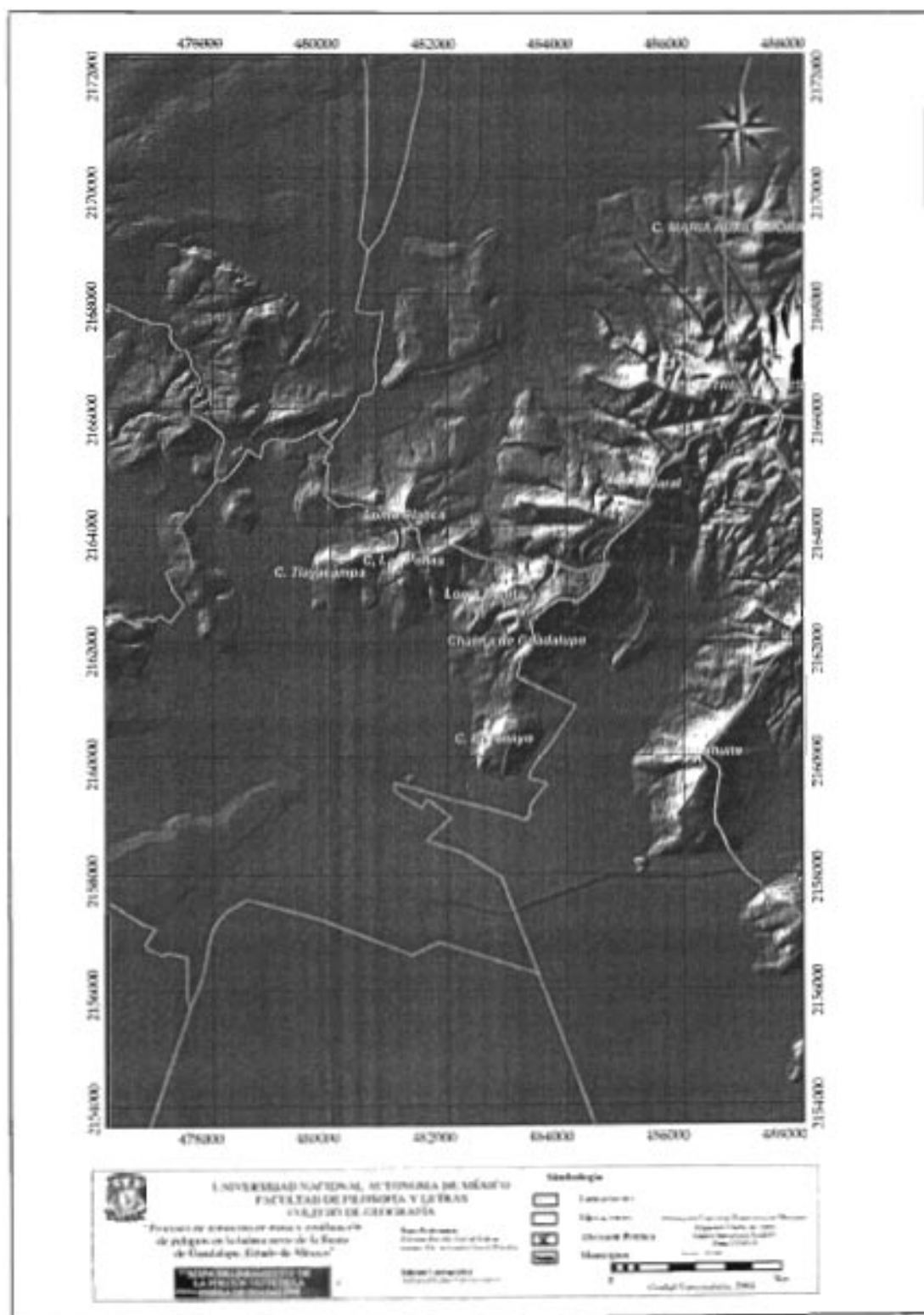


Figura 5.12-Fracturas del área de estudio

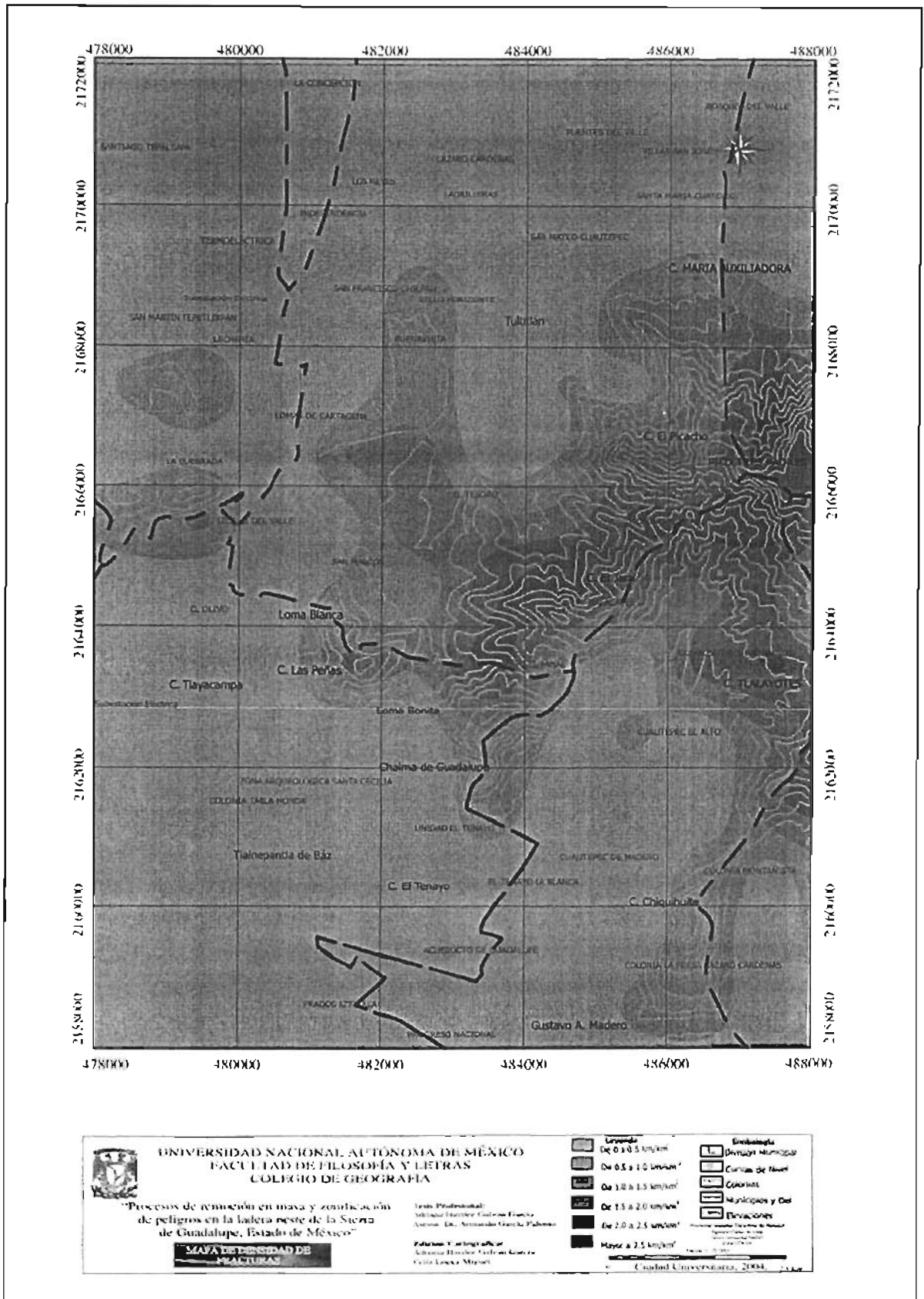


Figura 5.13. Mapa de densidad de fracturas

## 5.6 Geomorfología

La definición más clara de geomorfología es la que menciona Lugo-Hubp (1988), como la ciencia que estudia el relieve terrestre, que es el conjunto de deformaciones de la superficie de la Tierra.

La morfología de la superficie terrestre es el resultado de dos factores: factores endógenos (sismicidad, volcanismo, magmatismo intrusivo, ruptura de rocas y su deformación) y factores exógenos (intemperismo o meteorización, erosión o denudación y la acumulación) (Lugo-Hubp, 1988).

Los procesos internos se encargan de crear las grandes formas del relieve terrestre: los continentes, los sistemas montañosos, las depresiones oceánicas, etc. Los procesos externos, relacionados con el clima y la fuerza de la gravedad, nivelan este relieve: las montañas son rebajadas y las depresiones rellenadas con sedimentos. El relieve terrestre es el resultado de la lucha de procesos antagónicos internos y externos (Lugo-Hubp 1996).

Las geoformas de la porción oeste de la Sierra de Guadalupe fueron producidas por actividad volcánica y posteriormente afectadas por una fuerte actividad tectónica, debido a la cinemática de fallas y fracturas, modeladas posteriormente por la erosión y acumulación exógena (Servicio Geológico Metropolitano, 2003).

El relieve del área de estudio varía entre las cotas 2,240 a los 2,910 msnm, la disección se manifiesta por barrancos, circos de erosión y valles, algunos de ellos, en forma de herradura, además la red fluvial está controlada esencialmente por el amplio fracturamiento y fallamiento de la roca, el cual es favorecido por la ausencia de una capa superficial gruesa de material no consolidado (Lugo-Hubp, Salinas-Montes, 1996).



### 5.7 Altimetría, resultados.

Estos rangos fueron iluminados de acuerdo a normas internacionales (Demek, Embleton, 1978), dando tonos claros a zonas topográficamente bajas y tonos fuertes a zonas topográficamente altas, lo que permitió delimitar cuatro intervalos principales (Fig. 5.14).

- 2,240-2,340 m
- 2,341-2,540 m
- 2,541-2,740 m
- >2,741 m

#### Resultados

Los valores mayores a 2,741 m se concentran principalmente en el Cerro el Picacho y una pequeña porción del Pico Tres Padres, localizados en la parte norte de la Sierra de Guadalupe y son las prominencias topográficas más importantes de la sierra. El segundo rango se encuentra entre los 2,541 m a 2,740 m y generalmente, está asociado a prominencias topográficas más pequeñas, como domos y algunos aparatos volcánicos colapsados. En estos intervalos están: cerros El Tenayo, Chalma de Guadalupe y El Jaral. El tercer nivel corresponde con las zonas de piedemonte, que son zonas de acumulación de material, erosionados de las zonas topográficamente más altas. En este nivel, los valores de altitud están entre 2,341 m a 2,540 m. El último nivel, corresponde a la parte más baja y plana de la región y se encuentra localizada en los alrededores del área de estudio, donde los valores van de los 2,240 a los 2,340 m y se caracteriza por ser la zona lacustre y de depósitos de talud.

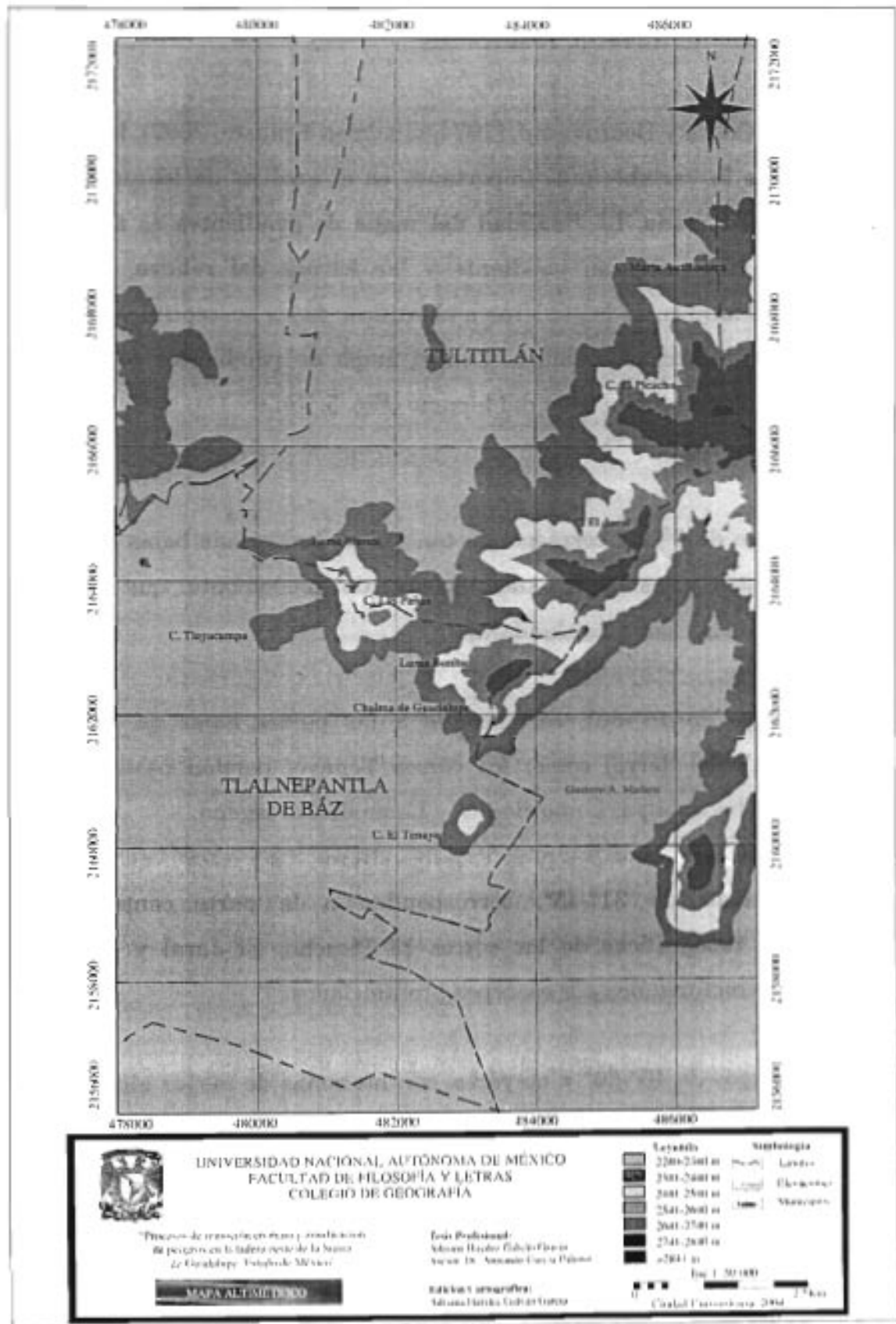


Figura 5.14. Mapa altimétrico.

## 5.8. Pendiente del terreno, resultados.

Según Cooke y Doornkamp, (1974, citado en Frausto, 2002), la pendiente del terreno es la variable más importante en el análisis de los procesos y la utilización del terreno. La finalidad del mapa de pendientes es reconocer la relación que hay entre su pendiente y las formas del relieve, además de reconocer la dinámica de las laderas e identificar áreas susceptibles a erosión y a procesos de remoción en masa. Con el mapa de pendientes se ubican los diferentes grados de inclinación del terreno (Fig. 5.15).

### Resultado

El rango de 0°-15° corresponde con las altitudes más bajas y abarca la planicie lacustre y las ligeras inclinaciones del piedemonte, que rodea a la porción oeste de la Sierra de Guadalupe.

El rango de 16°-30°, corresponde a las partes bajas de las laderas montañosas de la sierra, como: los cerros Tenayo, porción oeste de María Auxiliadora, Tlayacampa, Loma Bonita y Loma de Cartagena.

Los rangos de 31°-45°, corresponden a la parte central de las prominencias topográficas de los cerros El Picacho, El Jaral y Chalma de Guadalupe, caracterizados por escarpes pronunciados.

Los rangos de 46°-60° y mayores, son las zonas de mayor altura, que se relacionan con zonas muy abruptas y escarpes pronunciados y que caracterizan a las zonas de Chalma de Guadalupe y a los alrededores de los cerros El Picacho, porción oeste del Pico Tres Padres y El Jaral.

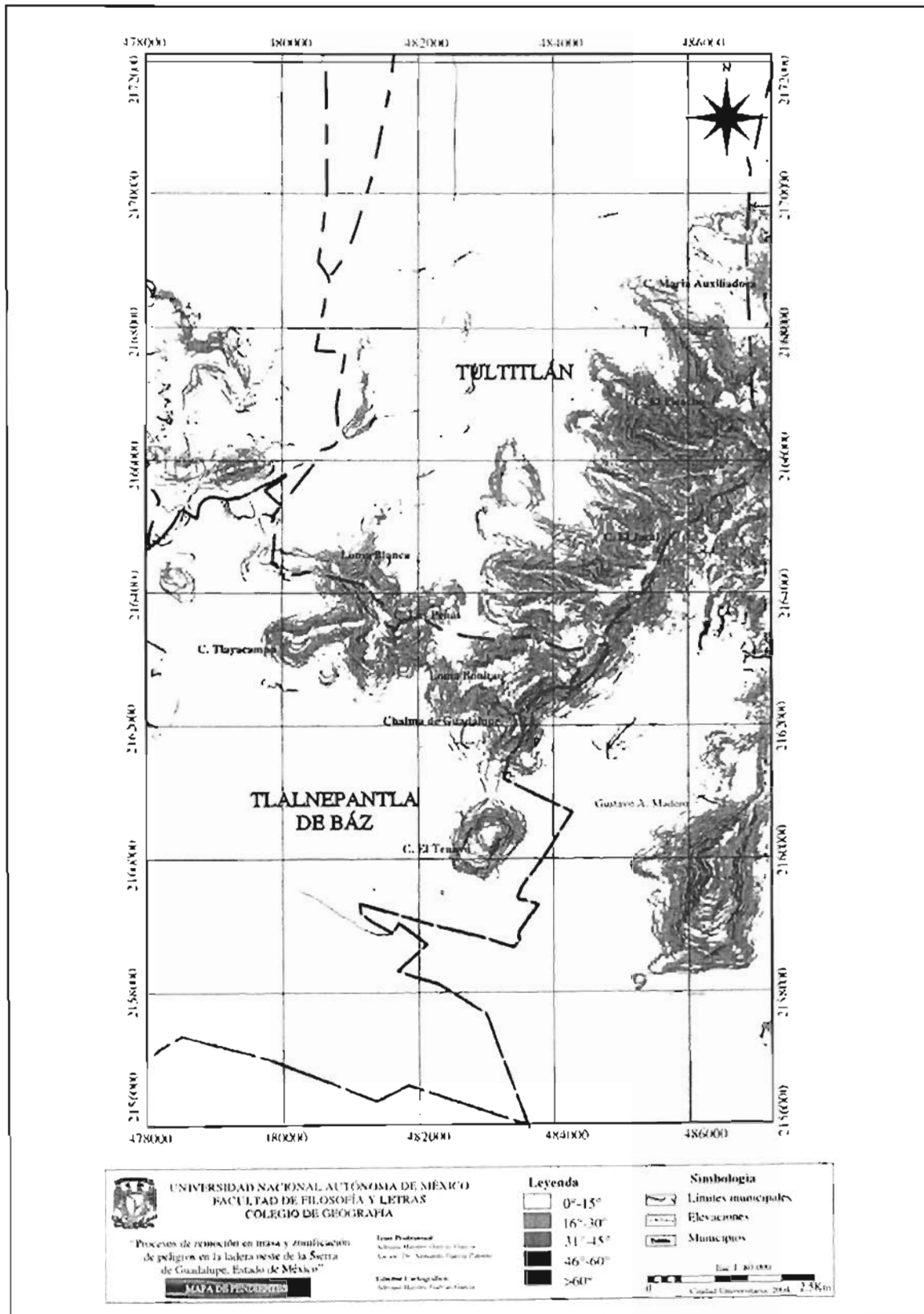


Figura 5.15. Mapa de pendientes

### 5.9 Densidad del drenaje, resultados.

Un mapa de densidad de drenaje muestra la correlación que existe entre la capacidad volumétrica de la cuenca y el volumen de almacenamiento de agua en una área determinada (Fuentes, 2002).

#### Resultados

Del análisis de este mapa (Figura 5.16) se identifica, que el municipio de Tlalnepantla de Baz (porción oeste) la densidad de drenaje para Loma Blanca y Cerro Las Peñas es de 0-4 km/km<sup>2</sup>, mientras que en Loma Bonita y Chalma de Guadalupe de 1-5 km/km<sup>2</sup>; hacia la Colonia Tabla Honda y Unidad Tenayo se tiene una densidad de 0-2km/km<sup>2</sup> y en la Subestación eléctrica de 0-1 km/km<sup>2</sup>.

En el municipio de Tultitlán la densidad de drenaje al norte, en las localidades de Fuentes del Valle, Ladrilleras, Lázaro Cárdenas y Santa María Cuauhtepic es de 0-3 km/km<sup>2</sup>; al este, en Puerto Vinguineros, se tiene 3-7 km/km<sup>2</sup>; al sur en El Tesoro, San Marcos y Malacates oscila de 2-3 km/km<sup>2</sup> y al oeste, en Buenavista y Lomas de Cartagena, varía de 0-3 km/km<sup>2</sup>.

Las concentraciones de densidades mayores de 7 km/km<sup>2</sup>, se ubican al centro de la Sierra de Guadalupe, en los límites de la Delegación Gustavo A. Madero y en la Fosa de Cuauhtepic.

Relacionando la geoforma con el drenaje, se aprecia que existe abundante drenaje en las zonas antiguas y de forma cónica, ya que la parte central es donde va a incidir principalmente la erosión, además de que son las zonas donde se manifiestan los circos de erosión.

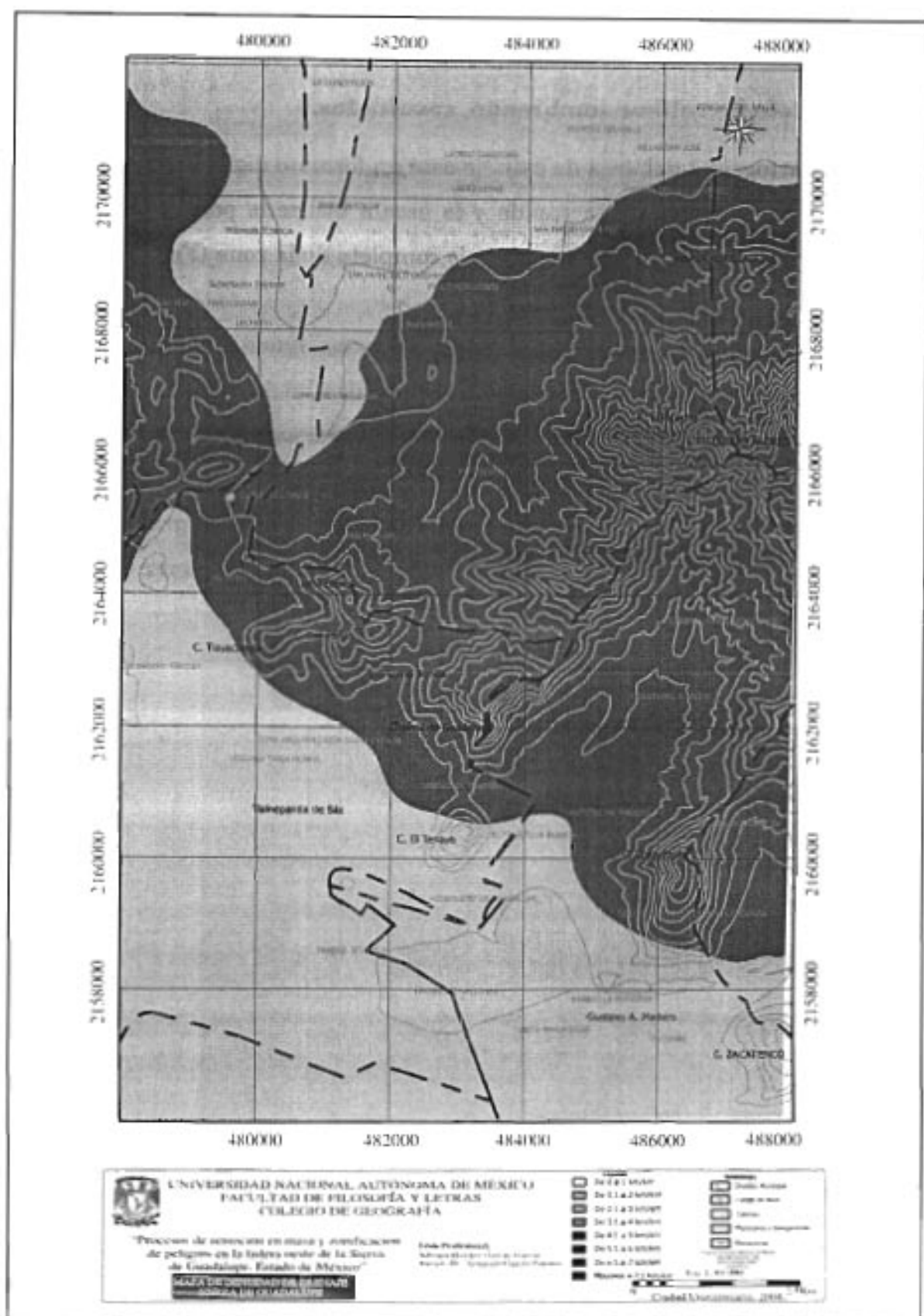


Figura 5.16. Mapa de densidad de drenaje.

## 5.10 Modelo de relieve sombreado e imágenes de satélite

### 5.10.1 Modelo de relieve sombreado, resultados.

La cartografía del área de estudio está en formato digital con el propósito de tenerla para una consulta rápida y la escala utilizada permite observar el detalle del relieve, obteniendo un análisis completo de la zona (Fig. 5.17).

Asimismo, este modelo sombreado del terreno ayudó a definir muchos de los rasgos estructurales y morfológicos detectados en la región como: fallas, fracturas, circos de erosión y aparatos volcánicos, entre otros.

También se pueden reconocer escarpes debido a procesos gravitacionales, mismos que se producen en la zona de estudio y donde la pendiente es mayor a 30°.

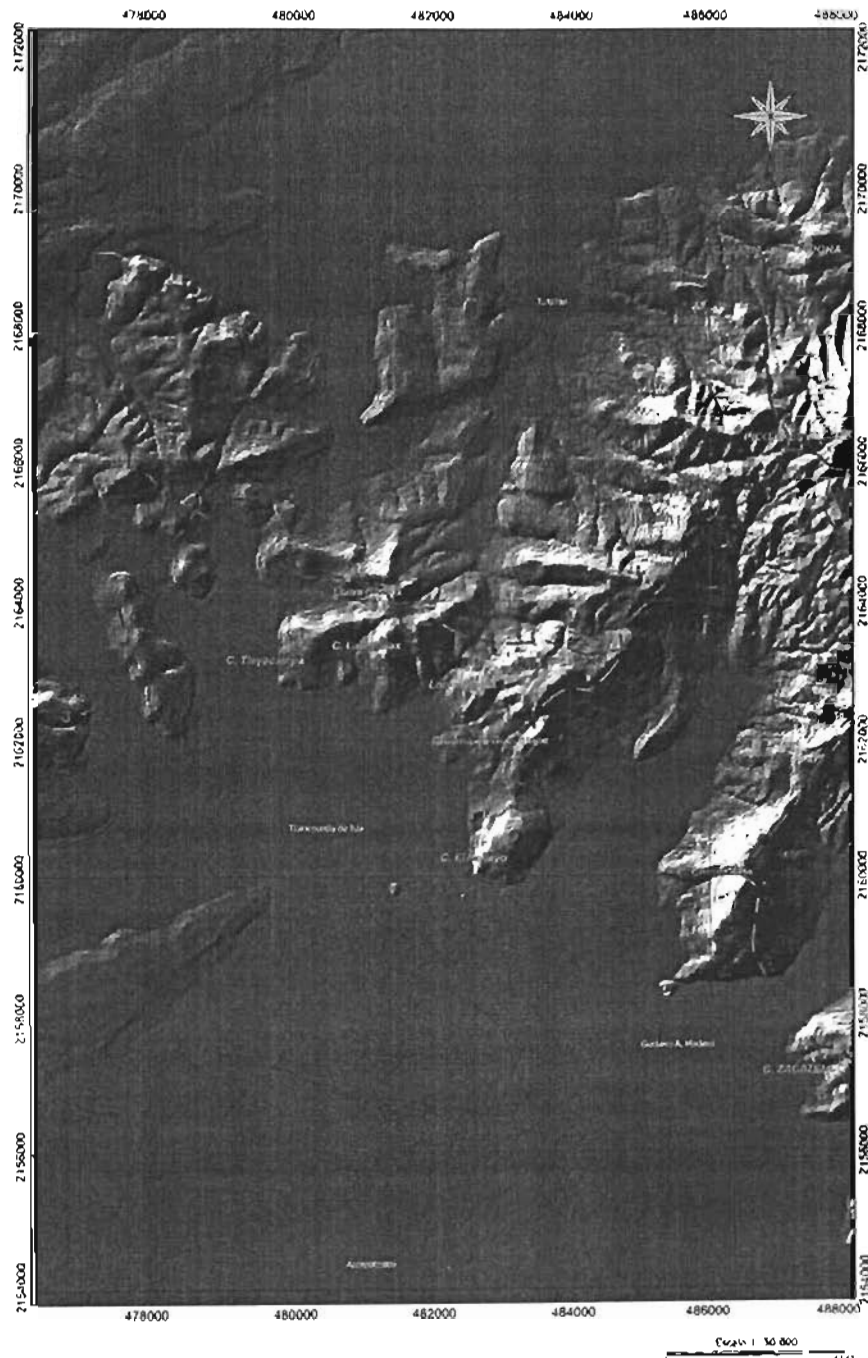


Figura 5.17- Modelo de relieve sombreado



5.10.2 Imagen de satélite

El trabajo de gabinete y el trabajo de campo fueron comparados con los obtenidos en la interpretación de la imagen de satélite Landsat ETM 7, compuesto en falso color 4, 3 y 2 (RGB).

En esta imagen se puede observar la zona de reserva ecológica y el crecimiento de la mancha urbana es hacia esta zona (Fig. 5.18).



Figura 5.18- Imagen de Satélite Landsat ETM+7. Año 2000. Compuesto Falso Color 432 (RGB).

### 5.11- Influencia Antrópica

La intervención humana en los cambios y alteraciones del medio ambiente ha sido notable, sobre todo en los últimos 30 años, debido a la caótica expansión de la mancha urbana. El gran crecimiento demográfico que se ha registrado en las últimas décadas, la falta de planeación urbana y de uso de suelo y la demanda cada vez mayor de vivienda, ha tenido como resultado una expansión de la mancha urbana a zonas de laderas montañosas que presentan serios peligros geológicos (Servicio Geológico Metropolitano, 2001).

El peligro que existe en muchas de estas laderas no ha sido evaluado, pero se asume que actualmente muchas personas viven en zonas de peligro. Para evitar más asentamientos irregulares hacia pendientes pronunciadas del área de estudio, fue necesario construir bardas o muros ecológicos. En este estudio se muestra un mapa con la distribución de la población en la porción oeste de la Sierra de Guadalupe para el año 2000, donde se observa claramente como ha avanzando en los últimos años (Fig. 5.19).

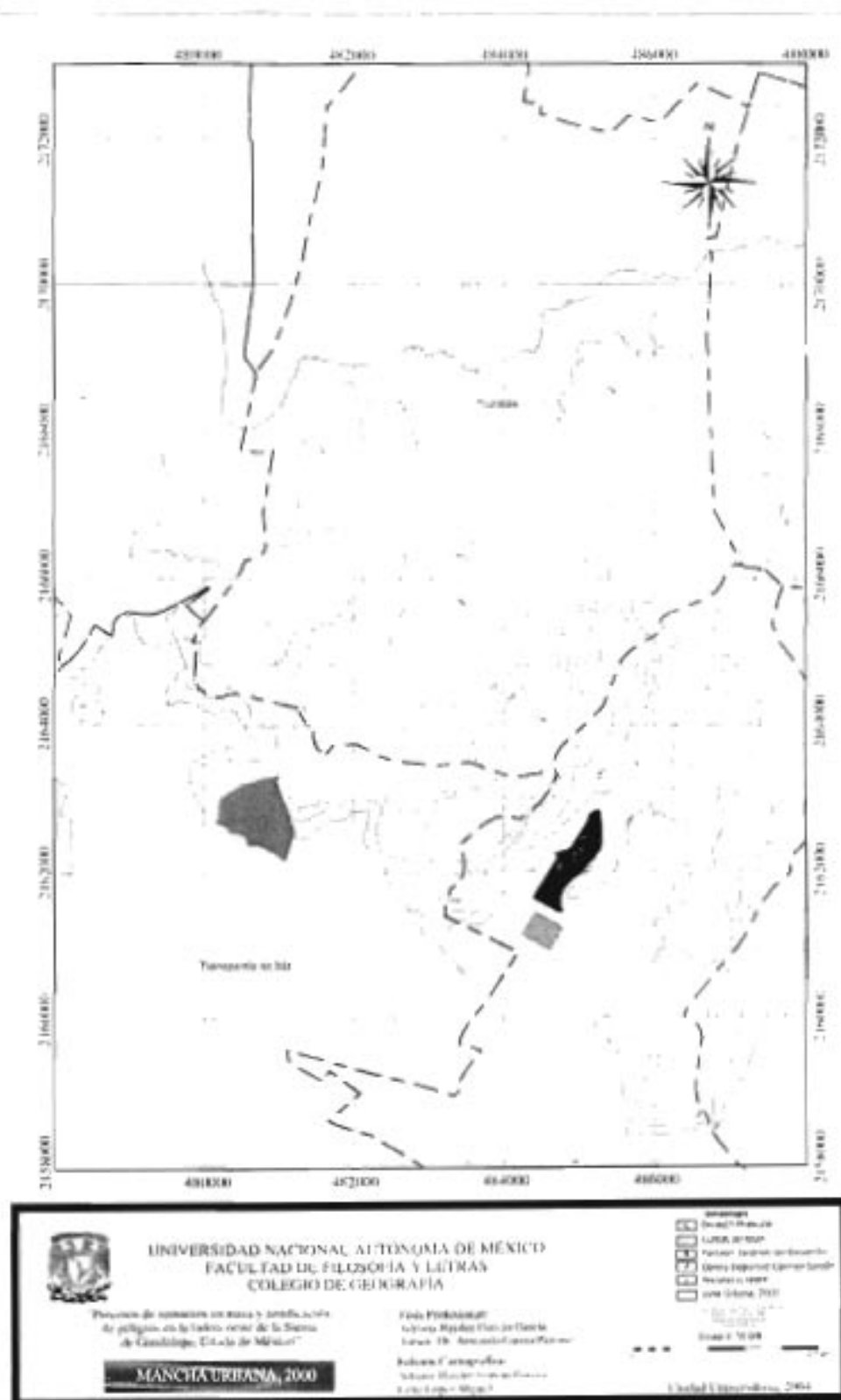


Figura. 5.19- Zona urbana del año 2000, de la ladera Oeste de la Sierra de Guadalupe.

## **CAPITULO 6 ZONIFICACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE PELIGROS**

### **6.1- Tipos de procesos de remoción en masa identificados en la porción oeste de la Sierra de Guadalupe.**

Entre los peligros por procesos de remoción en masa que se reconocieron en la porción oeste de la Sierra de Guadalupe, están los siguientes:

- Caída de rocas.
- Deslizamiento de bloques.
- Vuelcos (volteo) de rocas.
- Avalanchas secas.
- Flujos de detritos.
- Reptación de laderas.

Para la identificación de cada movimiento se utilizó la información de fichas de campo (Servicio Geológico Metropolitano, 2003), en donde se hicieron observaciones de diferentes características morfológicas y de estabilidad de taludes específicas (ver anexo).

Estos fenómenos pueden ser disparados por sismos, precipitación intensa, acción biológica (crecimiento de raíces) o bien por actividad antropogénica.

Los procesos de remoción en masa que se reconocieron en la zona son:

- Movimiento por caída de bloques redondeados, subredondeados o tabulares, que están separados de la masa estable (Fig. 6.1, 6.2).

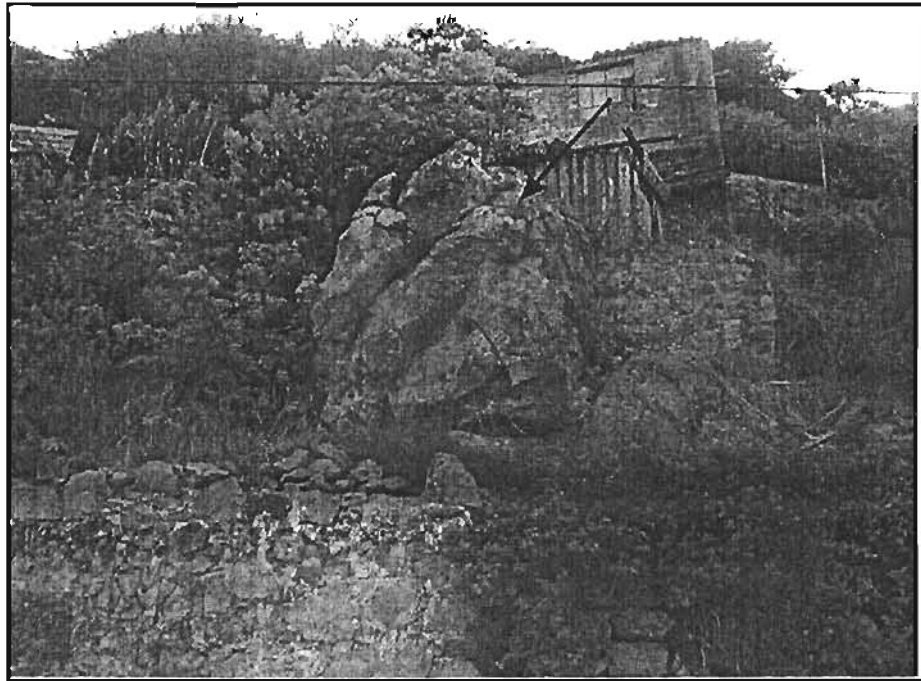


Figura 6.1. Bloque subredondeado, fracturado e intemperizado ubicado en zona de traza urbana.

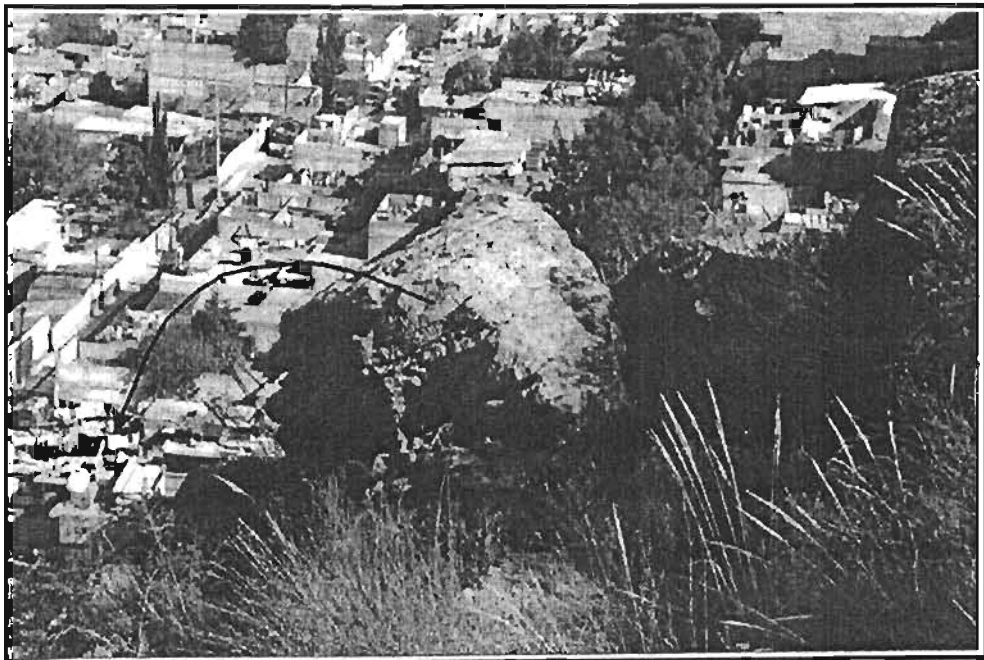


Figura 6.2. Bloques redondeados separados de la masa estable, apoyados en una superficie de suelo o vegetación, en zonas de fuerte pendiente.

- Movimiento por desprendimiento de bloques que están en cantiliver en zonas de fuerte pendiente (70-90°) y con discontinuidades casi horizontales que sirven como planos de desprendimiento (Fig. 6.3,6.4).

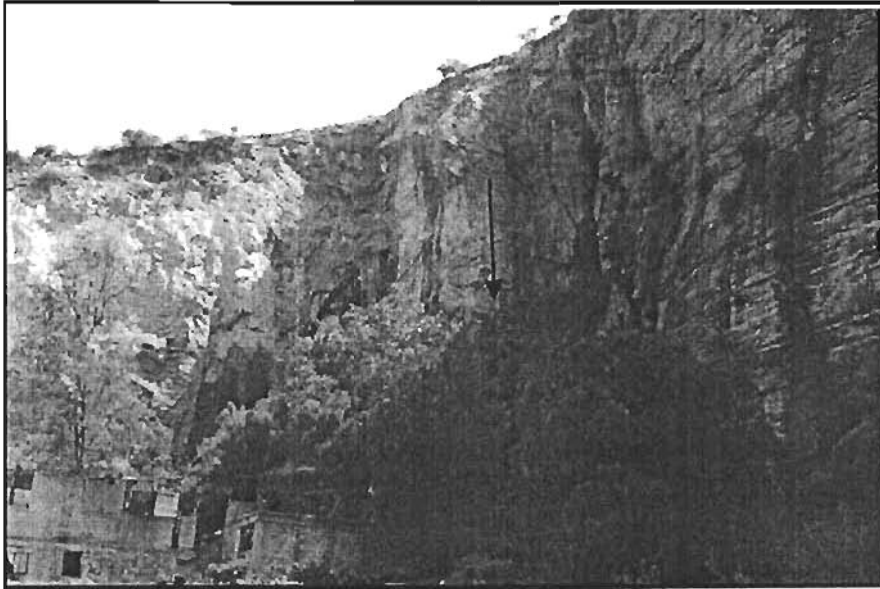


Figura 6.3. El peligro por desprendimiento es uno de los más característicos en donde existen cantiles, como en el cerro El Tenayo.

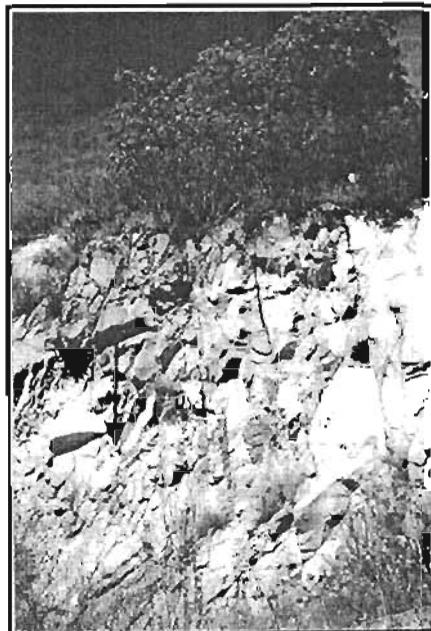


Figura 6.4. En las laderas de los domos existen cortes, donde se presenta peligro de caída por desprendimiento, C. Tlayacampa.

- Movimiento por vuelco ó volteo de bloques tabulares o columnares, limitados por discontinuidades con ángulo de echado casi vertical (Fig. 6.5) o bien vuelco de bloques previamente afallados o que han sido moldeados con el tiempo y que presentan condiciones de apoyo poco favorables para la estabilidad (Fig. 6.6,6.7).

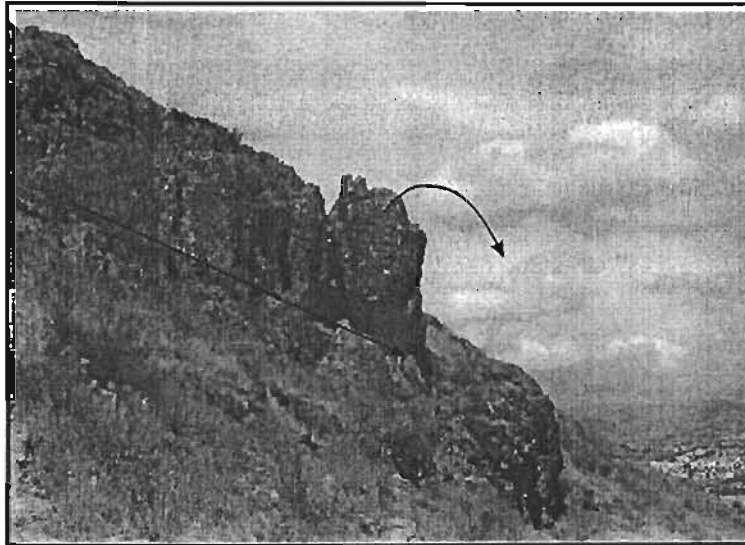


Figura 6.5. Frente rocoso formado por bloques tabulares de gran tamaño, separados por discontinuidades verticales, lo que favorece el volteo.

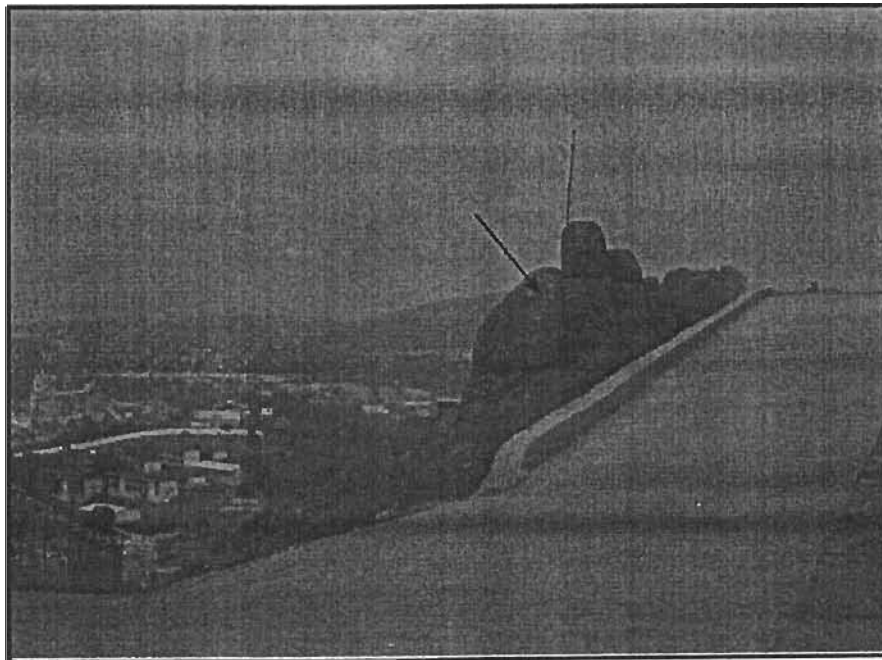


Figura 6.6. Bloques separados por fracturas verticales..

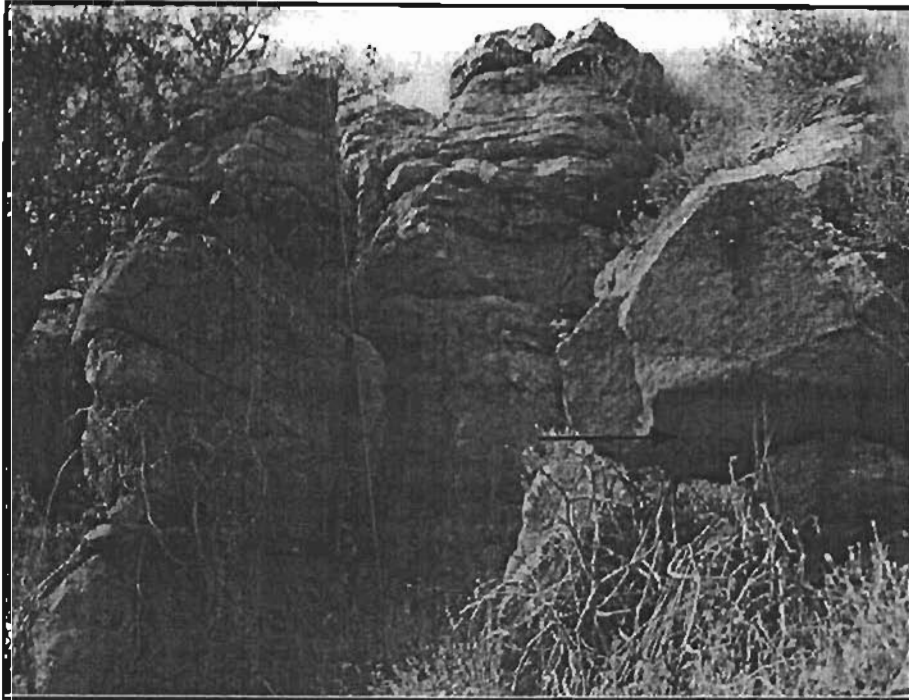


Figura 6.7. Se observan un conjunto de bloques separados por fracturas apoyados sobre pequeñas áreas de contacto. La inestabilidad de un bloque inferior afecta la estabilidad de otros.

- Movimiento por deslizamiento plano. Se presenta cuando el echado de las fracturas o planos de estratificación buza a favor del deslizamiento (Fig. 6.8).



Figura 6.8 Bloques de roca con fracturas a favor del deslizamiento.



- Movimiento rotacional. La superficie puede ser circular o bien lítrica (en forma de cuchara). El movimiento se presenta en todo el paquete de rocas que sobreyace la discontinuidad (Fig. 6.9).



Figura 6.9. Movimiento mixto, se observa la falla lítrica que afecta a un conjunto de rocas, hacia el frente se observa los bloques tabulares que el movimiento sería por vuelco ó volteo.

- Flujos de detritos. Movimiento por arrastre de material detrítico, que en caso de precipitación intensa puede descender a gran velocidad en una matriz de suelo arcilloso y gravas (Fig. 6.10). El tamaño de los clastos varía de acuerdo con la densidad del fracturamiento de la zona.



Figura 6.10. Flujos de detritos en la parte oriente del Cerro El Tenayo. Este fenómeno es común en zonas densamente fracturadas.

- **Reptación.** Se refiere al movimiento más o menos lento ladera abajo, que se presenta en la zona superficial y aún profunda de algunas laderas naturales. Se debe a la combinación de las fuerzas de gravedad con otros agentes (sismos, flujo de agua, reducción de la resistencia de la roca con el tiempo). La reptación se manifiesta por una inclinación de los árboles, postes y elementos similares (Fig. 6.11).



Figura 6.11. Ladera afectada por reptación superficial y profunda.

## 6.2 Mapa de zonificación, resultados.

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 peligrosidad.

Un mapa de inventarios puede incluir la localización espacial de los procesos y/o zonas afectadas, así como las características de los mismos. Por

ejemplo, si se trata de movimientos de ladera, se representan de forma puntual o areal los procesos actuales, antiguos y las áreas afectadas y dependiendo del detalle, se puede indicar el tipo de movimiento, la edad, el grado de actividad, etc.

En el área de estudio, se realizó trabajo en campo que consistió en cartografiar y describir detalladamente los peligros por deslizamiento, localizados en la porción oeste de la Sierra de Guadalupe. Estas observaciones fueron apoyadas por interpretación de las fotografías aéreas e imágenes de satélite.

## Resultados

Del análisis se deduce que la mayoría de los deslizamientos están controlados por factores estructurales (fallas y fracturas) y por el control geomorfológico (circos de erosión).

- En la parte alta de las estructuras volcánicas, las fallas y fracturas forman escarpes, donde se alinean bloques de roca de forma tabular que pueden generar vuelcos ó volteo.
- En las cabeceras de los circos de erosión los bloques de roca separados por discontinuidades verticales pueden favorecer el vuelco ó volteo.
- En las partes medias de las estructuras, se puede generar rodados. Con presencia de agua se puede formar un flujo de detritos.

La cartografía del mapa de inventarios esta representada por “polígonos” que son las zonas de los peligros identificados e iluminadas con diferente color para indicar el tipo movimiento dominante (Mapa 1). En total se cartografiaron cerca de 58 zonas de peligro, las cuales, en general, se encuentran distribuidas de la siguiente manera (Tabla 6.1):

TIPO DE PELIGRO	IDENTIFICADOS
Volteo	22
Caídas por rodamiento	11
Volteo y caída por rodamiento	10
Flujo	6
Deslizamiento	3
Volteo, caída por desprendimiento y deslizamiento	3
Deslizamiento y caída por rodamiento	1
Volteo y caída por desprendimiento	1
Total	58

Tabla 6.1. Inventario de los peligros geológicos en la porción oeste de la Sierra de Guadalupe.

Esta tabla indica que el mayor peligro geológico por deslizamiento existente es por volteo, le sigue la caída por rodamientos y en menor proporción, los restantes. Aunque cabe señalar que posiblemente existan más y estos no se lograron identificar, ya sea por invasión de casas en las zonas o por la vegetación, los cuales en cierta medida enmascaran estas zonas.

Por otro lado, el área de estudio está dividida en dos municipios que son Tlalnepantla de Baz, porción oeste y Tultitlán. De acuerdo con cada municipio, los peligros reconocidos fueron los descritos en la Tabla 6.2.

Municipio	Tipo de Peligro	Identificados
TLALNEPANTLA (OESTE)	Volteo	7
	Volteo y caída por rodamiento	7
	Caída por rodamiento	4
	Flujo	4
	Volteo, caída por desprendimiento y deslizamiento	3
	Deslizamiento	2
	Caída por desprendimiento	1
	Volteo y caída por desprendimiento	1
TULTITLÁN	Volteo	15
	Caída por rodamiento	7
	Volteo y caída por rodamiento	3
	Flujo	2
	Deslizamiento	1
	Deslizamiento y caída por rodamiento	1

Tabla 6.2. Inventario de los peligros geológicos en la porción oeste de la Sierra de Guadalupe.

De acuerdo con esta tabla, ambos municipios cuentan con el mismo número de peligros identificados, con una cantidad de 29.

Sin embargo, calculando el área total aproximada de los peligros geológicos por municipio tenemos los siguientes resultados en la Tabla 6.3.

Municipio	Tipo de Peligro	Área(m <sup>2</sup> )
TLALNEPANTLA (OESTE)	Caída por desprendimiento	40,722
	Caída por rodamiento	269,898
	Deslizamiento	44,777
	Volteo	122,023
	Volteo y caída por desprendimiento	28,106
	Volteo, caída por desprendimiento y deslizamiento	94,581
	Volteo y caída por rodamiento	363,452
	Flujo	14,041
	<b><i>Total</i></b>	<b><u>977,600</u></b>
TULTITLÁN	Caída por rodamiento	372,933
	Deslizamiento	35,703
	Volteo	919,102
	Volteo y caída por rodamiento	425,039
	Deslizamiento y caída por rodamiento	133,377
	Flujo	8,797
		<b><i>Total</i></b>

Tabla 6.3. Se indica el área de generación de los peligros.

Esta tabla indica que el municipio que tiene mayor área en la generación de peligros por procesos de remoción en masa es el municipio de Tultitlán, con 1,894,951 m<sup>2</sup>, y le sigue el municipio de Tlalnepantla de Baz, con 977,600 m<sup>2</sup>.

### 6.3 Mapa de peligros, métodos y resultados.

#### Concepto de peligro

Se llama **peligro** a la probabilidad de que se presente un evento de cierta intensidad, tal que pueda ocasionar daños en un sitio dado (CENAPRED, 2001).

En este estudio de peligro por procesos de remoción en masa se definieron parámetros cuantitativos, con representación espacial, donde se midieron y se relacionaron con las características específicas de cada movimiento.

En la representación de los resultados de los estudios de peligro, identifican los tipos e intensidades de los eventos que pueden ocurrir (CENAPRED, 2001). Los SIG permiten la representación más completa de este tipo de herramienta, que facilita el modelamiento y la actualización necesaria.

De la cartografía del trabajo de campo resultan peligros por procesos de remoción en masa; sin embargo, existen amplias zonas donde el peligro puede estar latente y no se ha manifestado, esto sucede si tenemos la vinculación de varios factores detonadores en cierta zona, por ejemplo, de acuerdo al cruce de los mapas realizados en el presente estudio, dio como resultado el mapa de peligros por procesos de remoción en masa.

#### Métodos

La generación del mapa de “Peligros por procesos de remoción en masa en la ladera oeste de la Sierra de Guadalupe” se basó en el cálculo y modelamiento dentro de un Sistema de Información Geográfica, el cual se describe a continuación (ILWIS versión 3.12a).

El mapa se generó a partir de un área delimitada con base en trabajo de gabinete (fotointerpretación y revisión bibliográfica) y datos levantados en campo. Para dicho análisis se emplearon los siguientes mapas o variables

- Mapa altimétrico
- Mapa de pendientes
- Mapa de precipitación
- Mapa de densidad de drenaje
- Mapa de densidad de fracturas

Los materiales y los criterios para la generación del mapa, se explican a continuación.

### **El mapa altimétrico**

Este mapa fue generado a partir del modelo digital de elevación, la información principal son las curvas de nivel a escala 1: 50,000, cada 10 metros. Del mapa altimétrico original (con 7 intervalos) sólo se tomaron 4 para el análisis y la modelación (Fig. 6.12).

Este mapa define cuáles son las zonas de mayor altura, lo cual se traduce, en cuestión de peligros, que a mayor altura, mayor peligro representado por la caída de una roca, pues aumenta la energía potencial de la roca, que será transformada en energía cinética, una vez que la roca inicie su movimiento.



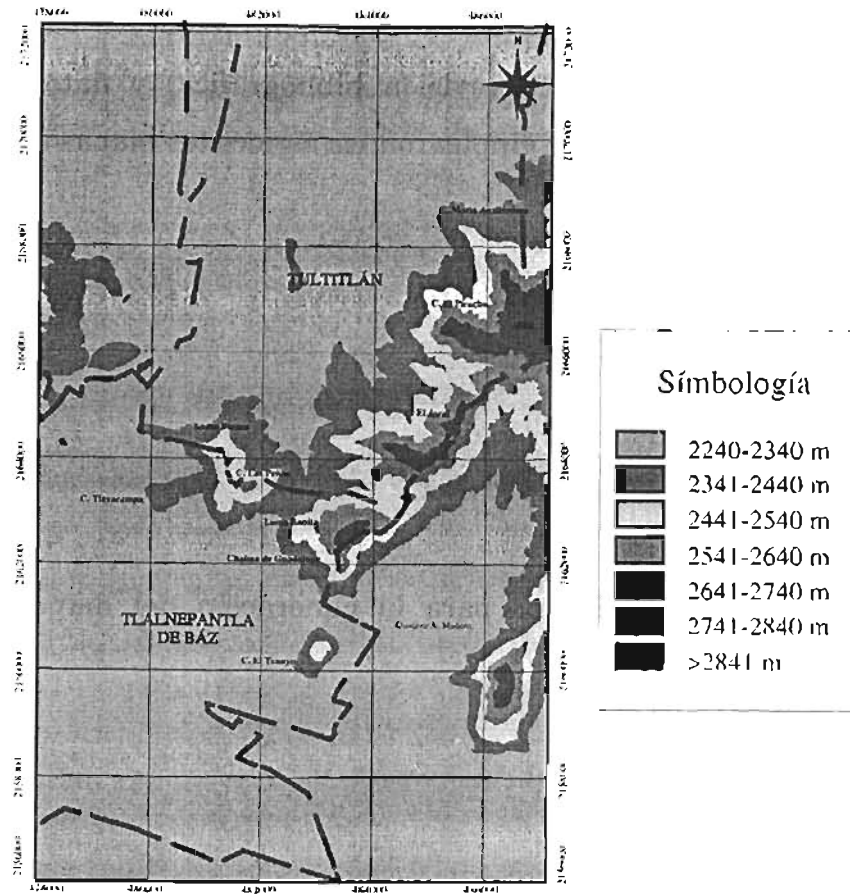


Figura 6.12- Mapa altimétrico.

### Rangos

- Menor de 2,440 m.
- De 2,441 a 2,640 m.
- De 2,641 a 2,840 m.
- Mayores a 2,841 m.

### El mapa de pendientes:

Se generó a partir del modelo digital de elevación, que a su vez, se creó con las curvas de nivel en formato digital de la cartografía, a escala 1:50,000. Del MDT se generaron 2 filtros (DX y DY), el primero es la diferencia de alturas en dirección x-y, el segundo, la diferencia de altura en dirección-y, después con los dos filtros se calcula el mapa de pendientes con comandos referidos en el manual del software ILWIS ver. 2.1.

Se obtuvieron 5 intervalos, pero se tomaron 3 para su explicación y descripción, ya que para este estudio las zonas de transición son de bajas pendientes, por lo tanto, no hay problemas de procesos de remoción (Fig. 6.13).

#### Rangos

- De 0 a 30°
- De 31 a 45°
- Mayores de 45°

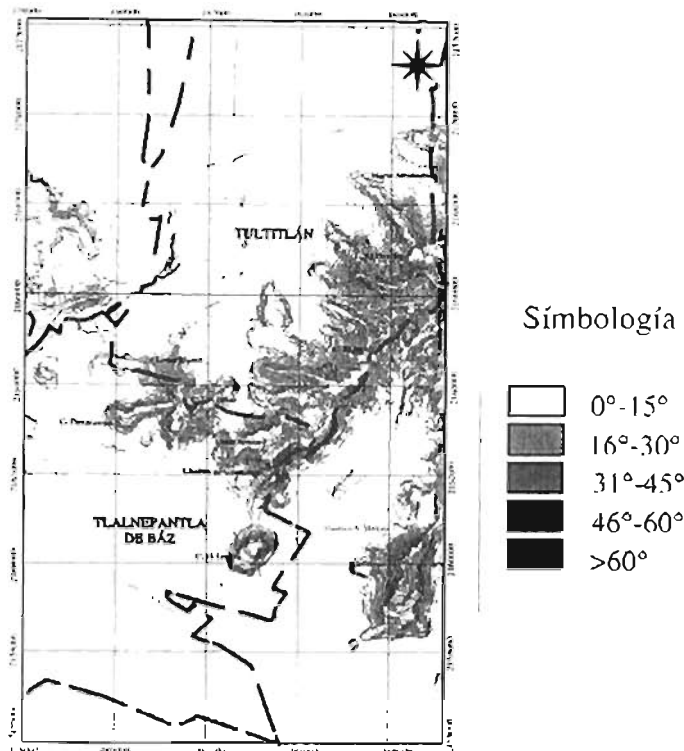


Figura 6.13- Mapa de pendientes en grados.

En este mapa se muestran las diferentes pendientes que existen en la porción oeste de la Sierra de Guadalupe y permite reconocer, a simple vista, las diferentes inclinaciones del terreno y la relación de las mismas con el desarrollo de los procesos erosivos. La importancia de este mapa, en cuestión de peligros, es que a mayor pendiente, implicará mayor peligro para la generación de procesos de remoción en masa.

### **El mapa de precipitación:**

Fue generado a partir de los datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de estudio. Para obtener el mapa de cantidad de precipitación, se generó un mapa de puntos (Fig. 6.14a) con sus respectivos valores de precipitación y ubicación exacta.

Posteriormente, se utilizó el método de interpolación “Kriging” para generar el mapa de precipitación, por que utiliza un variograma que expresa la variación de la información y reduce errores de los valores estimados para una mejor distribución espacial (Fig. 6.14b). A continuación, se elaboraron intervalos con los histogramas que se generan en el software Ilwis v. 3.0 Academic.

Los intervalos de precipitación que se utilizaron fueron los siguientes:

#### **Rangos**

- De 0 a 640 mm
- De 641 a 670 mm
- De 671 a 700 mm
- De 701 a 730 mm
- De 731 a 760 mm
- De 761 a 790 mm
- Mayores de 790 mm

Su aplicación para la interpretación de los valores de igual precipitación ante los diferentes peligros, es que ayuda a determinar las zonas que son susceptibles a generar un flujo de detritos o bien un movimiento rotacional o traslacional, dependiendo de otros factores, como la geología estructural y litología, entre otros.

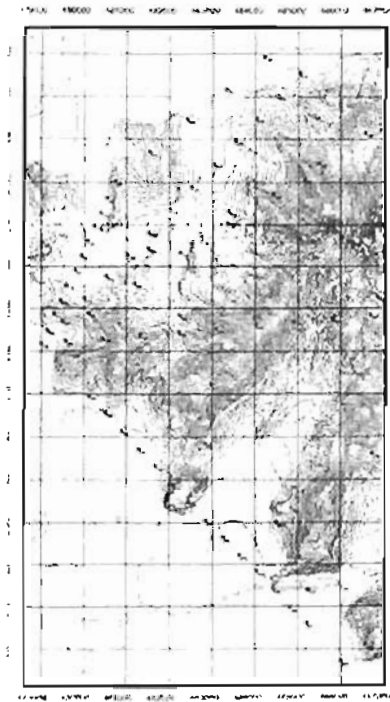


Figura 6.14. Mapa de estaciones pluviométricas con datos para la interpolación (a)

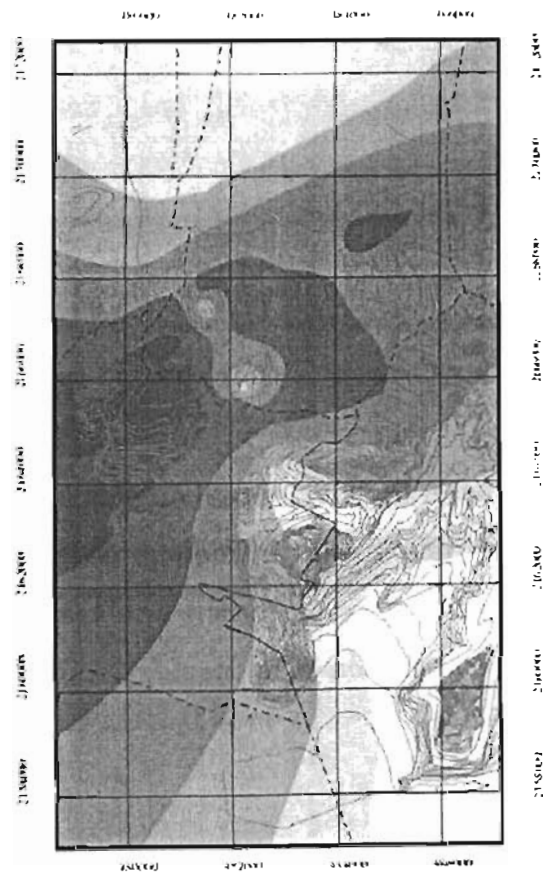


Figura 6.14. Mapa de isoyetas (b).

## El mapa de densidad de drenaje

Fue generado a partir de la red hidrográfica, en formato vectorial del INEGI. Empleando la red hidrográfica, el material auxiliar y las curvas de nivel, se infirieron los ríos de primer orden para obtener una red más completa (Fig. 6.15a). Posteriormente, se realizó el cálculo de la red por kilómetro cuadrado, obteniéndose un mapa de puntos (Fig. 6.15b). Con base en este mapa (de puntos), se utilizó el método de interpolación “Kriging”, obteniéndose así el mapa de densidad de drenaje (Fig. 6.15c). Los rangos de densidad de drenaje se obtuvieron del histograma generado, tomando en cuenta la mejor distribución espacial y son los siguientes:

### Intervalos

- De 0 a 1 km/km<sup>2</sup>
- De 1.1 a 2 km/km<sup>2</sup>
- De 2.1a 3 km/km<sup>2</sup>
- De 3.1a 4 km/km<sup>2</sup>
- De 4.1a 5 km/km<sup>2</sup>
- De 5.1a 6 km/km<sup>2</sup>
- De 6.1 a 7 km/km<sup>2</sup>
- Mayores a 7 km/km<sup>2</sup>

Este mapa involucra todas las corrientes superficiales de diverso orden de la sierra, las cuales tienen una fuerte influencia en los peligros de remoción en masa, ya que si la densidad es alta indica una mayor influencia fluvial en el relieve y por lo tanto, una erosión más fuerte, pudiéndose generar peligros por flujos de detritos.

# Capítulo 6. ZONIFICACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE PELIGROS

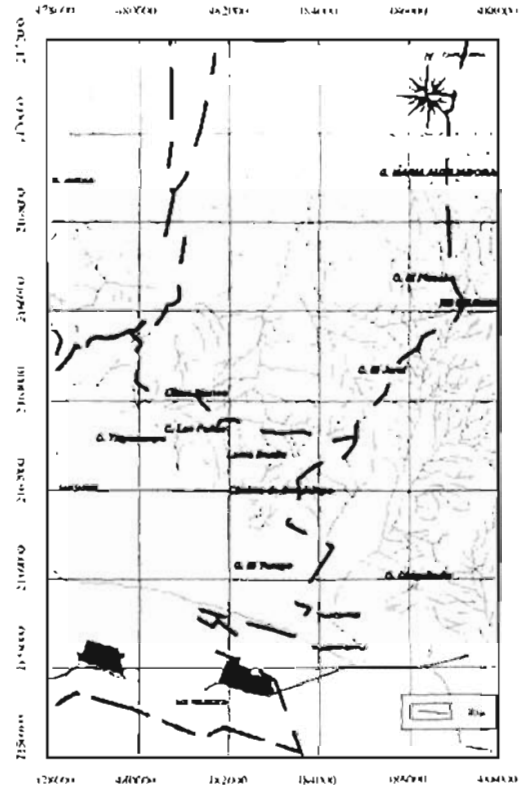


Figura 6.15. Mapa de drenaje (a)

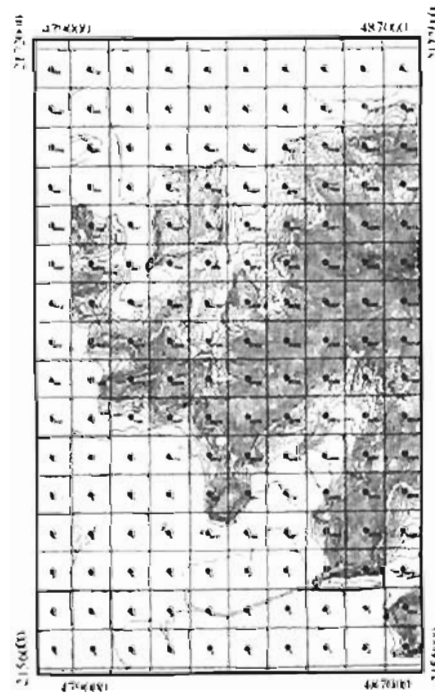


Figura 6.15. Mapa de puntos para la interpolación, en Km² (b) .

Sin embargo, si la densidad es baja, indica alta permeabilidad e infiltración, por lo que el peligro bien pudiera ser por un movimiento rotacional o traslacional.

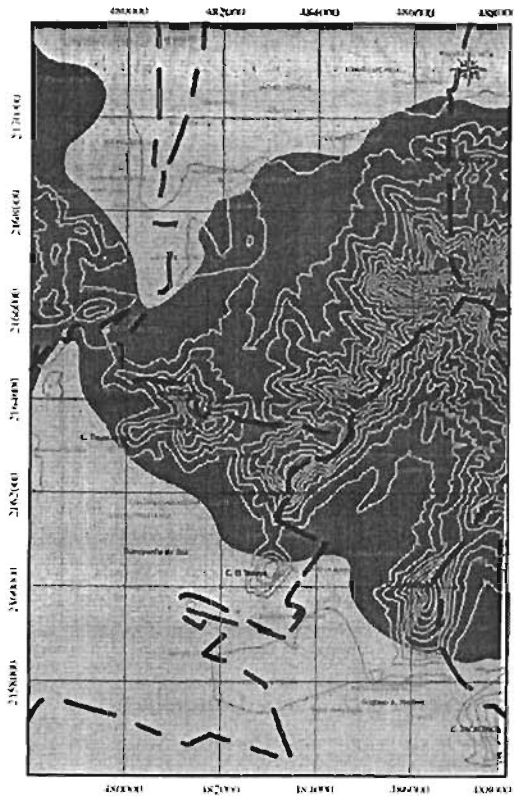


Figura 6.15- Mapa de densidad de drenaje (c)

### El mapa de densidad de fracturas:

Se generó con los lineamientos de fallas y fracturas, los cuales fueron interpretados de las fotografías aéreas, a escala 1:75,000, de la imagen de satélite y del modelo de relieve sombreado de la zona de estudio. El cálculo se realizó por kilómetro cuadrado. El primer resultado de este cálculo fue un mapa de puntos (Fig. 6.16 a) en donde cada punto tenía una ubicación exacta (georreferenciado) y el valor de densidad. A este primer mapa se le aplicó el

método de interpolación Kriging y de esta manera, se obtuvo el mapa de densidad de fracturas (Fig. 6.16 b).

Los intervalos densidad de fracturas utilizados fueron los siguientes:

Intervalos

- De 0 a 0.5 km/ km<sup>2</sup>
- De 0.6 a 1.0 km/ km<sup>2</sup>
- De 1.1 a 1.5 km/ km<sup>2</sup>
- De 1.6 a 2.0 km/ km<sup>2</sup>
- De 2.1 a 2.5 km/ km<sup>2</sup>
- Mayores a 2.5 km/ km<sup>2</sup>

Este mapa es importante, porque refleja con mayor claridad la concentración de fracturamiento, donde se pueden presentar las mayores posibilidades de presentar cualquier proceso de remoción en masa.

### Mapa de peligros

A continuación se describe la metodología para la generación del mapa de peligros:

Una vez que se obtuvieron los mapas base (altimétrico, pendientes, precipitación, densidad de drenaje y densidad de fracturas) se inició el cruce de mapas (cálculos estadísticos dentro del SIG) y el resultado de estos cruces fueron tablas de datos, las cuales fueron analizadas para establecer los criterios que definirían las áreas de Alto, Medio y Bajo peligro (Mapa 2). Algunos de los ejemplos de tablas obtenidas se observan a continuación (Tabla. 6.4):



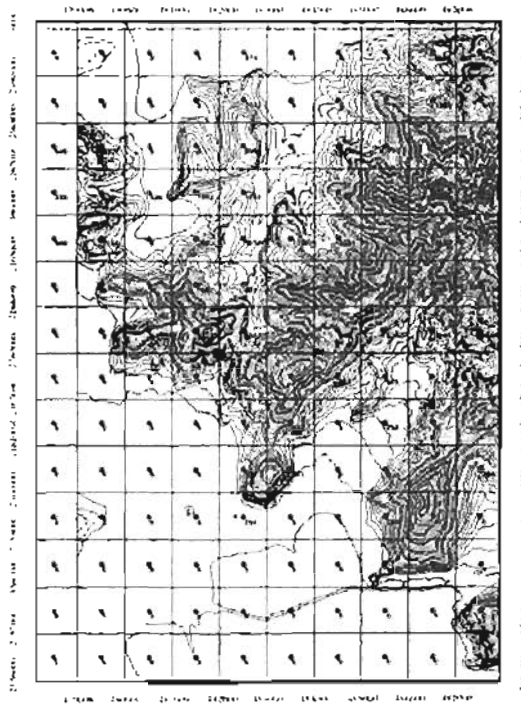


Figura 6.16. Mapa de puntos con valores de densidad (a)

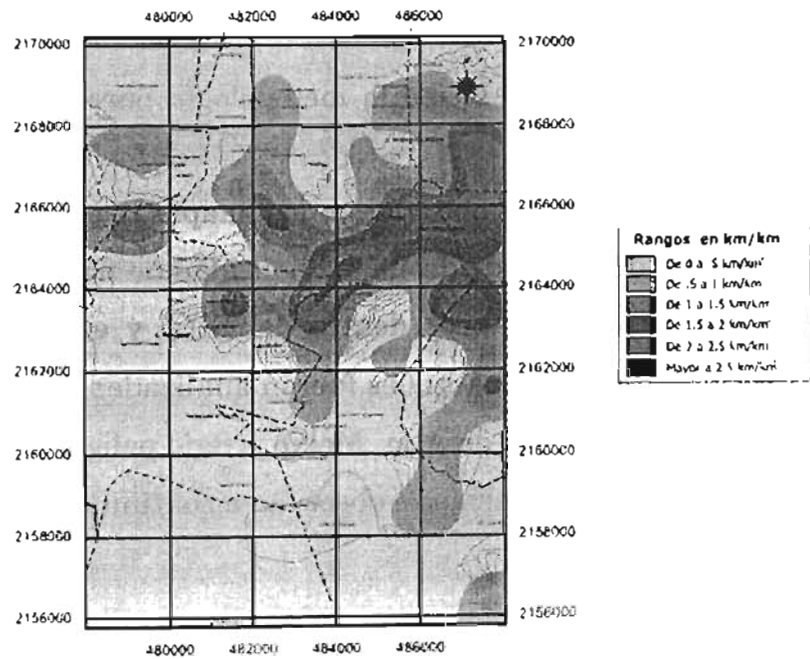


Figura 6.16. Mapa de densidad de fracturas por  $\text{km}^2$  (b)

Capítulo 6. ZONIFICACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE PELIGROS

PRECIPITACIÓN (mm)	DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO Km/km <sup>2</sup>	CLASIFICACIÓN DE PELIGRO
De 0 a 600	De 0 a .5	BAJO
De 600 a 650	De 0 a .5	BAJO
De 600 a 650	De .5 a 1	BAJO
De 650 a 700	De 0 a .5	BAJO
De 650 a 700	De .5 a 1	BAJO
De 650 a 700	De 1 a 1.5	BAJO
De 700 a 750	De 0 a .5	BAJO
De 700 a 750	De .5 a 1	BAJO
De 750 a 800	De 0 a .5	BAJO
De 750 a 800	De .5 a 1	BAJO
Mayor de 800	De 0 a .5	BAJO
De 600 a 650	De 1 a 1.5	MEDIO
De 600 a 650	De 1.5 a 2	MEDIO
De 650 a 700	De 1.5 a 2	ALTO
De 650 a 700	De 2 a 2.5	ALTO
De 700 a 750	De 1 a 1.5	ALTO
De 700 a 750	De 1.5 a 2	ALTO
De 700 a 750	De 2 a 2.5	ALTO
De 700 a 750	Mayor a 2.5	ALTO
De 750 a 800	De 1 a 1.5	ALTO

Tabla 6.4 Tabla de decisión.

PENDIENTES	DENSIDAD DE DRENAJE km/km <sup>2</sup>	CLASIFICACIÓN DE PELIGRO
De 0° a 30°	De 0 a 1	BAJO
De 0° a 30°	De 1 a 2	BAJO
De 0° a 30°	De 2a 3	BAJO
De 0° a 30°	De 3a 4	BAJO
De 0° a 30°	De 4a 5	BAJO
De 0° a 30°	De 5a 6	BAJO
De 31° a 45°	De 0 a 1	BAJO
De 31° a 45°	De 2 a 3	BAJO
Mayores de 45°	De 0 a 1	BAJO
De 31° a 45°	De 4a 5	MEDIO
Mayores de 45°	De 1a 2	MEDIO
Mayores de 45°	De .5 a 1	MEDIO
De 31° a 45°	De 2a 2.5	ALTO
De 31° a 45°	Mayor a 2.5	ALTO
Mayores de 45°	De 1a 1.5	ALTO
Mayores de 45°	De 1.5 a 2	ALTO
Mayores de 45°	De 2 a 2.5	ALTO
Mayores de 45°	Mayor a 2.5	ALTO

Tabla 6.4. Tabla de decisión.

### Generación de mapas previos

Cabe aclarar, que no se anexan todas las tablas, ya que se consideran archivos de trabajo previos a la generación del mapa final de peligros. Con las tablas y con la asignación del peligro, se elaboraron mapas (previos). En total

fueron nueve mapas previos (un mapa por tabla), los cuales fueron generados dentro del SIG y se utilizó álgebra booleana; un ejemplo del tipo de enunciados que se utilizó es el siguiente:

```
P_DREN_BAJO:=IFF((P_DREN="De 0° a 30° * De 0 a 1000 m.")OR(P_DREN="De 0° a 30° * De 1000 a 2000 m.")OR(P_DREN="De 0° a 30° * De 2000 a 3000 m.")OR(P_DREN="De 0° a 30° * De 3000 a 4000 m.")OR(P_DREN="De 0° a 30° * De 4000 a 5000 m.")OR(P_DREN="De 0° a 30° * De 5000 a 6000 m.")OR(P_DREN="De 0° a 30° * De 6000 a 7000 m.")OR(P_DREN="De 0° a 30° * Mayores a 7000 m.")OR(P_DREN="De 31° a 45° * De 0 a 1000 m.")OR(P_DREN="De 31° a 45° * De 1000 a 2000 m.")OR(P_DREN="De 31° a 45° * De 2000 a 3000 m.")OR(P_DREN="De 31° a 45° * De 3000 a 4000 m."),"BAJO",?)
```

Con este tipo de enunciados se asignó la clasificación del peligro de forma cualitativa (alto, medio y bajo) de acuerdo con las variables obtenidas de cada tabla. La manera de interpretar el enunciado es la siguiente: Si tenemos una pendiente de 0° a 30° y una densidad de drenaje de 0 a 1,000 m, entonces, se le clasificaba como un peligro bajo, de acuerdo a estos criterios se obtuvieron mapas que se utilizarían para la generación del mapa final de peligros.

### **Generación del mapa final de peligros**

Partiendo de la información generada se obtuvieron nuevos cruces de mapas para obtener una tabla final de datos, con la cual se calculó el mapa final. La tabla obtenida es la siguiente tabla 6.5:

Altimetría y Pendiente	Precipitación y Densidad de Fracturas	Densidad de Fracturas y Densidad de Drenaje	Clasificación del Peligro
BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO
BAJO	BAJO	ALTO	BAJO
MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO
MEDIO	BAJO	MEDIO	MEDIO
MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO
ALTO	BAJO	BAJO	MEDIO
ALTO	BAJO	MEDIO	MEDIO
BAJO	ALTO	BAJO	BAJO
BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO
BAJO	ALTO	ALTO	MEDIO
MEDIO	ALTO	BAJO	MEDIO
MEDIO	ALTO	MEDIO	ALTO
MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO
ALTO	ALTO	BAJO	ALTO
ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO
ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
BAJO	MEDIO	BAJO	MEDIO
BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
ALTO	MEDIO	MEDIO	ALTO

Tabla 6.5. Tabla de decisión.

Con la tabla anterior se utilizó nuevamente álgebra booleana, un ejemplo de los enunciados es el siguiente:

ALTO:=IFF((MAPA2=" MEDIO \* ALTO \* MEDIO")OR(MAPA2=" MEDIO \* ALTO \* ALTO")OR(MAPA2=" ALTO \* ALTO \* BAJO")OR(MAPA2=" ALTO \* ALTO \* MEDIO")OR(MAPA2=" ALTO \* ALTO \* ALTO")OR(MAPA2=" MEDIO \* MEDIO \* MEDIO")OR(MAPA2=" ALTO \* MEDIO \* MEDIO"),"ALTO",?)

Por lo tanto, el mapa resultante muestra las áreas donde se conjugan la altimetría, pendientes, precipitación, densidad de fracturas y densidad de drenaje y de acuerdo con el trabajo de modelación dentro del SIG, se determinaron las áreas de peligrosidad alta, Media y Baja (Anexo 2-Mapa 2).

Del producto de este mapa se puede interpretar que existe una extensa área localizada en la porción centro-este del área de estudio, que abarca a los volcanes, El Picacho, el oeste del Pico Tres Padres, que fue identificada como la zona de mayor peligro para los procesos de deslizamiento.

Sin embargo, existen otras zonas de menores proporciones, donde se concentran las variables utilizadas para un deslizamiento, que son igualmente peligrosos y están concentradas en los bordes del volcán El Jaral.

La zona de peligro medio abarca una mayor extensión y se localiza en la parte media del cerro El Jaral. El riesgo bajo abarca toda la zona de piedemonte de la Sierra de Guadalupe.

## CAPÍTULO 7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con el presente estudio, se considera que los problemas de estabilidad de laderas que afectan a la porción oeste de la Sierra de Guadalupe 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 y frentes rocosos que se forman están expuestos a la acción de los agentes detonantes como: sismos, empujes hidrostáticos, fuerzas de filtración, erosión, fuerzas debidas a factores biológicos y antrópicos.
- **Geomorfológico.** El origen, la edad y los procesos modificadores del relieve tienen influencia sobre la morfología. Los circos de erosión son geoformas que controlan parte de los peligros por proceso de 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.
- **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 los taludes. La acción antrópica genera vibraciones, sobrecarga al terreno y filtraciones en fracturas, lo que tiende a inestabilizar las laderas que conforman la Sierra de Guadalupe. Igualmente la mala ubicación de los basureros y la quema de desechos contribuyen a la contaminación y erosión del área.

La utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) es 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 peligros y de inventarios son de gran utilidad en las políticas de planeación territorial, de uso de suelo y para delimitar zonas de reservas ecológicas.

Con base en el “mapa de inventarios” se identificaron 58 zonas de peligro con diferente tipo de movimiento. Ambos municipios tienen el mismo número de peligros y área de generación.

De acuerdo con el “mapa de peligros”, las zonas con mayor probabilidad de que ocurra un deslizamiento por cualquier mecanismo es en la parte norte de la Sierra de Guadalupe, en las regiones conocidas como: El Pico Tres Padres y El Picacho.

El producto final, es sin duda alguna, una herramienta indispensable para tomar las medidas necesarias de planeación, prevención y mitigación en la región de estudio.

#### **Recomendaciones:**

- Evitar más construcciones en el área de estudio, sobre todo en aquellas zonas que están declaradas como reserva ecológica o que de acuerdo con este estudio han sido identificadas como zonas de peligro.
- Evitar la quema de basura principalmente en zonas donde crece vegetación no arbórea, ya que el terreno queda más expuesto a la erosión, generándose detritos y bloques, con la posibilidad de ser removidos.
- Evitar que se vierta agua de las viviendas que están construidas en la corona ó cabeceras de las laderas, se puede producir erosión y alteración



de los suelos, rocas, fracturas y rellenos, lo que, en general, tiende a reducir la estabilidad de las laderas.

- Limitar el tránsito de vehículos pesados en los caminos construidos en zonas de ladera, ya que las vibraciones inducen fuerzas, que tienden a inestabilizar bloques de roca que se encuentran cerca de los caminos y andadores.
- Ofrecer pláticas, cursos y repartir información entre los habitantes de la zona, acerca del peligro existente, para tomar medidas preventivas y evitar la inducción de algún tipo de influencia por causas antrópicas.

## 8.- BIBLIOGRAFÍA.

- ♦ Alcántara, I. A., 2000. Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía Núm. 41, 2000
- ♦ Campa-Uranga, M.F., 1965. Breve análisis petrográfico de la Sierra de Guadalupe: Instituto Politécnico Nacional, Escuela superior de Ingeniería y Arquitectura, tesis profesional.
- ♦ CENAPRED, 2001. Diagnóstico de peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. Atlas Nacional de Riesgos de la Republica Mexicana. Secretaría de Gobernación. México. pp 5-11
- ♦ Carlos-Valerio, V., 2003. Estudio de estabilidad de taludes y evaluación del riesgo geotécnico en el cerro del Tenayo, Edo. de México. UNAM, Facultad de Ingeniería, tesis profesional, 153 p.
- ♦ Cebull, S. E. & Shurbet, D. H., 1987. Mexican Volcanic Belt: and intraplate transform? Geofísica International 26,1-14.
- ♦ De Cserna, Z., Duch, De la Fuente M., Palacios, Nieto, M., Mitre, Salazar, I. y Mota Palomino, R., 1988. Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México, Boletín del Instituto de Geología.
- ♦ Demek, J., Embleton, C., 1978. Guide to Medium-Scale. Geomorphological mapping, E. Schweizebartsche, Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) Stuttgart.
- ♦ García, M. E., 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana): Sistema de Clasificación Climática: México D.F., Instituto de Geografía, 219p.
- ♦ Herrera, S., 2002. Regionalización de los deslizamientos en México, Academia Mexicana de Ingeniería, México.

- ◆ **Hutchinson, J.**, 1996. Morphological and Geotechnical parameters of landslides in relation geology and hydrogeology: The fifth International Symposium on Landslides.
- ◆ **Frausto, O.**, 2002. Análisis geomorfológico enfocado a los procesos de ladera en la Sierra de Guadalupe, México. UNAM, Facultad de Filosofía y Letras, tesis profesional de maestría, 37 p.
- ◆ **Fuentes, J.**, 2002. Cuencas y áreas naturales protegidas: el manejo integrado de los recursos naturales en el Pico de Tancítaro, Michoacán. INE. Instituto Nacional de Ecología.  
[http://64.233.187.104/search?q=cache:R3mr7wHWzg8J:www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/366/fuentes.html%3Fid\\_pub%3D366+densidad+de+drenaje&hl=es&start=2](http://64.233.187.104/search?q=cache:R3mr7wHWzg8J:www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/366/fuentes.html%3Fid_pub%3D366+densidad+de+drenaje&hl=es&start=2)
- ◆ **INEGI**, 1997. Hoja Cuautitlán, E14 - A29 (1: 50:000). Instituto Nacional de estadística Geografía e Informática de México.
- ◆ **INEGI**. Regiones Hidrológicas.2005  
[http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/datosgeogra/basicos/hidrologia/rios/regiones\\_hidrologicas.cfm?c=519](http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/datosgeogra/basicos/hidrologia/rios/regiones_hidrologicas.cfm?c=519)  
Instituto Nacional de estadística Geografía e Informática de México
- ◆ **Jacobo, Albarrán, J. J.**, 1985. Estudio petrogenético de las rocas ígneas de la porción Central del Eje Neovolcánico. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo.
- ◆ **Lozano, B., L.**, 1968. Geología de la Sierra de Guadalupe: Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional, México D.F.
- ◆ **Lugo, H.**, 1988. Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos). UNAM, Instituto de Geografía, México. 12-25.
- ◆ **Lugo, H.**, 1990. El relieve de la República Mexicana. UNAM, Instituto de Geología, Vol. 9, No.1, p. 82-111.
- ◆ **Lugo, H.**, 1996. La Superficie de la Tierra un vistazo a un mundo cambiante. Fondo de Cultura Económica, México.

<http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/54/htm/lasuper.htm>

- ◆ **Lugo, H. J., Salinas, M. 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*, p. 240 - 251.
- ◆ **Molnar, P. & Sykes, L. R.** 1969. Tectonics of the Caribbean and Middle America regions by focal mechanism and sismicity. *Geological society of America Bulletin* 80, 1639-1684.
- ◆ **Mooser, F.,** 1975. *Historia Geológica de la Cuenca de México.*, Memoria de las Obras de Drenaje Profundo, México D.F., p. 150.
- ◆ **Mooser, F., Montiel A., y Zuñiga A.,** 1992. Nuevo Mapa geológico del sur - poniente del Valle de México: Simposio Experiencias geotécnicas en la zona poniente del Valle de México.
- ◆ **Pardo, M. & Suárez, G.** 1993. Steep subduction geometry of the Rivera plate beneath the Jalisco Block in Western of Mexico. *Geophysics Research Lett.* 20, 2391-2394.
- ◆ **Ponce, L., Gaulon, R., Suarés, G. & Lomas, E.** 1992. Geometry and the state of stress of the dowgoing Cocos plate in the Isthmus of Tehuantepec. *Geophysics Research. Letter* 19, 773-776.
- ◆ **Servicio Geológico Metropolitano.,** 2001. Evaluación de los peligros geológicos existentes en los sitios San Juan y Candelaria Ticomán, Delegación Gustavo A. Madero, México D.F.
- ◆ **Servicio Geológico Metropolitano.,** 2003. Evaluación y zonificación de los peligros geológicos por deslizamiento en las laderas de la Sierra de Guadalupe, Estado de México.
- ◆ **Van Zuidam, R. and F.I. Van Zuidam-Cancelado.** 1986. *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping.* International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). 188-190 pp

**ANEXO*****Anexo 1 Fichas de control***

Fichas (Porción oeste)

***Anexo 2 Mapas finales***

Mapa 1 Mapa de inventarios

Mapa 2 Mapa de peligros

**LISTA DE FIGURAS****Capítulo 2**

Figura 2.1. Pasos metodológicos para zonificar y jerarquizar los procesos de remoción en masa.....12

**Capítulo 3**

Figura 3.1- Movimiento rotacional en suelo y rocas.....15

Figura 3.2- Movimiento traslacional A) Deslizamiento plano. B) Deslizamiento en cuña.....15

Figura 3.3- Movimiento traslacional de rocas sobre una superficie de deslizamiento escalonada.....16

Figura 3.4- Movimiento de detritos en forma de flujo.....16

Figura 3.5-Volteo de bloques de roca y volteo con flexión.....17

Figura 3.6-Caída y desprendimiento de rocas.....18

**Capítulo 4**

Figura 4.1- Localización de la porción este de la Sierra de Guadalupe, dentro de la Cuenca de México.....20

Figura 4.2- Localización del área de estudio .....22

Figura 4.3.- Mapa de isoyetas.....25

Figura 4.4- Mapa de drenaje de la porción oeste de la Sierra de Guadalupe.....27

Figura 4.5. Mapa de curvas de nivel.....29

**Capítulo 5**

Figura 5.1. Mapa Geológico, porción oeste de la Sierra de Guadalupe.....32

Figura 5.2-Vista panorámica del cerro el Tenayo cuya estructura se encuentra emplazada hacia el SW.....	33
Figura 5.3- Panorámica de la cantera ubicada en el sector sur del Cerro Chalma de Guadalupe.....	34
Figura 5.4- Vista panorámica del cerro Tlayacampa, el cual se encuentra emplazado hacia el SW.....	35
Figura 5.5- Vista panorámica de la parte NW del cerro El Jaral.....	36
Figura 5.6- Ladera SW del Cerro el Picacho.....	37
Figura 5.7- Depósitos piroclásticos de caída fallados en dirección NE. Domo María Auxiliadora en zona de reserva ecológica.....	38
Figura 5.8-Mapa estructural de la porción oeste de la Sierra de Guadalupe....	41
Figura 5.9. Vista de una de las fallas con dirección NE-SW, la cual indica un movimiento normal por desplazamiento de horizontes guías.....	42
Figura 5.10. Falla la Quebrada, de dirección E-W que delimita al norte la Fosa de Barrientos.....	42
Figura 5.11. Falla Tlayacampa de dirección E-W, la cual delimita al sur la Fosa de Barrientos.....	43
Figura 5.12. Fracturas del área de estudio.....	45
Figura 5.13- Mapa de densidad de fracturas.....	46
Figura 5.14. Mapa altimétrico.....	49
Figura 5.15. Mapa de pendientes.....	51
Figura 5.16. Mapa de densidad de drenaje.....	53
Figura 5.17- Modelo de relieve sombreado.....	55
Figura 5.18- Imagen de Satélite Landsat ETM+7. Año 2000. Compuesto Falso Color 432 (RGB).....	56
Figura. 5.19- Zona urbana del año 2000, de la ladera oeste de la Sierra de Guadalupe.....	58

## Capítulo 6

Figura 6.1. Bloque subredondeado, fracturado e intemperizado ubicado en zona de traza urbana.....	60
---	----

Figura 6.2. Bloques redondeados separados de la masa estable apoyados en una superficie de suelo o vegetación, en zonas de fuerte pendiente.....	60
Figura 6.3. El peligro por desprendimiento es uno de los más característicos en donde existen cantiles, como en el cerro El Tenayo.....	61
Figura 6.4. En las laderas de los domos existen cortes, donde se presenta peligro de caída por desprendimiento.....	61
Figura 6.5. Frente rocoso formado por bloques tabulares de gran tamaño, separados por discontinuidades verticales, Lo que favorece el volteo.....	62
Figura 6.6. Bloques separados por fracturas verticales.....	62
Figura 6.7. Se observan un conjunto de bloques separados por fracturas apoyados sobre pequeñas áreas de contacto. La inestabilidad de un bloque inferior afecta la estabilidad de otros.....	63
Figura 6.8. Bloques de roca con fracturas a favor del deslizamiento.....	63
Figura 6.9. Movimiento mixto, se observa la falla lítrica que afecta a un conjunto de rocas.....	64
Figura 6.10. Flujos de detritos en la parte oriente del Cerro el Tenayo.....	64
Figura 6.11. Ladera afectada por reptación superficial y profunda.....	65
Figura 6.12- Mapa altimétrico con rangos.....	72
Figura 6.13- Mapa de pendientes en grados.....	73
Figura 6.14. Mapa de estaciones pluviométricas, datos de interpolación (a).....	75
Figura 6.14. Mapa de isoyetas (b).....	75
Figura 6.15 Mapa de drenaje (a).....	77
Figura 6.15 Mapa de puntos para la interpolación en Km <sup>2</sup> (b) .....	77
Figura 6.15- Mapa de densidad de drenaje (c).....	78
Figura 6.16. Mapa de puntos con valores de densidad (a).....	80
Figura 6.16. Mapa de densidad de fracturas por Km <sup>2</sup> (b).....	80

# ***ANEXO 1***

---

*Fichas de control*



Área aprox (m <sup>2</sup> )	Brigada	Coordenadas	Observación Día/Período	No. de observación
30,000	1	482,839.07 2,163,685.55	20/10/2003	PHI H. Ayuntamiento de Tlalnepantla, Parque Estatal Sierra de Guadalupe. propiedad de Ejido San Bartolo Tenayuca

<b>Topografía</b>	<b>Pendiente</b>	0-15°	Observaciones	El relieve ha sido modelado por la erosión.
		15-30°		
		30-45°		
		45-60°		
		>60°		
<b>Altitud</b>	2,345 msnm			
<b>Detalle de morfología de la pendiente</b>	<b>Forma de ladera</b>	Cóncava	Observaciones	Superficie con vegetación y en algunas partes roca expuesta.
		Convexa		
		Plana		
	<b>Forma de barranca</b>	En U		
		En V		
<b>Superficie</b>	Rocosa - Vegetación			
<b>Agua superficial y subterránea</b>	<b>¿Se forman laderas de captación?</b>	Sí	Observaciones	La zona se vería afectada por avenidas de agua en caso de lluvia intensa.
	<b>¿Se ven cauces con detritos?</b>	Sí		
	<b>¿Qué controla el drenaje?</b>	La pendiente y el cauce		
<b>Vegetación</b>	<b>Vegetación natural</b>	Tipo	Arbustos	Observaciones
		Densidad	Media a alta	Se observan arbustos en su mayoría y pocos árboles de
	<b>¿Existen raíces creciendo entre las fracturas?</b>	Sí	aproximadamente 6 m de alto. Existen raíces creciendo entre las	
	<b>¿La vegetación ayuda a evitar la erosión y a estabilizar?</b>	Sí	fracturas de las rocas; la vegetación ayuda a evitar la erosión.	
<b>Erosión</b>	<b>Razón</b>	Hídrica	Observaciones	
<b>Suelos</b>	<b>Tipo de suelo</b>	Areno-limoso	Observaciones	
	<b>Textura</b>	Rugosa		
	<b>Permeabilidad</b>	Alta		
	<b>Espesor</b>	70 cm		

## Procesos de remoción en masa

Área aprox de afectación (m <sup>2</sup> )	Brigada	Día	Coordenadas	No. de observación
30,000	1	20/11/2003	482,839.07  2.163,685.55	PHI  H. Ayuntamiento de Tlatnepantla, Parque Estatal Sierra de Guadalupe, propiedad de Ejido San Bartolo Tenayuca

<b>Mecanismos Potenciales de Falla</b>	Deslizamiento	Falla plana	<b>Dirección del movimiento</b>  NW	
		Falla en cuña		
		Falla rotacional		
	Volteo	Singular		
		Múltiple		
	Caída	Rodamiento		<b>Agentes detonantes</b>  Erosión hídrica.
		Desprendimiento		
Flujo	De lodos			
	De rocas			
Otro				

<b>Tipo de construcciones</b>	Represa de mampostería.
<b>Infraestructura civil afectada</b>	Represa de mampostería.

<b>Evaluación general de la estabilidad</b>	Estable
	Potencialmente inestable
	Inestable

<b>Observaciones</b>	Zona de alto peligro, no se permite construir porque es una zona de inundación con problemas de flujo de detritos y grandes avenidas de agua.
----------------------	---

Punto de control PH1



Vista de la represa que se ubica en la base del cerro Jaral

## Procesos de remoción en masa

Área aprox de afectación (m <sup>2</sup> )	Brigada	Día	Coordenadas	No. de observación
5.000	1	21/10/2003	481,642.04 2,164,132.40	PH2 Cerro Loma Blanca, sector E, con límites de la Col. San Marcos

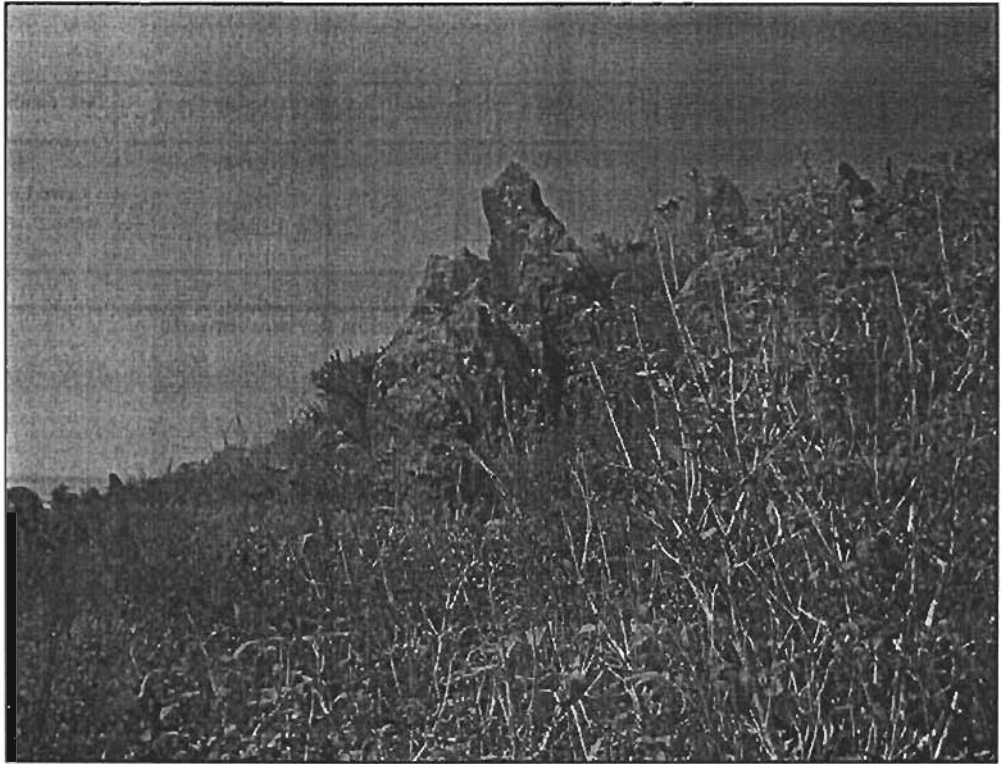
Mecanismos Potenciales de Falla	Deslizamiento	Falla plana	Dirección del movimiento
		Falla en cuña	
Falla rotacional			
Volteo		Singular	Agentes detonantes
		Múltiple	
Caída		Rodamiento	Erosión hídrica y antrópica.
		Desprendimiento	
Flujo		De lodos	
		De rocas	
Otro		Reptación	

Tipo de construcciones	Torre de electricidad y viviendas de 1 a 2 niveles.
Infraestructura civil afectada	Torre de electricidad, viviendas y acueducto.

Evaluación general de la estabilidad	Estable
	Potencialmente inestable
	Inestable

Observaciones
<p>Fracturamiento (N40°E/75°NW), peligro por rodamiento y volteo de bloques. Amplio espaciamiento entre fracturas, hasta de 1 m de separación. Verticalmente los bloques tienen hasta 2 metros de largo.</p> <p>En la base del cerro en el sector E se encuentra ubicada una torre de conducción de electricidad, la cual se vería afectada por un posible movimiento de la ladera, dado que a su alrededor se encuentran bloques de 2 metros de diámetro aproximadamente.</p> <p>Laderas muy verticales que favorecen el mecanismo de falla.</p> <p>En el extremo NE del cerro se observan bloques que posiblemente fallarían por rodamiento y afectarían construcciones civiles como casas y el acueducto en la colonia San Marcos.</p> <p>En la parte alta de la ladera se observa movimiento de reptación.</p>

Punto de control PH2



Detalle de los bloques fracturados verticalmente



Vista desde la parte superior del cerro, nótese la separación de los bloques



Detalle de la Torre eléctrica que se vería afectada en caso de que un bloque la impacte



Vista S de Loma Blanca. Deslizamiento de ladera, con movimiento de reptación

## Procesos de remoción en masa

Area aprox de afectación (m <sup>2</sup> )	Brigada	Día	Coordenadas	No. de observación
50.000	I	22/10/2003	481.816.42 2.163.705	PH3 Vista sur del tiradero de escombros del panteon Jardines del Recuerdo

Mecanismos Potenciales de Falla	Deslizamiento	Falla plana	Dirección del movimiento
		Falla en cuña	
Falla rotacional			
Volteo		Singular	Agentes detonantes
		Múltiple	
Caída		Rodamiento	Precipitación
		Desprendimiento	
Flujo		De lodos	Erosión hídrica y antrópica.
		De rocas	
Otro		Reptación	

Tipo de construcciones	No hay construcciones, sólo terracería.
Infraestructura civil afectada	Terracería.

Evaluación general de la estabilidad	Estable
	Potencialmente inestable
	Inestable

Observaciones
<p>En la parte alta de la ladera se observa movimiento de reptación, al pie de esta ladera se puede observar caída de suelo y la inclinación de arboles, debido a este proceso. Igualmente a la derecha de la ladera se pueden observar grandes frentes rocosos que pueden fallar por volteo, debido al intenso fracturamiento de los grandes bloques.</p> <p>En la parte media de la ladera existe una carretera de terracería que la ocupan para depositar cascajo y basura, proveniente del Panteón Jardines del Recuerdo. También se observan largas grietas de tensión de diferentes anchos y profundidades con diferentes escalonamientos aproximadamente 50 cm, que probablemente provocaría deslizamiento de tipo rotacional.</p> <p>Zona de alto peligro por la pendiente. no se debe de construir. Zona donde se deposita cascajo sobre la ladera.</p>

Área aprox (m <sup>2</sup> )	Brigada	Coordenadas	Observación Día/Período	No. de observación
50.000	1	481,816.42 2,163,705	22/10/2003	PH3  Vista sur del tiradero de escombros del panteon Jardines del Recuerdo

Topografía	Pendiente	0-15°	Observaciones	El relieve es escarpado con pendientes verticales. Zona de acumulación de escombros provenientes del Panteón Jardines del Recuerdo. La ladera en general tiene una pendiente de 30°-45° y en zonas altamente escarpadas hay pendientes mayores a 60°	
		15-30°			
		30-45°			
		45-60°			
	>60°				
Altitud	2,500 msnm				
Detalle de morfología de la pendiente	Forma de ladera	Cóncava	Observaciones	La superficie es rocosa con poca vegetación, dada la influencia antrópica.	
		Convexa			
		Plana			
	Forma de barranca	En U			
		En V			
Superficie	Rocosa-Vegetación				
Agua superficial y subterránea	¿Se forman laderas de captación?	Sí	Observaciones	La pendiente favorece la escorrentía, se observan cárcavas sobre los detritos.	
	¿Se ven cauces con detritos?	Sí			
	¿Qué controla el drenaje?	La pendiente			
Vegetación	Vegetación natural	Tipo	Arbustos	Observaciones	La vegetación no es abundante.
		Densidad	Incipiente		
	¿Existen raíces creciendo entre las fracturas?			No	
	¿La vegetación ayuda a evitar la erosión y a estabilizar?			No	
Erosión	Razón	Hídrica		Observaciones	Detritos en la pendiente (antrópicos).
Suelos	Tipo de suelo	Limoso	Observaciones	El suelo esta desarrollado pero se ven frentes rocosos.	
	Textura	Harinosa			
	Permeabilidad	Medio			
	Espesor	30 cm			



Punto de control PH3



Vista panorámica de la parte N del cerro Las Peñas



Parte Norte del cerro Las Peñas  
Ladera con movimiento de reptación

Punto de control PH3



Camión de volteo propiedad del Panteón Jardines del Recuerdo

## Procesos de remoción en masa

Área aprox de afectación (m <sup>2</sup> )	Brigada	Día	Coordenadas	No. de observación
4.000	1	31/10/2003	478,306.59 2,164,560.28	PH4 Autopista México - Querétaro

Mecanismos Potenciales de Falla	Deslizamiento	Falla plana	Dirección del movimiento  E	
		Falla en cuña		
		Falla rotacional		
	Volteo	Singular		
		Múltiple		
	Caída	Rodamiento		Agentes detonantes
		Desprendimiento		
Flujo	De lodos	Vibraciones por el tránsito de vehículos. Erosión hídrica		
	De rocas			
Otro	Deslizamiento de detritos			

Tipo de construcciones	Autopista México-Querétaro.
Infraestructura civil afectada	Vías de comunicación, infraestructura civil.

Evaluación general de la estabilidad	Estable
	Potencialmente inestable
	Inestable

Observaciones
<p>Los bloques están inmersos en una matriz arenosa, la cual, al erosionarse, deja bloques en cantiliver o bien se remueve su base, por lo que se presenta el desprendimiento y el deslizamiento de detritos.</p> <p>Existen bloques desprendidos. La obra para estabilizar el talud falló.</p>

#### Punto de control PH4



Detalle del talud. A la izquierda se observa la mala aplicación del concreto lanzado, pues no hay una malla que confine los clastos ni drenaje que alivie las presiones del agua

## Procesos de remoción en masa

Área aprox de afectación (m <sup>2</sup> )	Brigada	Día	Coordenadas	No. de observación
5,000	I	03/11/2003	481,267.16 2,167.839.56	PH5 Sector W de la Col. Lomas de Cartagena

Mecanismos Potenciales de Falla	Deslizamiento	Falla plana	Dirección del movimiento
		Falla en cuña	
Falla rotacional			
Volteo		Singular	Agentes detonantes
		Múltiple	
Caída		Rodamiento	Raíces creciendo entre fracturas. Erosión antrópica. (Peso de construcciones)
		Desprendimiento	
Flujo		De lodos	
		De rocas	
Otro			

Tipo de construcciones	Viviendas de 1-2 niveles.
Infraestructura civil afectada	Construcciones civiles.

Evaluación general de la estabilidad	Estable
	Potencialmente inestable
	Inestable

Observaciones
<p>Zona de alto peligro, los bloques se observan altamente fracturados.</p> <p>En el lugar se extrae material para la construcción (mina a cielo abierto)</p> <p>La zona esta altamente poblada y en algunas partes las casas se encuentran encima de unos bloques que pueden fallar por volteo, o que se encuentran erosionadas en la base que pueden desprenderse los bloques.</p> <p>En las partes bajas la pendiente es propicia para que algunos bloques fallen por rodamiento.</p> <p>Para el día 28 de enero de 2004 se regresó para verificar los puntos y se encontró que el lugar en donde se encontraban los bloques fracturados ha sido rellenado por cascajo y basura para la construcción de viviendas.</p> <p>El escombros puede formar flujos de detritos con fuertes precipitaciones.</p>

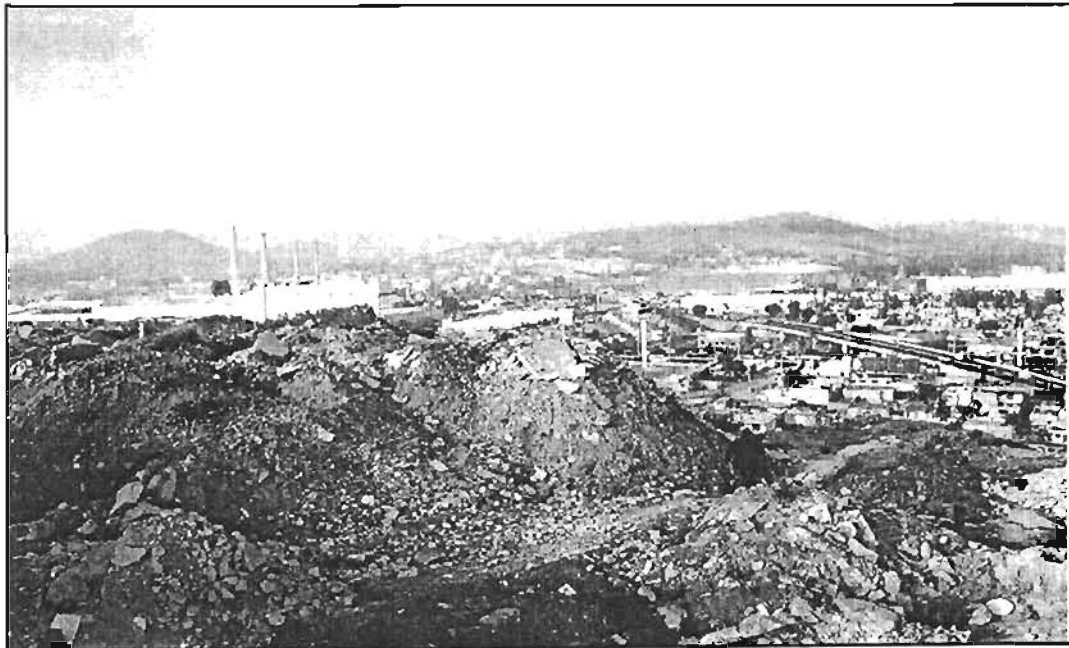
Área aprox (m <sup>2</sup> )	Brigada	Coordenadas	Observación Día/Período	No. de observación
5,000	I	481,267 2,167,840	03/11/2003	PH5 Sector W de la Col. Lomas de Cartagena

<b>Topografía</b>	<b>Pendiente</b>	0-15°	Observaciones	El relieve es escarpado. Se presentan altas pendientes. La mayor parte de la ladera presenta pendientes de 30°-45° pero en algunas partes la pendiente es mayor a 60°. La pendiente se ha modificado debido a la construcción de viviendas donde anteriormente existían bloques altamente fracturados.
		15-30°		
		30-45°		
		45-60°		
		>60°		
	<b>Altitud</b>	2,315 msnm		
<b>Detalle de morfología de la pendiente</b>	<b>Forma de ladera</b>	Cóncava	Observaciones	Mina a cielo abierto. En la parte baja de la ladera se observan detritos que con fuertes precipitaciones pueden originar grandes flujos de detritos.
		Convexa		
		Plana		
	<b>Forma de barranca</b>	En U		
		En V		
	<b>Superficie</b>	Rocosa-Vegetación		
<b>Agua superficial y subterránea</b>	<b>¿Se forman laderas de captación?</b>	Sí	Observaciones	Sobre las laderas depositan cascajo y basura, los cuales en épocas de lluvias se remueven y pueden formar flujo de detritos, rellenando los cauces cercanos.
	<b>¿Se ven cauces con detritos?</b>	Sí		
	<b>¿Qué controla el drenaje?</b>	Pendiente y el cauce		
<b>Vegetación</b>	<b>Vegetación natural</b>	Tipo	Pastos	Observaciones La vegetación es poca, por lo tanto no hay nada que ayude a estabilizar la ladera
		Densidad	Baja	
		<b>¿Existen raíces creciendo entre las fracturas?</b>	No	
		<b>¿La vegetación ayuda a evitar la erosión y a estabilizar?</b>	No	
<b>Erosión</b>	<b>Razón</b>	Hídrica y antrópica	Observaciones	Escurrimiento de agua entre fracturas.
<b>Suelos</b>	<b>Tipo de suelo</b>	Arenoso	Observaciones	En el lugar se observa poco suelo pero es permeable por las fracturas entre los bloques, existe filtración.
	<b>Textura</b>	Rugoso		
	<b>Permeabilidad</b>	Alta		
	<b>Espesor</b>	10 cm		

Punto de control PH5



Vista W de Lomas de Cartagena. Obsérvese que la quema de pasto y basura deja expuestos a los deiritos



Lugar de depósito de basura y cascajo en la ladera W de Lomas de Cartagena

Punto de control PH5



Lugar de relleno de cascajo y basura



Área aprox (m <sup>2</sup> )	Brigada	Coordenadas	Observación Día/Período	No. de observación
1,000,000	I	486,152.68 2,168,585.07	06/11/2003	PH6 Reserva Ecológica, en dirección a Coacalco, antes del cruce al paraje La Virgen

Topografía	Pendiente	0-15°	Observaciones	Ladera con pendiente abrupta en donde se observan frentes rocosos.
		15-30°		
		30-45°		
		45-60°		
		>60°		
Altitud	2,370 msnm			
Detalle de morfología de la pendiente	Forma de ladera	Cóncava	Observaciones	Ladera convexa que forma una ladera en U. con la superficie rocosa y poca vegetación.
		Convexa		
		Plana		
	Forma de barranca	En U		
		En V		
Superficie	Rocosa-Vegetación			
Agua superficial y subterránea	¿Se forman laderas de captación?	Sí	Observaciones	En época de lluvia se pueden presentar fuertes avenidas de agua y afectar la infraestructura que se encuentra al pie de la ladera.
	¿Se ven cauces con detritos?	Sí		
	¿Qué controla el drenaje?	Pendiente		
Vegetación	Vegetación natural	Tipo	Árborea	Observaciones
		Densidad	Baja	
	¿Existen raíces creciendo entre las fracturas?			Sí
	¿La vegetación ayuda a evitar la erosión y a estabilizar?			Sí
Erosión	Razón	Hídrica		Observaciones
Suelos	Tipo de suelo	Arcilloso -arenoso		Observaciones
	Textura	Rugosa		
	Permeabilidad	Alta		
	Espesor	20 cm		

## Procesos de remoción en masa

Área aprox de afectación (m <sup>2</sup> )	Brigada	Día	Coordenadas	No. de observación
1,000,000	1	06/11/2003	486,152.68 2,168,585.07	PH 6 Reserva Ecológica, en dirección a Coacalco, antes del cruce al paraje La Virgen

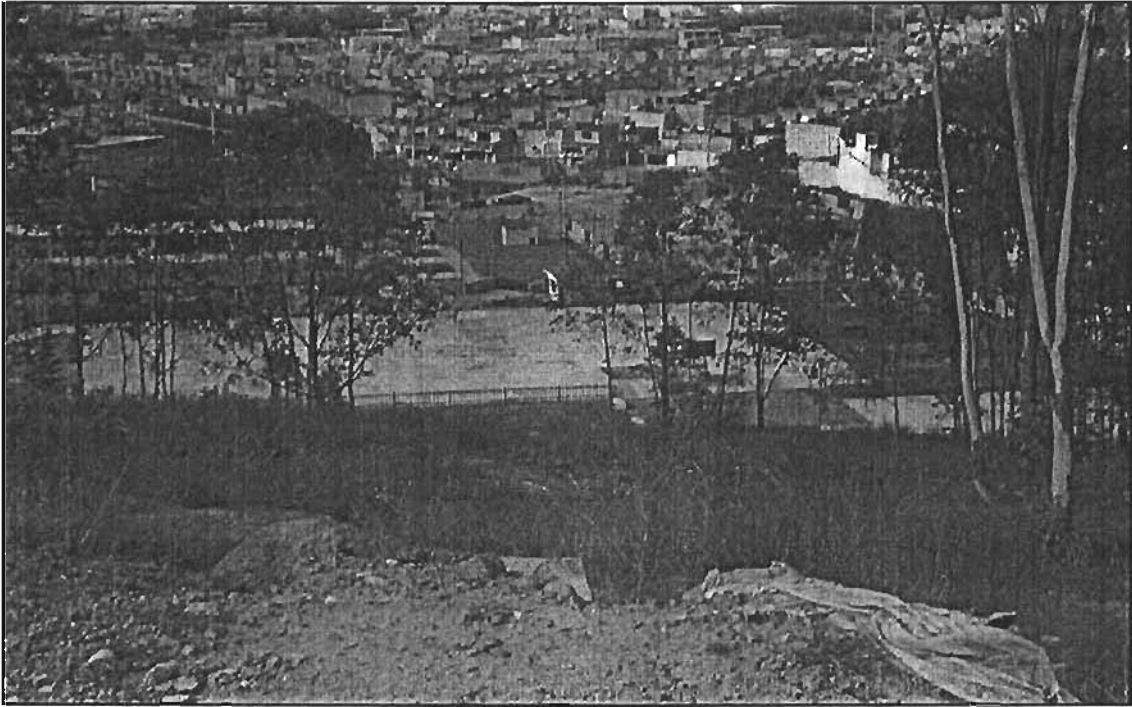
Mecanismos Potenciales de Falla	Deslizamiento	Falla plana	Dirección del movimiento  NW	
		Falla en cuña		
		Falla rotacional		
	Volteo	Singular		
		Múltiple		
	Caída	Rodamiento		Agentes detonantes  Precipitación.
		Desprendimiento		
Flujo	De lodos			
	De rocas			
Otro				

Tipo de construcciones	Zona habitacional de 1-2 niveles, escuela, infraestructura civil.
Infraestructura civil afectada	Escuela y zona habitacional.

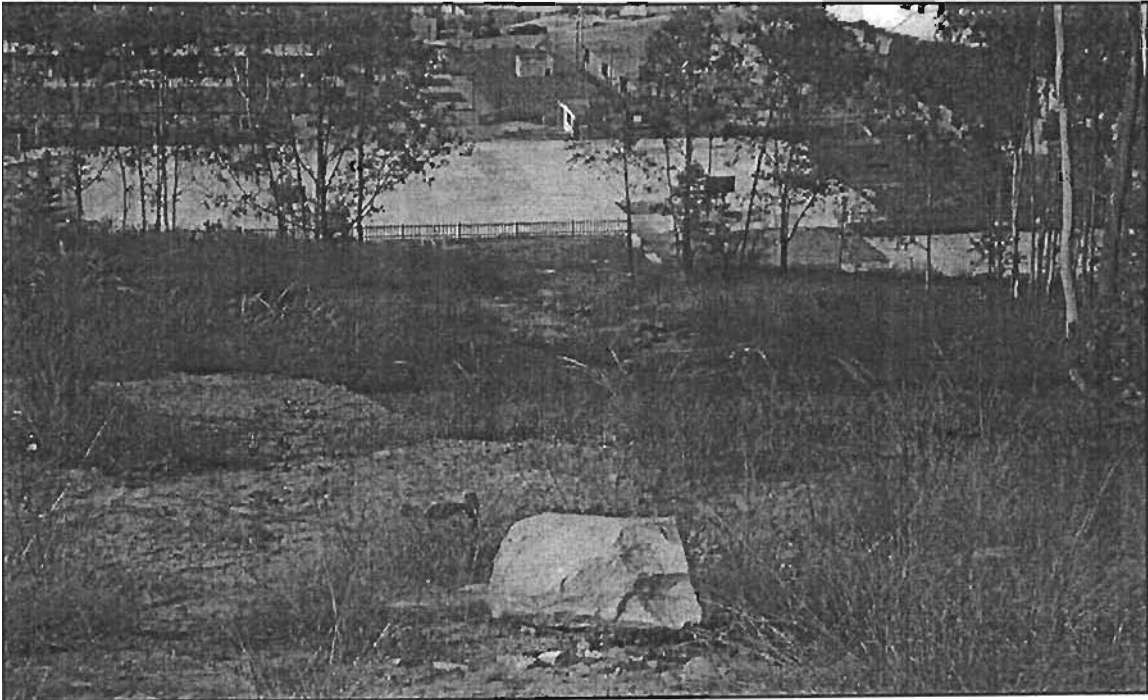
Evaluación general de la estabilidad	Estable
	Potencialmente inestable
	Inestable

Observaciones
<p>Al pie del talud se observa la zona habitacional y una escuela que puede ser afectada por el rodamiento de bloques.</p> <p>El material que conforma la zona está altamente alterado, el cual se utilizó para la construcción del libramiento y se depositó en las pendientes bajas provocando inestabilidad.</p>

Punto de control PH6



Vista panorámica de la zona habitacional al pie del talud



Detalle de los bloques que han fallado por rodamiento

Área aprox (m <sup>2</sup> )	Brigada	Coordenadas	Observación Día/Período	No. de observación
1 km <sup>2</sup>	1	484,858.11 2,167,052.39	10/11/2003	PH7 Reserva Ecológica en dirección a Coacalco, cerro el Picacho porción W

Topografía	Pendiente	0-15°	Observaciones	Ladera con alta pendiente y abundante vegetación, no se observan frentes rocosos.		
		15-30°				
		30-45°				
		45-60°				
		>60°				
Altitud	2,417 msnm					
Detalle de morfología de la pendiente	Forma de ladera	Cóncava	Observaciones	Ladera convexa que forma barrancas en V, el cauce que forma se encuentra al pie de ésta y posiblemente se inunde en época de lluvias.		
		Convexa				
		Plana				
	Forma de barranca	En U				
		En V				
Superficie	Rocosa-vegetación					
Agua superficial y subterránea	¿Se forman laderas de captación?	Sí	Observaciones	En época de lluvias la escorrentía es fuerte por la alta pendiente.		
	¿Se ven cauces con detritos?	Sí				
	¿Qué controla el drenaje?	Pendiente				
Vegetación	Vegetación natural	Tipo	Arbustos y árboles	Observaciones	Arbustos en la parte alta y en la parte baja, árboles (10-15 m) tipo eucaliptos y pinos.	
		Densidad	Alta			
	¿Existen raíces creciendo entre las fracturas?					Sí
	¿La vegetación ayuda a evitar la erosión y a estabilizar?					No
Erosión	Razón	Hídrica		Observaciones		
Suelos	Tipo de suelo	Arenoso-limoso		Observaciones		
	Textura	Rugosa				
	Permeabilidad	Media				
	Espesor	50 cm				

## Procesos de remoción en masa

Área aprox de afectación (m <sup>2</sup> )	Brigada	Día	Coordenadas	No. de observación
1 km <sup>2</sup>	1	10/11/2003	484,858.11 2,167,052.39	PH7  Reserva Ecológica en dirección a Coacalco, cerro el Picacho porción W

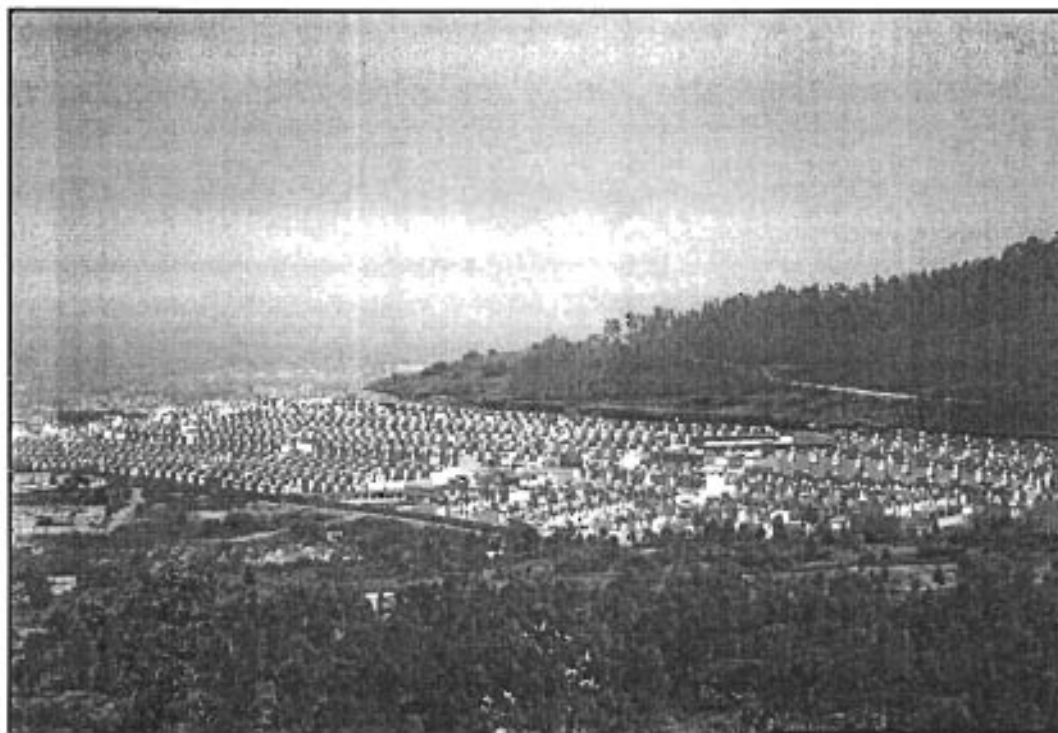
<b>Mecanismos Potenciales de Falla</b>	Deslizamiento	Falla plana	Dirección del movimiento  SW	
		Falla en cuña		
		Falla rotacional		
	Volteo	Singular		
		Múltiple		
	Caída	Rodamiento		Agentes detonantes
		Desprendimiento		
	Flujo	De lodos		Precipitación y antrópico
De rocas				
Otro				

<b>Tipo de construcciones</b>	Infraestructura civil y carreteras.
<b>Infraestructura civil afectada</b>	Construcción civil.

<b>Evaluación general de la estabilidad</b>	Estable
	Potencialmente inestable
	Inestable

<b>Observaciones</b>	<p>Carretera a la Cruz, km 6.1, por la misma vía de la reserva.</p> <p>Conjunto habitacional construido en la base de la ladera. Zona de alto peligro por inundación ya que las viviendas se construyeron sobre el cauce.</p> <p>La mancha urbana ha ido creciendo hacia zonas de la reserva y ubicándose en cuencas de captación.</p>
----------------------	--

Punto de control PH7



Vista NW del cerro El Picacho



Ladera NW del cerro El Picacho. Notése el incendio forestal provocado



Notése cómo quedan expuestos los bloques y detritos que pueden propiciar un proceso de movimiento a través de la ladera

Área aprox (m <sup>2</sup> )	Brigada	Coordenadas	Observación Día/Periodo	No. de observación
100,000	I	485.110.58 2,165,893.43	10/11/2003	PH8 Reserva Ecológica en dirección a Coacalco, entre cerro Jaral y cerro el Picacho, porción W

Topografía	Pendiente	0-15°	Observaciones	Laderas abruptas con frentes rocosos expuestos. En algunas zonas el relieve ha sido modificado para la construcción.	
		15-30°			
		30-45°			
		45-60°			
		>60°			
Altitud	2,446 msnm				
Detalle de morfología de la pendiente	Forma de ladera	Cóncava	Observaciones	Ladera convexa que forma barrancas en forma de V, con acumulación de detritos en el cauce.	
		Convexa			
		Plana			
	Forma de barranca	En U			
		En V			
Superficie	Rocoso-Vegetación				
Agua superficial y subterránea	¿Se forman laderas de captación?	Sí	Observaciones	Alta pendiente, en época de lluvias se presenta fuerte escorrentía.	
	¿Se ven cauces con detritos?	Sí			
	¿Qué controla el drenaje?	Pendiente			
Vegetación	Vegetación natural	Tipo	Árborea-arbustos	Observaciones	Los árboles son pirules
		Densidad	Alta		
	¿Existen raíces creciendo entre las fracturas?	No			
	¿La vegetación ayuda a evitar la erosión y a estabilizar?	Sí			
Erosión	Razón	Hídrica	Observaciones	La erosión acelera los procesos desencadenantes de la inestabilidad.	
Suelos	Tipo de suelo	Arcilloso-limoso	Observaciones		
	Textura	Jabonosa			
	Permeabilidad	Baja			
	Espesor	40 cm			



## Procesos de remoción en masa

Área aprox de afectación (m <sup>2</sup> )	Brigada	Día	Coordenadas	No. de observación
100.000	1	10/11/2003	485,110.58 2,165,893.43	PH8 Reserva Ecológica en dirección a Coacalco, entre cerro Jaral y cerro el Picacho, porción W

<b>Mecanismos Potenciales de Falla</b>	Deslizamiento	Falla plana	<b>Dirección del movimiento</b>  SW
		Falla en cuña	
		Falla rotacional	
	Volteo	Singular	
		Múltiple	
	Caída	Rodamiento	
Flujo	Desprendimiento		
	De lodos		
Otro	De rocas		

<b>Tipo de construcciones</b>	Carretera.
<b>Infraestructura civil afectada</b>	infraestructura civil

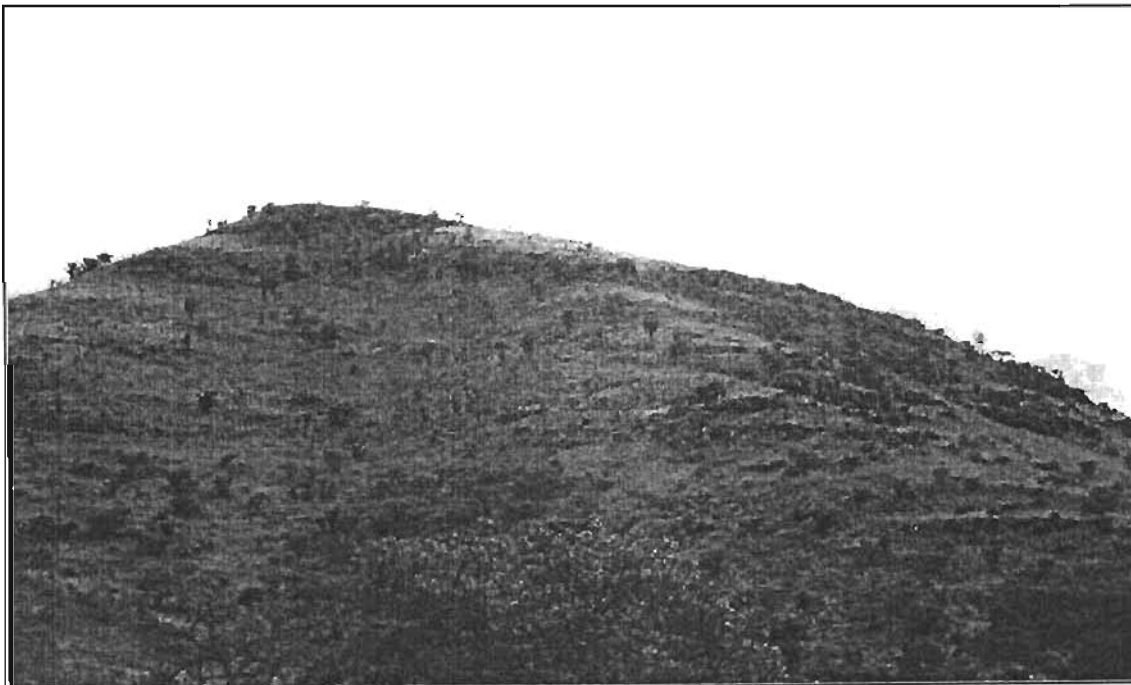
<b>Evaluación general de la estabilidad</b>	Estable
	Potencialmente inestable
	Inestable

<b>Observaciones</b>	<p>Zona de alto peligro. Existen construcciones que se encuentran en la ladera. Laderas con escasa vegetación, que incrementan la erosión de la ladera haciendola inestable.</p> <p>Ubicación kilómetro 5.4 carretera a la Cruz.</p>
----------------------	--

Punto de control PH8



Ladera SW del cerro El Picacho



Vista SW del cerro El Picacho, Obsérvese los bloques en la parte superior de la ladera



Área aprox (m <sup>2</sup> )	Brigada	Coordenadas	Observación Día/Período	No. de observación
5 km <sup>2</sup>	I	481,245.12 2,163,481.21	13/11/2003	PH9 Parte W cerro Tlayacampa

Topografía	Pendiente	0-15°	Observaciones	La ladera presenta pendientes suaves que han sido modificadas por factor antrópico. (Construcción de viviendas).	
		15-30°			
		30-45°			
		45-60°			
		>60°			
Altitud	2,490 msnm				
Detalle de morfología de la pendiente	Forma de ladera	Cóncava	Observaciones	En la parte alta se observa la ladera convexa y en la parte central la ladera es cóncava lo cual favorece el escurrimiento. La mancha urbana está creciendo hacia zonas de alto peligro. en la ladera de Loma Blanca.	
		Convexa			
		Plana			
	Forma de barranca	En U			
		En V			
Superficie	Rocosa-Vegetación.				
Agua superficial y subterránea	¿Se forman laderas de captación?	Sí	Observaciones	En épocas de lluvias se pueden presentar fuertes avenidas de agua y se puede ir acumulando detritos en las partes bajas de las laderas.	
	¿Se ven cauces con detritos?	Sí			
	¿Qué controla el drenaje?	Pendiente			
Vegetación	Vegetación natural	Tipo	Arbustos	Observaciones	En la ladera se observa inestabilidad debido a la ausencia de vegetación
		Densidad	Baja		
	¿Existen raíces creciendo entre las fracturas?		Sí		
	¿La vegetación ayuda a evitar la erosión y a estabilizar?		No		
Erosión	Razón	Hídrica		Observaciones	La erosión incrementa los procesos de ladera
Suelos	Tipo de suelo	Arena	Observaciones	El suelo está poco desarrollado.	
	Textura	Rugosa			
	Permeabilidad	Alta			
	Espesor	10 cm			

## Procesos de remoción en masa

Área aprox de afectación (m <sup>2</sup> )	Brigada	Día	Coordenadas	No. de observación
5 km <sup>2</sup>	I	13/11/2003	481,245.12 2,163,481.21	PH9 Parte W cerro Tlayacampa

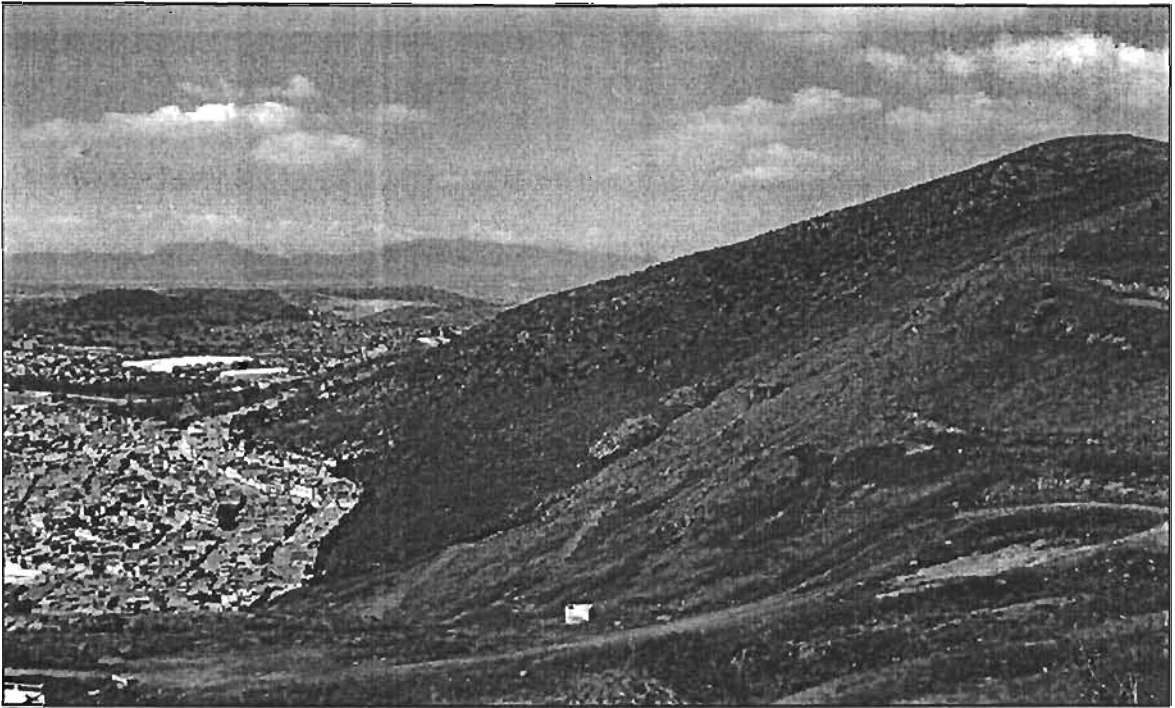
<b>Mecanismos Potenciales de Falla</b>	Deslizamiento	Falla plana	<b>Dirección del movimiento</b>  S30°W Flujo de detritos N30°W C. Tlayacampa S60°W C. Loma Blanca
		Falla en cuña	
		Falla rotacional	
	Volteo	Singular	
		Múltiple	
	Caída	Rodamiento	
Flujo	Desprendimiento		
	De lodos		
Otro	De rocas		

<b>Tipo de construcciones</b>	Vías de comunicación del Panteón Jardines del Recuerdo.
<b>Infraestructura civil afectada</b>	Panteón Jardines del Recuerdo.

<b>Evaluación general de la estabilidad</b>	Estable
	Potencialmente inestable
	Inestable

<b>Observaciones</b>	<p>La ladera sur del cerro Las Peñas es usada para extracción de material, en la parte baja entre las dos laderas se forma un flujo de detritos el cual desemboca directamente al panteón.</p> <p>La mancha urbana esta creciendo aceleradamente en la ladera SW de Loma Blanca en la cual aumenta el peligro por los procesos de remoción que ahí se presentan.</p>
----------------------	--

Punto de control PH9



Vista W del cerro Loma Blanca



Ladera S del cerro Las Peñas



Detalle del intenso fracturamiento en la cima del cerro Tlayacampa

Área aprox (m <sup>2</sup> )	Brigada	Coordenadas	Observación Día/Período	No. de observación
4 km <sup>2</sup>	1	481,439.96 2,163.115.25	13/11/2003	PH10 Sector SW cerro Loma Bonita

Topografía	Pendiente	0-15°	Observaciones	Ladera con pendientes suaves, que ha sido modificada la topografía por la construcción de viviendas.
		15-30°		
		30-45°		
		45-60°		
		>60°		
	Altitud	2,438 msnm		
Detalle de morfología de la pendiente	Forma de ladera	Cóncava	Observaciones	La superficie en general es rocosa con poca vegetación. Se observan laderas convexas y en las partes bajas se favorece el escurrimiento.
		Convexa		
		Plana		
	Forma de barranca	En U		
		En V		
Superficie	Rocosa-Vegetación			
Agua superficial y subterránea	¿Se forman laderas de captación?	Sí	Observaciones	Sobre las laderas de captación se encuentra asentada la mancha urbana, poniendo en riesgo a la población
	¿Se ven cauces con detritos?	Sí		
	¿Qué controla el drenaje?	Pendiente		
Vegetación	Vegetación natural	Tipo	Pirules y pasto	Observaciones
		Densidad	Baja	
		¿Existen raíces creciendo entre las fracturas?	Sí	
		¿La vegetación ayuda a evitar la erosión y a estabilizar?	No	
Erosión	Razón	Hídrica	Observaciones	La erosión hídrica y la antropica aceleran los mecanismos de falla.
Suelos	Tipo de suelo	Arena	Observaciones	Suelo poco desarrollado.
	Textura	Rugosa		
	Permeabilidad	Alta		
	Espesor	>10 cm		



## Procesos de remoción en masa

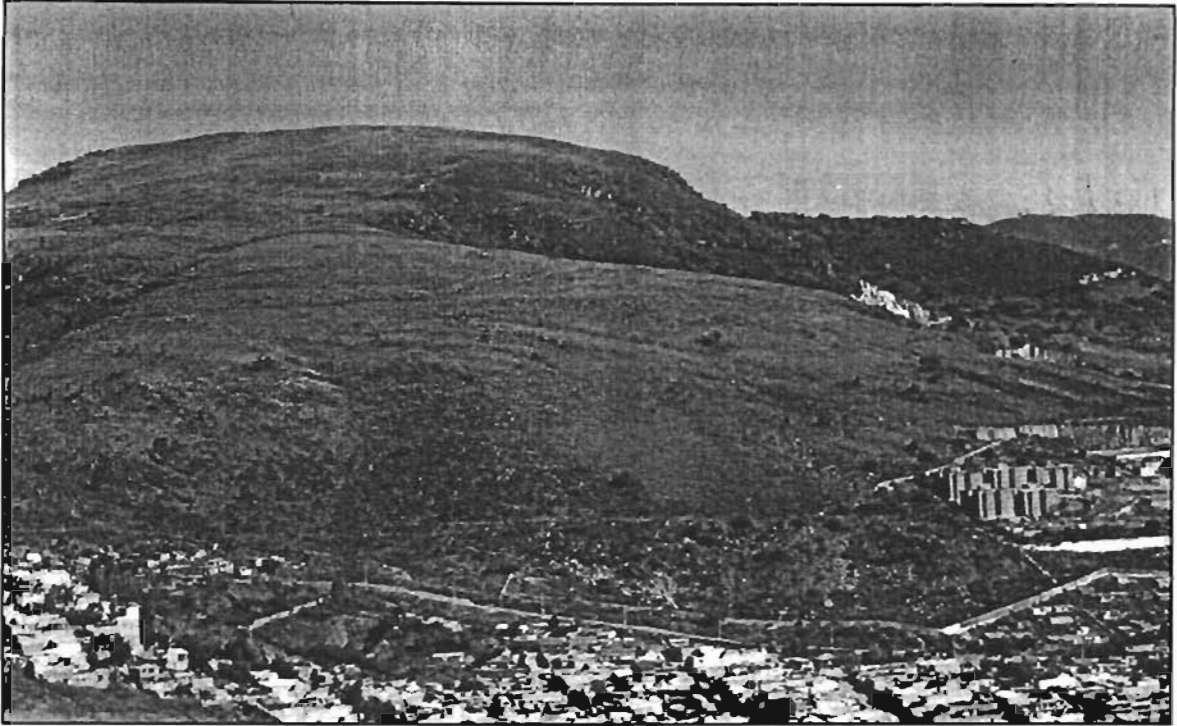
Área aprox de afectación (m <sup>2</sup> )	Brigada	Día	Coordenadas	No. de observación
4 km <sup>2</sup>	I	13/11/2003	481,439.96 2,163.115.25	PH10 Sector SW cerro Loma Bonita

<b>Mecanismos Potenciales de Falla</b>	Deslizamiento	Falla plana	Dirección del movimiento  SE	
		Falla en cuña		
		Falla rotacional		
	Volteo	Singular		
		Múltiple		
	Caída	Rodamiento		Agentes detonantes  Filtraciones Erosión Factor antrópico.
		Desprendimiento		
Flujo	De lodos			
	De rocas			
Otro				

<b>Tipo de construcciones</b>	Viviendas de 1 y 2 y edificios de 5 niveles.
<b>Infraestructura civil afectada</b>	Viviendas y vías de comunicación.

<b>Evaluación general de la estabilidad</b>	Estable
	Potencialmente inestable
	Inestable

<b>Observaciones</b>	<p>Se observan detritos. Zona de alto peligro, que posiblemente afecte a las viviendas ya que se encuentran debajo de la zona de bloques.</p> <p>La zona es afectada por intenso fracturamiento. Se observan abundantes bloques que pueden fallar por rodamiento.</p> <p>Se observan viviendas encima de un corte vertical de bloques altamente fracturados que pueden fallar por volteo.</p>
----------------------	---



Vista panorámica del sector SW del cerro Loma Bonita



Vista panorámica del sector W del cerro Loma Bonita



Lugar que puede ser afectado por volteo de bloques de roca.  
Vista SW del cerro Loma Bonita

Área aprox (m <sup>2</sup> )	Brigada	Coordenadas	Observación Día/Período	No. de observación
2 km <sup>2</sup>	1	480,685.56 2,163,340.42	13/11/2003	PH11 Sector W cerro Las Peñas, panteon Jardines del Recuerdo

Topografía	Pendiente	0-15°	Observaciones	La pendiente de las laderas es muy variable, ya que ha sido modificada la pendiente original por la construcción de terracería.
		15-30°		
		30-45°		
		45-60°		
		>60°		
	Altitud	2,332 msnm		
Detalle de morfología de la pendiente	Forma de ladera	Cóncava	Observaciones	La superficie es rocosa con escasa vegetación, en las partes bajas de las laderas se observa escurrimiento propiciado por la pendiente.
		Convexa		
		Plana		
	Forma de barranca	En U		
		En V		
	Superficie	Rocosa-Vegetación		
Agua superficial y subterránea	¿Se forman laderas de captación?	Sí	Observaciones	En las partes bajas de las laderas se observan cauces con detritos. En las laderas se observan cortes en forma de terrazas, lo que favorece el desprendimiento de material.
	¿Se ven cauces con detritos?	Sí		
	¿Qué controla el drenaje?	Pendiente		
Vegetación	Vegetación natural	Tipo	Pirules y pasto	Observaciones
		Densidad	Baja - Media	
		¿Existen raíces creciendo entre las fracturas?	Sí	
		¿La vegetación ayuda a evitar la erosión y a estabilizar?	No	
Erosión	Razón	Hídrica	Observaciones	
Suelos	Tipo de suelo	Arena	Observaciones	Suelo poco desarrollado.
	Textura	Rugosa		
	Permeabilidad	Alta		
	Espesor	>10 cm		

## Procesos de remoción en masa

Área aprox de afectación (m <sup>2</sup> )	Brigada	Día	Coordenadas	No. de observación
2 km <sup>2</sup>	1	13/11/2003	480,685.56 2,163,340.42	PH11 Sector W cerro Las Peñas. panteon Jardines del Recuerdo

Mecanismos Potenciales de Falla	Deslizamiento	Falla plana Falla en cuña Falla rotacional	Dirección del movimiento  SE
	Volteo	Singular Múltiple	
	Caída	Rodamiento Desprendimiento	
	Flujo	De lodos De rocas	Erosión Filtración
	Otro		Antrópico.

Tipo de construcciones	Panteón, infraestructura civil.
Infraestructura civil afectada	Panteón

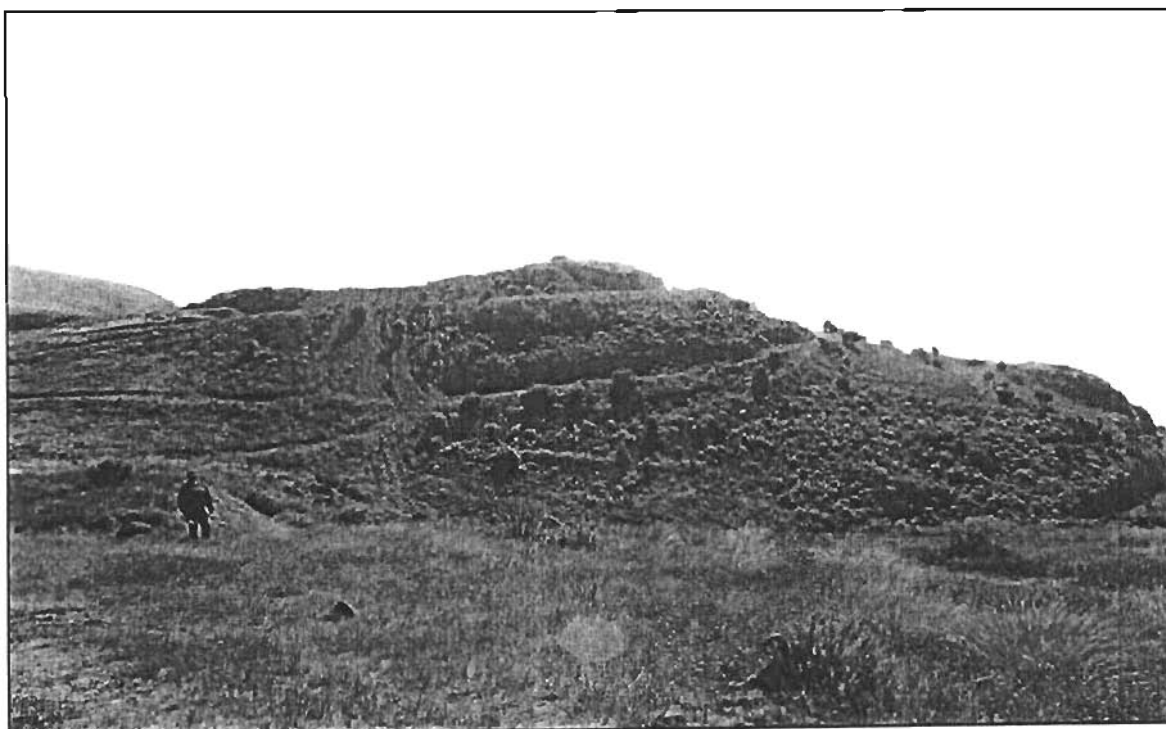
Evaluación general de la estabilidad	Estable
	Potencialmente inestable
	Inestable

Observaciones	<p>Los materiales de desecho de la explotación del banco de roca son arrojados al talud, lo cual puede provocar un flujo de detritos en temporada de lluvias.</p> <p>Se observa una falla lítrica que afecta una antena de conducción de energía eléctrica.</p> <p>La pendiente original de la ladera ha sido modificada por la construcción de la infraestructura del Panteón Jardines del Recuerdo.</p>
---------------	---

Punto de control PH11



Vista W del cerro Las Peñas. Obsérvese a la derecha de la foto la torre eléctrica afectada por una falla lítica



Detalle del material desechado, el cual se puede incorporar en un flujo

Área aprox (m <sup>2</sup> )	Brigada	Coordenadas	Observación Día/Período	No. de observación
1,000,000	1	483,105.05 2,161,490.75	14/11/2003	PH12 Col. El Puerto, Av. Del Puerto # 50

Topografía	Pendiente	0-15°	Observaciones	Hacia la porción inferior la pendiente disminuye. La topografía original de la ladera ha sido modificada por la explotación de una mina a cielo abierto. Se observan cortes verticales y bloques fracturados.		
		15-30°				
		30-45°				
		45-60°				
	>60°					
Altitud	2,348 msnm					
Detalle de morfología de la pendiente	Forma de ladera	Cóncava	Observaciones	La ladera tiene en la parte alta una forma convexa y hacia la parte baja se forma una barranca en V donde se depositan los detritos y bloques de la explotación de la mina.		
		Convexa				
		Plana				
	Forma de barranca	En U				
		En V				
Superficie	Rocosa-Vegetación					
Agua superficial y subterránea	¿Se forman laderas de captación?	Sí	Observaciones	Arriba de la ladera se observan raíces creciendo entre las fracturas. Los bloques pueden fallar por volteo.		
	¿Se ven cauces con detritos?	Sí				
	¿Qué controla el drenaje?	Pendiente				
Vegetación	Vegetación natural	Tipo	Pirules, pastos y arbustos	Observaciones	La ausencia de vegetación en la mayor parte de la ladera incrementa la inestabilidad.	
		Densidad	Baja - Media			
	¿Existen raíces creciendo entre las fracturas?					Sí
	¿La vegetación ayuda a evitar la erosión y a estabilizar?					No
Erosión	Razón	Hídrica		Observaciones	La erosión acelera el proceso de remoción en masa.	
Suelos	Tipo de suelo	Arena		Observaciones		
	Textura	Rugosa				
	Permeabilidad	Alta				
	Espesor	<20 cm				

## Procesos de remoción en masa

Área aprox de afectación (m <sup>2</sup> )	Brigada	Día	Coordenadas	No. de observación
1.000.000	I	14/11/2003	483,105.05 2,161,490.75	PH12 Col. El Puerto. Av. Del Puerto # 50

<b>Mecanismos Potenciales de Falla</b>	Deslizamiento	Falla plana	<b>Dirección del movimiento</b>  SE	
		Falla en cuña		
		Falla rotacional		
	Volteo	Singular		
		Múltiple		
	Caída	Rodamiento		<b>Agentes detonantes</b>  Erosión Precipitación Raíces entre fracturas
		Desprendimiento		
Flujo	De lodos			
	De rocas			
Otro				

<b>Tipo de construcciones</b>	Ninguna.
<b>Infraestructura civil afectada</b>	Ninguna.

<b>Evaluación general de la estabilidad</b>	Estable
	Potencialmente inestable
	Inestable

<b>Observaciones</b>	<p>Vista a la cantera de Chalma hacia el N.</p> <p>En la parte superior del talud se observan rocas que pueden fallar por volteo, así como otras que pueden rodar.</p> <p>La parte baja de la ladera es una zona de extracción de material (cantera), existen cortes verticales que delimitan bloques que pueden deslizar o desprenderse.</p>
----------------------	---





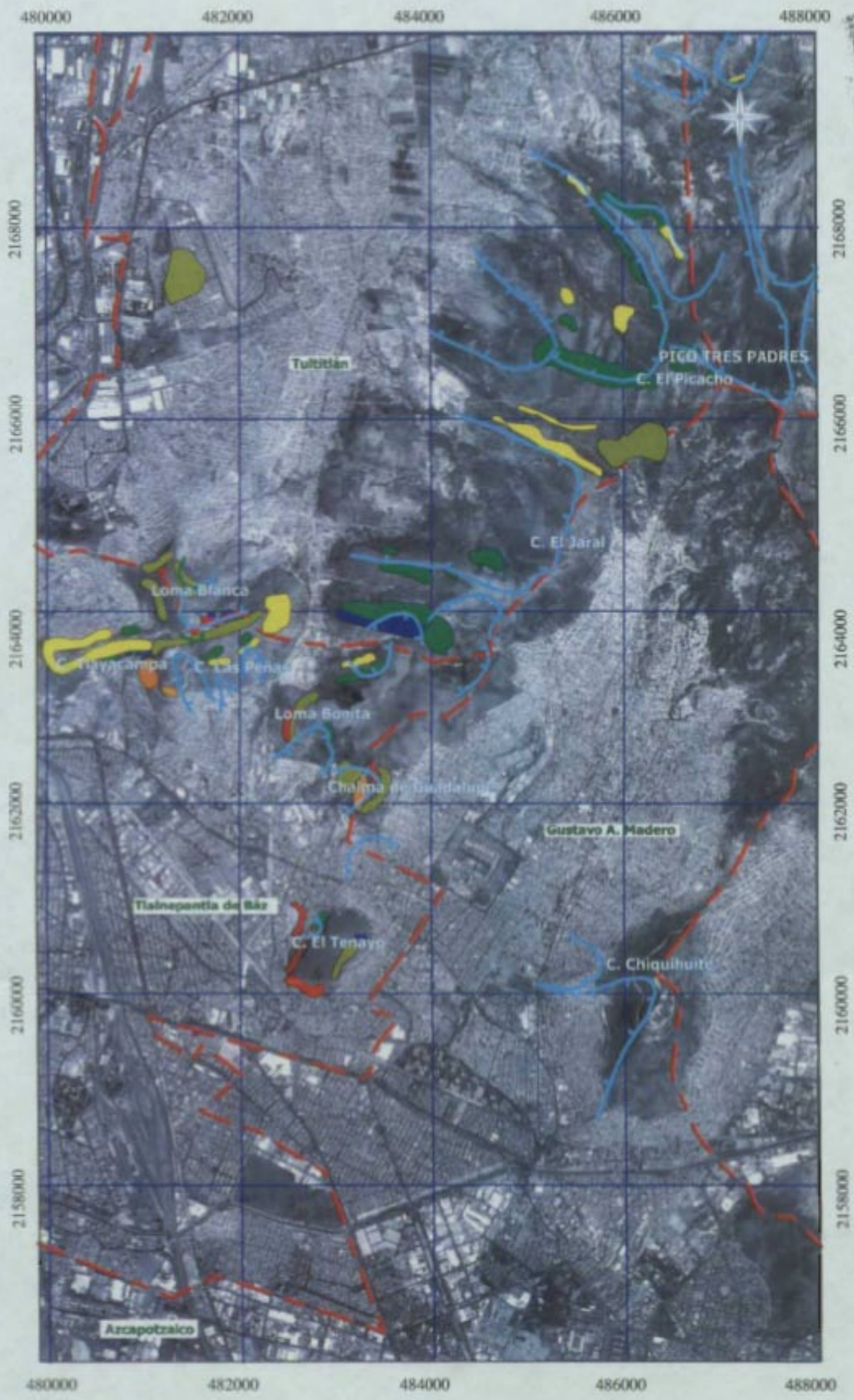
Ladera SE del cerro Guadalupe de Chalma, se observa el banco de extracción de material

## ***ANEXO 2***

---

***Mapas finales***





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

"Procesos de remoción en masa y zonificación de peligros en la ladera oeste de la Sierra de Guadalupe, Estado de México"

**MAPA DE INVENTARIOS**

Tesis Profesional:  
Adriana Haydee Galván García  
Asesor: Dr. Armando García Palomo

Edición Cartográfica:  
Celia López Miguel  
Adriana Haydee Galván García

**Tipos de Procesos de Remoción en Masa**

- Caída por Desprendimiento
- Caída por Rodamiento
- Deslizamiento
- Flujo
- Volter
- Deslizamiento, Caída por Rodamiento
- Volter, Caída por Desprendimiento
- Volter, Caída por Desprendimiento, Deslizamiento
- Volter, Caída por Rodamiento

**Simbología**

- División Municipal
- Cerros de Erosión
- Regulación de Suelos
- Municipios y Delegaciones

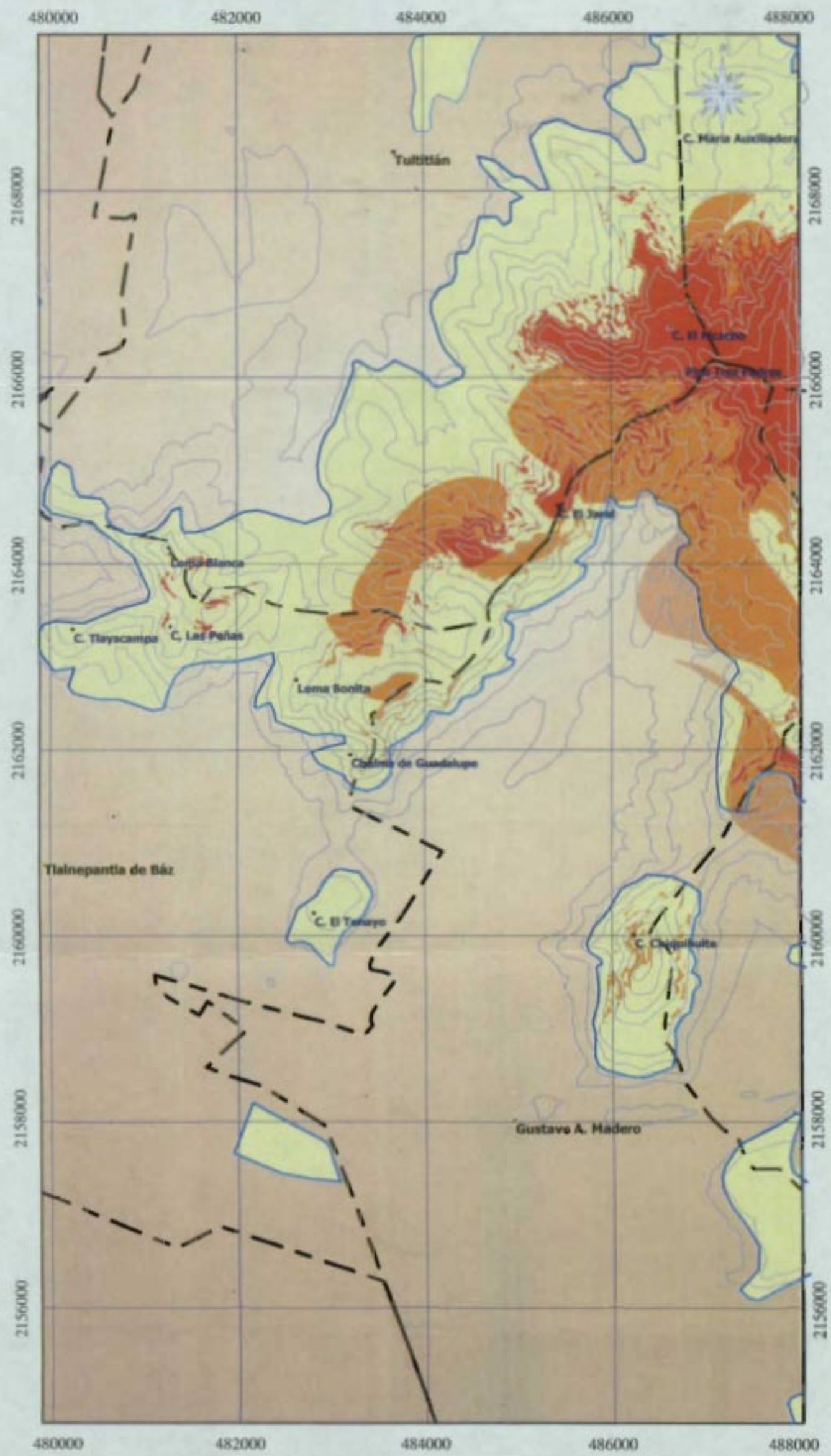
**ICP**

Proyecto Geológico Territorio de México  
Escala 1:50,000  
México, D.F. 1992

Escala 1:50,000

Ciudad Universitaria, 2005.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
 COLEGIO DE GEOGRAFÍA

"Procesos de remoción en masa y zonificación de peligros en la ladera oeste de la Sierra de Guadalupe, Estado de México"

**MAPA DE PELIGROS**

**Tesis Profesional:**  
 Adriana Haydee Galván García  
 Asesor: Dr. Armando García Palomo

**Edición Cartográfica:**  
 Celia López Miguel  
 Adriana Haydee Galván García

**Nivel de Peligro**

- ALTO
- MEDIO
- BAJO

**Simbología**

- Límite Municipal
- Curso de Agua
- Zona Urbana, Año 2000
- Municipios y Delegaciones
- Estradas

Proyecto Nacional Topografía de México  
 Escala 1:50,000 de 1985  
 Datos Cartográficos: IGN  
 Escala 1:50,000



Ciudad Universitaria, 2005.