



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE CIENCIAS DE LA TIERRA

**"ZONIFICACION DE LOS PELIGROS GEOLOGICOS EN
LA LADERA SW DEL CERRO DEL CHIQUIHUIE"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O G E O L O G O

P R E S E N T A:

GLORIA ESPINOSA HERNANDEZ



ASESOR: DR. ARMANDO GARCIA PALOMO

CIUDAD UNIVERSITARIA, 2004



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-I-1183

SRITA. GLORIA ESPINOSA HERNÁNDEZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Armando García Palomo y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**ZONIFICACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA LADERA SW DEL CERRO
DEL CHIQUIHUIE**

- I GENERALIDADES**
- II METODOLOGÍA**
- III GEOLOGÍA**
- IV PELIGROS GEOLÓGICOS**
- V IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS EN LA LADERA SW DEL CERRO
DEL CHIQUIHUIE**
- VI MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DESLIZAMIENTO**
- VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- ANEXOS**
- BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

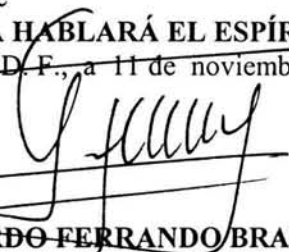
Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cd. Universitaria, D. F., a 11 de noviembre de 2003

EL DIRECTOR


M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB*JAGC*gtg

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco el apoyo brindado por el Director General de Protección Civil Ing. Luis Wintergerst Toledo.

Al Director de Obras de la Delegación Gustavo A. Madero Ing. Oscar Díaz Palomas, así como al Subdirector Arq. H. Liceaga.

Al Director del Instituto de Geología Dr. Gustavo Tolson Jones.

Al Servicio Geológico Metropolitano del Instituto de Geología.

A mi Asesor Dr. Armando García Palomo, por su gran apoyo y paciencia.

Al los Sinodales, Dr. Víctor Manuel Malpica Cruz, Dr. Armando García Palomo, Dr. Sergio Raúl Rodríguez Elizarrarás, M. en C. Enrique González Torres y el Ing. Alberto Arias Paz. Agradezco sus valiosos y acertados comentarios.

A todos y cada uno de los integrantes del Servicio Geológico Metropolitano, especialmente a Celia López Miguel, Arturo Garrido Pérez, Wendy Morales, Víctor Carlos, Adriana Galván, Laura del Valle, Hernando Rueda, Pilar Magaña y Angélica Cortés, por su incondicional apoyo y sobre todo por su amistad.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la memoria de: mi Madre Dominga Hernández y de mi Abuelita Panchita.

A Pablo Espinosa, mi Padre, que con su ejemplo y enseñanza me ha dado la fuerza suficiente para salir adelante en cualquier situación que la vida me ha puesto como prueba.

A todos y cada uno de mis queridos hermanos: Guillermo, Mauro, Pascual, Ángel, José, Eutiquio, Lucía, Dolores, Alejandro y Juan. Gracias por todo su cariño, ayuda y enseñanza a lo largo de toda mi vida.

A mi Hijo Raulito, quien es y será el principal motivo que me ha brindado la vida para salir siempre adelante. Al nuevo ser que viene en camino,... un motivo más para vivir.

A mi Esposo Raúl, que siempre me ha dado apoyo, comprensión y amor en todos mis proyectos y metas.

A todos y cada uno de mis Sobrinos (as), Cuñados (as) y a mi Suegra... los quiero mucho a todos!!.

Un especial y sincero agradecimiento a Félix y José Juan por haberme ofrecido su gran apoyo durante toda la carrera,... de corazón, mil gracias!!.

A todos mis compañeros y amigos que tuve la fortuna de conocer en la Facultad, ...gracias por estar en esta bonita experiencia.

ÍNDICE

	PAG.
RESUMEN.	
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
I.1 Introducción.....	1
I.2 Antecedentes.....	1
I.3 Objetivos.....	3
I.4 Estudios previos.....	3
I.5 Localización y descripción del área de estudio.....	5
I.6 Vías de acceso.....	6
I.7 Fisiografía y geomorfología.....	7
I.8 Aspectos climáticos.....	9
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	10
II.1 Actividades de gabinete.....	10
II.2 Actividades de campo.....	11
CAPÍTULO III: GEOLOGÍA.....	12
III.1 Contexto geológico regional.....	12
III.2 Geología de la Sierra de Guadalupe.....	12
III.3 Geología del Cerro del Chiquihuite.....	13
III.4 Estratigrafía de la zona SW del Cerro del Chiquihuite.....	15
III.5 Geología Estructural.....	18
III.6 Análisis de Fracturamiento.....	19
CAPÍTULO IV: PELIGROS GEOLÓGICOS.....	22
IV.1 Peligro y Riesgo.....	22
IV.2 Deslizamientos de talud.....	23
IV.2.1 Peligros por deslizamiento.....	26
IV.2.1.1 Falla plana.....	27
IV.2.1.2 Falla por cuña.....	29
IV.2.1.3 Falla por volteo.....	30
IV.2.1.4 Falla rotacional.....	31

IV.2.1.5 Flujo de detritos.....	32
IV.2.1.6 Caída de rocas.....	33
IV.2.1.7 Derrumbe de rocas.....	34
IV.2.1.8 Combinado.....	36
CAPÍTULO V: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS EN LA LADERA SW DEL CERRO DEL CHIQUIHUITÉ.....	37
CAPÍTULO VI: MAPA DE PELIGROS POR DESLIZAMIENTO.....	64
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
BIBLIOGRAFÍA.....	75
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

	PAG.
Figura I.1 Cróquis de localización.....	5
Figura I.2 Principales vías de acceso a la ladera SW del C. del Chiquihuite.....	6
Figura I.3 Mapa de drenajes principales del Cerro del Chiquihuite.....	8
Figura III.1 Mapa Geológico del Cerro del Chiquihuite.....	14
Tabla IV.1 Principales características de los factores que influyen en la inestabilidad de taludes.....	24
Figura IV.1 Factores de inestabilidad de taludes, material permeable e impermeable.....	26
Figura IV.2 Formas que puede presentar una falla plana.....	27
Figura IV.3 Esquema en tercera dimensión de la falla plana.....	28
Figura IV.4 Representación esquemática de la falla en cuña.....	29
Figura IV.5 Esquema general de la falla por volteo.....	30
Figura IV.6 Esquema de taludes con estructura favorable al volteo de estratos.....	31
Figura IV.7 Falla rotacional.....	32
Figura IV.8 Flujo de detritos.....	33
Figura IV.9 Caída de rocas.....	34
Figura IV.10 Derrumbe de rocas.....	35
Figura V.1 Deslizamiento de ladera por falla lítrica.....	37
Figura V.2 Distribución de los mecanismos de falla visitados en campo.....	63
Figura VI.1 Delimitación de zonas de peligro.....	65
Figura VI.2 Modelo digital de elevación (A) y pendientes (B).....	65
Figura VI.3 Ubicación de la zona local.....	68
Figura VI.4 Interpolación de apertura y densidad (A) y (B).....	68
Figura VI.5 Mapa de apertura y densidades.....	70
Figura VI.6 Mapa de aperturas (A) y densidades (B) clasificados.....	71
Figura VI.7 Áreas de alto, medio y bajo peligro.....	72
Anexos.....	79

RESUMEN

El Cerro del Chiquihuite es un domo que forma parte de la Sierra de Guadalupe. Éste tiene una orientación NNE-SSW, es asimétrico y se ve afectado por una serie de estructuras en forma de herradura abiertas hacia el sur, que indican la ocurrencia de colapsos gravitacionales.

Geológicamente se trata de un domo volcánico de carácter exógeno con diferentes centros de emisión, de composición dacítica de color rosa en muestra fresca, textura porfídica con fenocristales de cuarzo y plagioclasa, inmersos en una matriz microcristalina. Existen domos secundarios y derrames de lava que presentan alternancia.

Las características geológicas del Cerro del Chiquihuite como la geomorfología, litología y estructura entre otros factores, crean una serie de peligros que inciden directamente en la infraestructura y el desarrollo humano.

Los deslizamientos son uno de los procesos dinámicos más importantes que afectan la ladera SW del Cerro del Chiquihuite, en las colonias San Juan - Guadalupe y Candelaria. En estas zonas, las rocas se encuentran afectadas por fracturas de enfriamiento y fallas de origen tectónico; el movimiento de éstas últimas ocasionan el brechamiento de la roca, dejando fragmentos deleznales y sueltos que conjuntamente con la pendiente, altura y precipitación entre otras cosas, facilita la caída de bloques. La caída de estos materiales se presenta en laderas abruptas.

En total se identificaron cinco zonas que presentan mayores problemas al respecto y de acuerdo al análisis geológico realizado para identificar y evaluar su problemática, se analizaron los siguientes tipos de peligro que tienen probabilidad de presentarse en el área: caída de fragmentos, fracturamiento, deslizamiento de rocas, volteo de rocas, rodamiento y deslizamientos de tierra.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

I.1 Introducción.

El acentuado crecimiento de la Ciudad de México en los últimos años, ha propiciado la ocupación irregular, por parte de un gran número de personas en zonas de peligro geológico como son las barrancas y laderas que circundan a la Cuenca de México. Este fenómeno es muy acentuado en las sierras de Chichinautzin y Las Cruces, localizadas al sur y oeste, de la cuenca respectivamente, así como en la Sierra de Guadalupe en la parte central de la misma. El Cerro del Chiquihuite, localizado en esta sierra, ha sido objeto de una intensa urbanización, específicamente el flanco sur donde se han establecido las colonias conocidas como San Juan y Guadalupe y Ticoman. Las características geológicas, geomorfológicas y climáticas de la región, conjuntamente con las alteraciones antrópicas, asociadas con los métodos de autoconstrucción principalmente, han creado condiciones desfavorables para la estabilidad de las laderas de esta región.

I.2 Antecedentes.

La Sierra de Guadalupe es una entidad geológica que de acuerdo a su origen volcánico, edad y tectonismo, aunado a los altos núcleos poblacionales asentados a su alrededor, se considera como una zona de peligro potencial por deslizamiento y caída de rocas.

Recientemente, han ocurrido deslizamientos de tierra y caída de rocas en varias localidades de la Sierra de Guadalupe como el Pico del Águila y El Tenayo. En estas áreas el fenómeno predominante es el deslizamiento y caída de rocas asociadas generalmente al fracturamiento, a la estructura geológica, al intemperismo, a la erosión y factores antrópicos (cortes en los taludes, cambios en el estado de esfuerzos de la roca por sobrecarga y filtraciones). Los fenómenos de

deslizamiento pueden ser provocados por sismos o abundantes lluvias. La zona de estudio es una región sísmicamente activa, uno de los últimos eventos ocurrió el 15 de noviembre de 2001, cuyo epicentro se localizó en las inmediaciones de la colonia Santa Cecilia ubicada en el Municipio de Tlalnepantla Estado de México. Por lo respecta a la precipitación pluvial, han ocurrido lluvias extraordinarias como la del 25 de agosto del 2003, la cual disparó un alud de rocas y tierra que cayó desde una altura de 15 metros, afectando a cinco casas en la Delegación Gustavo A. Madero.

Estos son algunos ejemplos en el pasado reciente de la presencia de los deslizamientos en masa en la región; sin embargo, estos fenómenos se han presentado desde que la zona comenzó a poblarse, afectando de manera importante a obras y personas asentadas alrededor de la Sierra de Guadalupe.

En el caso del Cerro del Chiquihuite, aspectos como su geomorfología, litología y estructura entre otros factores, favorecen una serie de peligros geológicos.

En el presente trabajo se identificaron un total de cinco zonas que presentan mayores problemas. De acuerdo al análisis geológico realizado para identificar y evaluar su peligro, se analizaron los siguientes tipos de eventos que tienen probabilidad de presentarse en el área: caída de fragmentos, fracturamiento, deslizamiento de rocas, volteo de rocas, rodamiento y deslizamientos de tierra. Los principales agentes detonadores de estos fenómenos son: sismos, agentes biológicos, la actividad antrópica, erosión e intemperismo y la precipitación pluvial intensa que se presentan cada año en la Ciudad de México, siendo éste último de los más impactantes.

I.3 Objetivos.

El objetivo general de la presente tesis es identificar y caracterizar los peligros geológicos en la ladera SW del Cerro del Chiquihuite, abarcando aspectos como: litología, grado de fracturamiento y fallamiento.

Mientras que los objetivos particulares son:

-Establecer las zonas de peligro que se presentan en la ladera SW del Cerro del Chiquihuite.

-Elaboración de un mapa de peligros geológicos del área de estudio, a partir de la interpretación de fotografías aéreas y los recorridos de campo realizados en los predios conocidos como San Juan-Guadalupe y Candelaria.

-Integrar los resultados en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

I.4 Estudios previos.

La Sierra de Guadalupe cuenta con diversos estudios geológicos de los cuales se han seleccionado aquellos que contienen información específica para el Cerro El Chiquihuite. A continuación se mencionan en orden cronológico algunos de ellos junto con una breve descripción.

Entre los primeros trabajos geológicos para la Cuenca de México se encuentra el realizado por Ordóñez (1895) quien estudió a las rocas de la parte sur de la Sierra de Guadalupe, clasificándolas como andesitas de hiperstena. En 1948 Arellano definió parte de la estratigrafía de los depósitos lacustres de la Cuenca de México y su relación con los depósitos volcánicos derivados de los diferentes centros eruptivos entre los cuales se encuentran los que conforman la Sierra de Guadalupe.

Posteriormente Mooser (1956, 1963, 1972, 1975, 1988) elaboró el mapa geológico de la Cuenca de México, con el cual plantea diferentes modelos para

para diferenciar las unidades litológicas presentes en la Sierra de Guadalupe, en los cuales determina que se trata de lavas de composición andesítica y dacítica. Posteriormente Lozano-Barraza (1968) realizó los primeros fechamientos mediante (K-Ar) en rocas volcánicas de la zona de Barrientos y en la fosa de Cuauhtepac, reportando edades de 14-15 M.a que corresponden al Mioceno.

Hernández y Ramírez (1982) estudiaron el origen, estratigrafía y petrografía de la Cuenca de México, incluyendo la Sierra de Guadalupe y determinan que está constituida por tres formaciones principales: Formación Xochitepec, Formación Santa Isabel-Peñón y Formación Chiquihuite. Vázquez y Jaimes (1989) realizaron un análisis sobre la estratigrafía, geología estructural y geoquímica, con base en estos resultados proponen la evolución geológica de la Cuenca de México, en la cual incluyen a la Sierra de Guadalupe. Jacobo-Albarrán (1985) realizó un análisis detallado acerca de la edad y origen del cerro del Chiquihuite proponiendo nuevos datos geocronológicos. De Cserna et al. (1988) proponen un modelo para conocer el comportamiento tectónico de la Cuenca de México.

Lugo-Hubp y Salinas Montes (1996) elaboraron un estudio geomorfológico de la Sierra de Guadalupe, cuyos resultados son sintetizados en tres mapas principales que son: mapa morfogenético, mapa morfotectónico y mapa de peligros naturales. Recientemente el Servicio Geológico Metropolitano (2002) y las autoridades de la Delegación Gustavo A. Madero, a través de la Dirección General de Obras realizaron un convenio con el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México para caracterizar y evaluar zonas de peligro y proponer las obras de mitigación necesarias en el Cerro El Chiquihuite específicamente en los sitios conocidos como San Juan-Guadalupe y Candelaria Ticomán.

I.5 Localización y descripción del área de estudio.

La Sierra de Guadalupe se localiza en la Cuenca de México, en los límites entre el Distrito Federal y el Estado de México. La superficie aproximada de la Sierra es de 170 km² y está limitada por los meridianos 99° 12' 00" y 99° 02' 30" de longitud Oeste y los paralelos 19° 37' 00" a 19° 29' 00" de latitud Norte (Figura I.1). El área queda comprendida dentro de la carta editada por INEGI a escala 1:50 000, correspondiente a la hoja Cuautitlán E14A29 (1998).

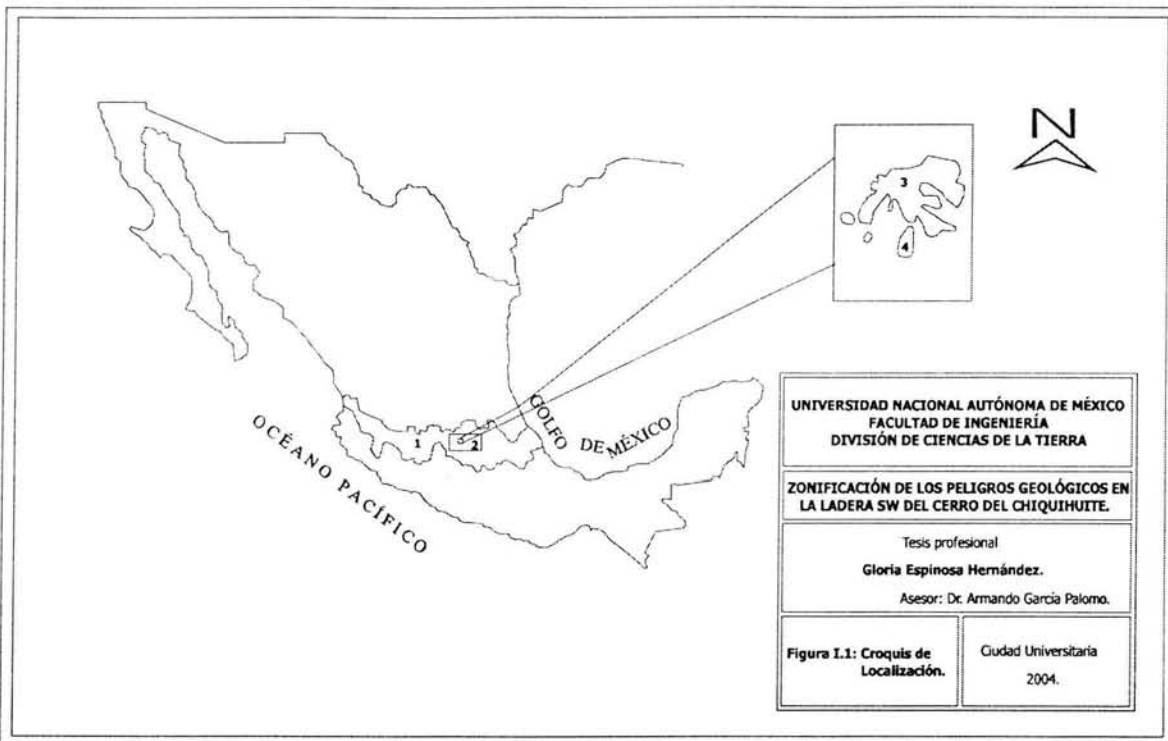


Figura I.1. Croquis de Localización: 1.Faja Volcánica Trans-Mexicana. 2.Cuenca de México. 3.Sierra de Guadalupe. 4.Cerro del Chiquihuite.

Al SE de la Sierra de Guadalupe se localiza el Cerro El Chiquihuite en cuya porción SW se ubica el área de estudio, limitada por las coordenadas 99° 09' 00" y 99° 07' 00" de longitud Oeste y los paralelos 19° 32' 00" y 19° 30' 30" de latitud Norte. Cubre un área de 6 km² aproximadamente (Figura I. 1).

I.6 Vías de acceso

Las principales vías de acceso que existen para llegar a la zona de estudio son: la carretera federal No. 85, la Avenida Acueducto-Guadalupe, Avenida Río de los Remedios y la federal libre que tiene comunicación con las principales arterias que rodean la zona norte de la Ciudad de México como son el Anillo Periférico e Insurgentes, así como las principales avenidas que se comunican también con esta parte de la Ciudad, como la Avenida de los Cien Metros. (Figura I.2).

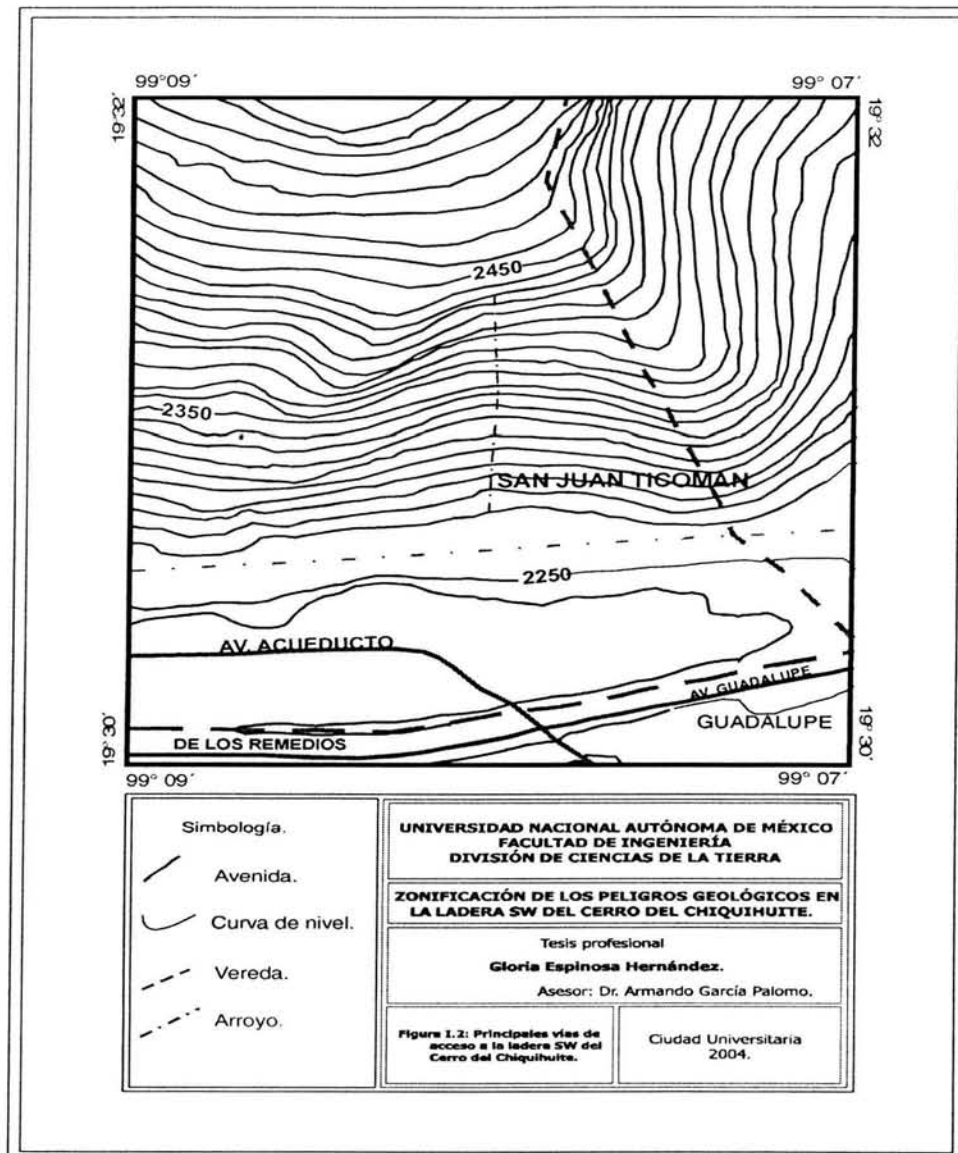


Figura I.2. Principales vías de acceso a la ladera SW del Cerro del Chiquihuite.

I.7 Fisiografía y geomorfología.

La Cuenca de México se localiza en la porción centro-oriental de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM), ésta última constituye uno de los elementos más prominentes de la geología de México, atraviesa al país de este a oeste y concentra una gran parte de la actividad tectónica y volcánica del país (Ortega-Gutiérrez, et al., 1992). La Cuenca de México tiene una orientación NNE-SSW, y ocupa una superficie de 9600 km², con una altura media de 2400 m.s.n.m. Está delimitada por diversos sistemas montañosos de origen volcánico: al Norte la Sierra de Pachuca, al Sur la Sierra de Chichinautzin, al Este la Sierra Nevada y al Oeste la Sierra de las Cruces.

Dentro de la Cuenca de México destacan dos importantes prominencias topográficas: al sur la Sierra de Santa Catarina y al norte la Sierra de Guadalupe.

La Sierra de Guadalupe está constituida por un conjunto de domos que presentan una orientación preferencial en dirección NNE-SSW y tiene una superficie de 170 Km². Algunas de las principales estructuras dómicas que conforman la Sierra de Guadalupe son los cerros Pico del Águila, María Auxiliadora, El Tenayo y El Chiquihuite.

El Cerro del Chiquihuite se ubica en la zona SE de la Sierra de Guadalupe, la cima del Cerro tiene una elevación máxima de 2730 m.s.n.m. y una mínima de 2250 m.s.n.m.; morfológicamente es asimétrico y presenta una serie de estructuras en forma de herradura abierta hacia el sur que indican la ocurrencia de colapsos gravitacionales.

El Cerro del Chiquihuite se encuentra poco disectado por la red fluvial, que se caracteriza por el poco desarrollo que presenta, predominan las corrientes de orden bajo de tipo paralelo y radial, de poca longitud y profundidad. El fracturamiento y fallamiento son de particular importancia para la infiltración del agua producto de la precipitación pluvial. (Figura I. 3).

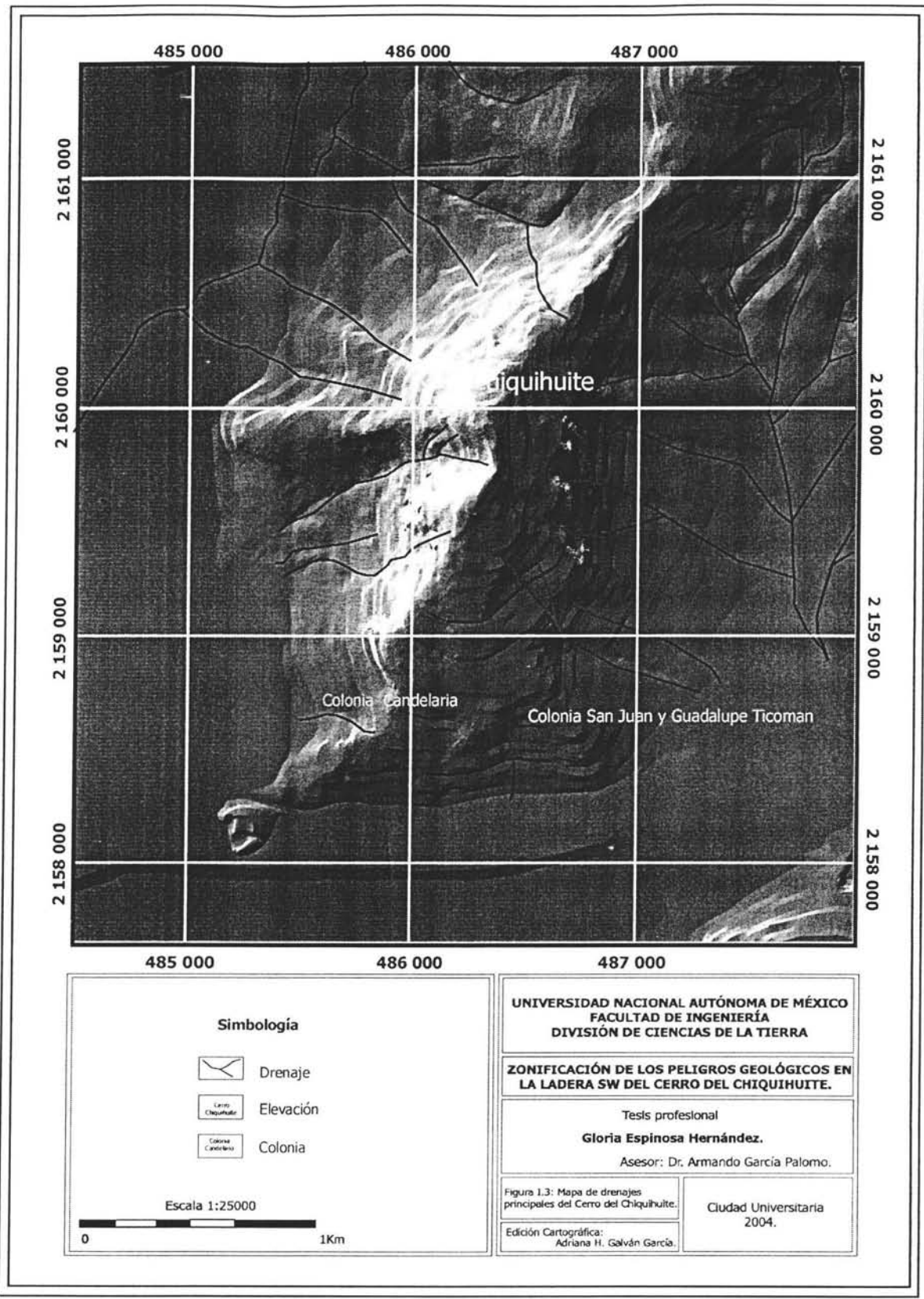


Figura I. 3. Mapa de drenajes principales del Cerro del Chiquihuite.

I.8 Aspectos Climáticos.

El Distrito Federal se encuentra en la zona intertropical, en la que por latitud la temperatura es alta, sin embargo, esa condición es modificada por la altitud y el relieve, de esta manera, 57% del territorio de esa entidad presenta clima templado, 33% climas semifríos y 10% clima semiseco.

Del norte hacia el noroeste, centro, centro-sur y este, se distribuye el clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Esta extensa zona tiene una altitud que va de 2 250 m en Iztapalapa a 2 900 m en la Sierra de Guadalupe. La temperatura media anual varía de 12°C en las partes más altas a 18°C en las de menor altitud, en ese mismo orden, la precipitación total anual va de 1 000 a 600 mm y el periodo en que se concentra la lluvia es el verano en los meses de Junio a Septiembre (INEGI, 2003).

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La metodología consistió en la utilización de técnicas de campo y gabinete que permitieran la evaluación cualitativa y cuantitativa de todos los factores que intervienen en la generación del peligro geológico en esa zona.

II.1 Actividades de gabinete.

Estas actividades consistieron en la recopilación y depuración de la información bibliográfica existente del área de estudio. Para obtener dicha información se consultaron artículos, libros, revistas y tesis, con la finalidad de conocer las diferentes características, interpretaciones y problemas que se presentan en el área. Se utilizó la carta topográfica Cuautitlán (E14A29) escala 1:50 000 (INEGI, 1998). La zona que comprende el área de estudio, se amplificó a una escala 1:2500.

La interpretación geológica del área de estudio se basó en fotografías aéreas escala 1:25 000, correspondientes a vuelos efectuados por el INEGI. Se identificaron las diferentes estructuras y unidades litológicas. Estos datos se restituyeron al mapa topográfico escala 1:50 000, posteriormente se elaboró el mapa de altimétrico y el mapa de pendientes, estos mapas sirvieron como base para la verificación en campo.

En la actividad de gabinete se realizó la interpretación fotogeológica, con fotografías aéreas a diferentes escalas, imágenes de satélite y ortofotos. Sobre este material fotográfico fueron interpretadas las diferentes unidades litológicas, zonas de fracturamiento y zonas con peligro potencial. Posteriormente a este análisis se elaboró un plano fotogeológico el cual sirvió como base para el trabajo de campo.

II.2 Actividades de campo

Una vez realizado el plano fotogeológico se procedió a verificar en campo las unidades y rasgos fotointerpretados, corroborando las principales unidades geológicas y sus características litológicas. Fueron identificados los diferentes patrones de fallamiento y fracturamiento, obteniéndose los parámetros como: orientación, longitud, espaciamiento, apertura y densidad. Esto con el fin de caracterizar y jerarquizar las zonas con mayor ocurrencia de fracturamiento en las rocas. Los datos geológicos sirvieron de base para definir las características mecánicas (Resistencia σ , Deformabilidad ϵ) y estructurales del terreno en términos de su estabilidad. Todos los datos recabados fueron integraron en un Sistema de Información Geográfica (SIG) que facilita el manejo de mapas con diferentes niveles de información. Por último, recabada la información de campo se procedió a generar los mapas de zonificación de peligros geológicos de la ladera SW del Cerro del Chiquihuite a partir de la interpretación de la información.

CAPÍTULO III: GEOLOGÍA

III.1 Contexto geológico regional.

La zona de estudio está localizada en la parte central de México dentro de la provincia geológica denominada Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) la cual constituye uno de los elementos más característicos de la geología de México (Mooser, 1972). El mecanismo que origina los magmas andesíticos que conforman la FVTM se refiere a su orientación con respecto a la fosa de Acapulco, la cual marca la zona de subducción de la Placa de Cocos debajo de la Placa Norteamericana.

La FVTM cruza de este a oeste la República Mexicana entre los paralelos 19° y 21°, de las costas de Colima y Nayarit hasta el estado de Veracruz; y dentro de ésta se localiza la Cuenca de México, hacia la porción norte se encuentra la Sierra de Guadalupe y formando parte de esta sierra se tiene al Cerro del Chiquihuite.

III.2 Geología de la Sierra de Guadalupe.

La Sierra de Guadalupe junto con la Sierra de Santa Catarina constituyen dos prominencias volcánicas dentro de la Cuenca de México, la primera, está localizada en el extremo norte de la cuenca, mientras que la segunda hacia la parte sur.

La Sierra de Guadalupe está constituida por un conjunto de domos que presentan una orientación preferencial en dirección NNE-SSW. Algunas de las principales estructuras volcánicas son los cerros: Pico del Águila, María Auxiliadora, El Tenayo y El Chiquihuite. Los domos están constituidos principalmente por derrames de lava bandeada de color rosa, intercaladas con bandas de color gris de composición predominantemente dacítica. Se encuentran rodeados por grandes y extensos abanicos constituidos por depósitos de talud, productos de caída, flujos piroclásticos y depósitos de avalancha. Sin embargo, en algunos sectores se puede identificar otro tipo de productos volcánicos, por ejemplo, hacia la porción

meridional de la sierra predominan las lavas andesíticas, brechas volcánicas y depósitos de flujo piroclástico y en menor grado, capas de materiales volcánicos más finos, como limos, arcillas y arenas; mientras que en el norte predominan pómez, lahares, cenizas, así como lavas andesíticas y dacítas (Salinas M. A.,1994). Lugo Hubp y Salinas, (1996) mencionan que los volcanes principales de la sierra de Guadalupe son de tipo compuesto, originados por poderosas erupciones explosivas, que culminaron con actividad extrusiva y efusiva. Ejemplo de ello son los volcanes Guerrero, Zacatenco, Jaral, María Auxiliadora, Los Díaz, Tres Padres y Moctezuma. Otras elevaciones producidas por actividad extrusiva son los domos volcánicos que están en la periferia de la sierra, como son los cerros: Gordo, Chiquihuite, Tenayo, Tepeyac y otros.

III.3 Geología del Cerro del Chiquihuite.

El Cerro del Chiquihuite tiene una orientación general NNE-SSW, es asimétrico y presenta una serie de estructuras en forma de herradura abierta hacia el sur que indican la ocurrencia de colapsos gravitacionales en el pasado reciente. Geológicamente se trata de un domo volcánico de carácter exógeno con diferentes centros de emisión. Su composición es dacítica, las lavas son de color rosa al fresco, textura porfídica con fenocristales de cuarzo y plagioclasa, inmersos en una matriz microcristalina. Existen domos secundarios y derrames de lava que se presentan intercalados. Es característica la presencia de xenolitos de color gris oscuro, textura afanítica y forma lenticular, localizados especialmente en el flanco SE del domo (Figura III.1). Estas rocas constituyen unidades litológicas con espesores de varios metros, las cuales se encuentran fracturadas y falladas. Rodean al domo del Chiquihuite un conjunto de abanicos constituidos predominantemente por material aluvial, así mismo, la ocurrencia de deslizamientos de roca canalizados a lo largo de los drenajes naturales, han generado depósitos de talud en zonas de pendiente pronunciada (Servicio Geológico Metropolitano, 2002).

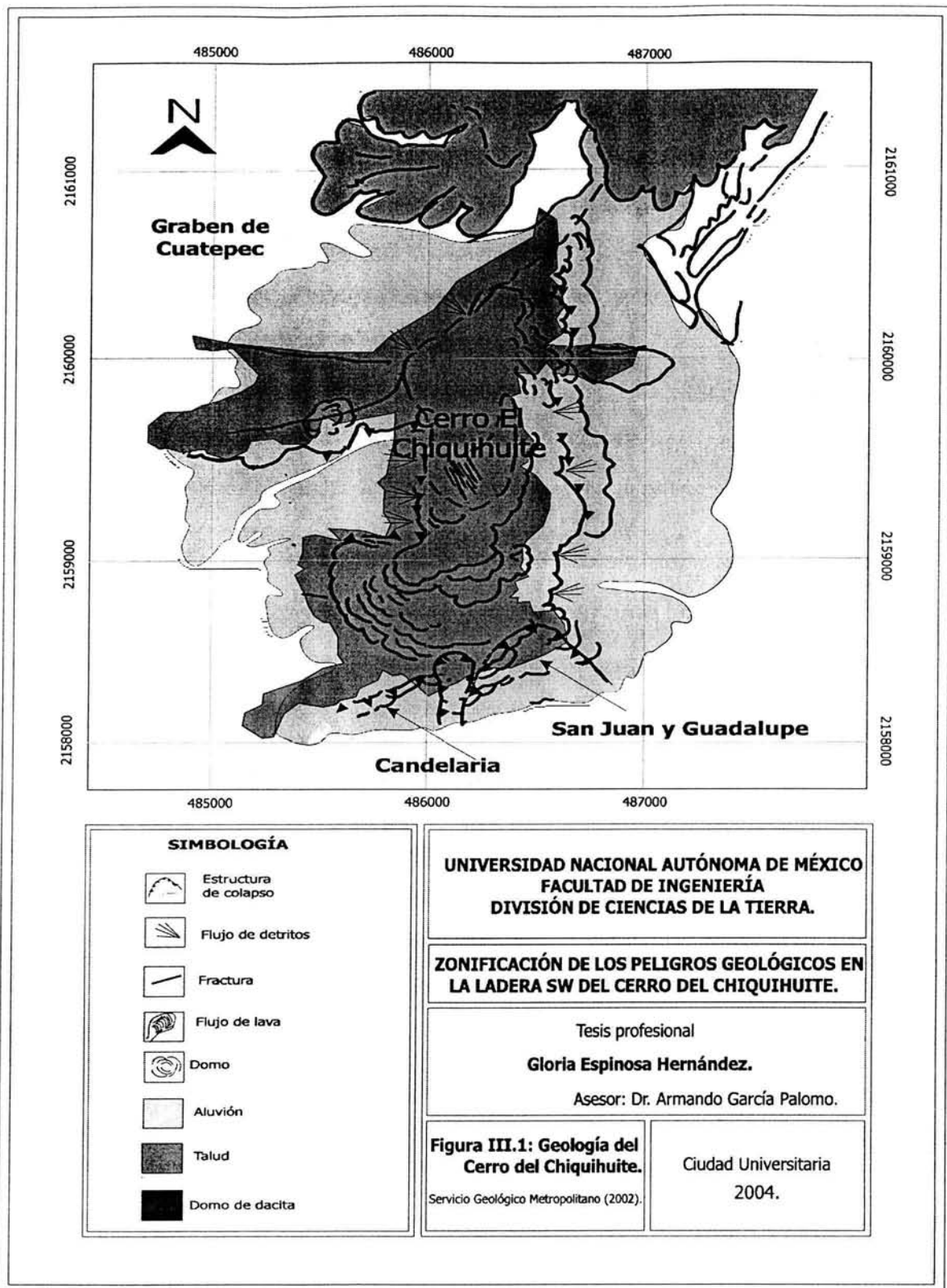


Figura III.1 Mapa Geológico del Cerro del Chiquihuite, Servicio Geológico Metropolitano (2002).

III.4. Estratigrafía del la zona SW del Cerro del Chiquihuite.

El área de estudio corresponde a las colonias San Juan y Guadalupe y Candelaria Ticomán, ubicadas en el flanco sur del domo El Chiquihuite. Ahí se reconocieron seis unidades litológicas cuyas características se describen a continuación. (Ver mapa Anexo 1).

Dacita 1. Aflora en la base del flanco este y sur del Domo El Chiquihuite, está constituida por dacitas de color rosa en roca fresca, de textura porfídica con fenocristales de cuarzo y plagioclasa inmersos en una matriz de microcristales félsicos. Se compone de sucesivos derrames de lava dispuestos con una orientación de N55°E, 24°NW. Al SE le sobreyace un derrame de lava dacítica de color gris (Dacita 4).

Dacita 2. Se localiza en el extremo SW de la Colonia Candelaria, se observan lavas dacíticas de color rosa en roca fresca, de textura porfídica, en la que se identificaron fenocristales de plagioclasa y cuarzo, inmersos en una matriz félsica. La dacita se encuentra dispuesta en varias unidades de flujo de 1m de espesor, con orientaciones de S53°W,3°SE; N44°E,11°SE y S41°E,19°NE. La roca se encuentra afectada por fracturamiento cuya orientación es perpendicular a la estratificación y delimita bloques de forma tabular que tienen una apariencia columnar. En la base de la unidad aflora material deleznable y de fácil erosión que ocasiona la formación de estructuras tipo *cantiliver*. La unidad está sobreyaciendo a la Dacita 1 y se encuentra por debajo de la Dacita 5.

Dacita 3. Aflora en las inmediaciones de la Zona Territorial 8, donde constituye un domo con cantiles en la parte SW. Esta roca es de color rosa al fresco, con fenocristales de cuarzo y plagioclasa soportados por una matriz félsica. Es característica la presencia de xenolitos, especialmente en el flanco SE del domo. Estos tienen un color gris oscuro, textura afanítica y son de forma lenticular. En el flanco NE del domo aflora una brecha volcánica constituida por bloques de

composición dacítica de color gris oscuro. Los bloques de mayor tamaño van de 1.5 a 0.50 m y son subangulosos, mientras que los bloques menores miden de 20 a 10 cm son angulosos y están soportados por una matriz angulosa de limo y arcilla.

Dacita 4. Se distribuye dentro del área ocupada por la colonia San Juan y Guadalupe. Consiste de una roca de color gris claro al fresco y gris oscuro al intemperismo. Su textura es porfídica con fenocristales de cuarzo, plagioclasa y hornblenda, englobados en una matriz vítrea. Este derrame de lava forma escarpes pronunciados cuya altura varía de 10 a 3 m de SW a NE.

Presenta fracturas por enfriamiento con espaciamentos de más de 10 cm que se acuñan hacia la base, formando bloques de forma tabular. En la base se observa una brecha volcánica heterolitológica de explosión, de color gris claro con un espesor aproximado de 5.0 m. Los clastos son de composición dacítica y son principalmente de pómez con diferentes grados de intemperismo. Sus tamaños varían desde 3.0 m los más grandes hasta 10 cm los más pequeños, tienen formas de subangulosa a angulosa respectivamente y se encuentran soldados entre sí.

A esta unidad le subyace un depósito fluvial delimitado por un contacto erosivo, el cual tiene un espesor de 50 cm, de color pardo amarillento, presenta gradación normal, los clastos presentan diferentes grados de intemperismo y sus tamaños varían desde 5 cm hasta 3 mm. Su forma es subredondeada a subangulosa y están soportados en una matriz limo-arcillosa.

Hacia la base de este depósito aflora una brecha de color amarillo con un espesor aproximado de 2.5 m, masiva y constituida por clastos de composición dacítica con diferentes grados de intemperismo. Los tamaños varían desde 1.0 m los más grandes hasta 25-10 cm los más pequeños, su forma es subangulosa a angulosa y se encuentran soldados entre sí. Esta unidad sobreyace a la Dacita 1 y subyace a la Dacita 5.

Dacita 5. Está constituida por dacitas de textura porfídica con fenocristales de cuarzo y plagioclasa englobados en una matriz cristalina. Presenta seudoestratificación subhorizontal con orientaciones que se distribuyen de la siguiente manera: en el flanco sur del domo, $N24^{\circ}W - 11^{\circ}NE$; en la parte central $N46^{\circ}E, 8^{\circ}NW$ mientras que SE $N60^{\circ}E - 33^{\circ}NW$. En el flanco SE del domo esta unidad se encuentra afectada por un escarpe de falla de tipo normal cuya orientación general es NE-SW.

Dacita 6. Está constituida por una serie de derrames de lava en bloques de composición dacítica. Estos bloques están afectados por una falla lítrica ($N62^{\circ}E, 48^{\circ}SE$) con brechas, estrías, escalones y un basculamiento del bloque alto. Este presenta una seudoestratificación de $N30^{\circ}E - 65^{\circ}NW$ y el bloque bajo de $N16^{\circ}E - 30^{\circ}NW$. El conjunto de bloques están apilados de manera escalonada y son de forma tabular, se determinó un giro de 35° para los bloques. El espesor de la unidad en esta localidad es mayor a 30 m. Hacia la base de estos bloques se observan depósitos de talud.

Depósitos de Talud. Están constituidos por fragmentos de diferentes tamaños, los cuales se desprendieron de los escarpes. Estos caen por rodamiento y deslizamiento alcanzando posiciones de reposo en las zonas de menor pendiente. En la parte superior descansan los bloques angulares más grandes. Estos depósitos presentan una pendiente de 30° y su distribución se observa principalmente en las laderas.

Depósitos Coluviales. Consisten principalmente de material suelto de origen volcánico desprendido de las partes altas del domo. Su distribución se concentra principalmente en los flancos S, SE y SW, cubriendo las unidades más antiguas.

Depósitos Aluviales. Consisten principalmente de material suelto de origen volcánico, se presentan en las faldas y en menor medida en la cima del cerro,

aunque su mayor distribución ocurre en las partes bajas de la zona de estudio. Están constituidos de material que ha sido transportado por los diferentes procesos de erosión.

Su origen se debe a que las lluvias provocan una gran remoción de detritos, es decir, se lleva a cabo un lavado superficial del material, el cual es posteriormente transportado y depositado en las partes bajas con pendientes menores a los 10°.

III.5 Geología Estructural.

Son pocos los trabajos que se refieren a la Geología estructural de la Sierra de Guadalupe, por ejemplo, Lozano (1968), considera la presencia de dos sistemas de fracturamiento. El primero con una orientación WNW-ESE, asociado con la actividad de la Faja Volcánica Mexicana 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 NE 30°-45°, al que pertenecen las fallas Tenayuca y Chiquihuite. Sin embargo existe otra orientación E-W que divide a la sierra prácticamente en dos. Mooser (1975) propone la "fosa de Cuauhtepac" la cual está delimitada por dos fallas con orientación NE-SW. De Cserna et al. (1988) hace una descripción de la geología estructural de la Cuenca de México donde se reconoce la existencia de un sistema de fallas con una dirección NE-SW, y que afectan también a la Sierra de Guadalupe.

Recientemente el Servicio Geológico Metropolitano (2002) ha efectuado estudios de algunos de los rasgos geológicos de la Sierra de Guadalupe en donde define la presencia de tres sistemas de fallas: el primer sistema presenta una orientación N-S, sobre el cual se observan una serie de fosas y pilares tectónicos. De acuerdo a las relaciones estructurales y estratigráficas se considera a este sistema como el más antiguo. El segundo sistema de fallas y fracturas afecta a toda la Cuenca de México incluyendo a la Sierra de las Cruces. Su orientación es NE-SW y entre las fallas más importantes pertenecientes a este sistema están las

fallas Tenayuca y Chiquihuite, las cuales definen una de las estructuras más prominente de este sistema que es la fosa de Cuauhtepac. En los planos de falla que se observan en los afloramientos de campo, es posible observar rasgos tales como: estrías con al menos dos generaciones de movimiento, brechamiento tectónico, harina de falla y estructuras sigmoidales. El tercer sistema de fallas y fracturas tiene una orientación E-W, afecta a rocas muy jóvenes, por lo que se considera el más reciente.

Estos tres sistemas de fallas y fracturas presentan indicios de actividad a través del tiempo y los sitios en donde se intersectan conforman las zonas de mayor inestabilidad en las laderas de la Sierra de Guadalupe.

III.6 Análisis de fracturamiento.

Las fracturas son discontinuidades en la roca que no implican desplazamiento relativo entre bloques. Pueden ser de origen tectónico y no tectónico, las primeras son originadas por esfuerzos, y las segundas por enfriamiento de magma, disecación, hundimiento o intrusión. Las de origen tectónico presentan mayor peligro ya que tienen mayor apertura y espaciamiento entre bloques, son continuas y abarcan distancias considerables.

Las fallas son también discontinuidades en la roca que sí implican desplazamiento entre bloques. Por lo regular son de origen tectónico y son el resultado de esfuerzos regionales.

A través de las fracturas y fallas se lleva a cabo la recarga de los acuíferos. Sin embargo, también generan zonas de inestabilidad, ya que la infiltración del agua genera dos fenómenos importantes: por un lado, el aumento en la presión de poro que ocasiona esfuerzos de empuje entre bloques, y por otro, el agua infiltrada funciona como lubricante, facilitando el deslizamiento.

Los parámetros que deben estudiarse en una zona con abundante fracturamiento son: Densidad (número de fracturas por unidad de área), a mayor densidad existe

mayor probabilidad de inestabilidad del talud. Apertura (distancia entre las paredes de la fractura), a mayor apertura aumenta el paso de agua y esto provoca inestabilidad, ya sea por aumento en la presión de poro, o por deslizamiento de la masa rocosa. El relleno de las fracturas es otro factor importante, si la fractura está rellena por material arcilloso, el agua no puede circular. La rugosidad en la superficie de fractura podría evitar el deslizamiento de la masa rocosa, ya que a mayor rugosidad disminuye el esfuerzo de cizalla. Por último, se tiene la forma de los bloques, estos pueden ser tabulares en posición vertical u horizontal, rómbicos o cúbicos. Si el bloque es tabular horizontal representa menor peligro, ya que al caer o deslizarse su misma forma le impide un gran rodamiento, además de que se fractura y se rompe en fragmentos más pequeños. Si el bloque es tabular vertical el peligro aumenta, ya que es más inestable, pues este puede caer por volcadura o deslizamiento.

En el campo se utilizaron dos métodos para determinar las características de fracturamiento: el primero, conocido como método de la cuerda, se basa en la medición del fracturamiento entre dos extremos de una cuerda con intervalos a cada metro. El segundo considera las características del fracturamiento en una circunferencia con radio conocido. Ambos métodos son confiables y se utiliza el que mejor se adapte al sitio de muestreo.

San Juan y Guadalupe.

En esta zona se reconocieron principalmente dos sistemas de fracturamiento, uno con dirección $N65^{\circ}E$ y subhorizontal, y otro con una dirección $N35^{\circ}W$ que buza entre 70° y 80° hacia el NE y SW. Ambas orientaciones forman un sistema perpendicular de fracturamiento que varía de subcontinuo a continuo.

El Sistema NE-SW es el de menor densidad dentro de la zona de estudio, presenta una apertura mínima de 1.25 y una máxima de 12.75 cm, con un valor promedio de 4 cm de apertura. El sistema NW-SE presenta una mayor densidad, ya que está presente en casi todas las estaciones levantadas, tiene aperturas que varía

desde 0.25 hasta 14 cm. La intersección de estos sistemas de fractura generalmente forma una geometría tabular vertical que en ocasiones es irregular. No existe una dirección preferencial de deslizamiento, las superficies de las fracturas generalmente son rugosas y abiertas, y en ocasiones están rellenas de arcilla.

Del análisis de fracturamiento a nivel bidimensional, los resultados arrojan que la mayor densidad de fracturamiento se encuentra en las subzonas 1-4, en estas zonas también se tiene la mayor concentración de espaciamento entre fracturas, siendo más importante sobre el sistema con dirección N35°W, ya que tiene una dirección similar a las Fallas Tenayuca y Chiquihuite.

De acuerdo al análisis bibliográfico, de fotografías aéreas, y de campo, el sistema de fracturas N35°W se interpreta como de origen tectónico.

Candelaria.

En esta zona se tienen pocos registros debido a que existe una muy baja densidad de fracturamiento. La dirección predominante es N30°E, con buzamientos entre 60° y 80°. Las fracturas son continuas, con aperturas de 4 a 9 cm y espaciamentos de 10 a 54 cm. Generalmente, están rellenas de arcilla, con superficies rugosas y forman geometrías tabulares verticales. Existe otro fracturamiento subordinado con dirección N75°W, vertical con apertura de 12.75 y espaciamento de 44 cm.

CAPÍTULO IV: PELIGROS GEOLÓGICOS

IV.1 Peligro y Riesgo.

Es importante diferenciar los conceptos de *Peligro*, *Riesgo* y *Vulnerabilidad*. el **Peligro** se define como la probabilidad de que un fenómeno potencialmente destructivo de determinada intensidad se verifique en un periodo de tiempo y en un área dada. **Riesgo** es el valor esperado de pérdidas humanas, heridos, daños a la propiedad y de las perturbaciones a la actividad económica debidos a un particular fenómeno natural (Arreygue, et. al., 2001).

Vulnerabilidad es el grado esperado de pérdida producida en un cierto elemento o grupo de elementos expuestos a riesgo, resultante de la verificación de un fenómeno natural de una intensidad dada. Se expresa en una escala de cero (ninguna pérdida) a uno (pérdida total) y es una función de la intensidad del fenómeno y de la tipología del elemento en riesgo (Varnes, 1984).

El riesgo puede ser expresado en una ecuación, en la cual intervienen la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y las pérdidas socioeconómicas asociadas, esto es:

$$R = F \times C$$

donde:

R= Riesgo

F= Frecuencia de ocurrencia

C= Consecuencia

Recientemente (Ogura, 2000) presentan una fórmula para cuantificar los riesgos asociados a procesos naturales a la que denominaron **nivel de riesgo**:

$$R = P \times v \times V$$

donde:

R= Riesgo o nivel de riesgo

P= Probabilidad; donde $P = 1/T$ siendo T = recurrencia o periodicidad del evento

v= Vulnerabilidad (lo que se admite perder de determinado valor en un accidente)

V= Valor del bien vulnerable.

En esta ecuación se expresa de una manera sencilla la relación que existe entre los procesos naturales y el hombre.

En resumen, la evaluación de los peligros involucra una gran cantidad de parámetros, en los cuales se verifica una vez más que la fuerza de la naturaleza es en gran medida superior al poder que llega a tener el hombre sobre ella.

IV.2 Deslizamientos de talud.

Una gran cantidad de desastres han sido ocasionados por deslizamientos de talud en centros habitados.

Los factores que influyen en la estabilidad o inestabilidad de un talud son principalmente: **geológicos** los cuales condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud; **geométricos** (altura e inclinación); **hidrogeológicos** (presencia de agua) y **geotécnicos**, relacionados con el comportamiento mecánico del terreno (resistencia y deformabilidad). La posibilidad de rotura y modelos de inestabilidad de los taludes están controlados principalmente por factores geológicos y geométricos.

Los factores geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos se consideran factores **condicionantes** o **pasivos**, y son intrínsecos a los materiales naturales. Aunado a los factores condicionantes de la estabilidad de taludes se tienen los factores **desencadenantes** o **activos** (Tabla IV.1.).

FACTORES CONDICIONANTES PASIVOS	FACTORES DESENCADENANTES ACTIVOS
<ul style="list-style-type: none"> -Estratigrafía y litología. -Estructura geológica. -Comportamiento hidrogeológico de los materiales. -Propiedades físicas resistencia y deformación. -Tensiones naturales y de estado tenso-deformacional. 	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecargas estáticas. -Cargas dinámicas. -Cambios en las condiciones hidrogeológicas. -Factores climáticos. -Variación en la geometría. -Reducción de parámetros resistentes.

Tabla IV.1. Principales características de los factores que influyen en la inestabilidad de taludes. (González et. al., 2002).

Además de los factores que se han mencionado anteriormente, debemos tener en cuenta que la estructura geológica y las discontinuidades juegan un papel determinante en las condiciones de estabilidad de los taludes en macizos rocosos. La combinación de los elementos estructurales con los parámetros geométricos del talud, tales como altura, inclinación, y orientación define los problemas de estabilidad que se pueden presentar.

La estructura del macizo rocoso queda definida por la distribución espacial de los sistemas de discontinuidades, que individualizan bloques de roca que se mantienen unidos entre sí por las características y propiedades resistentes de las discontinuidades. La presencia de estos planos de debilidad (como superficies de estratificación, diaclasas, fallas, fracturas y esquistocidad, entre otros) buzando hacia el frente del talud supone la existencia de planos de rotura y deslizamiento potenciales, y su orientación y disposición condiciona los tipos, modelos y mecanismos de inestabilidad.

La presencia de discontinuidades implica un comportamiento anisotrópico del macizo, así como planos preferenciales de debilidad; por ejemplo, un determinado sistema de fracturas condicionará tanto la dirección de movimiento como el tamaño de los bloques a deslizar, o la presencia de una falla buzando hacia el talud, limitará la zona inestable y condicionará el mecanismo de rotura.

En general, la presencia del agua es uno de los principales factores que influyen en la inestabilidad de taludes, esto es, un talud reduce su estabilidad al disminuir la resistencia del terreno y aumentar las fuerzas que inducen el deslizamiento, sus efectos más importantes son:

- La reducción de la resistencia al corte de los planos de rotura al disminuir la tensión normal efectiva.

- La presión ejercida sobre grietas de tensión aumenta las fuerzas que actúan a favor del deslizamiento.

- Aumento del peso del material por saturación.

- Erosión interna por flujo subterráneo.

- Meteorización y cambios en la composición mineralógica de los materiales.

- Apertura de discontinuidades por agua congelada.

La forma de la superficie freática en un talud depende de diferentes factores, entre los que se encuentran la permeabilidad de los materiales, la geometría o forma del talud y las condiciones de entorno.

En macizos rocosos, la estructura geológica tiene una gran influencia en la disposición del nivel freático y, por lo tanto, en la distribución de las presiones intersticiales sobre cualquier superficie potencial de deslizamiento en un talud, (Figura IV.1), así como la alternancia de materiales permeables e impermeables (González et. al., 2002).

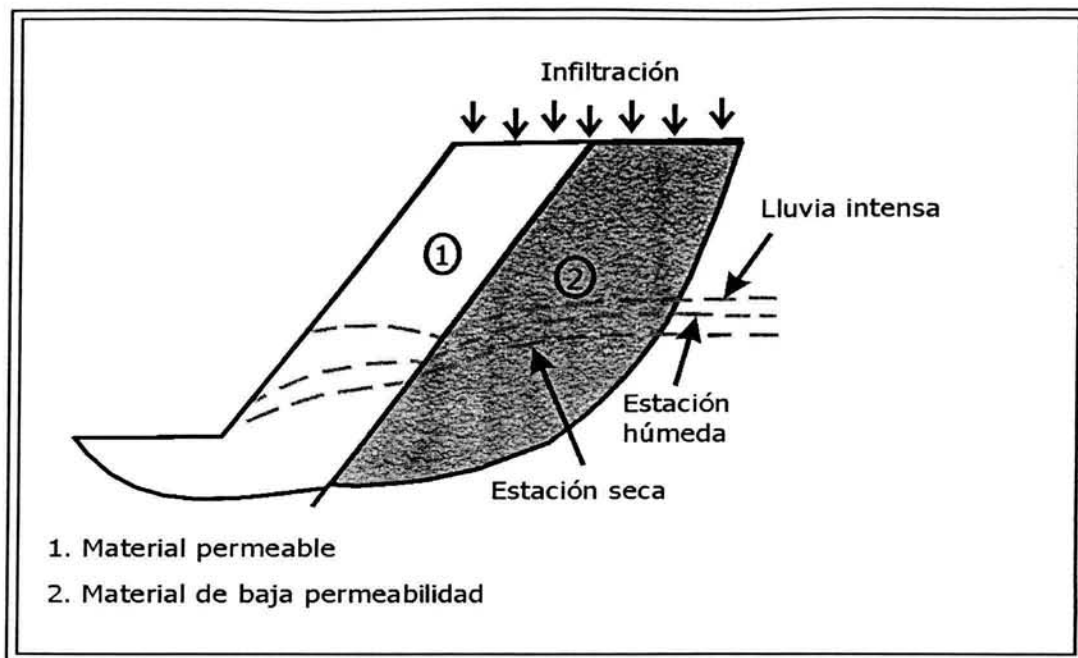


Figura IV.1: Factores de inestabilidad de taludes que es la interacción de material permeable e impermeable (González et. al., 2002).

IV.2.1. Peligros por deslizamiento.

Los peligros que existen por deslizamientos en masa junto con los aludes de lodo y terremotos son considerados como catástrofes naturales (Alcántara-Ayala, 2000).

Los fenómenos de deslizamiento en masa son movimientos de material (roca, detrito y tierra) a lo largo de un talud (Canuti, et. al., 1992). 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 que determinan la geometría del deslizamiento.

Los deslizamientos y los procesos relacionados forman parte de la lista de los movimientos gravitacionales de masa, directamente referidos a la dinámica de las laderas.

Estos fenómenos están catalogados en la categoría general del movimiento de masa o de los procesos morfogenéticos sobre la superficie de la tierra. Ocurren como consecuencia de la acción de la gravedad, la cual se distingue por un

carácter no selectivo, al afectar indistintamente materiales de cualquier forma y dimensión.

IV.2.1.1. Falla Plana.

Se produce a favor de una superficie preexistente, que puede ser la estratificación, fallas y fracturas. La condición básica es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud y con su misma dirección, cumpliéndose la condición de que la discontinuidad debe estar desestabilizada por el talud, y su buzamiento debe ser mayor a su ángulo de fricción interna. Los distintos tipos de roturas planas dependen de la distribución y características de las discontinuidades en el talud. Las más frecuentes son:

-Rotura por un plano que aflora en la cara o en el pie del talud, con o sin grieta de tracción.

-Rotura por un plano paralelo a la cara del talud, por erosión o pérdida de resistencia del pie, Figuras IV.2 y IV.3.

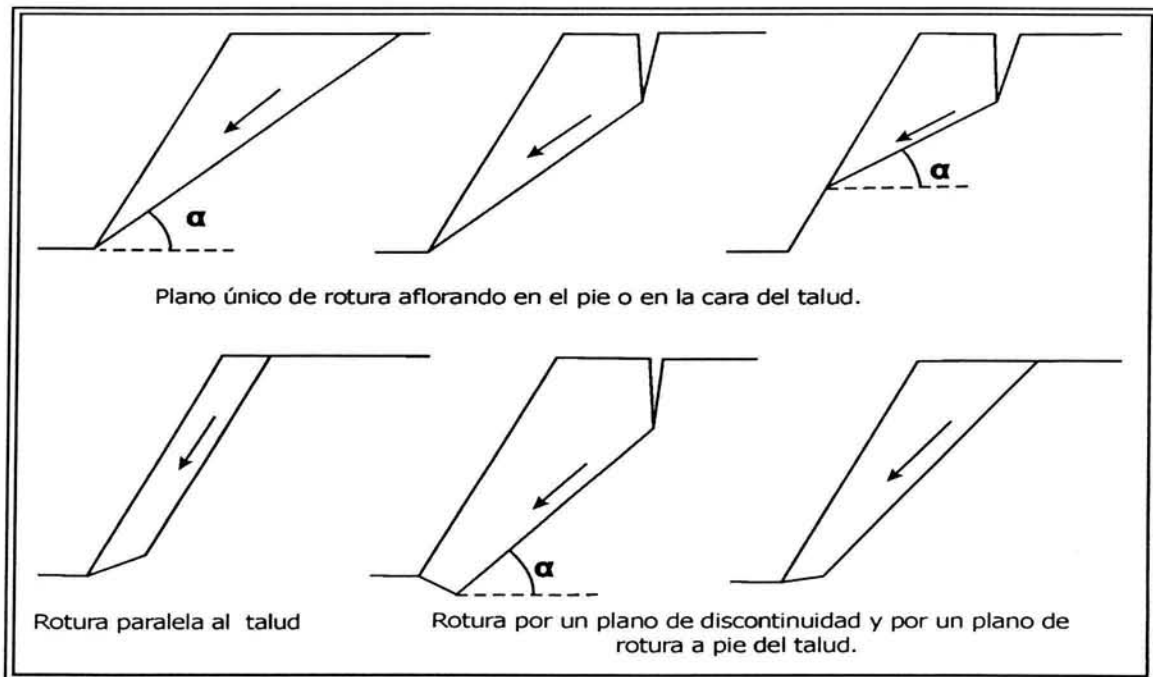


Figura: IV.2: Formas que puede presentar una falla plana. Plano único de rotura aflorando en el pie o en la cara del talud. Rotura paralela al talud. Rotura por un plano de discontinuidad y por un plano de rotura a pie del talud (González et. al., 2002).

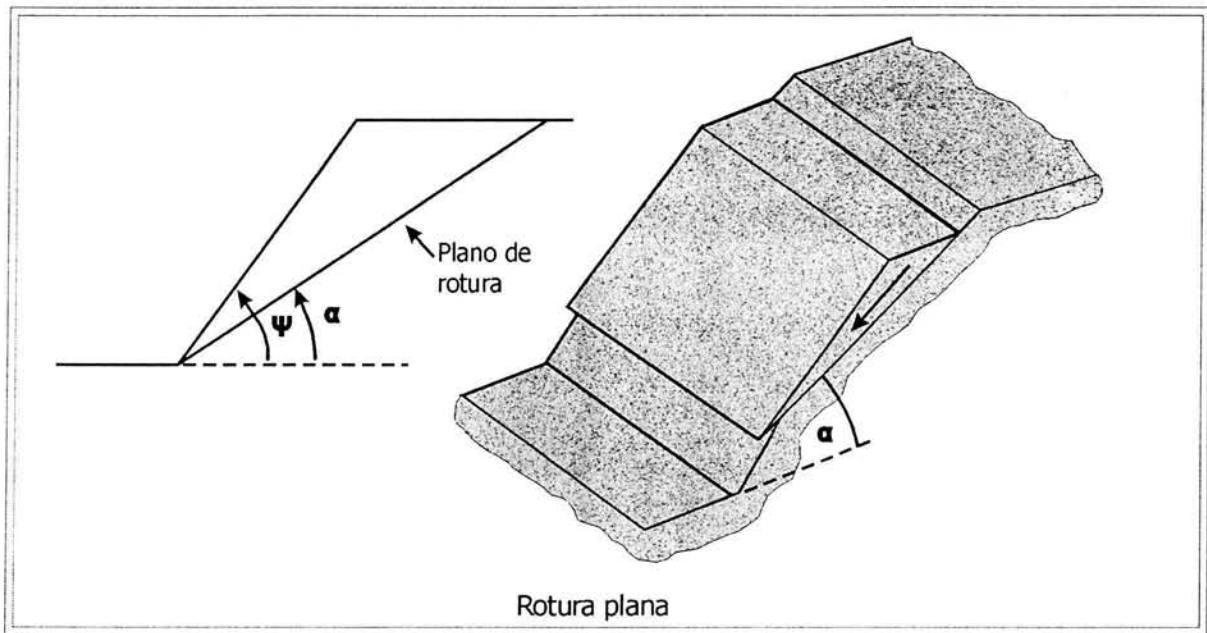


Figura IV.3: Esquema en tercera dimensión de la falla plana. Siendo α el buzamiento de la línea de intersección (González et. al., 2002).

IV.2.1.2. Falla por Cuña.

Este tipo de mecanismo corresponde al deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por la intersección de dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección. Para que este tipo de rotura se produzca los dos planos deben aflorar en la superficie del talud. Este tipo de rotura suele presentarse en macizos rocosos con varias familias de discontinuidades, cuya orientación, espacio y continuidad determina la forma y el volumen de la cuña. (Figura IV.4).

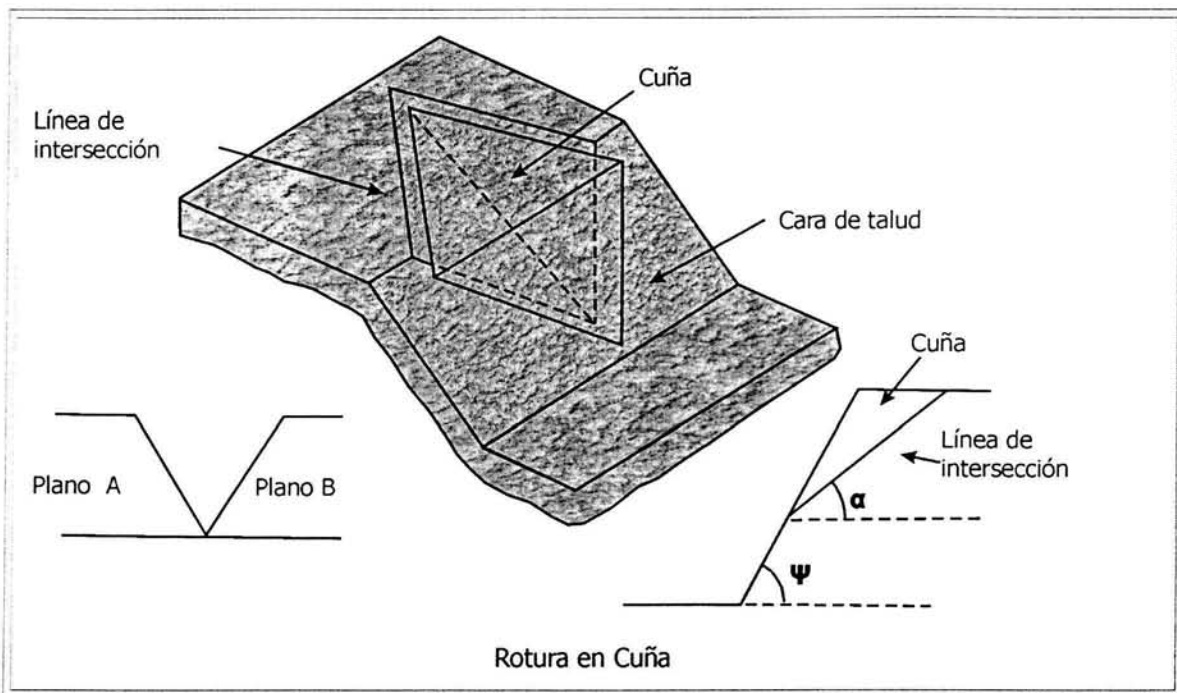


Figura IV.4: Representación esquemática de la falla en cuña (González et. al., 2002).

IV.2.1.3. Falla por Volteo.

Se produce en taludes de macizos rocosos donde los estratos presentan buzamiento contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o subparalela al mismo. En general los estratos aparecen fracturados en bloques a favor de sistemas de discontinuidades ortogonales entre sí (Figuras IV.5 y IV.6). Este tipo de roturas implica un movimiento de rotación de los bloques, y la estabilidad de los mismos no está únicamente condicionada por su resistencia al deslizamiento (Herrera-Castañeda, 2002).

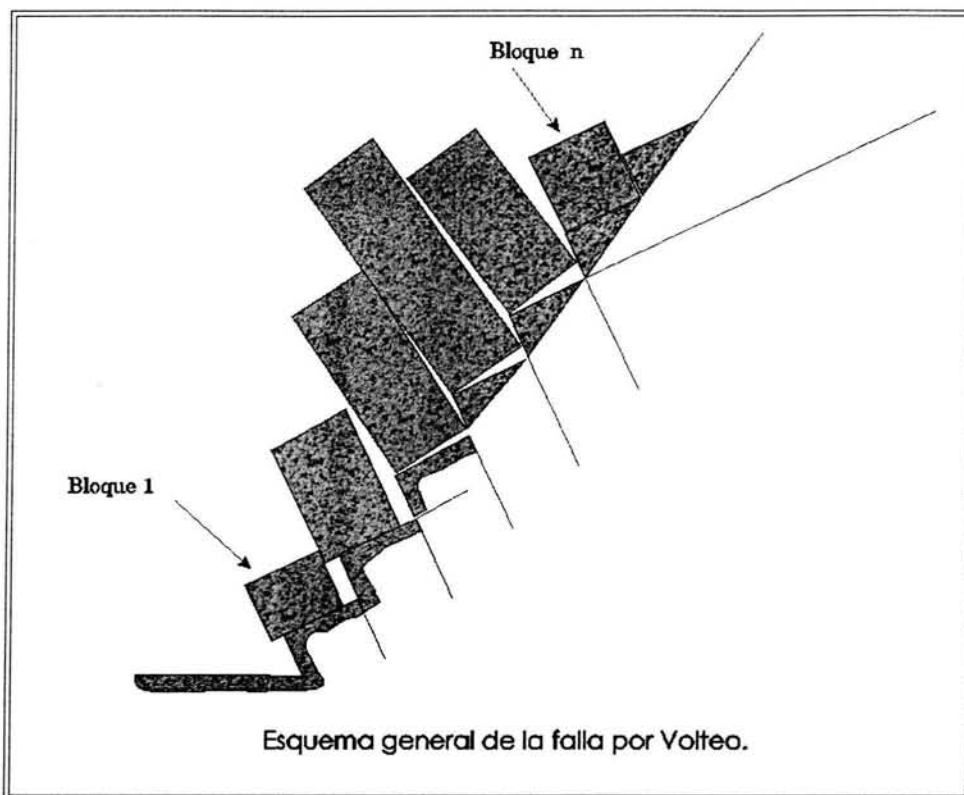


FIGURA IV.5: Las fallas al volteo ocurren en masas de roca que están subdivididas en una serie de columnas de gran buzamiento y con rumbo paralelo a la superficie del talud (Herrera-Castañeda, 2002).

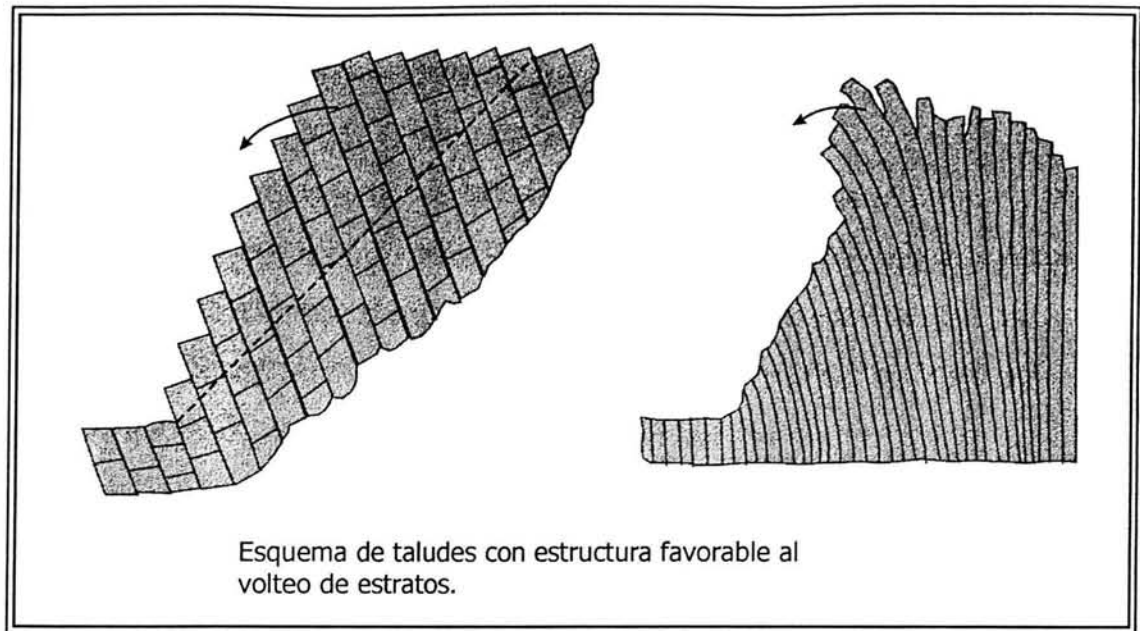


Figura IV.6: En este tipo de fallas general los estratos aparecen fracturados en bloques a favor de sistemas de discontinuidades ortogonales entre sí (González et. al., 2002).

IV.2.1.4. Falla Rotacional.

Este tipo de mecanismo ocurre cuando un paquete de rocas se desliza pendiente abajo a través de una superficie cóncava, de tal forma que el movimiento del paquete de roca es rotacional. El movimiento de este tipo de falla es debido a las fuerzas que producen un movimiento de rotación alrededor de un punto localizado sobre el centro de gravedad de la masa.

La falla se presenta por corte a través de una superficie de falla curva (circular o lítrica) y el movimiento se da a velocidad moderada. Se presenta en suelos cohesivos – granulares y en rocas muy fracturadas o alteradas (Figura IV.7).

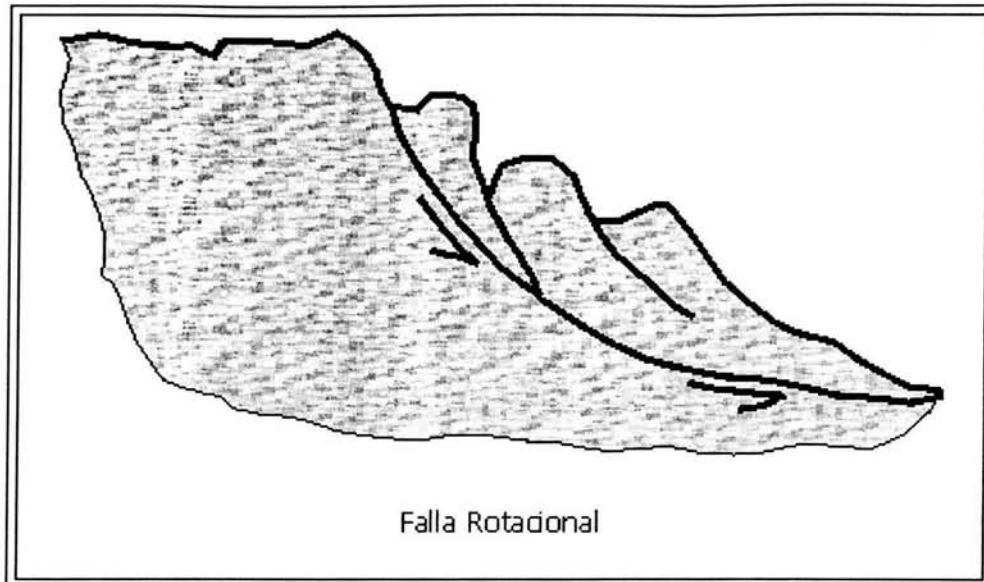


Figura IV.7: Este tipo de rotura ocurre por corte a través de una superficie de falla curva (circular o lítrica) y el movimiento se presenta a moderada velocidad. (González et. al., 2002).

IV.2.1.5. Flujo de Detritos.

Son movimientos rápidos a muy rápidos de detritos húmedos o con alto grado de saturación; generalmente se presenta un exceso de presión de poro.

Esta forma destructiva de falla de talud está asociada a zonas montañosas donde una precipitación o un deshielo intenso puede movilizar la cubierta de suelo e incorporarla en flujos de detritos.

El tipo de material involucrado puede ser fragmentos de roca alterada, depósitos piroclásticos y suelos en general. También están asociados a erupciones volcánicas, lo que se conoce con el nombre de lahares. (Figura IV.8)

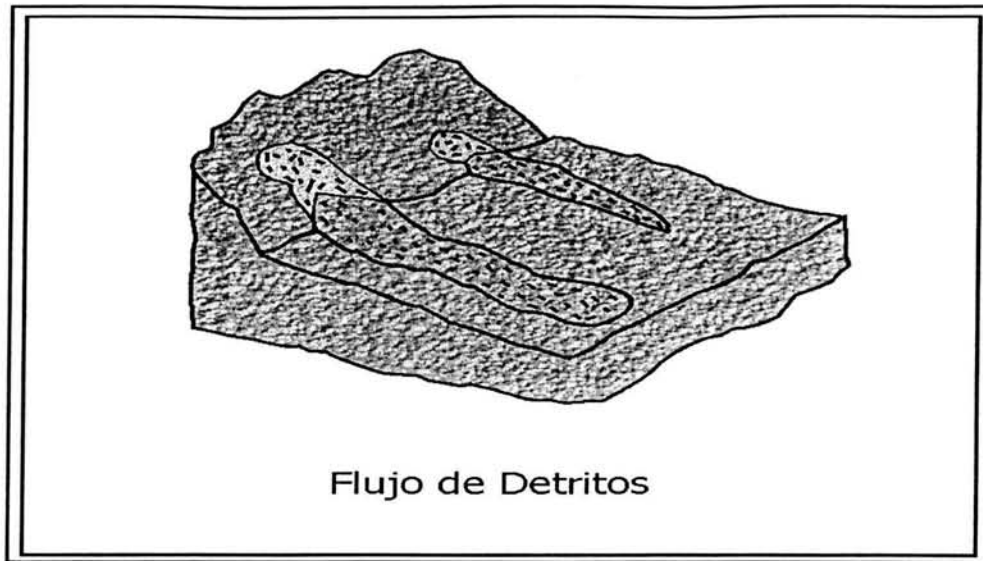


Figura IV.8: El tipo de material que se involucra en este tipo de movimientos puede ser detritos de roca alterada, suelos o material piroclástico producto de erupciones volcánicas. (González et. al., 2002).

IV.2.1.6. Caída de Rocas.

Es un proceso que consiste en el desprendimiento de rocas de laderas con pendiente mayor de 30° , cuya caída ocurre por rodamiento. Es común en formaciones rocosas muy intemperizadas (Lugo Hubp, 1989).

Los movimientos en caída libre de materiales tales como rocas y detritos (Figura IV.9). Se originan por el desprendimiento de material de una superficie inclinada, el cual puede rebotar, rodar, deslizarse o fluir ladera abajo. Este tipo de movimientos ocurren en laderas fuertemente inclinadas, tanto de tipo natural como artificial (Alcántara-Ayala, 2000).

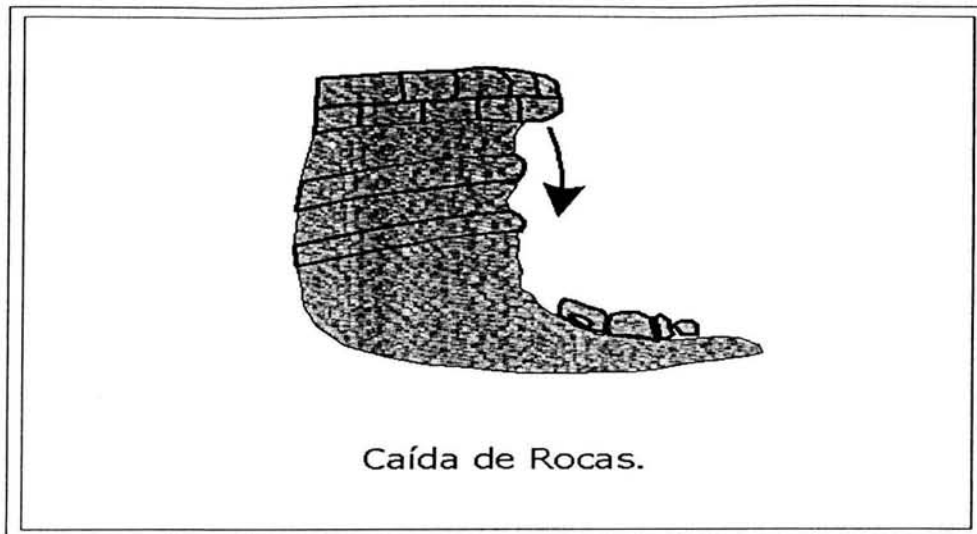


Figura IV.9: La caída de rocas se presenta cuando existe un descenso rápido y libre de masas de suelo o de roca con tamaño variable, de taludes con fuerte pendiente o de acantilados. (González et. al., 2002).

IV.2.1.7. Derrumbe de Rocas.

Un derrumbe se define como un proceso de desprendimiento de una masa de rocas y su deslizamiento ladera abajo. Éstos surgen a causa de una grieta o un sistema de grietas que se convierten en planos de deslizamiento, están constituidos por materiales no consolidados producto del intemperismo o de origen volcánico. El agua que se infiltra en el subsuelo y que paulatinamente agranda las grietas, así como la ocurrencia de sismos, son factores que inducen este tipo de fenómenos, los cuales son muy comunes en zonas montañosas (Lugo Hubp, 1989).

Son procesos rápidos que se producen al desprenderse rocas de laderas abruptas, escarpes, cavidades o bóvedas.

El movimiento es de caída libre, rodamiento o arrastre. Se presenta en rocas volcánicas donde el proceso es el siguiente: Cuando los derrames de lava son emitidos se ponen en contacto con superficies frías como el suelo o el aire; cuando esto sucede se forma un tipo de material llamado escoria, el cual está constituido por fragmentos de roca soldados entre sí o sueltos. Éstos últimos generalmente

constituyen fragmentos deleznales que pueden caer pendiente abajo, ya sea por rodamiento o caída libre. Cuando las rocas se encuentran afectadas por fracturas o fallas de origen tectónico, el movimiento sobre estas estructuras puede ocasionar el brechamiento de la roca, dejando fragmentos deleznales y sueltos (Figura IV.10).

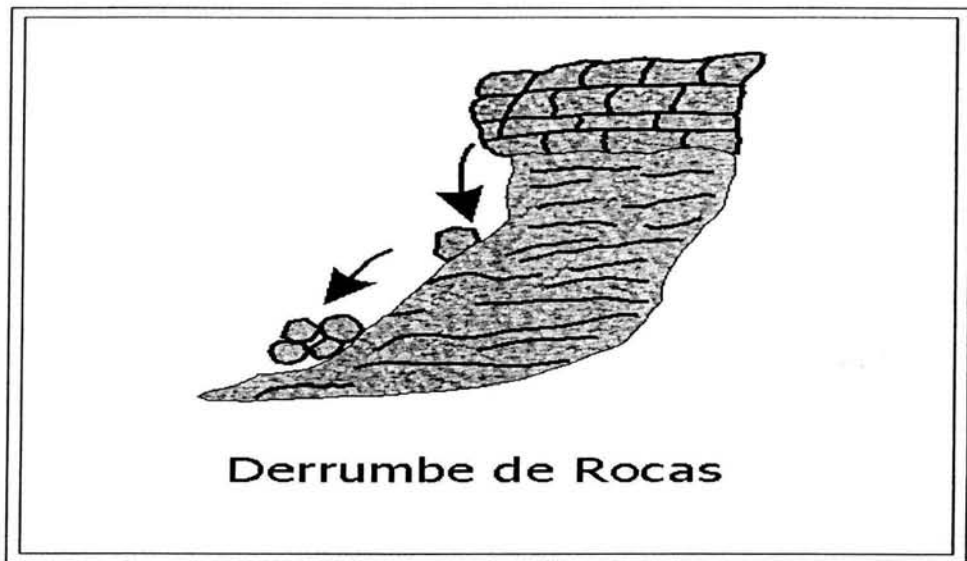


Figura IV.10: El derrumbe de rocas es un proceso rápido que se produce al desprenderse rocas de laderas abruptas, escarpes, cavidades o bóvedas. (González et. al., 2002).

IV.2.1.8. Combinado.

Este tipo de movimientos se refieren principalmente a la combinación de dos o más mecanismos de falla. Muchos deslizamientos son combinados pero generalmente un tipo de movimiento predomina espacial o temporalmente sobre los otros (Canuti et al., 1992).

Estos movimientos ocurren cuando el tipo de movimiento inicial se transforma en otro al ir deslizándose ladera abajo, entre los más importantes cabe destacar los aludes o avalanchas de roca y los flujos deslizantes. Las avalanchas o aludes consisten en la movilización a gran distancia de grandes masas de rocas y detritos, las cuales viajan a gran velocidad. Los flujos deslizantes son resultado del colapso repentino de una masa de material granular o de detritos que viajan a velocidades rápidas o extremadamente rápidas, como resultado de un efecto perturbador. El material involucrado es metaestable, con una estructura suelta y con alta porosidad. Durante el colapsamiento, la carga del terreno es transferida a los fluidos de los poros (generalmente agua), lo que ocasiona un incremento en la presión que provoca la pérdida de resistencia, originando el flujo deslizante (Hutchinson, 1988). Por lo general, la morfología resultante es alargada y estrecha, y el área de depósito tiene un espesor relativamente bajo.

CAPÍTULO V: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS EN LA LADERA SW DEL CERRO DEL CHIQUIHUIE.

Los deslizamientos son uno de los procesos dinámicos más importantes que afectan a la Sierra de Guadalupe, y en este caso, específicamente a la ladera SW del Cerro del Chiquihuite, en las colonias San Juan - Guadalupe y Candelaria.

Para el reconocimiento en campo, se elaboraron dos tipos de fichas, la primera contiene la siguiente información: ubicación, coordenadas, dimensiones, forma, mecanismo de falla y observaciones, acompañada de una fotografía del mecanismo de falla. La segunda ficha fue una descripción por afectación a vivienda de ambas colonias, en ésta se identifica a la vivienda, colonia, dirección, coordenadas, croquis de localización, descripción de peligros y una fotografía del mecanismo de falla, como ejemplo se presenta la Figura V.1. en la que se muestra una falla lítrica asociada con otros tipos de deslizamiento, en este caso por volteo.

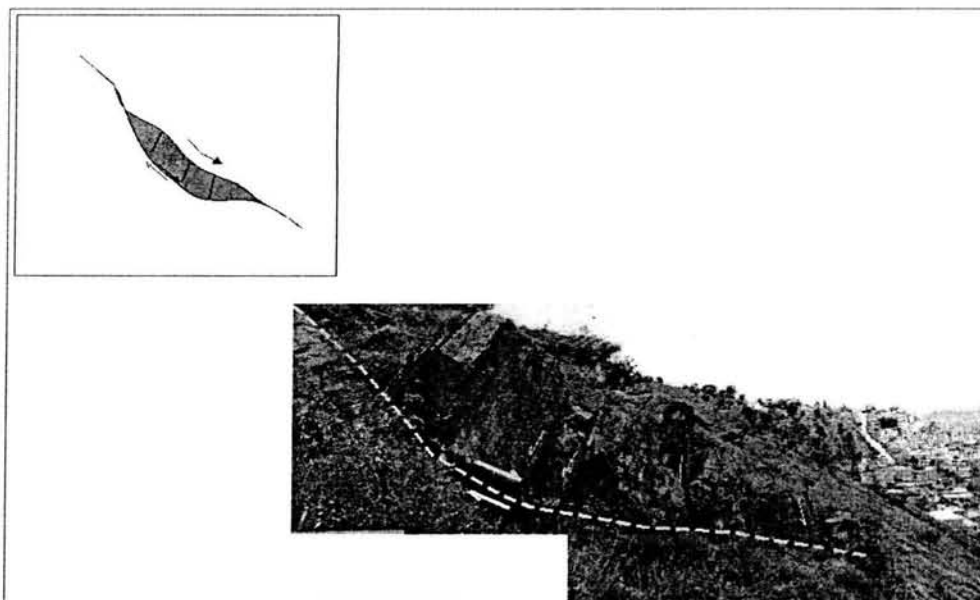


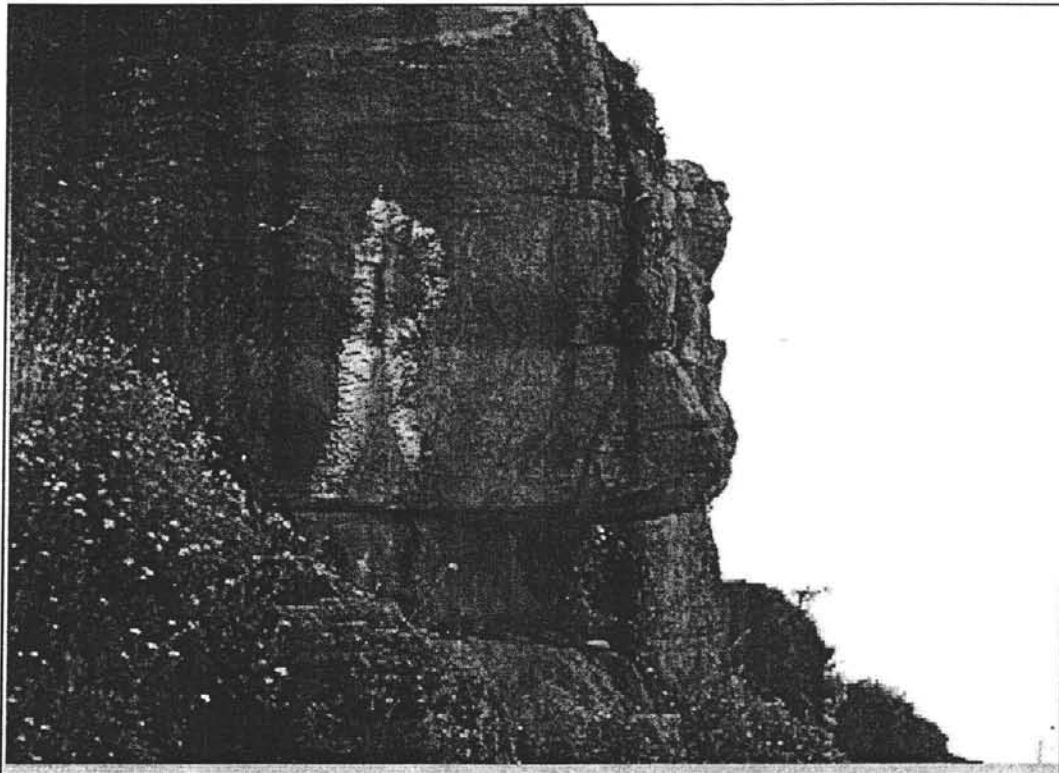
Figura V.1. Deslizamiento de ladera por medio de una falla lítrica, en la Colonia San Juan y Guadalupe, (Servicio Geológico Metropolitano, 2002).

A continuación se presentan las fichas por zona: San Juan y Guadalupe (diez fichas), Candelaria (cinco fichas) y Por Afectación a Viviendas (siete fichas). En la Figura V.2. un plano en el que se muestra la distribución de mecanismos de falla identificados en campo.

Zona
San Juan y Guadalupe.

Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mec. De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
San Juan y Guadalupe	486268	2158521	2.9	2.2	2.6	Cúbica	Volteo y caída de roca.	Alto	VO-1

Observaciones: El bloque y la base presentan estratificación con una orientación (N80°E-2°NW) y tiene fracturamiento que es perpendicular a ella. La fractura vertical que delimita al bloque en la parte trasera tiene una orientación N10°W y se acuña hacia la base (42 cm de separación arriba y 0.05 cm abajo) además se encuentra rellena de aluvión, arcilla y vegetación hacia la parte superior. Una porción del bloque está en cantiliver pero el centro de masa del bloque descansa sobre la base.



Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mecanismo De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
San Juan y Guadalupe	486369	2158601	3.8	2.9	2.1	Rectangular	Volteo y caída de roca.	Medio	VO-2

Observaciones: Conjunto de bloques con estratificación. Atrás de este punto se encuentra un macizo que es atravesado por dos importantes fracturas. El fracturamiento presente entre el conjunto de bloques tienen una orientación al N30°W-83°SW y S10°E-71NE, es continuo y los espacios están rellenas de arcilla y en la cima hay abundante vegetación y representa una zona de infiltración.



Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mecanismo De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
San Juan y Guadalupe	486336	2158568	0.9	0.8	1.95	Rectangular	Volteo	Alto	VO-3

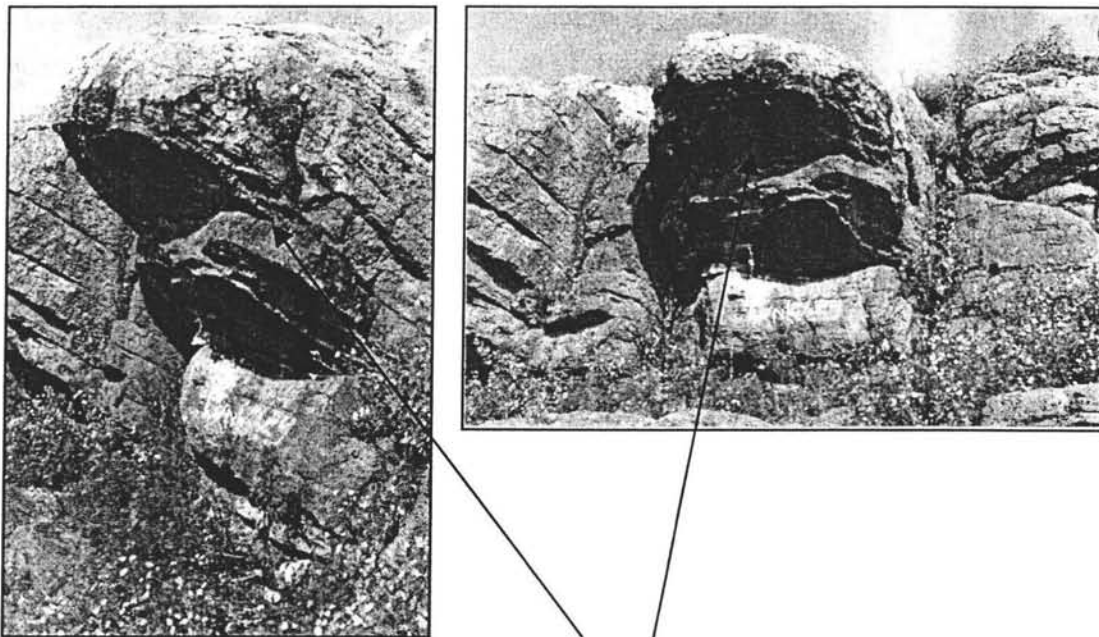
Observaciones: Bloque rectangular, con estratificación que presenta fracturamiento perpendicular. La fractura que se encuentra atrás del bloque tiene una abertura en la parte superior de 6 cm y de 2 cm en la parte inferior, y está rellena de arcilla y aluvión. Los datos de rumbo y echado de la fractura son S 65 ° W-85° NW. Se nota un fracturamiento vertical sistemático que separa a los bloques con crecimiento de vegetación entre éste.

Árboles creciendo entre fracturas.



Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mec. De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
San Juan y Guadalupe	486268	2158521	1.83	1.9	3.7	Rectangular	Volteo	Medio	VO-4

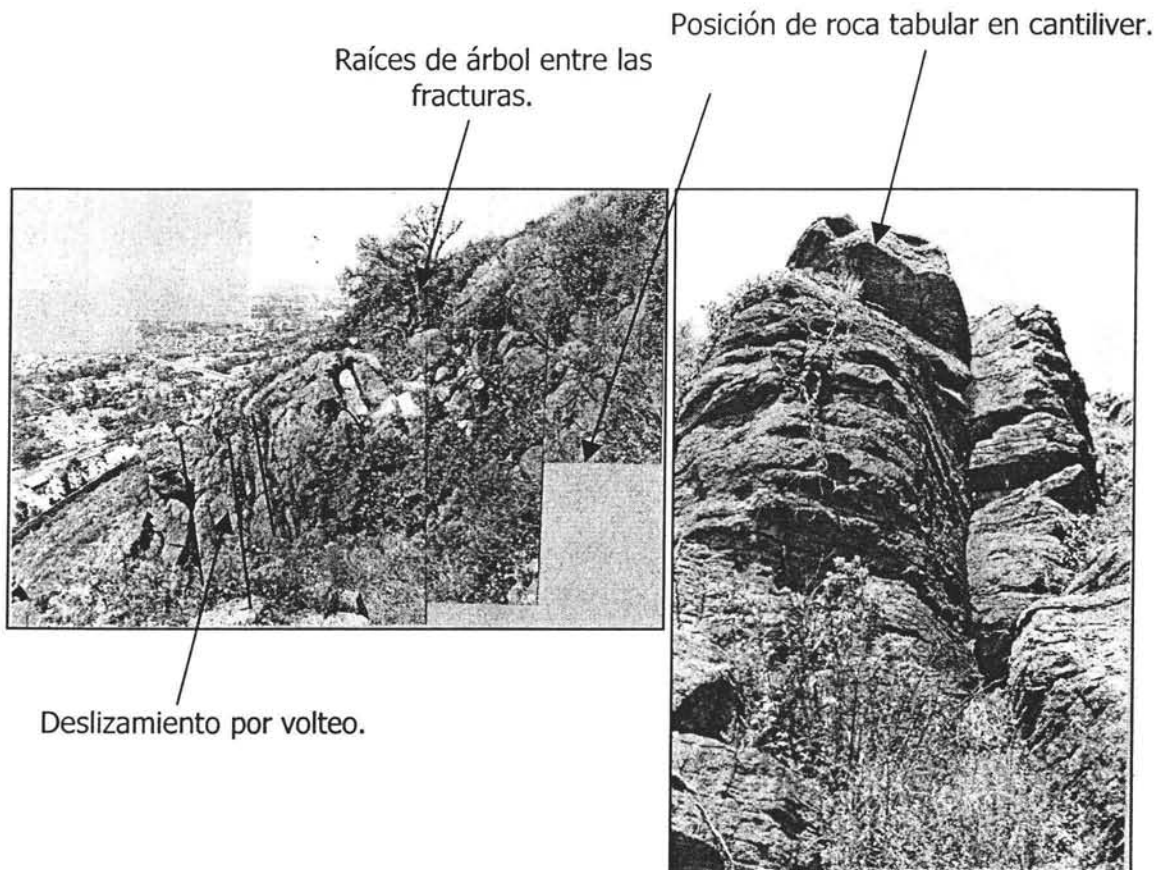
Observaciones: Bloque de forma rectangular, estratificado, la superficie de apoyo buza en sentido contrario a la pendiente lo que favorece su estabilidad, pero una parte del bloque está en cantiliver. El espacio entre las fracturas es de 10 cm. Es zona de escurrimiento y hay arcilla con vegetación entre las fracturas.



Posición de roca en cantiliver.

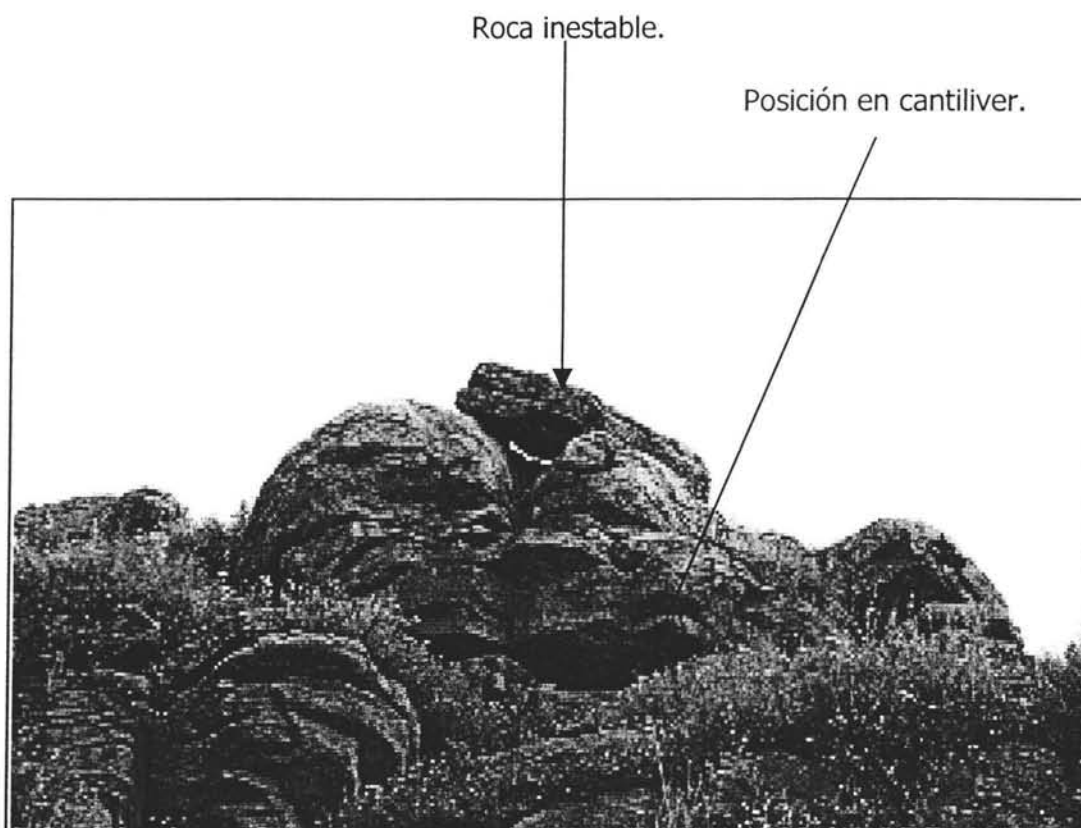
Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mec. De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
San Juan y Guadalupe	486355	2158582	1.5	2.3	6	Rectangular	Deslizamiento	Alto	DE-4

Observaciones: Bloque rectangular, estratificado, en una zona escarpada, con fuerte pendiente. Entre las fracturas crece vegetación lo cual es desfavorable a la estabilidad. Existe una fractura vertical perpendicular a los planos de pseudoestratificación, lo que delimita y separa a los bloques. Se aprecian rasgos de disgregación mecánica. Zona de escurrimiento.



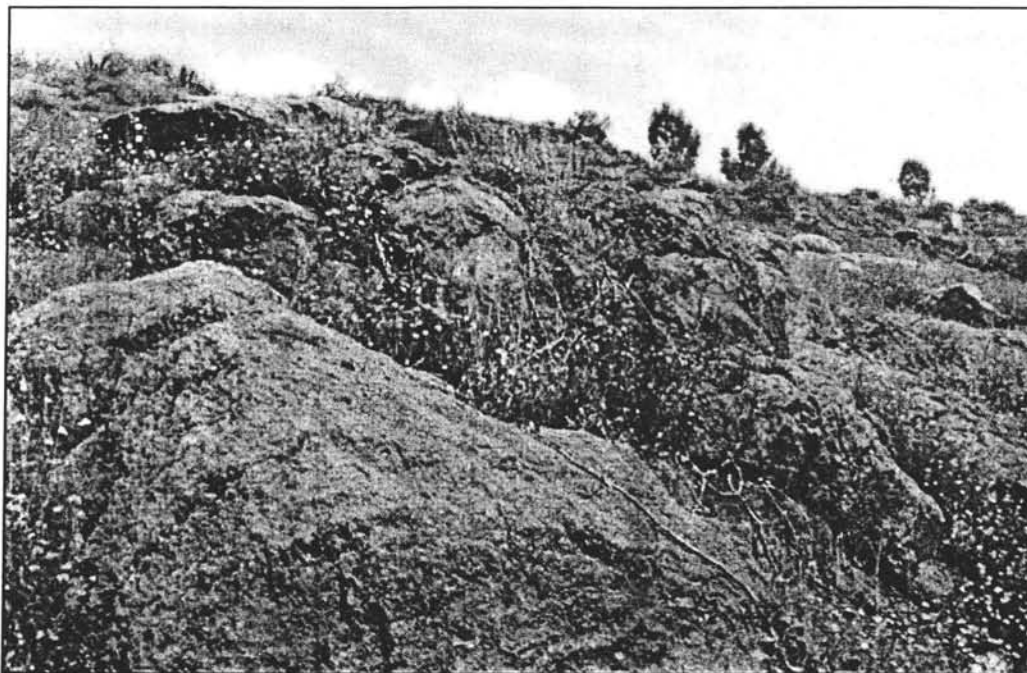
Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mec. De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
San Juan y Guadalupe	486308	2158536	3.4	3.1	2.86	Tabular	Deslizamiento y caída de roca.	Alto	DE-5

Observaciones: Conjunto de bloques estratificados. Se nota que el macizo ha tenido disgregación mecánica. Se tiene una pendiente mayor a 40°. El conjunto de bloques puede disgregarse en fragmentos irregulares si se produjera deslizamiento. Existe un bloque tabular apoyado sobre el conjunto de bloques. Algunas rocas del punto 4 presentan formas redondeadas.



Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mec. De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
San Juan y Guadalupe	486370	2158601	2	0.7	0.7	Rectangular	Caída de roca.	Medio	CA-1

Observaciones: Conjunto de bloques pseudoestratificados, alterados y fracturados apilados sobre suelo y vegetación.



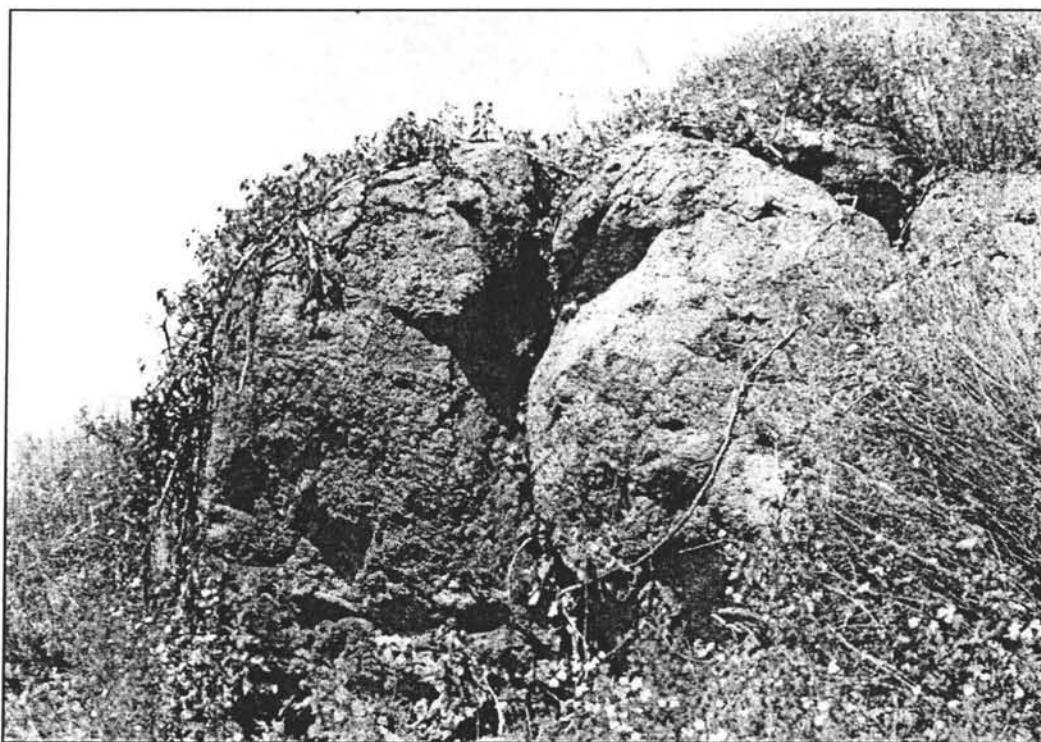
Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mec. De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
San Juan y Guadalupe	486259	2158522	1.4	1	0.7	Rectangular	Caída de roca.	Alto	CA-2

Observaciones: Bloque rectangular con aristas redondeadas, pseudoestratificado e intemperizado. Se encuentra en una zona de fuerte pendiente de más de 30°. Las superficies de contacto con los bloques subyacentes son rugosas. También hay arcilla y vegetación. Se encuentra cerca del muro ecológico.



Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mec. De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
San Juan y Guadalupe	486403	2158623	2.3	1.1	1.7	Rectangular	Caída de roca.	Alto	CA-3

Observaciones: Conjunto de grandes bloques rectangulares con aristas redondeadas, en una zona de fuerte pendiente. Las medidas son del bloque de la izquierda, que es el que se encuentra en una posición crítica. En algunas partes hace contacto con roca pero en su mayoría está relleno de arcilla y vegetación. Existe humedad en la zona. En la base del bloque la pendiente es de 59° al SE.



Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mec. De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
San Juan y Guadalupe	486478	2158691	1.6	0.75	2	Irregular	Caída de roca.	Alto	CA-4

Observaciones: Bloque irregular, masivo y fracturado, en la parte superior está cubierto de aluvión. Presenta fracturamiento vertical que hace que el bloque este fragmentado. Las superficies de fractura son rugosas.

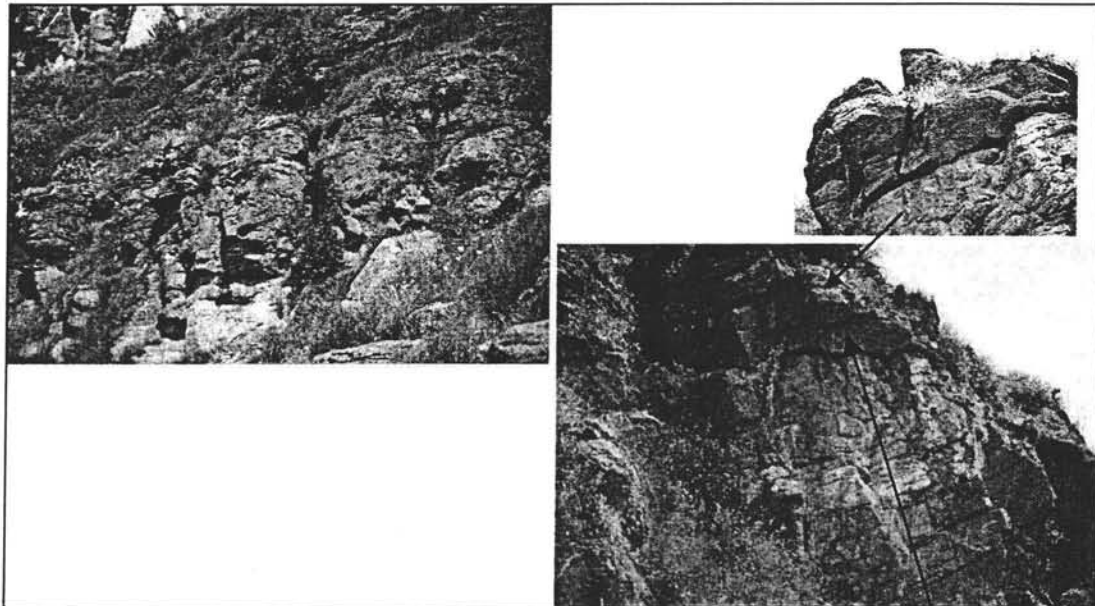


Zona

Candelaria

Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mec. De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
Candelaria	485916	2158782	--	--	--	Irregular	Deslizamiento y caída de roca.	Medio	DE-1

Observaciones: Bloque de forma irregular, seudoestratificado e intemperizado localizado en zona de escurrimiento con abundante presencia de vegetación entre sus fracturas. La parte superior del bloque se encuentra muy fracturada. El bloque se encuentra en una pendiente mayor a 80°, lo que provocaría su deslizamiento pendiente abajo.

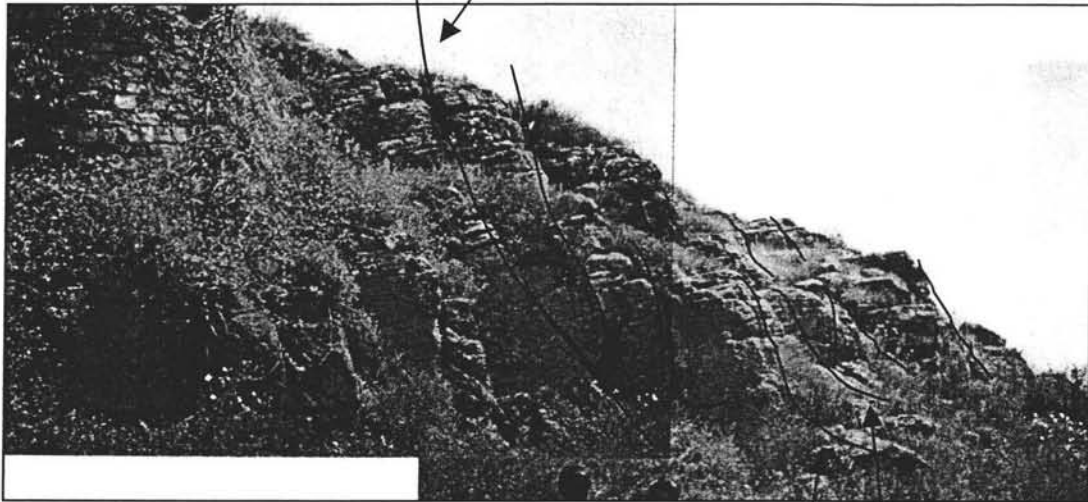


Rocas en Cantiliver.

Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mec. De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma	Deslizamiento por falla rotacional y combinado	Medio	DE-2
Candelaria	485899	2158703	--	--	--	Irregular			

Observaciones: Conjunto de bloques estratificados localizados en una pendiente de aproximadamente 35 grados, con abundante vegetación y zona de escurrimiento.

Plano de falla lístrica.



Planos de falla secundaria.

Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mec. De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
Candelaria	486268	2158521	--	--	--	Irregular	Deslizamiento Combinado.	Alto	DE-3

Observaciones: Conjunto de bloques pseudoestratificados de grandes dimensiones con una pendiente de aproximadamente 50°, con fracturamiento perpendicular a la pseudoestratificación, superficies pulidas entre las fracturas con escaso relleno arcilloso y con presencia de vegetación entre las fracturas.

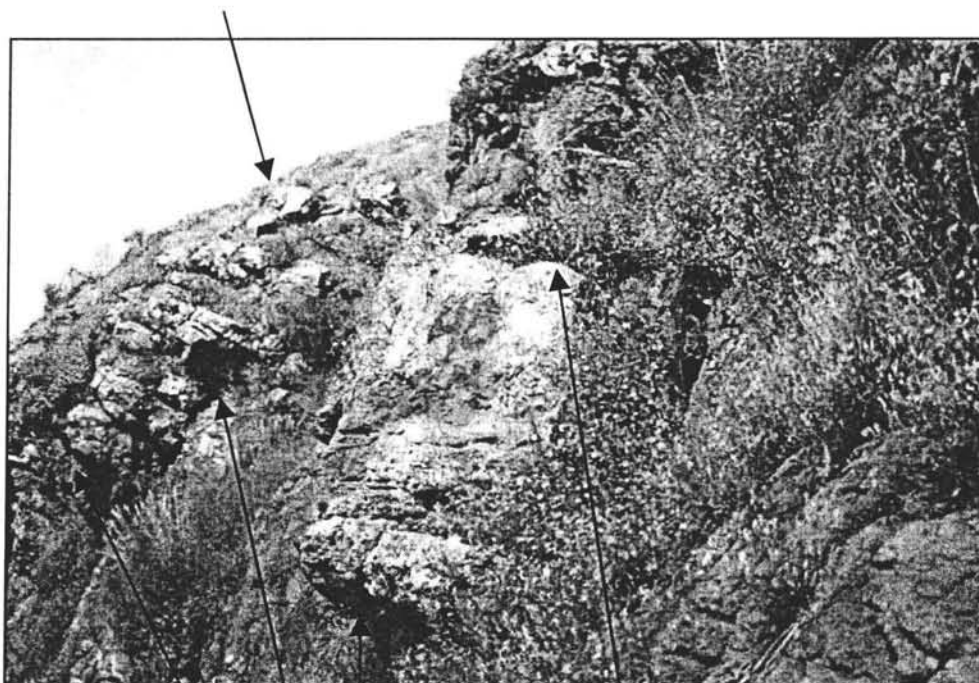


Planos de falla.

Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mec. De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
Candelaria	485950	2158766	1.7	1.4	1.7	Subredondeada	Deslizamiento Combinado.	Medio	DE-6

Observaciones: Bloque pseudoestratificado el cual descansa sobre otro que tiene una posición en cantiliver, la superficie entre ambos bloques es lisa, lo que facilitaría su desplazamiento pendiente abajo. El bloque presenta un fracturamiento perpendicular a la pseudoestratificación, estas fracturas están rellenas de aluvión con abundante vegetación entre ellas. El bloque se encuentra en una zona con pendiente aproximada de 60°.

Grupo de rocas por rodamiento.



Falla Plana.

Bloques en Cantiliver.

Ubicación	Coordenadas UTM		Dimensiones (m)				Mec. De Falla	Nivel de peligro	Clave (Mapa)
	X	Y	Largo	Ancho	Altura	Forma			
Candelaria	485922	2158789	2.4	0.9	4.6	Irregular	Volteo	Alto	VO-5

Observaciones: Conjunto de bloques de composición dacítica, con seudoestratificación (S40E-22N) y fracturamiento perpendicular. En la parte posterior del bloque tiene una fractura con apertura de 6cm que se acuña hacia abajo. Algunas fracturas perpendiculares a la seudoestratificación presentan una apertura de 2-3 cm y un relleno de aluvión. Presencia de vegetación entre las fracturas con poca erosión.



Bloques Tabulares.



Rocas en Cantiliver.

Descripción por
afectación a viviendas.

Número De Vivienda	Colonia	Dirección	Coordenadas UTM		Mec. De Falla	Nivel de peligro
			X	Y		
V1	San Juan y Guadalupe	Lote 8	486495	2158531	Caída de roca.	Alto

Descripción:

En el límite de esta vivienda se observa un conjunto de bloques que pertenecen a un flujo de lava de composición dacítica, el cual presenta las siguientes características; los bloques son masivos de color gris oscuro debido al intemperismo, de forma tabular (los que se encuentran en la base); y subredondeados los que están en la cima. Los bloques tabulares se encuentran limitados por fracturas verticales con un espaciamiento de más de 10 cm que se acuñan hacia la base. Están rellenas de aluvión, basura y en la parte superior hay vegetación.

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN:



FOTO DE LA ESTRUCTURA:



Número De Vivienda	Colonia	Dirección	Coordenadas UTM		Mec. De Falla	Nivel de peligro
			X	Y		
V2	San Juan y Guadalupe	Lote 7	486491	2158514	Caída y deslizamiento de roca.	Alto

Descripción:

En el límite de esta vivienda se observa un conjunto de bloques que pertenecen a un flujo de lava de composición dacítica, el cual presenta las siguientes características; los bloques son masivos de color gris oscuro debido al intemperismo, de forma tabular (los que se encuentran en la base); y subredondeados los que están en la cima. En la parte inferior de los bloques subyace una brecha volcánica de explosión con un color de intemperismo pardo rosa con clastos de forma subangulosa dentro de una matriz limo-arcillosa, en general, el material es deleznable y susceptible a la erosión, debido al exceso de humedad.

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN:



FOTO DE LA ESTRUCTURA:



Número De Vivienda	Colonia	Dirección	Coordenadas UTM		Mec. De Falla	Nivel de peligro
V3	San Juan y Guadalupe	Lote 5 y 6	X 486530	Y 2158481	Caída de roca.	Alto

Descripción:

En el límite de esta vivienda se observa un conjunto de bloques que pertenecen a un flujo de lava de composición dacítica, el cual presenta las siguientes características; los bloques son masivos de color gris oscuro debido al intemperismo, de forma tabular (los que se encuentran en la base); y subredondeados los que están en la cima. Los bloques tabulares se encuentran limitados por fracturas verticales con un espaciamiento de más de 10cm que se acuñan hacia la cima delimitando los bloques en varios tamaños; algunas se encuentran rellenas de aluvión, y hay abundante vegetación. Un bloque tiene un cable de retención que se apoya sobre un bloque de menor tamaño cuya inestabilidad afectaría a todo el conjunto.

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN:



FOTOS DE LA ESTRUCTURA:



Falla plana.

Número De Vivienda	Colonia	Dirección	Coordenadas UTM		Mec. De Falla	Nivel de peligro
			X	Y		
V5	San Juan y Guadalupe	Lote 12	486443	2158475	Volteo	Alto

Descripción:

Conjunto de bloques masivos de color gris oscuro debido al intemperismo, de composición dacítica, de forma tabular (los que se encuentran en la base) y subredondeados los que están en la cima. Los bloques tabulares se encuentran limitados por fracturas verticales con un espaciamiento de más de 10 cm que se acuña hacia la cima, delimitando los bloques en varios tamaños; algunas se encuentran rellenas de aluvión, existe abundante vegetación además de un exceso de humedad.

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN:

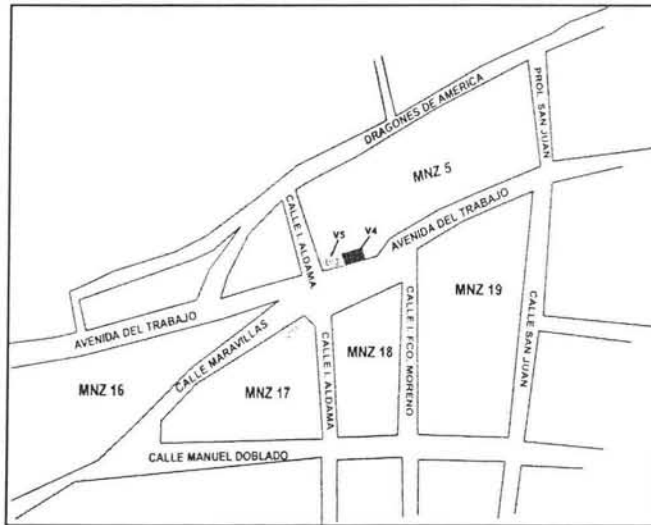
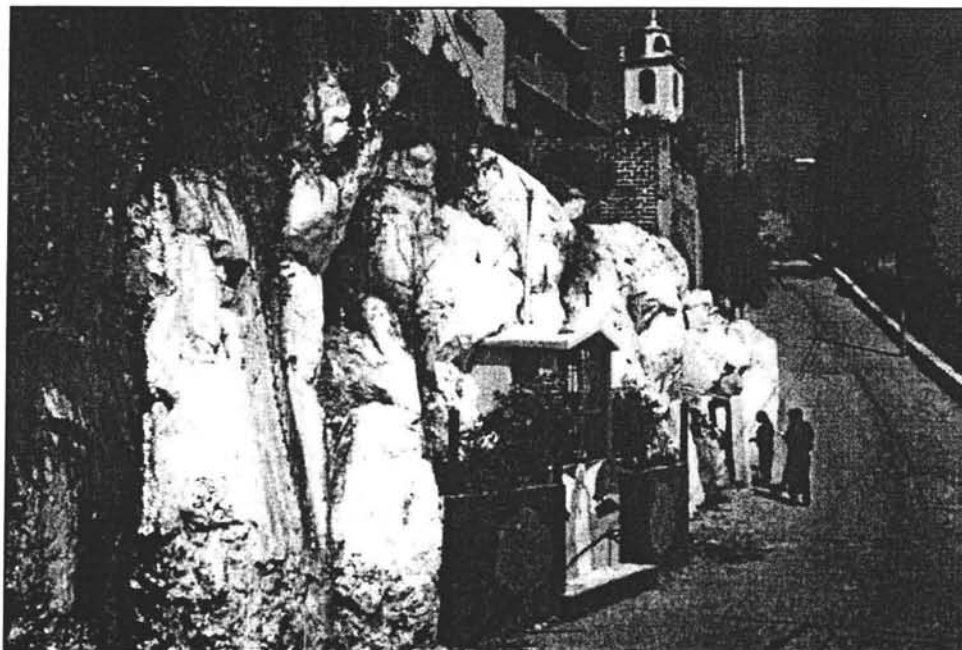


FOTO DE LA ESTRUCTURA:

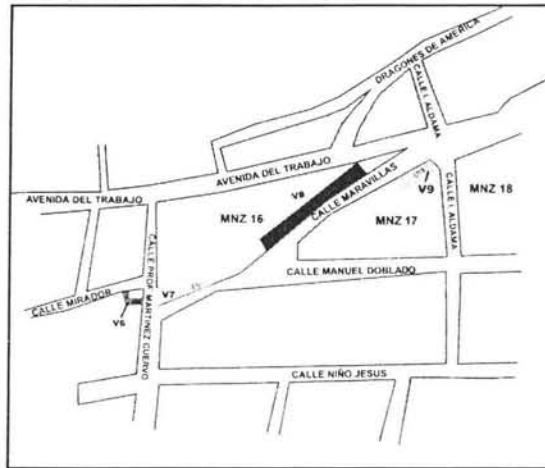


Número De Vivienda	Colonia	Dirección	Coordenadas UTM		Mec. De Falla	Nivel de peligro
			X	Y		
V9	San Juan y Guadalupe	Lote 10	486404	2158462	Caída de roca.	Alto

Descripción:

Frente rocoso masivo, intemperizado, con fracturamiento perpendicular en la base que delimita bloques en forma tabular. Las fracturas se encuentran rellenas de vegetación y raíces. En la parte superior hay bloques subredondeados y por lo menos 6 están en condiciones de inestabilidad. Se observan oquedades en el macizo resultado de antiguos desprendimientos. El riesgo es deslizamiento y caída de rocas.

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN:



FOTOS DE LA ESTRUCTURA:



Número De Vivienda	Colonia	Dirección	Coordenadas UTM		Mec. De Falla	Nivel de peligro
V2	Candelaria	Manzana 16 Lote 21	X 485747	Y 2158557	Caída de roca.	Alto

Descripción:

Conjunto de bloques pseudoestratificados, fracturados e intemperizados. Los bloques se encuentran en cantiliver. Los planos de pseudoestratificación delimitan a los bloques sirviendo como superficies de desprendimiento. Se observan fracturas por tensión. La base se encuentra erosionada, así como en cada pseudoestratificación. La vegetación que crece entre fracturas es escasa. Se presenta fracturamiento con orientación: S 81°E - 85° NE, S52° E - 85° NE, S 86° W - 90°. Los datos de pseudoestratificación son: S 53° W - 3° SE.

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN:

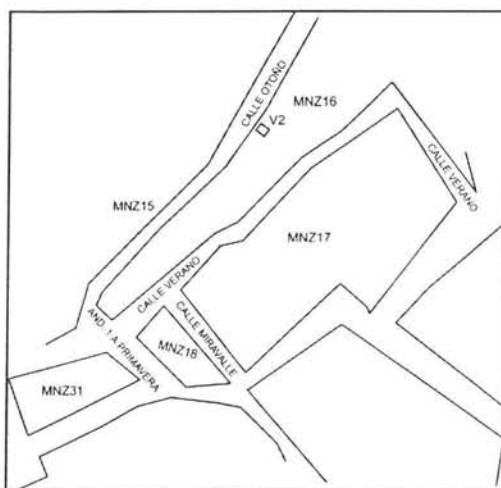


FOTO DE LA ESTRUCTURA:



Número De Vivienda	Colonia	Dirección	Coordenadas UTM		Mec. De Falla	Nivel de peligro
			X	Y		
V6	Candelaria	Manzana 16 Lote 32	485629	2158518	Caída de roca.	Alto

Descripción:

Frente rocoso, fracturado, con escasa vegetación y arcilla entre las fracturas, presenta escurrimiento de agua. Arriba existen construcciones. Se observa infiltración de agua a través de las fracturas de las rocas; los espacios están rellenos de aluvión. Los planos de pseudoestratificación y el fracturamiento vertical define bloques tabulares, algunos de los cuales han perdido su base y están en cantiliver; 3 bloques están en esa situación. Las dimensiones de algunos bloques son: largo=3.2 m, ancho=2 m alto=0.4 m ; largo=1.2 m, ancho= 0.8 m, alto= 1.5 m. En general el proceso constructivo es deficiente; en una casa de 3 niveles se observa que en cada piso los ejes de las columnas se desfasan. Las columnas se desplantaron en el macizo de forma deficiente. En una zapata corrida de cimentación se presenta pandeo.

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN:



FOTO DE LA ESTRUCTURA:



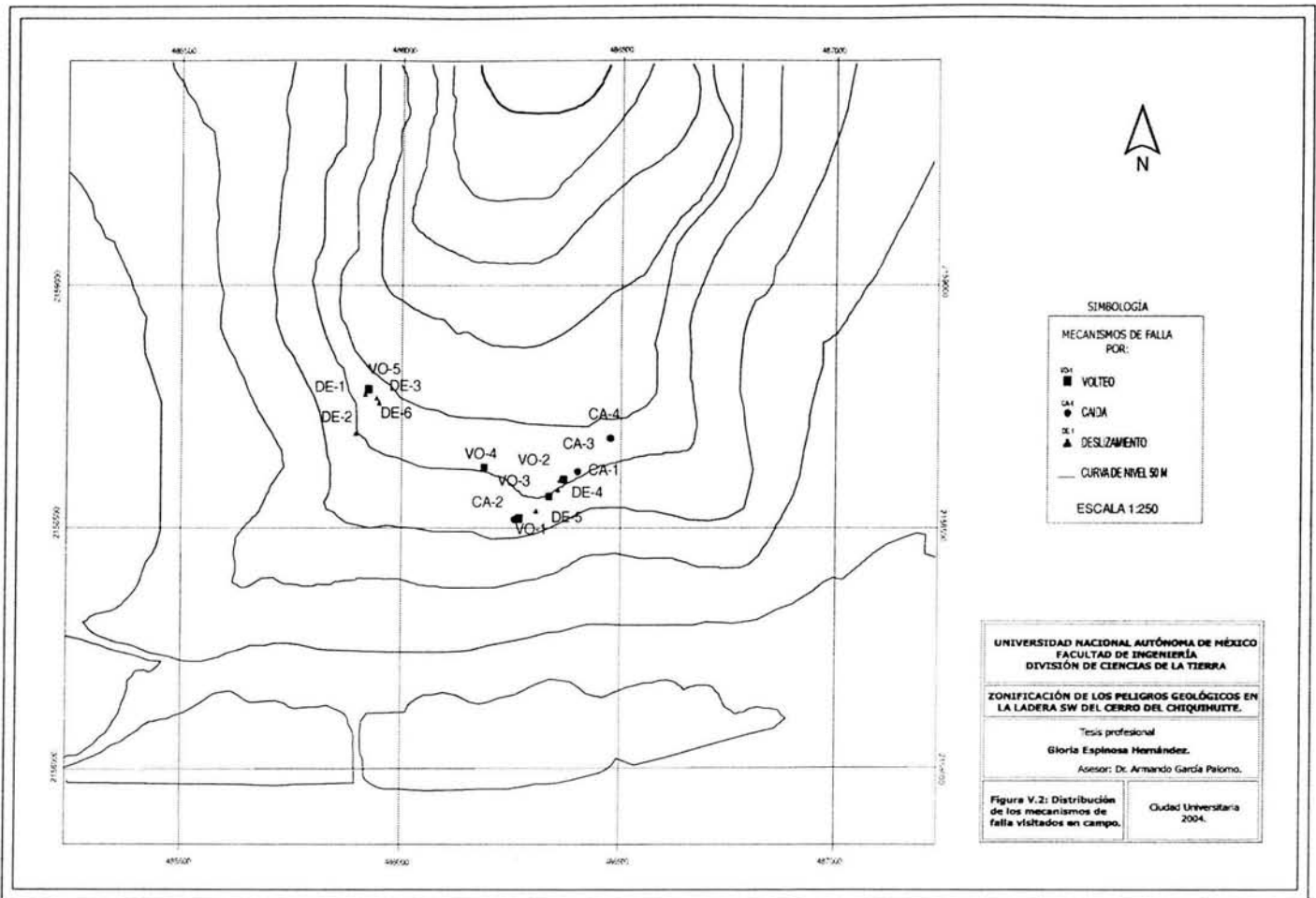


Figura V.2 Distribución de los mecanismos de falla visitados en campo.

CAPÍTULO VI: MAPA DE PELIGROS POR DESLIZAMIENTO

La elaboración del mapa de peligros geológicos se basó en el cálculo y modelación en un Sistema de Información Geográfica (SIG) (ILWIS 3.0). Se obtuvieron dos mapas de zonificación de peligro.

El primero se generó a partir de 5 zonas en donde se consideraron las siguientes variables:

*Geología

*Topografía

*Pendientes

(Ver mapa anexo de peligros)

El segundo mapa se realizó a partir de un análisis local, cuya área fue delimitada con base en los datos de densidad y espaciamiento del fracturamiento levantados en campo. Se emplearon las siguientes variables:

*Mapa de peligros de las cinco zonas

*Densidad y apertura del fracturamiento (direcciones NE-SW y SE-NW).

El método y los criterios para la generación del primer mapa se explican a continuación.

La cartografía geológica es referida en el apartado correspondiente, pero cabe resaltar que por la naturaleza y características propias de las unidades estratigráficas, se utilizaron solamente aquellas que representan una mayor amenaza para la población asentada en el área de estudio, según observaciones de campo.

Dichas unidades se identifican con los nombres zona1, zona2, zona3, zona 4 y zona 5 (Figura VI. 1).

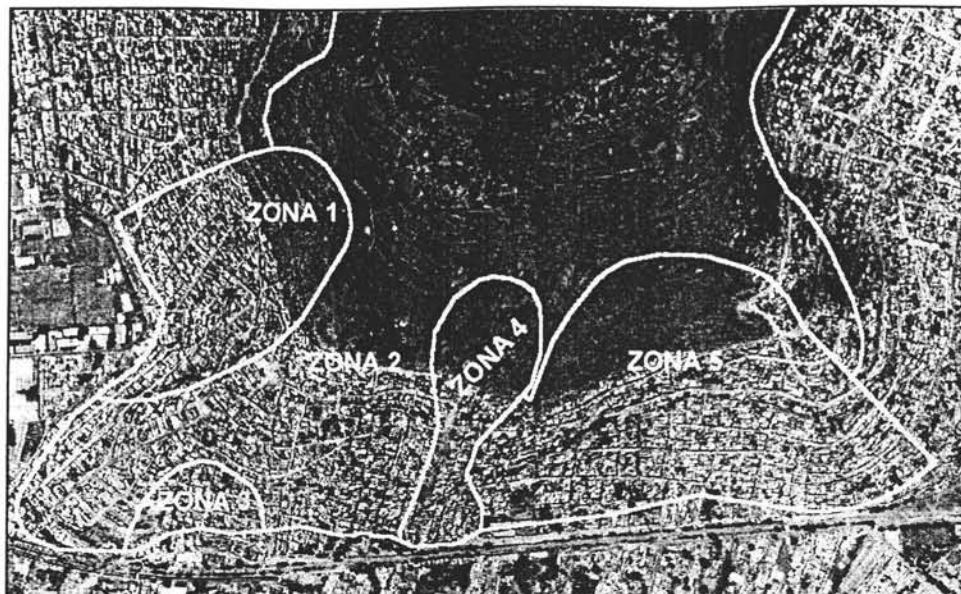


Figura VI.1: Delimitación de las zonas de peligro.

El mapa de pendientes fue generado a partir del modelo digital de elevaciones (Figuras VI.2 A y B), el cual, a su vez, fue calculado con las curvas de nivel del mapa de INEGI escala 1: 50,000. Se consideraron 3 rangos de pendiente:

Pendiente baja: 0-30°

Pendiente media: 30°-40°

Pendiente alta: >40°

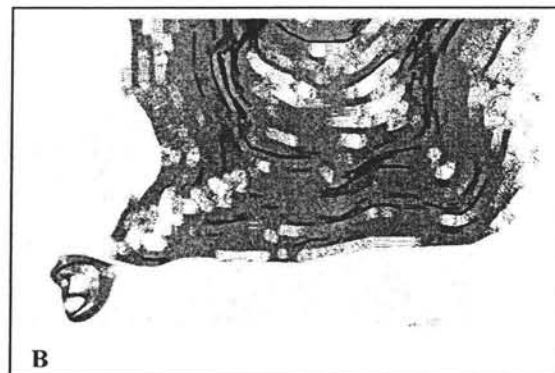
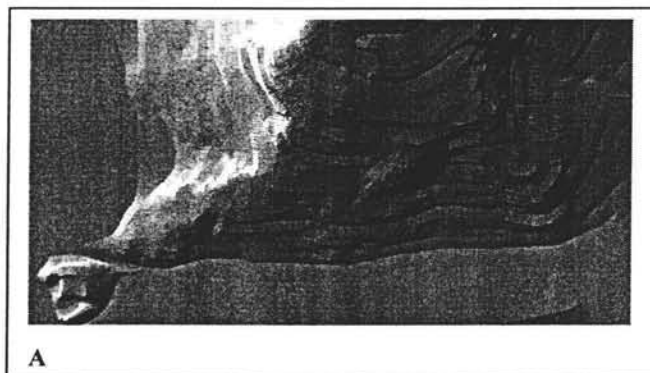


Figura VI.2: Modelo digital de elevación (A) y clases de pendientes (B).

Una vez individualizadas las unidades y tomando en consideración el mapa de pendientes, se establecieron los criterios que definen las áreas de alto, medio y bajo peligro para cada unidad.

Zona 1

UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	CLASES DE PENDIENTE	NIVEL DE PELIGRO
Talud	Baja	Bajo
	Media	Medio
	Alta	Alto
Dacita 2	Baja	Bajo
	Media	Alto
	Alta	Alto
Dacita 5	Baja	Medio
	Media	Alto
	Alta	Alto

Zona 2

UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	CLASES DE PENDIENTE	NIVEL DE PELIGRO
Coluvión	Baja	Bajo
	Media	Medio
	Alta	Alto
Dacita 2	Baja	Bajo
	Media	Medio
	Alta	Alto
Dacita 1	Baja	Bajo
	Media	Alto
	Alta	Alto
Dacita 5	Baja	Bajo
	Media	Alto
	Alta	Alto

Zona 3

UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	CLASES DE PENDIENTE	NIVEL DE PELIGRO
Talud	Baja	Bajo
	Media	Alto
	--	----
Dacita 2	Baja	Bajo
	Media	Medio
	Alta	Alto

Zona 4

UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	CLASES DE PENDIENTE	NIVEL DE PELIGRO
Coluvión	Baja	Bajo
	Media	Alto
	Alta	Alto
Talud	Baja	Medio
	Media	Alto
	Alta	Alto
Dacita 1	Baja	Bajo
	Media	Medio
	Alta	Alto
Dacita 5	Baja	Bajo
	Media	Medio
	Alta	Alto
Dacita 6	Baja	Bajo
	Media	Alto
	Alta	Alto
Dacita 4	Baja	Bajo
	Media	Alto
	Alta	Alto

Zona 5

UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	CLASES DE PENDIENTE	NIVEL DE PELIGRO
Talud	Baja	Medio
	Media	Alto
	Alto	Alto

El método y los criterios para la generación del mapa de zonificación local son los siguientes (Figura VI.3):

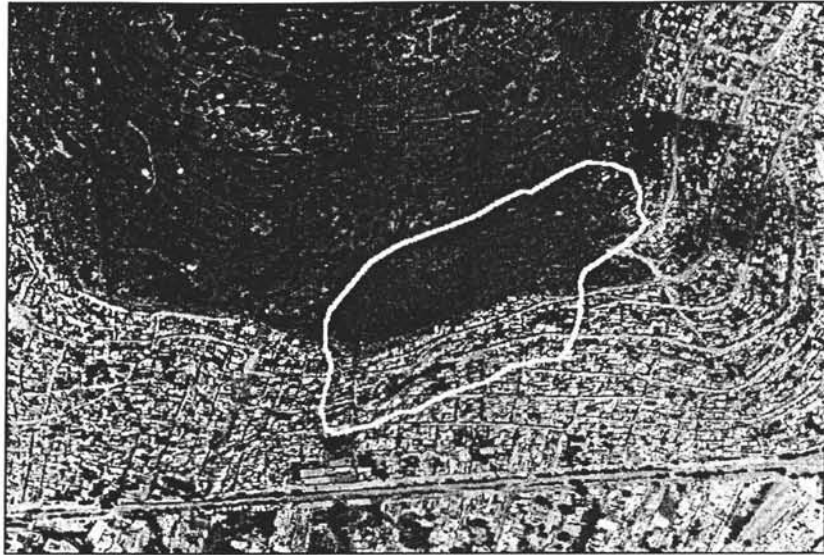


Figura VI.3: Ubicación de la zonificación local.

Los datos de espaciamiento y densidad de fracturas se interpolaron, usando el método estadístico Kriging, con direcciones NE-SW y SE-NW (Figuras VI.4 A y B).

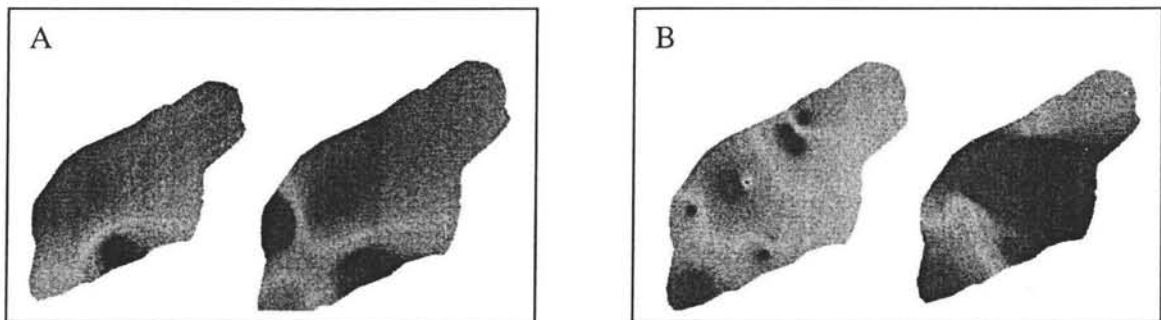


Figura VI.4: Interpolaciones de apertura y densidad en las direcciones: NE-SW (A) y SE-NW (B).

Con los mapas arriba mencionados se generaron las siguientes clases:

APERTURA(cm)		DENSIDAD		CLASE
NE-SW	NW-SE	NE-SW	NW-SE	
0-3.5	0-2.5	0-110	0-100	Baja
3.5-4.0	2.5-4.5	110-150	100-160	Media
>4.0	>4.5	>150	>160	Alta

De los cuatro mapas generados, se reclasificaron tanto los dos mapas de densidades (correspondientes a los dos rumbos) como los dos mapas de apertura, obteniéndose dos mapas (Figuras VI.5 A y B), es decir, uno de cada variable:

APERTURA

NE – SW	NW - SE	NIVEL DE PELIGRO
Baja	Baja	Baja
	Media	Baja
	Alta	Media
Media	Baja	Baja
	Media	Media
	Alta	Media
Alta	Baja	Media
	Media	Alta
	Alta	Alta

DENSIDAD

NE – SW	NW - SE	NIVELDE PELIGRO
Baja	Baja	Baja
	Media	Baja
	Alta	Media
Media	Baja	Baja
	Media	Media
	Alta	Media
Alta	Baja	Media
	Media	Alta
	Alta	Alta

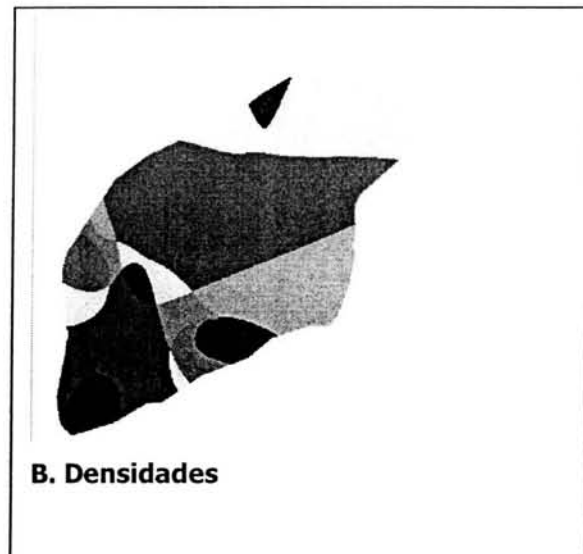
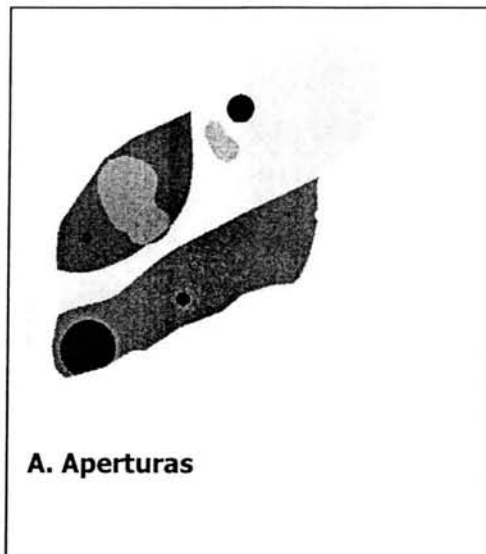


Figura VI.5: Mapas de aperturas (A) y densidades (B) de ambos rumbos NE-SW y NW-SE.

Los dos mapas anteriores se reclasificaron para obtener las clases de apertura baja, media y alta, y las densidades baja, media y alta (Figuras VI.6 A y B).

APERTURA	DENSIDAD	NIVEL DE PELIGRO
Baja	Baja	Baja
	Media	Baja
	Alta	Media
Media	Baja	Baja
	Media	Media
	Alta	Alta
Alta	Baja	Media
	Media	Alta
	Alta	Alta

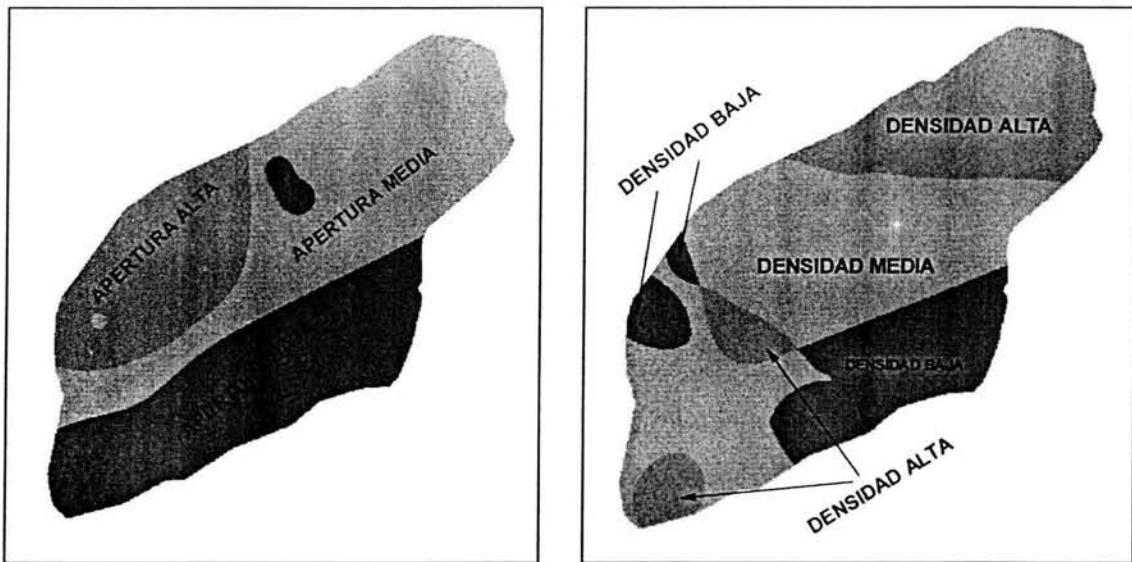


Figura VI. 6: Mapas de aperturas (A) y densidades (B) clasificados.

De los mapas anteriores se obtuvo un solo mapa que representa las áreas de alto, medio y bajo peligro por apertura-densidad de fracturamiento (Figura VI.7).

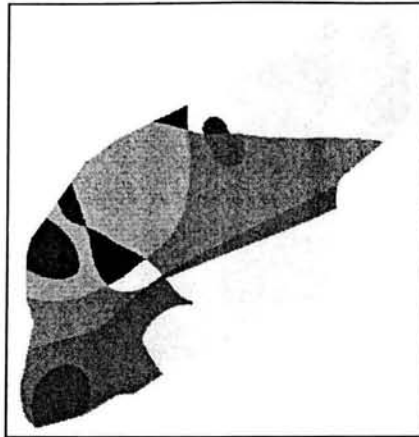


Figura VI.7: Áreas de alto, medio y bajo peligro por apertura-densidad de fracturamiento.

APERTURA-DENSIDAD	PELIGROS	NIVEL DE PELIGRO
Baja	Bajo	Bajo
	Medio	Medio
	Alto	Medio
Media	Bajo	Medio
	Medio	Medio
	Alto	Alto
Alta	Bajo	Medio
	Medio	Alto
	Alto	Alto

Por último, a partir del mapa general de peligros se generó el mapa local correspondiente a las colonias San Juan y Guadalupe. (ver mapa de zonificación local):

El mapa resultante muestra las áreas donde se conjugan las clases de densidad y apertura del fracturamiento (alta, media y alta) con el mapa de peligros geológicos.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio para la clasificación de los peligros geológicos en la ladera SW del Cerro del Chiquihuite, se enfocó a factores como la presencia de fallas, fracturas, erosión, intemperismo, presencia de agua y factores antrópicos que han contribuido directa o indirectamente a la modificación del relieve, favoreciendo la inestabilidad de taludes.

Se determinaron los mecanismos de falla que ponen en riesgo a los habitantes de las Colonias San Juan – Guadalupe y Candelaria.

Se identificaron cinco zonas de peligro geológico en la ladera SW del Cerro del Chiquihuite, generando así el mapa de peligros geológicos. A partir del mapa general de peligros se creó el mapa local correspondiente a las colonias San Juan y Guadalupe.

Las rocas se encuentran afectadas por fracturas o fallas de origen tectónico, el movimiento sobre estas estructuras puede ocasionar el brechamiento de la roca, dejando fragmentos deleznable y sueltos. La caída de estos materiales se presenta en laderas abruptas.

De acuerdo a estas consideraciones se recomienda:

- Utilizar la información generada en esta tesis para realizar una mejor planeación en la región, para evitar el crecimiento de la mancha urbana, hacia zonas de peligro por deslizamiento o zonas de reserva ecológica.
- Evitar la tala de árboles.
- Generar obras de drenaje apropiadas para evitar la infiltración en las zonas de alta densidad de fracturamiento.
- Evitar la modificación del relieve.
- Evitar construir cualquier tipo de obras en la región.
- Realizar las obras de mitigación pertinentes de acuerdo a cada zona.

BIBLIOGRAFÍA

Alcántara-Ayala I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificación, y terminología., Investigaciones Geográficas , Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, número 41, p. 9-25.

Arellano, A. R. V., (1948). La composición de las Rocas Volcánicas en la parte superior de la Cuenca de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo XIII, p. 81-82.

Arreygue R. E., Garduño M. H., Canuti P., Casaglie N., Iotti A., Chiesa S., (2001). Análisis geomecánico de la Inestabilidad del escarpe La Paloma, en la Ciudad de Morelia, Michoacán, México, p. 91-106.

Campa-Uranga, M. F., (1965). Análisis petrográfico de la Sierra de Guadalupe. Tesis, Ing. Geólogo. ESIA, IPN. México. (Inédita).

Canuti, P., Dramis, F., Esu, F., (1992). Le condizioni di instabilità dei pendii nei centri abitati. Principi e criteri generali ad uso degli Uffici Tecnici di Enti Pubblici: Bologna, Italia, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Linea 2, Pevisione e Prevenzione di fenomeni franosi a grande rischio, Tecnoprint, Pubblicazione, p. 100, 544.

De Cserna, Z., De La Fuente, D. M., Palacios, N. M., Triay, L., Mitre, S. L. M. y Mota P. R., (1988). Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México, Boletín 104, Instituto de Geología, UNAM, México, 71 p.

González V. L. I., Ferrer M. Ortuño L., Oteo C., (2002). Ingeniería Geológica, Pearson Educación Madrid. Prentice Hall.

Hernández, H. F. y Ramírez, J. H., (1982). Origen, estratigrafía y petrografía de la Cuenca de México y sierras circundantes. Tesis profesional, ESIA, IPN, México, D.F., p. 50-64.

Herrera-Castañeda, S. R. (2002). Estabilidad de taludes en Roca, Apuntes del Tercer Curso "Ing. Mariano Ruiz Vázquez", Estabilidad de Taludes en Roca. Sociedad Mexicana de Mecánica de Rocas, A.C. Ciudad de México. Octubre 9-12 del 2002.

Hutchinson, J.N. (1988). General report morphological and geotechnical landslides in relation to Geology and Hydrogeology. Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, Vol. I., edited by Chistopher Bonnad. p. 3-35.

INEGI, (1998). Hoja Cuautitlán, Clave E14 - A29, Escala 1: 50 000. INEGI.

INEGI, (2003). Página Web. WWW.inegi.gob.mx

Jacobo-Albarrán J.J., (1985). Estudio petrogenético de las rocas ígneas de la porción central del Eje Neovolcánico. Instituto Mexicano del Petróleo.

Lozano-Barraza L., (1968). Geología de la Sierra de Guadalupe, México, D.F., Instituto Politécnico Nacional, tesis profesional, p. 39

Lugo Hubp, J., (1989). Diccionario Geomorfológico. Coordinación de Ciencia, Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F.

Lugo Hubp J. y 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. Instituto de Geología, UNAM, México, pp. 240-251.

Mooser, F., (1956). Los ciclos del Vulcanismo que formaron la Cuenca de México: XX Congreso Geológico Internacional, México, Sección 1: Vulcanismo del Cenozoico, Tomo 2, p. 337-348.

Mooser, F., (1963). Historia Tectónica de la Cuenca de México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Vol.15, p. 239-246.

Mooser, F., (1972). The Mexican Volcanic Belt structure and tectonics. Geofísica Internacional , Vol.12, p. 55-70.

Mooser, F., (1975). Historia geológica de la Cuenca de México. Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo. DDF. Tomo 1, México. P. 9-38.

Mooser, F., (1988). Geología de la Cuenca de México. En Atlas de la Ciudad de México, 23-26. DDF y EL Colegio de México.

Ordóñez, Ezequiel, (1895). Las rocas eruptivas del Suroeste de la Cuenca de México. Boletín 2. Instituto Geológico de México, p. 14.

Ortega Gutiérrez, F., Mitre, S. L. M., Roldán, Q. J., Aranda G. J., Morán, Z. D. J., Alaniz, A. S. y Nieto, S. A. (1992). Texto explicativo de la quinta edición de la Carta Geológica de la República Mexicana, Escala 1:2 000 000 , Instituto de Geología, UNAM, Consejo de Recursos Minerales, SEMIP, p. 74.

Salinas M. A., (1994). Geomorfología de la Sierra de Guadalupe y riesgos naturales: UNAM, Facultad de filosofía y letras, tesis profesional, 102p.

Servicio Geológico Metropolitano, (2002). Proyecto "Evaluación de los peligros geológicos existentes en los sitios San Juan y Candelaria Ticomán", Delegación Gustavo A. Madero.

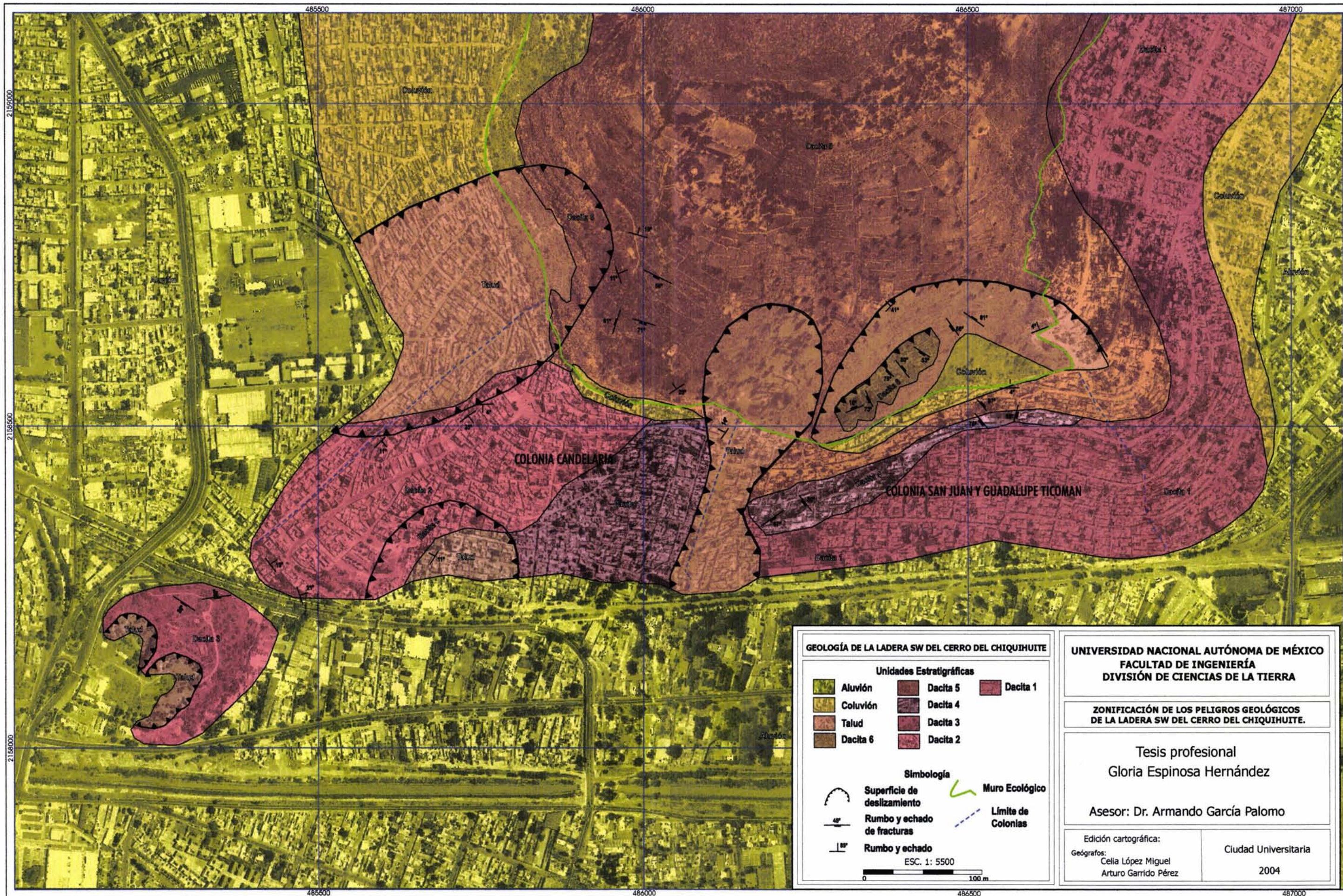
Varnes, D.J., (1984). Landslide hazard zonation; a review of principles and practice: Paris, United Nations, Educational, Scientific and Cultural Organizations (UNESCO), Natural hazards series, p. 3-63.

Vázquez, S. E., Jaimes P. R., (1989). Geología de la Cuenca de México. Geofísica Internacional, Vol. 28, Núm. 2, pp. 133-189.

Anexos

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA





GEOLOGÍA DE LA LADERA SW DEL CERRO DEL CHIQUIHUTE

Unidades Estratigráficas		
	Aluvión	Dacita 5
	Coluvión	Dacita 4
	Talud	Dacita 3
	Dacita 6	Dacita 2
	Dacita 5	Dacita 1

Simbología

	Superficie de deslizamiento		Muro Ecológico
	Rumbo y echado de fracturas		Límite de Colonias
	Rumbo y echado		

ESC. 1: 5500

0 100 m

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA

ZONIFICACIÓN DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS DE LA LADERA SW DEL CERRO DEL CHIQUIHUTE.

Tesis profesional
 Gloria Espinosa Hernández

Asesor: Dr. Armando García Palomo

Edición cartográfica:	Ciudad Universitaria
Geógrafos: Celia López Miguel Arturo Garrido Pérez	2004