

15
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA**

**ANALISIS GEOMORFOLOGICO DE LA DISTRIBUCION DE
RIESGOS NATURALES EN LA DELEGACION CUAJIMALPA DE
MORELOS, DISTRITO FEDERAL**



Tesis que presenta

Arturo García Romero

para obtener el grado de Licenciado en Geografía



Ciudad Universitaria, D.F., **15 de Septiembre de 1993.**
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

INDICE

Capítulo	Pag.
INTRODUCCION.....	1
I. PRINCIPIOS BASICOS DEL ESTUDIO DEL RIESGO	
NATURAL Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	
1.1 La geomorfología de los riesgos naturales.....	4
1.2 La influencia antrópica en el estudio de los riesgos.....	9
1.3 Alcances en la evaluación de los riesgos naturales.....	12
1.4 La clasificación de los riesgos naturales.....	13
1.5 Clasificación de riesgos naturales en la delegación Cuajimalpa.....	16
1.6 Planteamiento del problema.....	23

II. MARCO GEOGRAFICO DE LA DELEGACION CUAJIMALPA

DE MORELOS.

2.1 Localización.....	26
2.2 Aspectos fisiográficos.....	26
2.3 Clima.....	28
2.4.Hidrología.....	34
2.5 Vegetación.....	37
2.6 Suelos.....	40

III. DESCRIPCION GEOLOGICA, TECTONICA Y VULCANISMO.

3.1 Descripción geológica.....	44
3.2 Tectónica y vulcanismo.....	55
3.3 Estratigrafía.....	61

IV RELIEVE DE LA DELEGACION CUAJIMALPA

IV.1 MORFOMETRIA.

4.1 Altimetría.....	76
4.2 Densidad de la disección.....	84
4.3 Profundidad de la disección.....	91
4.4 Pendientes.....	96

4.5 Estructuras disyuntivas.....	102
4.6 Intensidad de erosión.....	109
4.7 Susceptibilidad a procesos de inestabilidad de vertientes.....	118
IV. 2 GEOMORFOLOGIA	
4.8 Relieve endógeno.....	121
4.9 Relieve endógeno modelado.....	122
4.10 Relieve exógeno.....	124
V USO DEL SUELO.....	137
VI EVALUACION DEL TERRITORIO.....	147
VII CONCLUSIONES.....	155
BIBLIOGRAFIA.....	158

INTRODUCCION

El problema de investigación que se presenta, se relaciona con el relieve de la Cuenca de México, el cual muestra una morfodinámica compleja y acelerada, que sumada a la estructura interna y a los elementos tectónicos que existen en la región, hacen de esta zona un caso especial en el contexto del Cinturón Volcánico Mexicano.

En este marco, el crecimiento urbano y de otros usos del suelo (agrícola, minero y forestal) que caracterizan a la delegación de Cuajimalpa, se emplazan en laderas de barrancos profundos, los cuales presentan evidencias de una acelerada dinámica erosiva. Esta actividad tiene probable relación con la tectónica de la Sierra de Las Cruces, que se manifiesta en un control de la disección lineal a partir de estructuras disyuntivas.

En este sentido, el presente trabajo se fundamenta en la realización de una cartografía para la evaluación de los riesgos naturales a escala detallada (1:20,000) de la delegación Cuajimalpa, a partir de una serie de cartas morfométricas y geomorfológicas originales, que muestran las características y dinámica del relieve, de lo que resulta una serie de proposiciones para la planeación del uso del suelo en dicha delegación.

El objetivo general se centra en el análisis de la estructura geológica y geomorfológica, con el propósito de mostrar los principales procesos del relieve y evaluar el impacto que estos tienen sobre los asentamientos humanos.

Para ello, se aplica la morfometría: parte del saber geomorfológico, mediante el cual se evalúa el relieve desde el punto de vista cuantitativo. En esta ocasión se realiza el análisis morfométrico de los valores de pendientes críticas, altitudes, frecuencia de estructuras disyuntivas, arreglo y distribución de la densidad y profundidad de la disección, intensidad de erosión, así como las características de la estructura geológica.

La tesis se estructura en seis capítulos. En el primero se describen aspectos teóricos referentes al estudio de los riesgos naturales, así como los criterios que se han usado para la elaboración de distintas clasificaciones. Además, se propone una clasificación de riesgos elaborada para la zona de estudio, así como una descripción de los elementos que la integran. Finalmente se hace el planteamiento del problema para el presente trabajo.

En el segundo capítulo se realiza la descripción general de los elementos del entorno natural más representativos y determinantes de la zona de estudio. Se describen de manera general el relieve, el clima, la hidrología, la vegetación y el suelo. Todos ellos constituyen elementos de apoyo en el análisis morfométrico que se efectúa en los siguientes capítulos.

El tercer capítulo incluye el análisis de la geología, donde se parte de la cronología de eventos geológicos resultado de las diversas etapas de actividad tectónico-volcánica de la Sierra de las Cruces. Se da especial atención a los depósitos de la Formación Tarango, ya que su distribución en este territorio coincide con el emplazamiento de los núcleos urbanos.

En el cuarto capítulo se realiza el análisis morfométrico de diversos mapas (escala 1:20,000): altimétrico, densidad de la disección, profundidad de la disección, pendientes, intensidad de erosión, además de los mapas de

distribución de estructuras disyuntivas, de susceptibilidad a procesos de inestabilidad de vertientes y del geomorfológico.

En el quinto capítulo se estudian los diferentes tipos de aprovechamiento del suelo, así como las implicaciones que tienen en estudios de riesgos, con apoyo en el mapa de uso del suelo actual de la delegación Cuajimalpa.

En el sexto capítulo se hace la evaluación del territorio a partir del mapa de evaluación del territorio. En este se presenta una zonificación a partir de la síntesis de los resultados obtenidos en los mapas anteriores.

I. PRINCIPIOS BASICOS DEL ESTUDIO DEL RIESGO NATURAL Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 La geomorfología de los riesgos naturales.

En el siglo XVIII comienza una serie de reformas a la concepción que se tenía del relieve terrestre, las cuales hicieron posible la aparición de la geomorfología del riesgo natural hacia la segunda mitad del presente siglo.

El primero de estos cambios consistió en el replanteamiento del estudio del relieve, el cual era considerado como un ente estático, cuya dinámica podía concebirse sólo en largos periodos de tiempo.

A partir de entonces se pensó que el relieve está sometido a las fuerzas cambiantes de la naturaleza y que los procesos erosivos y de acumulación pueden ser percibidos incluso en lapsos cortos (Verstappen, 1983).

Actualmente este enfoque se conoce como geomorfología dinámica, que centra su estudio en el conocimiento de las formas y procesos erosivos y tectónicos que en todo momento forman y erosionan el relieve.

Hacia la segunda mitad de este siglo, algunos autores como Russel (1949, en: Verstappen, 1983), señalaron la importancia de que la geomorfología debía traspasar el umbral del conocimiento puro e iniciar el camino hacia su aplicación directa en problemas del mundo real.

Estas ideas dan origen a la llamada geomorfología aplicada, en la cual se utilizan los estudios geomorfológicos en apoyo a la solución de algunos

problemas, mediante el mejor entendimiento de la dinámica del relieve y de su influencia en la sociedad.

Durante las décadas de los años 50 y 60 se presenta un fenómeno social que es crucial para el surgimiento del estudio de riesgos naturales: el aumento de la pobreza a nivel mundial, llevó a la par un aumento del número de gente que carecía de recursos económicos para habitar en el centro de los núcleos urbanos. Esta población generalmente se asienta en cinturones urbanos, que comúnmente son áreas inseguras para uso habitacional.

Esta situación de riesgo causó preocupación entre los especialistas en geomorfología, principalmente en lo que respecta a la relación entre la distribución de los asentamientos humanos y el relieve con procesos de riesgo para la población.

De acuerdo con Calvo (1984), los primeros estudios sobre riesgos naturales, realizados por autores ingleses a principios de la segunda mitad del presente siglo, carecían de un enfoque social, ya que se centraban simplemente en la evaluación física de algún proceso geomorfológico. La falta de tal consideración impidió que se alcanzara el fin básico del estudio de los riesgos, ya que la situación de desastre que puede provocar en la población es lo que da el carácter de riesgo a un evento natural.

Así por ejemplo, en el caso de una inundación en una planicie aluvial, alejada de los usos del suelo habitacional y que no es explotada de alguna otra manera. Se puede decir que dicho proceso no representa un riesgo real, ya que no existe peligro de afectación a algún elemento de interés social, e incluso podría ser positivo en la fertilización del suelo para una posterior utilización agrícola.

Pero si por el contrario, la inundación sucede sobre una planicie aluvial en donde existen asentamientos humanos, entonces sí representa un riesgo o peligro potencial.

En la década de los años setenta y seguramente influenciada por el concepto de geomorfología aplicada, nació una nueva corriente, la cual impactó positivamente al estudio de riesgos naturales; se trata de la geomorfología ambiental o "environmental geomorphology".

Una de las bases que sostiene este enfoque, es que el estudio geomorfológico debe dejar de tratar hechos aislados para incursionar en el análisis sistemático del paisaje.

Bajo este criterio se entiende al relieve como parte del sistema natural, donde una variedad de factores naturales (como son la geología, clima, vegetación y suelo) se interrelacionan con el relieve para modificarlo. La morfología y los procesos que la transforman se explican por el predominio de alguno de estos procesos sobre otros, dentro de un complejo de relaciones multivariadas de causa efecto.

Los conceptos desarrollados por la geomorfología ambiental influyen en los trabajos de riesgos naturales de Hewitt y Burton (1971, en: Verstappen, 1983), mientras que Ortíz y Oropeza (1992), hablan de un "sistema perturbador" de caracter natural que provoca desastres al "sistema de la sociedad".

También en este siglo aparece la morfometría, mediante la cual se evalúan las características cuantitativas de las formas del relieve, como son valores de altitud y desniveles de altura, pendientes, longitudes, grado de disección, etc.

De acuerdo con Lugo (1988), el método morfométrico incluye el manejo de mediciones en campo o directamente sobre mapas.

Los estudios cartográficos incluyen la elaboración de cartografía base (mapa topográfico) y de mapas temáticos, donde la selección de los temas y la escala de los mapas dependen de los objetivos del estudio, así como de las características propias del terreno.

Actualmente, al empleo de fotografías aéreas (que inició en los años cuarenta) se suma la utilización de nuevas técnicas cartográficas que incluyen el manejo de imágenes de satélite y de sistemas de información geográfica, que en su conjunto favorecen el análisis integral del relieve con mayor prontitud en la obtención de resultados.

Además, el manejo de datos numéricos en estos trabajos, llevó a la aplicación de métodos matemáticos y estadísticos como apoyo para la evaluación de los diversos elementos del relieve.

Por otra parte, el estudio de los riesgos naturales no abarca la totalidad de procesos, sino que centra su atención en aquellos que pueden causar daños a la sociedad; por lo cual se consideran dos maneras en que dichos procesos se presentan:

La primera es cuando el fenómeno es constante y tiene variaciones lentas (Verstappen, 1983), de tal manera que la sociedad tiene oportunidad de acoplarse a las condiciones que le impone, por lo cual estos procesos no entran en la categoría de riesgos naturales.

Un ejemplo, se tiene con las oscilaciones climáticas anuales, con el tiempo provocan cambios en el balance hidrológico de una zona de cultivo. En

este caso, el grupo humano tiende a modificar el tipo e intensidad de aprovechamiento del suelo y de sus costumbres o en casos extremos podría incluso abandonar el lugar e ir a otro que ofrezca mayor seguridad.

El segundo tipo es cuando los procesos naturales se desencadenan en forma violenta, donde el tiempo que tardan en suceder es corto. En este caso impactan de manera brusca a la sociedad y le provocan desajustes, los cuales pueden ser de tipo económico o incluso de daños directos a la integridad física de las personas.

Sin embargo, los diversos procesos geomorfológicos no se pueden clasificar cabalmente en algunos de estos grupos (de los que representan riesgo o de los que no), ya que un mismo tipo de proceso puede situarse en cualquiera de las dos clases, dependiendo de la magnitud con que se presente. Según Bolt y Macdonald (1977, en: Calvo, 1984), la magnitud de un proceso gravitacional (aunque podríamos decir que ésto es válido para los demás tipos de procesos geomorfológicos) está en función de:

- 1) La velocidad con que se presenta.
- 2) La extensión del área afectada.

De la combinación de ambos aspectos depende la peligrosidad que encierra el evento natural.

A este respecto, la Asociación de Geocientíficos para el Desarrollo Internacional (1988) propone tres pasos básicos para el análisis de los riesgos naturales. El primero de ellos consiste en determinar los tipos, la ubicación y la distribución de los procesos geomorfológicos que se presentan en el territorio (Hazards assessment), para lo cual, la descripción de las formas superficiales del

relieve es prioritario, así como el análisis correlativo de ciertos parámetros morfométricos y cualitativos, a través de las relaciones estructurales que se presentan entre ellos.

La importancia de este análisis consiste en que es la base que desentraña la dinámica endógena y exógena que ha actuado durante el último periodo geológico.

Con la elaboración del mapa geomorfológico se hace la evaluación del territorio en zonas sometidas a diversos riesgos naturales.

El segundo paso es el análisis de la vulnerabilidad (vulnerability analysis), en el que se evalúa el desarrollo socioeconómico mediante algunas de sus características básicas, como es la condición en que se encuentran las construcciones.

El último punto del análisis requiere de la sobreposición de la información obtenida en los puntos anteriores, ya que se refiere a la evaluación de riesgos naturales (risk assessment), es decir, la zonificación de las áreas que presentan procesos geomorfológicos que ponen en peligro las obras de infraestructura o incluso, los intereses directos de la población.

1.2 Consideración de la influencia antrópica en la geomorfología de los riesgos naturales.

El papel de la sociedad en estudios de riesgos naturales debe considerarse desde dos puntos de vista: A) como elemento perturbado por la ocurrencia de procesos naturales y B) como agente generador de riesgos.

A) La sociedad como elemento perturbado por la ocurrencia de procesos naturales.

La importancia de definir los daños causados a la sociedad durante procesos naturales, se explica en el marco teórico de la geomorfología del riesgo natural, es decir, la trascendencia del estudio de los riesgos radica en la aplicabilidad que puede tener para dar solución a algún problema del mundo real (Small, 1978).

La trascendencia o importancia del análisis de la sociedad en estudios de riesgos naturales la expresa Calvo (1984) cuando dice:

" El desarrollo económico y humano está ligado a la gravedad del riesgo , puesto que la noción de catástrofe es relativa más a la amplitud de sus efectos humanos, que a los caracteres físicos que presente ".

Con esto, Calvo nos indica que dependiendo del grado de desarrollo que tenga el grupo humano para afrontar un riesgo natural, será el grado de salvedad que ese grupo tenga ante el peligro y por lo tanto, que una evaluación de tipo social es necesaria cuando se analizan los riesgos naturales.

Atendiendo a esto, me apego a la idea de Gelman y Macías (1983), quienes dicen que los estudios de riesgos naturales deben incluir el análisis de dos elementos de la sociedad:

a) El patrón de distribución de la sociedad.

b) Los tipos de usos de la tierra.

B) La sociedad como agente generador de riesgos naturales.

Dentro del grupo de factores niveladores del relieve, los cuales se han agrupado como factores exógenos, las actividades económicas intervienen cada vez más en el conjunto de relaciones multivariadas que explican la evolución de las vertientes.

Verstappen (1983) reconoce que actualmente los riesgos naturales no pueden ser evaluados sin considerar el papel de la sociedad. Según esto, el aumento de población que vive en sitios no aptos para el uso habitacional (como en laderas empinadas de barrancos o en el fondo de ellos), ha propiciado la formación de nuevos tipos de adaptación al medio (Calvo, 1984), que conllevan acciones que modifican violentamente al relieve local.

En la delegación Cuajimalpa, la afectación se realiza con acciones como son la deforestación y consecuente desequilibrio del suelo, la formación de escarpes (tajos y frentes de explotación en minas a cielo abierto), la sobreexplotación agrícola y la contaminación de corrientes de agua y suelo, las cuales, de manera general o en conjunto, desestabilizan las vertientes, desencadenando una serie de fenómenos de remoción de material que pueden ser catalogados como desastres. Efectivamente, como lo ha señalado Bassols (1975), "el mal uso de los recursos naturales lleva a situaciones en las que la naturaleza cobra al hombre el daño que le ha hecho".

En la zona de estudio, la manifestación más grave son los cortes de carretera y tajos de construcción y de extracción de material, los cuales dejan escarpes descubiertos que aceleran los procesos de ladera. Kostenko (1975), describe esta situación como el aumento de la fuente de energía que produce los procesos de denudación-acumulación.

1.3 Alcances en la evaluación de riesgos naturales.

En la lucha contra los desastres naturales el papel del geomorfólogo es amplio e incluye todos los estadios que esto implica. Según Gelman y Macías (1983) existen cuatro acciones que se pueden tomar, dependiendo del grado de evolución con que se presente el desastre: prevención, mitigación, rescate y reconstrucción.

Las dos primeras acciones requieren de una asidua evaluación geomorfológica que sienta las bases de la dinámica del relieve y de la zonificación del territorio en áreas de diferente estabilidad de vertientes.

Por otra parte, el rescate y la reconstrucción son acciones posteriores al riesgo, es decir, se realizan cuando el riesgo se ha traducido a su vez en desastre natural y por lo tanto, la solución directa al problema depende de esfuerzos no geomorfológicos.

Otro de los temas que se incluyen en el estudio de los riesgos naturales es la posibilidad de establecer pronósticos de ocurrencia de desastres en dos estadios principales: a) Pronósticos de tipos, intensidades y posibles daños provocados por riesgos naturales. b) Pronósticos en zonas que por sus condiciones físicas son potenciales para desarrollar riesgos naturales. En el presente trabajo, la evaluación considera ambos tipos de pronóstico.

Finalmente, es necesario señalar que el amplio sentido de aplicabilidad que estos estudios conllevan, depende del buen manejo que se haga de las bases que brinda el conocimiento puro de la geomorfología, pues como dice Verstappen (1983): "el conocimiento puro y el aplicado se nutren mutuamente a partir de los hallazgos que logran cada uno en su campo".

1.4 La clasificación de riesgos naturales.

La variedad y complejidad de los procesos que implican riesgo natural ha llevado a su ordenamiento y clasificación, mediante diversos enfoques que tienden a destacar ciertas peculiaridades en los procesos.

Para la elaboración de este trabajo se consultaron diversas clasificaciones, las cuales se agruparon en tres categorías:

- A) Clasificaciones generales
- B) Clasificaciones específicas
- C) Clasificaciones adaptadas

A) Clasificaciones generales.

Se consideran las clasificaciones que abarcan el total de riesgos que afectan el relieve. En este rubro se encuentra la clasificación de Flores-Sosa, (1980, en: Calvo, 1984), que se basa en la frecuencia con que ocurren los riesgos naturales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de riesgos según la frecuencia. Flores-Sosa (1980).

<u>Más frecuentes</u>	<u>Menos frecuentes</u>
-Sismos y deslizamientos de tierra	-Tsunamis, maremotos
-Aludes	-Erpciones volcánicas
-Fenómenos torrenciales	-Huracanes y tornados
-Inundaciones y crecidas	-Fenómenos karsticos
-Lluvias torrenciales	-Incendios forestales
-Nevadas y granizas	
-Tempestades eléctricas	

b) Clasificaciones específicas.

Se enfocan a conjuntos de riesgos que son afines en ciertos aspectos. Un ejemplo tipo es la clasificación de movimientos en masa de Bolt y Macdonald, (1977, en: Calvo, 1984), basada en las diferencias en la condición de la estabilidad de vertientes, el tipo de material involucrado y la velocidad de transporte (cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de riesgos, de acuerdo al tipo de material y la velocidad de transporte. Bolt Horn y Macdonald Scott (1977).

Movimiento	Conducta del material	Tipo de material	Velocidad	Nombre
caída de material	quebradizo	roca, hielo, suelo cementado	rápido	caída de rocas caída de nieve subsistencia del terreno
deslizamiento	inestable	roca, suelo, nieve	rápido a lento	deslizamiento rotacional deslizamiento planar avalancha de dispersión lateral
flujo	estable	fragmentos de roca arena limo arcilla nieve	rápido a lento	flujo rocoso arena movediza flujo de tierra flujo lodoso avalancha

c) Clasificaciones adaptadas.

Las clasificaciones de riesgos tienen su máxima utilidad en estudios de caso, en los cuales sirven de base para la elaboración de clasificaciones de zonas específicas. A este respecto, Lugo (1988), hace referencia a una clasificación de morfoestructuras: "Es más que nada una guía que puede ser modificada o completada para acoplarla al área en que se va a aplicar".

Como ejemplo, en el cuadro 3, se cita la clasificación de corrimientos de tierras para la Cuenca de México, elaborada por Ortiz, et al. (1990).

Cuadro 3. Clasificación de corrimiento de tierras para la Cuenca de México. Ortiz, et al. (1990).

TIPO DE RIESGO	MORFOLOGÍA	FACTORES CONDICIONANTES Y MECANISMOS	CARACTERIZACIÓN GENERAL MAGNITUD ESPACIAL Y TEMPORAL	RIESGOS POTENCIALES Y ASOCIADOS	
Activos potenciales	Derrumbes y desprendimiento de rocas (caída libre)	Cañones, gargantas Laderas de valles Laderas de montañas Escarpes y Peñas	Influencia gravitacional en laderas de fuerte pendiente y en planos de deslizamiento (fallas, diaclasas, estratificación)	Mov. rápido, se incrementa el fenómeno durante la época de lluvias cuando se lubrican los planos preexistentes de falla Perceptible Carácter local o puntual Carácter continuo en el tiempo	Riesgo potencial: En taludes escarpados y en vertientes, presencia de pendientes superiores a 60°, con roca profusamente fracturada y meteorizada, con arreglo estructural a favor de la pendiente Riesgos asociados: Relleno y obstáculo al drenaje derivado a estancamientos con rompimiento de flujos de escombros violentos
Deslizamientos de tierra	Relieve de laderas Escarpes Elevaciones de fuerte pendiente Socavación de riveras	Influencia climática, sobresaturación por exceso de humedad en suelos y rocas susceptibles a una deformación plástica (arcillas, arenas, sedimentos lacustres, lutitas, margas y alteritas), Socavación en las márgenas de atiques erosivo en barrancos y valles	Movimiento rápido. Deslizamientos que se incrementan cuando en el relieve alterna una estratificación de rocas permeables e impermeables Perceptible De carácter local, pero de amplia distribución de carácter continuo en el tiempo El fenómeno es más frecuente durante la época de lluvias y de carácter torrencial	Riesgo potencial: Por planos de debilidad formados por el desplazamiento inercial Migración remanente lateral y frontal a nuevos deslizamientos provocados por grietas de tensión Riesgos asociados: Tumbleo y asentamientos en los depósitos del deslizamiento	
Flujos de escombros	Abanicos aluviales Conos de deyección	Influencia de un fenómeno hidrometeorológico, de escurrimiento torrencial sobre el piedemonte	Desplazamiento de escombros rápido, por crecidas súbitas Perceptible De carácter local Discontinuo en el tiempo	Riesgo potencial: Ligado a períodos de retorno muy largos de tormentas excepcionales (una cada 100 años). Aunque las condiciones geomorfológicas no sean las adecuadas Riesgos asociados: Problemas de sedimentación rápida, removilización de escombros, migración lateral y frontal de los depósitos proluviales	
Corrimientos y colapsos originados por la actividad antrópica (minas a cielo abierto y socavores)	Laderas de volcanes, lomeríos, piedemontes y escarpes tectónico erosivos	Debilitamiento de la estructura por extracción de material (tunelamientos), concomitante con la influencia gravitacional y lubricación de planos de debilidad (estratificación, diaclasas, fallas y fracturas)	Mov. rápido, se incrementa el fenómeno durante la época de lluvias cuando se lubrican los planos preexistentes de falla Perceptible Carácter local o puntual Carácter continuo en el tiempo	Riesgo actual y potencial Inundaciones frecuentes Mal drenaje Aglomeramiento del terreno	
Licuefacción, asentamientos y agrietamientos superficiales del terreno	Llanuras lacustres	Contracción y expansión de arcillas por cambios de humedad a nivel de suelos, compactación de sedimentos y abastecimientos de niveles freáticos Pérdida de la estructura del suelo (licuefacción) por saturación de agua y movimientos sísmicos.	Asentamiento de suelos, con expresión elemental a nivel de microrelieve. Agrietamiento, tumbleo, grietas Poco perceptible Carácter local Asentamiento continuo en el tiempo	Riesgo actual y potencial Inundaciones frecuentes Mal drenaje Aglomeramiento de terreno	

Otras clasificaciones consultadas fueron la de Burton y Kates (1964, en: Calvo, 1984) y la de Dackombe y Gardiner (1983).

1.5 Clasificación de riesgos naturales en la delegación Cuajimalpa.

La revisión y análisis de las distintas clasificaciones sobre riesgos naturales, sirvió de punto de partida para la elaboración de otra para Cuajimalpa, la cual se basa en dos tipos principales de riesgos, dependiendo de la fuente que los origina (cuadro 4).

Cuadro 4. Clasificación de riesgos naturales en Cuajimalpa.

I) Procesos gravitacionales.
a) Caída de rocas (derrumbes).
b) Deslizamientos de tierra.
II) Procesos erosivo-fluviales.
a) Retroceso de circos erosivos por modelado fluvial.
b) Flujos de lodo

I) Procesos gravitacionales.

El conjunto de los movimientos en masa (mass wasting) agrupa los procesos debidos primordialmente a la fuerza de gravedad, por lo que se les

conoce también como movimientos gravitacionales. Son desplazamientos ladera abajo de materiales, que generalmente se inicia con pequeños avances que tienden a aumentar, a veces vertiginosamente, hasta desencadenar una caída precipitada sobre laderas abruptas (Lugo, 1989).

De acuerdo a Coque (1984), los movimientos en masa involucran el transporte de masas más o menos grandes de material, lo cual es cuestionable, ya que se definen por las características propias del transporte, más que por los volúmenes de material transportado.

Los movimientos en masa pueden ser de una amplia variedad, dependiendo de diversos aspectos, como la velocidad en que suceden, la forma misma del desplazamiento, la textura de los materiales transportados o el grado de influencia de diversos elementos físicos en la ocurrencia del proceso. El estado y el tipo de los materiales que los componen puede ser otro criterio de clasificación, según se trate de roca, suelo, o de ambos mezclados con hielo.

La peligrosidad de los eventos en masa depende, además de la velocidad en que suceden, del volúmen del material que se transporta, así como de la longitud de la ladera. Esta última es un indicador de la extensión del área afectada y tiene amplia relación con la magnitud del proceso. A este respecto, Bolt y Macdonald (1977, en: Calvo, 1984) muestran los criterios para la evaluación de la velocidad del proceso y el área afectada (Cuadro 5).

Cuadro 5. Criterios para evaluar la velocidad del proceso y el área afectada en casos de riesgo natural (Bolt y Macdonald, 1977).

- | |
|------------------------------------------------------|
| a) Velocidad con que ocurren los fenómenos de riesgo |
| -de segundos a minutos ---Rápido |
| -de minutos a horas-----Intermedio |
| -de días a años-----Lento |
| b) Extensión del área afectada |
| -area extensa |
| -area pequeña |

Según este cuadro, los procesos de caída de rocas, derrumbes y deslizamientos de tierra aumentan en peligrosidad conforme suceden en lapsos más cortos de tiempo (de intermedios a rápidos) y en áreas más extensas.

De esta manera, un movimiento de velocidad intermedia que afecta un área sumamente extensa, podría ser más dañino que otro violento que involucre solamente un área de pequeña extensión.

En la delegación Cuajimalpa, el aumento en la intensidad del uso del suelo no forestal, ha acrecentado la magnitud de los daños causados por procesos gravitacionales. Generalmente, el proceso incluye la construcción de grandes obras de ingeniería (puentes, carreteras, etc.), así como la apertura de zonas de explotación minera y de uso habitacional, las cuales involucran cambios en la capa vegetal y edáfica, cortes al terreno y la alteración de los patrones de distribución del agua; todos estos cambios desestabilizan las vertientes. El material debilitado queda dispuesto a desprendimientos, algunos de pequeñas dimensiones, como la caída de rocas, y otros que involucran volúmenes considerables de material, es decir, los deslizamientos.

a) Caída de rocas o derrumbes.

Es el desplazamiento ladera abajo de material que se precipita casi siempre en caída libre. De acuerdo con Coque (1984), la caída de rocas puede referirse simplemente a la remoción de fragmentos de roca de pequeñas dimensiones, o tratarse de grandes masas de material, que incluye la mezcla de rocas con suelo. A esta última forma el autor mencionado la denomina propiamente derrumbe. Sin embargo, para el presente trabajo se adopta el

criterio mas generalizado en la literatura geomorfológica y en el cual, los términos de caída de rocas y derrumbes se consideran sinónimos.

Los derrumbes se presentan de manera frecuente sobre laderas de más de 30°, debido a influencia gravitacional sobre planos de deslizamiento y por la pérdida de cohesión y fricción entre los materiales aflorantes en escarpes (Lugo, 1989).

En laderas empinadas, el sobrepeso provocado por el emplazamiento de obras de infraestructura sobre la ladera, provoca presión en la parte superficial de la pared, la cual tiende a liberarse con expansiones del material y la formación de grietas de tensión. Esta situación se manifiesta con un mayor diaclasamiento de la pared, cuyo material componente se hace más deleznable (Griggs y Gilchrist, 1977).

Sin embargo, en muchas ocasiones el catalizador de estos procesos son los movimientos sísmicos, los cuales sacuden el material alterado y causan el desprendimiento de roca y/o suelo desde las partes altas de la ladera.

Comúnmente, los primeros desplazamientos del material hacia la parte inferior de la ladera son semideslizamientos, ya que dicho material verdaderamente resbala sobre los planos de diaclasamiento, los cuales son rasgados, de tal manera que cuando el proceso culmina, éstos planos se aprecian con cicatrices paralelas que siguen la dirección vertical del movimiento. La magnitud de dichas cicatrices de deslizamiento depende de la inclinación y la rugosidad del terreno.

Luego de esta primera etapa el material cae y se acumula, originando una morfología de talud, donde el material presenta un arreglo caótico. El tamaño

y grado de retrabajamiento varía según sean las características del material afectado y de la distancia recorrida. Los depósitos originados por este proceso se denominan coluviones.

La peligrosidad de este fenómeno radica en que es un proceso rápido, que transcurre en segundos, así como por las dimensiones de la masa derrumbada que puede alcanzar los miles de metros cúbicos.

Al respecto, las características de magnitud que presentan los derrumbes son distintas y ello implica también, distinto grado de riesgo.

b) Deslizamientos de tierra.

Consisten en desplazamientos de suelo o suelo con roca, casi siempre en laderas empinadas de más de 15° (Lugo, 1989), y con la peculiaridad de que el movimiento se presenta sobre una "superficie de deslizamiento o resbalamiento". La morfología característica de este fenómeno se distingue en la cima, donde queda una cicatriz de desprendimiento, con geometría cóncava, que indica el espesor de la masa que se separó, así como el sitio donde se presentó el fenómeno.

A pesar de que estos fenómenos son violentos y alcanzan hasta los 400 km/h (Griggs y Gilchrist, 1977), no se excluye la posibilidad de que se presenten como procesos sumamente lentos, de incluso meses a años.

Algunos elementos importantes en la generación de estos eventos son el buzamiento de los estratos, con respecto a la dirección de la pendiente, así como la alternancia con estratos de tipo arcilloso, lo que provoca la formación de

planos lubricantes que, junto con el exceso de agua, favorecen el deslizamiento (Coque, 1984 y Lugo, 1989).

Las condiciones descritas no son determinantes para que sucedan los deslizamientos, ya que se presentan también en zonas de pendiente moderada y aun cuando la dirección de los estratos es contraria a la pendiente; a éste caso Lugo (1989), le asigna el nombre de deslizamiento cortante. Generalmente se producen cuando los terrenos son inestables, por una posible alteración de origen antrópico.

En cuanto al riesgo que representan los deslizamientos de tierra, cuando son lentos el riesgo de desastre disminuye, ya que el fenómeno da tiempo para que los objetos móviles puedan ser desplazados a lugares seguros. Sin embargo, cuando son violentos, arrasan las obras de infraestructura, provocando catástrofes en las zonas por las que atraviesan.

Esta situación de riesgo aumenta cuando las dimensiones del fenómeno son mayores, de un rango de decenas a cientos de miles de metros cúbicos el valor de la masa que se transporta, y la cual puede tener un espesor de menos de uno a más de veinte metros.

Cabe destacar que la alteración antrópica es un factor de gran importancia, que se traduce en la deforestación y eliminación del suelo incipiente en laderas de barranco, todo lo cual predispone a la ladera para presentar este tipo de movimientos (Griggs y Gilchrist, 1972).

II) Procesos erosivo-fluviales.

De acuerdo con Sóvolev (en Lugo, 1984), la evolución de barrancos consta de cuatro etapas: 1) nacimiento del barranco y formación de surcos por el

agua de escurrimiento. 2) Desarrollo del salto de cabecera e intensa profundización del cauce por erosión remontante y vertical. 3) Aproximación al nivel de base y disminución de la pendiente, por lo que la erosión lateral supera a la vertical. 4) Cesa la erosión y sobreviene la extinción del barranco.

En Cuajimalpa, la erosión por barrancos se encuentra en las dos primeras etapas de evolución, aunque en el curso bajo de los ríos Borracho y Río Santo Desierto-La Cañada, se presentan formas de la etapa tres.

El patrón predominante en los barrancos secundarios es dendrítico, aunque en los valles fluviales el patrón es rectilíneo (ríos Borracho, Atitla, La Cañada y Tacubaya), y denota influencia tectónica, la cual se trata en el capítulo V.

a) Retroceso de circos erosivos.

La erosión fluvial en la delegación Cuajimalpa se manifiesta por medio de tres procesos principales: por el encajonamiento vertical de las corrientes, por el avance remontante, ladera arriba, a partir de los niveles de base locales y por erosión lateral del cauce.

La erosión por encajonamiento vertical se produce en valles en forma de "V". También es un elemento indicativo de zonas determinadas por un fuerte control estructural.

La erosión remontante consiste en el avance gradual de las corrientes fluviales, ladera arriba, a partir del nivel de base local. En Cuajimalpa, este tipo de erosión tiene control estructural, ya que los ríos avanzan por las líneas de debilidad del relieve (fallas y fracturas de las rocas), donde la litología está alterada y presenta poca resistencia a la erosión.

Desde el punto de vista de los riesgos naturales, la erosión remontante reviste mayor importancia, ya que algunas cabeceras activas de este territorio presentan fuerte dinámica erosiva, la cual conjunta fenómenos secundarios de índole fluvial y gravitacional (principalmente por caída de rocas y hundimientos del terreno), debido a la socavación y a la pérdida de cohesión del material en la cabecera activa.

b) Flujos de lodo.

Son masas de material saturadas de agua (lodo) transportadas ladera abajo con movimientos que van de moderados a rápidos. Generalmente, el excedente de humedad proviene de lluvias extraordinarias o de mantos acuíferos, que saturan las capas más superficiales del suelo. Verstappen (1983) le asigna gran importancia al agua proveniente de actividad volcánica; según éste, el deshielo en la parte alta de un volcán es aporte de agua común en los trópicos. También el mismo autor menciona a los lahares como flujos de lodo.

Por tratarse de masas semilíquidas, se transportan por las depresiones topográficas del terreno y se expanden, a manera de abanicos de detritos, cuando el valor de la pendiente decrece. En comparación con los abanicos fluviales, éstos tienen mayor desarrollo vertical que horizontal, lo cual es consecuencia del alto contenido de carga que tiene el flujo.

1.6 Planteamiento del problema.

La delegación Cuajimalpa se ubica en la Sierra de las Cruces, la cual constituye el límite suroccidental de la Cuenca de México, de origen relativamente reciente.

La Sierra de Las Cruces corresponde con la Formación pliocénico-cuaternaria Las Cruces: derrames lávicos y gruesos depósitos de vulcanoclastos de composición intermedia. En el conjunto de estructuras volcánicas de esta sierra destaca el estratovolcán San Miguel, cuya vida inició en el Plioceno tardío y continuó en el Cuaternario, destacando la erupción de las cenizas azules, hace 170,000 años (Mooser, F., 1975).

Contemporánea a la formación de la sierra, los procesos erosivo-denudatorios transportaron material piroclástico hacia los niveles inferiores de la misma sierra, donde se interdigitaron con los productos volcánicos de otras erupciones. A estos depósitos se les agrupó como Formación Tarango (Mooser, F., 1975), la que compone el piedemonte de la Sierra de Las Cruces.

Por otra parte, la actividad tectónica se ha manifestado en ciclos, en los que se han originado estructuras volcánicas, en tanto que las fases de calma han permitido el predominio de la actividad erosiva sobre el relieve volcánico.

A este respecto, dos aspectos merecen mayor atención. Primero que algunos estudios sobre la Cuenca de México, como el más reciente realizado por De Cserna et al. (1988), han mostrado que la Sierra de las Cruces está atravesada por numerosas fallas con dirección NNE a SSW que le dan a la zona un carácter tectónico de gran importancia desde un punto de vista geomorfológico, ya que el crecimiento de formas erosivas del relieve presenta evidencias de una probable relación con la tectónica de la Sierra de Las Cruces.

Por otra parte, el crecimiento urbano y de otros usos del suelo (agrícola, minero y forestal) ha propiciado una serie de alteraciones al medio natural, donde cabe destacar:

1. Eliminación de la protección natural, vegetal y edáfica del relieve, mediante prácticas de deforestación y alteración de la capa superficial de suelo.

2. Modificación de la topografía natural del terreno con la realización de aplanamientos y otras obras para emplazamientos urbanos y por la extracción de material lítico para la construcción.

3. Disminución de los niveles de agua de infiltración y el consecuente aumento del agua de escorrentía, como consecuencia de lo mencionado anteriormente.

4. Aumento en los niveles de contaminación y principalmente en los barrancos, donde se descargan desechos sólidos y líquidos.

Estas acciones en su conjunto han aumentado la vulnerabilidad del terreno ante fenómenos de riesgo natural, particularmente en la época de lluvias, cuando los procesos erosivos son activados por el exceso de agua corriente.

De acuerdo con la problemática planteada en el presente trabajo, se propone una zonificación de los riesgos de índole geomorfológica, tomando como punto de partida el análisis de valores de pendientes críticas, altitudes, concentración de estructuras disyuntivas, arreglo y distribución de la profundidad y densidad de la disección, intensidad de erosión, así como de las características de la estructura geológica.

II. MARCO GEOGRAFICO DE LA DELEGACION CUAJIMALPA DE MORELOS.

2.1 Localización.

Cuajimalpa de Morelos es una de las siete delegaciones que forman el extremo sur del area metropolitana de la Ciudad de México. Geográficamente esta jurisdicción se ubica entre las coordenadas 19° 14' a 19° 24' de latitud norte y 99° 15' a 99° 22' de longitud oeste. La altitud máxima es de 3870 msnm, que se alcanzan en el C. El Muñeco y la mínima de 2410 msnm, en el límite con la delegación Miguel Hidalgo (Fig. 1).

La delegación Cuajimalpa limita al norte con el municipio de Huixquilucan del Edo. de México; al sur con el municipio de Jalatlaco, Edo. de México; al oriente con las delegaciones Miguel Hidalgo y Alvaro Obregón y al poniente con los municipios de Huixquilucan y Ocoyoacac del Edo. de México. Su superficie ha sufrido cambios por modificaciones administrativas con el Edo. de México y las delegaciones vecinas. Actualmente su territorio ocupa un área de 81 Km².*

2.2 Aspectos fisiográficos.

La delegación Cuajimalpa ocupa la vertiente oriental de la Sierra de las Cruces, importante estructura tecto-volcánica, que constituye el límite occidental de la Cuenca de México.

*Dato obtenido por medio del Sistema de Información Geográfica I.L.W.I.S. en base a las cartas de la Tesorería del Distrito Federal, escala 1:10,000, con fecha de edición en 1985.

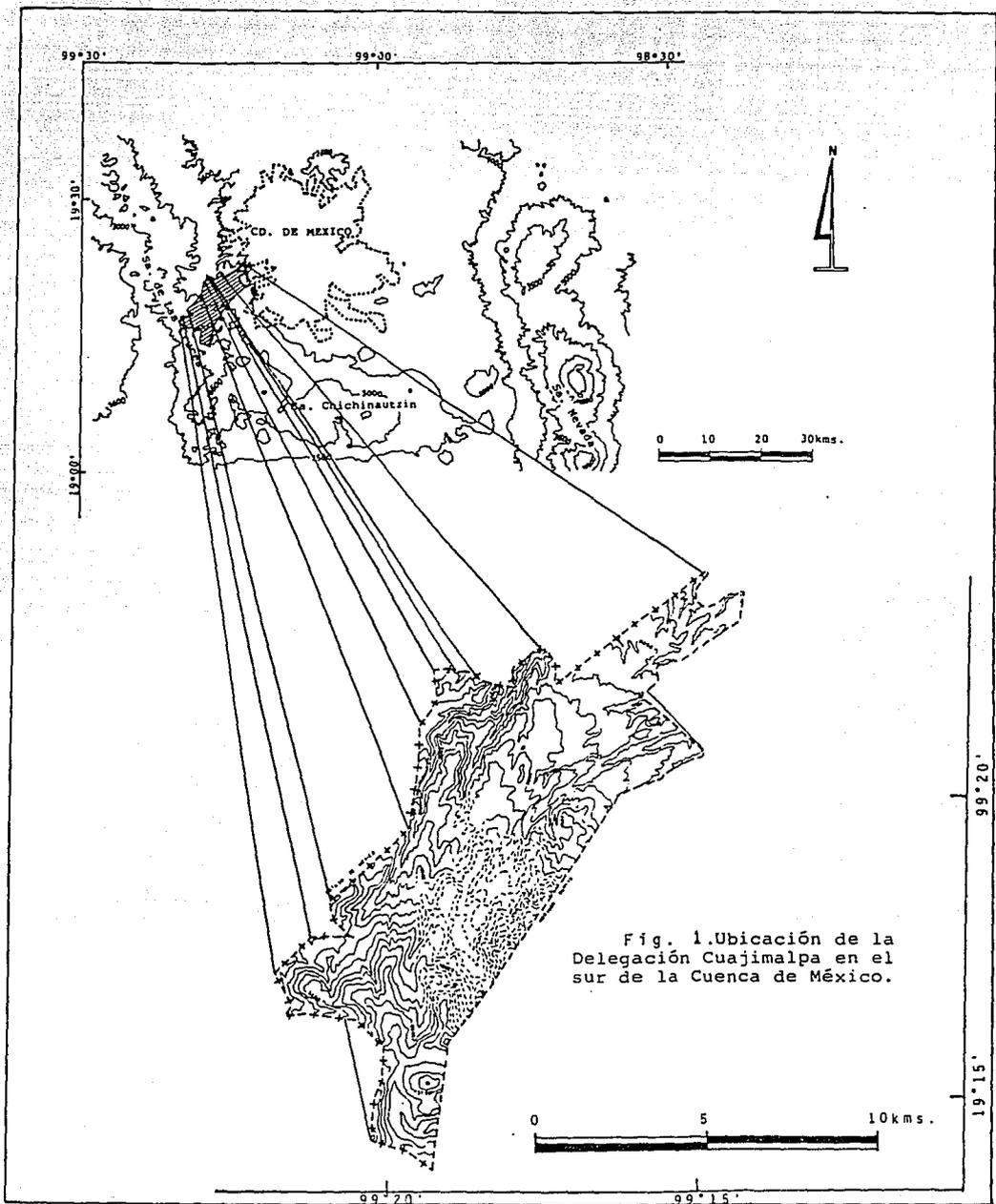


Fig. 1. Ubicación de la Delegación Cuajimalpa en el sur de la Cuenca de México.

El relieve de este territorio es de montaña y de piedemonte. El 90% de la superficie sobrepasa los 15° de pendiente (en laderas de montaña y de valles fluviales y barrancos), en tanto que el 10% restante corresponde con las divisorias de aguas del piedemonte.

La zona de montaña forma el extremo sur del territorio, donde se concentra una mayoría de siete aparatos volcánicos, de los cuales destacan por su dimensión los volcanes San Miguel y La Palma, de 3810 y 3870 msnm, respectivamente. A partir de las estructuras volcánicas, las emisiones de lava y de flujo piroclástico se dirigieron al centro del territorio, rellorando el relieve intermontano con formas asociadas a las coladas de lava.

El piedemonte superior se extiende de los 2450 a los 3000 msnm y constituye una rampa acumulativa de vulcanoclastos (cenizas y flujos piroclásticos principalmente). Estos depósitos se originaron al momento de la erupción o por acumulación de material arrastrado por corrientes. En esta zona se presentan procesos erosivos intensos que han disecado el relieve en sistemas de valles fluviales y barrancos.

La distribución de las unidades y demás elementos descritos en este punto se indican en el mapa de estructuras volcánicas. (capítulo III).

2.3 Clima.

El clima en la delegación Cuajimalpa es templado-cálido y húmedo. Sin embargo, presenta ligeras variaciones, ya que es templado en el norte y cambia a frío hacia el sur por ascenso en altitud.

De acuerdo con Vallejo (1987), el clima de la delegación es Cw2ws, templado húmedo y frío en el noreste y frío húmedo en las laderas de barrancos profundos y en las partes altas de la sierra.

A) Temperatura.

Las temperaturas medias anuales varían entre 15^o C al norte y 8^o C en la zona de montaña al sur (Cervantes, 1976). Se presenta un escalón térmico a la altura de 3000 msnm, a partir de donde las temperaturas disminuyen al sur y aumentan hacia el norte debido a la escasez de vegetación.

Asimismo, la variación termal se da a lo largo del año, ya que las temperaturas templadas de la primavera y el verano tienden a volverse frías hacia los meses de diciembre a mayo, principalmente al sur de la delegación.

En cuanto a las temperaturas extremas, las máximas se presentan en los meses de abril a junio, siendo abril y mayo los meses más cálidos, mientras que en el invierno y primordialmente en diciembre se presentan las mínimas temperaturas, siendo la media mínima inferior a 2^o C en las partes altas de la sierra (Fig. 2 y 3).

Como la temperatura depende directamente de la cantidad de radiación solar, la nubosidad se convierte en un elemento importante en el calentamiento del aire, pues impide el paso de la totalidad de los rayos solares a la superficie terrestre. En la delegación Cuajimalpa se tienen más de 110 días nublados al año (Cervantes, 1976), lo cual limita la ocurrencia de altas temperaturas en las estaciones cálidas. Cabe señalar que para efectos de calentamiento del suelo y capas subyacentes a él, además de las nubes, la vegetación también abate su calentamiento.

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS

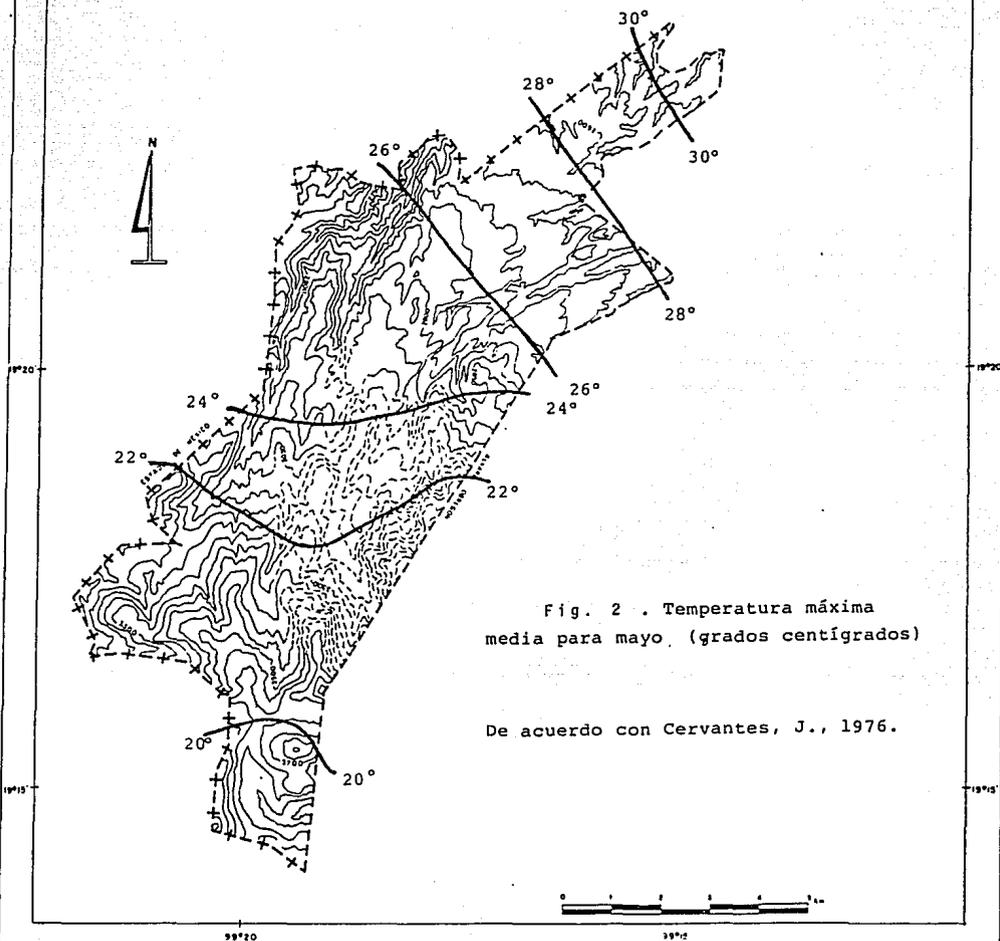


Fig. 2 . Temperatura máxima
media para mayo. (grados centígrados)

De acuerdo con Cervantes, J., 1976.

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS

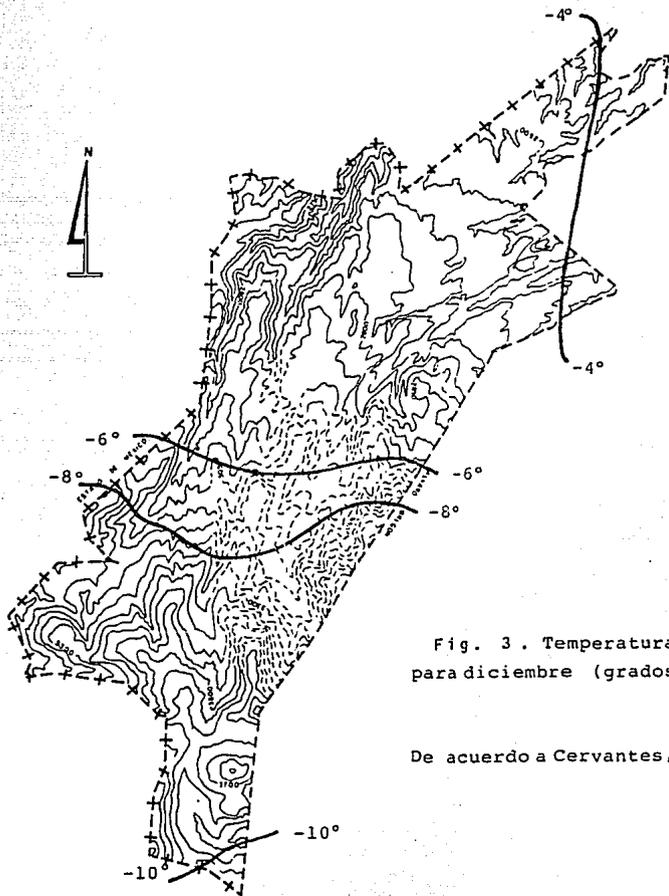


Fig. 3. Temperatura mínima media
paradiembre (grados centígrados)

De acuerdo a Cervantes, J., 1976.



B) Viento y humedad.

El papel del viento como agente de transporte de humedad es importante, ya que éste es en gran medida causante de los fenómenos hidrometeorológicos que suceden en esta delegación y que la convierten en uno de los centros más húmedos de la Cuenca de México.

El viento proveniente del NE, transporta nubes convectivas desde el interior de la Cuenca (Cervantes, 1976), mientras que en otros el proceso es el siguiente:

Durante su ascenso, las masas húmedas de aire entran en contacto con el suelo frío de las laderas de la sierra, por lo que se condensa la humedad y se provocan nublados en los meses de mayo a octubre. Debido a lo anterior, las intensidades en la descarga de lluvia son mayores en la zona de montaña, donde se obtienen valores de menos de 90 hasta 140 mm en 24 horas, mientras que en el extremo norte son de 60 a 70 mm. (Fig. 4).

Los niveles de precipitación anual en Cuajimalpa son altos y relativamente homogéneos, ya que se tienen 1200 mm en el noreste y cerca de 1500 mm en la zona montañosa del sur. La temporada de lluvias se concentra en los meses de julio, agosto y septiembre; julio es el mes de mayor precipitación con intensidad media de 200 mm (Cervantes, 1976).

El exceso de humedad que se obtiene en las estaciones más favorecidas del año se acumula en los numerosos barrancos del centro y norte del territorio. Aquí, la existencia de bosques y vegetación herbácea secundaria mantienen la humedad que proviene de la condensación del vapor del aire, favoreciendo la recarga de humedad en el subsuelo.

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS

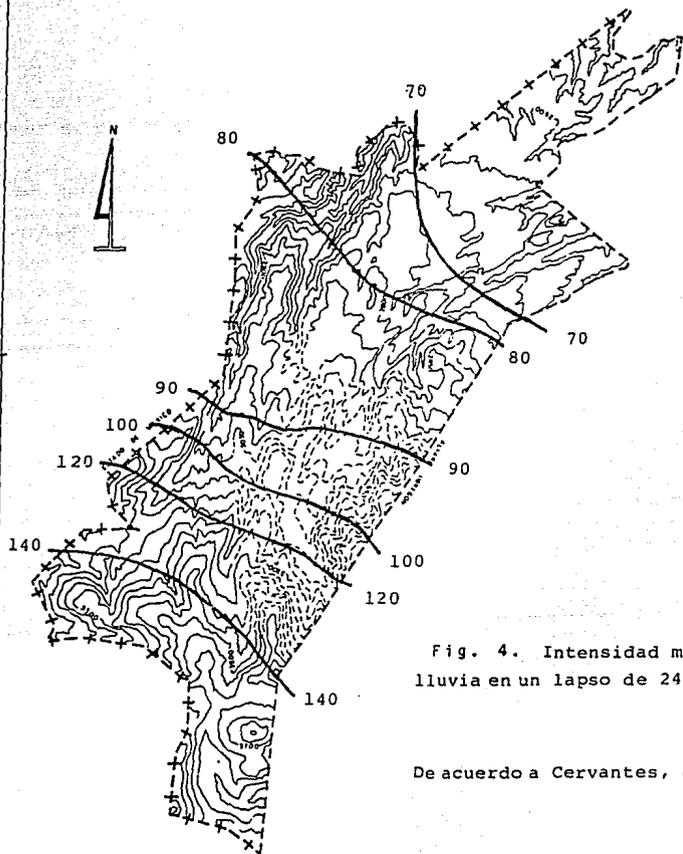


Fig. 4. Intensidad máxima de la lluvia en un lapso de 24 hrs. (en mm)

De acuerdo a Cervantes, J., 1976.

La abundante humedad que se acumula durante el verano, en conjunto con los niveles de pubiales que se pueden tener en un lapso de 24 hrs., favorecen la generación de procesos gravitacionales y fluviales en ese período del año.

2.4 Hidrología.

La hidrología de la Delegación está determinada por dos aspectos principales. Por una parte, el régimen pluviométrico que es de 1300 mm al año, distribuidos en los meses de mayo a octubre principalmente, y por otra, las pendientes y características estructurales del suelo y las capas inferiores, de las que depende la distribución del agua de lluvia. Esta condicionante permite el desarrollo de dos sistemas hidrológicos superficiales y una red subsuperficial que a su vez genera los 57 manantiales de Cuajimalpa.

Los sistemas hidrológicos superficiales nacen en la porción centro-sur del territorio y descienden de la zona montañosa hacia el noreste. Los principales sistemas fluviales del territorio son los siguientes:

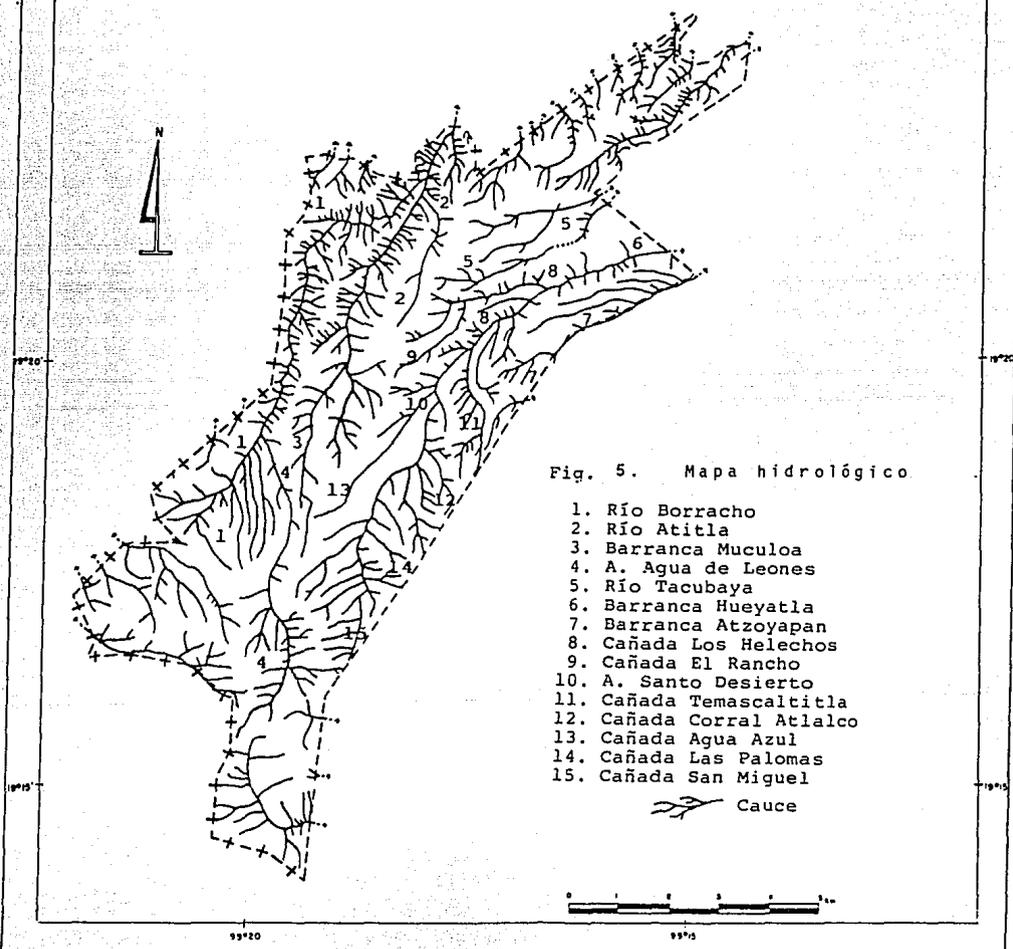
A) Sistema La Cañada de Los Helechos que drena al sistema del Río Mixcoac e incluye los siguientes tributarios (Fig. 5).

- 1) Arroyo Santo desierto
 - Cañada El Rancho
 - Cañada Corral Atlalco
 - Cañada Agua Azul
 - Cañada Las Palomas
 - Cañada San Miguel
- 2) Barranca Hueyatla
 - Cañada Los Helechos

B) Sistema Arroyo Borracho que drena al sistema del Río Hondo e incluye los siguientes tributarios:

- 1) Río Borracho
 - Arroyo Agua de Leones
- 2) Río Atitla
 - Barranca Muculoa

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS



También están los sistemas de la Barranca Atzoyapan que drena al Río Mixcoac, así como la parte alta del sistema del Río Tacubaya, los cuales tienen poca representación en el territorio de Cuajimalpa.

En la parte alta de la sierra, los sistemas fluviales siguen un patrón subparalelo, que mantienen hasta los 3000 metros de altitud aproximadamente, luego éste se torna semidendrítico y en algunas porciones paralelo hacia el centro-norte del territorio. Según la clasificación de los patrones de drenaje presentada por Meritano (1985), los sistemas fluviales en ésta delegación son altamente erosivos.

La densidad de corrientes es mayor al norte de Cuajimalpa, principalmente hacia los poblados de Chimalpa y San Lorenzo.

En cuanto a las aguas subterráneas, la mayor fuente de captación está en la zona montañosa (cerro San Miguel y La Palma, principalmente), debido a la alta permeabilidad del terreno y a la disposición alternada de capas de material detrítico y capas de roca eruptiva compacta, así como al contacto de rocas efusivas altamente fracturadas con otras que presentan menor grado de alteración.

El agua de infiltración corre sobre estratos compactos y brota en forma de manantiales, los cuales originan algunas de las primeras corrientes de los sistemas superficiales, en las vertientes de piedemonte.

Actualmente, gran parte de los manantiales en la delegación están entubados y en algunos sitios por canales de terreno natural para dirigirse al acueducto del Desierto y posteriormente unirse al acueducto de los Leones que proviene del suroeste.

2.5 Vegetación.

La vegetación de la delegación Cuajimalpa puede clasificarse en tres tipos:

- a) forestal,
- b) áreas verdes
- c) de uso agrícola.

a) La zona forestal se extiende bordeando los pueblos de San Pablo, San Lorenzo y San Mateo. De ahí, el área forestal se extiende hacia el sur, hasta el límite de ésta delegación con el Estado de México. Ocupa una superficie de 44.7 km², distribuidos entre el Parque Nacional Desierto de los Leones, el Valle de las Monjas y el Monte de las Cruces.

Los bosques de Cuajimalpa se componen de elementos pertenecientes a los tres estratos de vegetación: alto, medio y bajo, de los cuales el estrato alto, es decir, los árboles, son más representativos en la definición de los diferentes tipos de asociaciones forestales que se presentan.

Las coníferas son la familia arbórea con mayor representación en Cuajimalpa, siendo las especies más abundantes los oyameles (*Abies religiosa*) y las pináceas como el ocote (*Pinus teocote*) y el *Pinus montezumae*. La distribución de estas especies abarca todo el territorio: el oyamel se encuentra entre las cotas 2700 a 3200 msnm, en terrenos de pendiente fuerte y bien humectada. Al norte, las pináceas se hallan en grupos aislados. A partir de los 3000 msnm aparecen los bosques de pino y oyamel asociados en una tendencia de pino-oyamel a oyamel-pino conforme se asciende en altitud.

Al sur de la jurisdicción las agrupaciones de especies de *Pinus* y *Abies* son densas, aunque generalmente se les hallan aisladas, sin formar asociaciones.

Otra familia de importancia son las latifoliadas, de las que existen varias especies de encinos, de los cuales el encino laurelillo (*Quercus lauránea*), manzanillo (*Quercus mexicana*), quebracho (*Quercus rugosa*) y el encino de hoja ancha (*Quercus microphylla*), son los más representativos.

Otra peculiaridad de estos bosques es que son altamente versátiles en cuanto a los ambientes en que se desarrollan, por lo que es común encontrarlos en vertientes empinadas, suelos someros e incluso son la vegetación más representativa en los barrancos. Comúnmente invaden los bosques de oyamel, principalmente cuando las condiciones del medio ambiente se tornan más cálidas y poco favorables para aquél.

Su distribución incluye casi exclusivamente el norte de la delegación y se les encuentra en la parte media-baja de las laderas de valles fluviales, es decir, en sitios donde las pendientes mayores a 15^o impiden la actividad agrícola.

Otras especies que se hallan en menor proporción son el cedro, ciprés, madroño, eucalipto y fresno.

El estrato medio arbustivo incluye individuos de *Bacharis conferta*, tepozán y trueno.

Las asociaciones de estas especies se dan en el bosque mixto con especies de *Pinus*, *Abies* y *Quercus*, que se intercalan con plantas arbustivas, hierbas y pastos. Particularmente es notoria la asociación de *Pinus* con *Quercus*, los cuales tienen exigencias ambientales similares.

Cabe señalar que el área forestal antiguamente se extendía por zonas que hoy presentan otros usos. La tala para la expansión de los núcleos urbanos es la causa principal que ha provocado la desaparición de gran cantidad de

individuos de *Pinus* y *Quercus*. Pero también la contaminación, principalmente por descargas de aguas negras o tiraderos de basura, es causante del deterioro actual de las áreas boscosas. La Dirección General de Planificación (1983), señala que el 90% de las barrancas de Cuajimalpa presentan algún tipo de contaminación.

b) Las áreas verdes son zonas forestales o semiforestales que se intercalan con áreas habitacionales, o bien son espacios abiertos enclavados en el área urbana.

Estos sitios presentan diversas especies naturales de la región, predominando el *Quercus*, ya que generalmente estos bosques están en barrancos con pedientes empinadas, alta concentración de humedad, así como fuerte alteración antrópica.

c) El uso de suelo agrícola cubre una extensión amplia al norte del territorio y en algunos sitios se desarrolla a manera de cinturón alrededor de los asentamientos humanos. Cabe señalar que las zonas agrícolas tienden a transformarse en terrenos de pastos sin un aprovechamiento bien definido.

Este tipo de vegetación es inducida y está compuesta por la siembra de árboles frutales, pastos y una modesta variedad de cultivos de temporal que se practican durante todo el año.

Cabe señalar que en Cuajimalpa existen zonas carentes de cualquier tipo de vegetación y las cuales corresponden a los poblados, la zona urbana y las minas de extracción de material. La distribución del área forestal, así como de los demás usos referidos en este punto se muestran en el mapa de usos del suelo (cap. V).

2.6 Suelos.

El proceso edáfico está determinado primordialmente por las características de la roca madre y las condiciones climáticas locales.

De acuerdo con la clasificación elaborada por el Departamento de Suelos de los Estados Unidos en 1939, en Cuajimalpa se presentan cuatro tipos de suelo, los cuales pueden hallarse solos o combinados en zonas específicas (Vallejo, 1987):

A) suelos azonales

cryorthents

xerochrepts

B) cryandepts

C) cryandepts-vitriandepts

A) Los suelos azonales, que se distinguen por carecer de propiedades bien definidas, se distribuyen en el norte y noreste de la delegación, hasta el límite con el poblado de Contadero, La Venta y el Desierto de los Leones.

Dentro del grupo de suelos azonales, en Cuajimalpa existen dos subgrupos: Cryorthents y Xerochrepts, productos de la fuerte alteración superficial de suelos cineríticos. Ambos grupos se presentan en la parte alta de interfluvios, así como en laderas empinadas de barrancos, pero particularmente los Xerochrepts se encuentran en sitios desprotegidos de cubierta forestal e incluso con alteración directa del suelo, como son los taludes de depósitos aluviales y coluviales inactivos, cercanos a los centros de habitación.

La alteración superficial que presentan los dos grupos, se traduce en la incipiente evolución de los horizontes A y B , en tanto que el horizonte C es de mayor desarrollo en el perfil.

El color del horizonte superficial es oscuro por el aporte de materia orgánica que tuvo el suelo anteriormente; sin embargo, a poca profundidad se vuelve gris oscuro, marrón o amarillo claro, lo cual denota reducida infiltración de agua en los horizontes inferiores.

Predominan las texturas ligeras de arenas gruesas y arcillas pesadas, en tanto que las arenas ligeras y limos han sido removidos por el escurrimiento. A pesar de que este tipo de textura es favorable a la infiltración, la fuerte pendiente y escasa cubierta forestal permiten el dominio del escurrimiento laminar y lineal del agua de lluvia.

B) Los suelos Cryandepts se expanden por el norte, noroeste y suroeste del territorio, hasta Tantoco. Estos se desarrollan sobre depósitos volcánicos finos (particularmente cenizas), de gran espesor y logran mayor estabilidad que los anteriores.

Los Cryandepts reciben el aporte constante de materia orgánica de especies caducas, que se degradan por podzolización, (descomposición de la materia orgánica por la falta de temperaturas altas).

Estos suelos son de importancia para el equilibrio hidrológico de la región, ya que aún están bien conservados y mantienen la humedad en su perfil (el cual llega a medir hasta dos metros), impidiendo la erosión por escurrimiento superficial del agua.

El horizonte A es de color oscuro y presenta amplio desarrollo, en tanto que el horizonte C tiende a volverse gris, y es también de gran profundidad.

Son de textura franco arenosa y franco, con la particularidad de que la estructura microgranular es suelta y porosa en el horizonte A, siendo deleznable cuando está seco.

C) Los suelos Cryandepts-Vitriandepts se distribuyen en el resto del territorio incluyendo Zacamulpa, Chimalpa y Acopilco, Estructuralmente son similares a los suelos Cryandepts, pero con la distinción de que contienen vidrio volcánico, mezclado con arenas y limos. Generalmente se les encuentra en zonas altas.

Son de textura franco limosa y presentan un horizonte de consistencia untuosa y colores rojizo o amarillento, causado por el intemperismo de los fragmentos de vidrio volcánico (Fig. 6).

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS

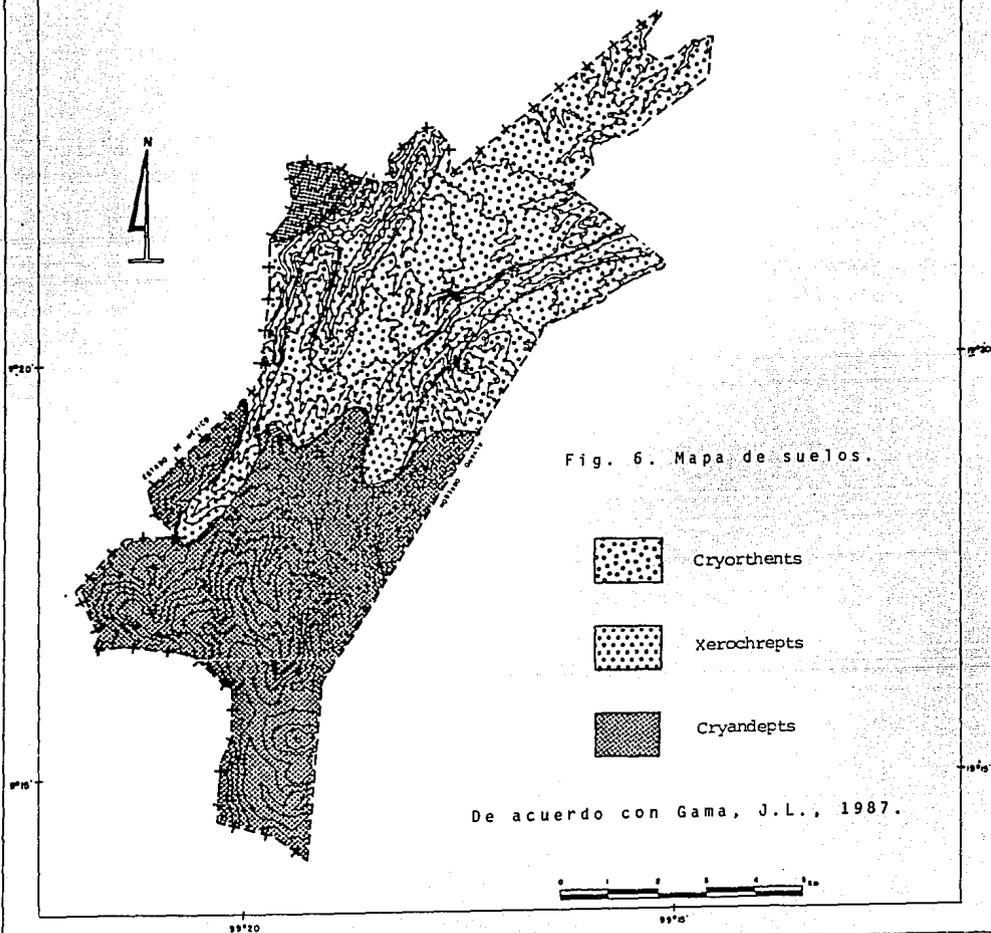


Fig. 6. Mapa de suelos.

-  Cryorthents
-  Xerochrepts
-  Cryandepts

De acuerdo con Gama, J.L., 1987.

III. DESCRIPCION GEOLOGICA, TECTONICA Y VULCANISMO.

3.1 Descripción geológica.

La geología de Cuajimalpa está determinada por una secuencia estratigráfica de tres formaciones geológicas que afloran en distintos puntos del área de estudio. El origen, tanto endógeno como exógeno denudatorio que las constituyen, es un indicador cronológico de la dinámica evolutiva del relieve para este territorio.

De acuerdo con Mooser, F. (1975), las formaciones geológicas que afloran en la zona de estudio son las siguientes:

A) Rocas ígneas extrusivas del Mioceno, que constituyen un basamento masivo sobre el cual yace la Sierra de las Cruces.

B) Formación las Cruces. Compuesta por derrames efusivos y depósitos piroclásticos del Plioceno y Pleistoceno.

C) Formación Tarango. Consiste en una secuencia de depósitos volcánicos, glaciales, fluvio-glaciales, fluviales y eólicos del Pleistoceno.

A) Rocas ígneas extrusivas del Mioceno.

Los depósitos del Mioceno corresponden a secuencias de tobas y brechas volcánicas, interestratificadas en la parte superior con coladas de composición intermedia y ácida (dacitas y andesitas), cuya edad va del

Mioceno Medio al Mioceno Tardío (Vazquez y Jaimés, 1988). Probablemente dicha secuencia es parte de la Formación Xochitepec del Mioceno Medio (Mooser, F., 1984).

Estos depósitos se distribuyen en la base de la Sierra de las Cruces y de acuerdo con De Cserna et al. (1988), deben aflorar en dos unidades. La primera al occidente del territorio, corresponde a una franja con dirección norte-sur, delimitada por las barrancas del Río Borracho. La segunda, en la Loma Los Conejos, abarca el área del poblado de Santa Rosa, al NW del Cerro del Judio. De estos afloramientos, sólo el segundo es de morfología suavizada y tal vez corresponde a antiguos aparatos volcánicos, cubiertos por depósitos de ceniza y flujo piroclástico; además éste último (Fig. 7) concuerda con el único afloramiento miocénico aceptado por Mooser, F., et al. (1986). En cuanto al primer afloramiento descrito por De Cserna, la inspección en campo deja ver que se trata de flujos de lava, flujos piroclásticos y ceniza volcánica, todos correspondientes a eventos posteriores al Mioceno.

La topografía heterogénea de las estructuras del Mioceno, aunada al lapso de calma volcánica que se extendió hasta la aparición del vulcanismo del Plioceno*, permitieron que la dinámica exógena desarrollara formas erosivas complejas en los edificios de andesita correspondientes a este periodo.

B) Formación Las Cruces.

La liberación de energía acumulada en el proceso de subducción en las costas del Pacífico reactivó la dinámica tectónica del centro del país hace unos 10

* De Cserna et al. (1988) indican un lapso de calma anterior a 10 millones de años, en el cual la actividad volcánica disminuyó considerablemente.

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS

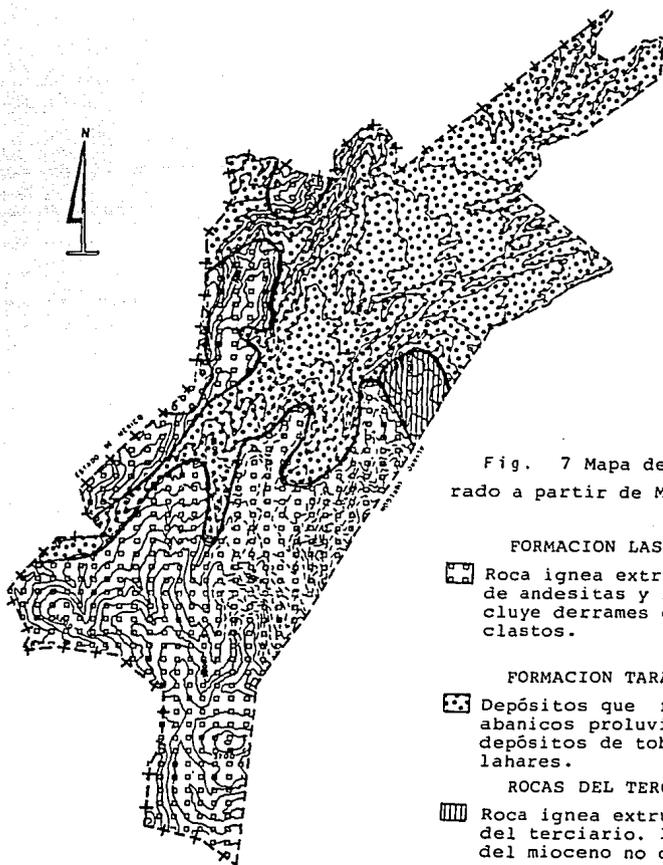


Fig. 7 Mapa de geología. Elaborado a partir de Mooser, F., 1975.

FORMACION LAS CRUCES

- Roca ignea extrusiva intermedia de andesitas y riolacitas. Incluye derrames de lava y piroclastos.

FORMACION TARANGO

- Depósitos que forman antiguos abanicos proluviales, incluyendo depósitos de toba volcánica y lahares.

ROCAS DEL TERCIARIO

- Roca ignea extrusiva intermedia del terciario. Incluye depósitos del mioceno no diferenciados.



99°20'

99°15'

millones de años (De Cserna et al., 1988). Esto se manifestó en el occidente de la Cuenca de Mexico con la emanación de flujos lávicos y depósitos de piroclastos del Plioceno que se reconocen como Formación Las Cruces.

En cuanto al origen de la Sierra de las Cruces, la SGODDF (1988) la considera del Plioceno tardío al Pleistoceno tardío; sin embargo, consideramos para este trabajo la opinión de otros autores (De Cserna, 1988 y Vázquez y Jaimes, 1989), quienes concuerdan en que Las Cruces es más antigua (Plioceno temprano)*, lo cual parece más acertado y se relaciona con la nueva actividad de finales del Mioceno.

Al parecer, la actividad volcánica del Plioceno temprano consistió en lavas ácidas que se mantuvieron hasta el Plioceno Medio, ya que el clima seco de ese entonces no fue favorable para el desarrollo de procesos erosivos.

La actividad volcánica se prolongó en todo el Plioceno temprano (Mooser, F., 1984) y paulatinamente los flujos lávicos se fueron tornando andesíticos, dando como resultado flujos lávicos viscosos para todo el Plioceno Medio (Cervantes, 1976).

Para el Plioceno Medio los primeros depósitos volcánicos habían sufrido un intenso afallamiento en bloques y formación de escarpes, que dieron mayor complejidad a las formas del relieve.

Los desniveles topográficos y los cambios climáticos que ocurrieron en aquel entonces favorecieron la erosión de las unidades volcánicas del Plioceno Medio. Según Mooser, F. (1984), la disección de las primeras rocas eruptivas de la sierra, dio origen a barrancos en las partes altas y a depósitos de acumulación

*Mooser, F., et. al. (1974), en De Cserna et. al. (1988), considera a las rocas dacíticas que conforman la Sierra de Las Cruces del Mioceno Superior-Plioceno.

en los niveles inferiores. Este proceso ocurrió en un lapso de aproximadamente 3 millones de años.

Vázquez y Jaimes (1988), indican que la secuencia de depósitos volcánicos incluye derrames lávicos de composición dacítica y andesítica, erupciones de piroclastos, donde destacan las capas de pómez y flujos piroclásticos generalmente no soldados. Gutiérrez (1947), agrega para éstos mismos, depósitos de brechas andesíticas y tobas pumosas al pie de la falda oriental de la sierra, así como la presencia de cristales de augita y hornblenda en derrames andesíticos.

Durante el Plioceno tardío y Pleistoceno la actividad volcánica se caracterizó por las erupciones del volcán San Miguel, del cual emanaron los flujos lávicos y depósitos piroclásticos. En la zona de monaña (arriba de los 3000 msnm) afloran secuencias de flujos lávicos y capas de ceniza volcánica, en tanto que en el piedemonte los depósitos volcánicos se interdigitan con otros de origen erosivo-fluvial principalmente; éstos últimos se formaron de la erosión de los conos y abanicos volcánicos. Al conjunto de estos depósitos se les denomina Formación Tarango.

Al conjunto de estos depósitos Bryan (1948) les denomina Formación Tarango.

C) Formación Tarango.

La Formación Tarango, descrita por Arellano A. y Bryan K., (1948), aflora al pie de las estructuras mayores que limitan el sur de la Cuenca de México. En la delegación Cuajimalpa, la Formación Tarango abarca la porción centro y norte

del territorio (por debajo de los 3,000 msnm), con espesores de 300 a 400 metros (Mooser, F., 1984).

La SGODDF (1988) le asigna una edad mayor a los 170,000 años, en la etapa glacial Illinoia de Norteamérica, es decir 300,000 años. Sin embargo, esta teoría no considera los depósitos que se formaron anteriormente con la erosión de las primeras muestras eruptivas del Pleistoceno. En éste último, los cambios climáticos y la formación de escarpes topográficos favorecieron la erosión que condujo al desarrollo de los primeros abanicos volcánicos al pie de la Sierra de Las Cruces, hacia finales del Plioceno y principios del Pleistoceno*.

La Formación Tarango consiste en depósitos provenientes de la actividad volcánica de la sierra, así como del transporte y acumulación de vulcanoclastos provocados por la acción erosiva de agentes exógenos. Por lo tanto, su formación no corresponde a un ciclo cerrado de carácter erosivo, sino a variadas fases de actividad alternada, a veces erosivo-denudatoria y a veces volcánico-magmática. Como resultado, se tienen depósitos de espesor variable en estado caótico y cementados en una matriz lodosa que se intercala con depósitos de origen volcánico.

De acuerdo con la SGODDF (1988), en ocasiones el lapso entre un evento y otro fue de estabilidad volcánica y erosiva, por lo que se desarrollaron suelos cafés, rojos o amarillos, dependiendo de las características climáticas prevaletentes.

Por otra parte, los depósitos de la Formación Tarango se transportaron por dos medios principales: la ceniza proveniente de las erupciones volcánicas,

* Bryan (1948), citado en De Cserna et al. (1988), le asigna edad pliocénica a la Formación Tarango.

se transportó por aire y se depositó en horizontes paralelos al relieve preexistente.

Otros productos circularon por las depresiones topográficas (flujos piroclásticos, lahares, etc.). La fuerte pendiente de los valles principales favoreció el rápido desplazamiento del material, hasta su depositación a manera de aluviones y proluviones. Esta superposición de capas formó los llamados "abanicos volcánicos".

Mooser, F. (1981) identifica dos etapas de distinta intensidad de acumulación, con base en las condiciones vulcanológicas y climáticas prevalecientes.

1) La primera etapa debió iniciar cuando la actividad erosiva se intensificó a finales del Plioceno y corresponde con la Tarango Inferior (op. cit.), ya que de hecho marca el inicio de los depósitos Tarango en el Plioceno tardío o Pleistoceno Temprano.

A este respecto, Marsal y Mazari (1959) y Hernández (1987), proponen un posible cambio climático acaecido hace algo más de 2 Millones de años, por el cual las condiciones de aridez fueron cambiando hasta la aparición de la primera glaciación. La transición debió ser de un millón de años aproximadamente y se caracterizó por continuas lluvias y la formación de corrientes fluviales, que erosionaron las laderas inestables de la zona montañosa y acumularon grandes volúmenes de piroclastos en el piedemonte.

Esta primera etapa coincidió también con el inicio en la formación del estratovolcán San Miguel (Mooser, F., 1984).

La importancia del San Miguel para la Formación Tarango radica en que los productos volcánicos de sus erupciones favorecieron la formación del piedemonte con el depósito de piroclastos cineríticos y pumíticos, así como flujos piroclásticos y lahares, principalmente.

Parece ser que la tectónica que afectó la región de la actual cuenca de México a finales del Mioceno y principios del Plioceno, tuvo continuidad en el Pleistoceno, ya que según Mooser, F. (1984) la Tarango Inferior tuvo fallamientos con dirección preferencial al NE y un periodo largo de erosión que se prolongó en gran parte del Pleistoceno.

Aunque no se tienen referencias de depósitos glaciales en esta primera etapa (Glaciación Nebraska y Glaciación Kansas de Norteamérica) se piensa que los procesos erosivos fueron intensos y permitieron la formación de algunas barrancas (Tarango, Tacubaya, Santa Fe, San Angel y Río Hondo). La SGODDF (1988) atribuye a esta etapa los flujos piroclásticos de la erupción "Cuquita" que afloran en la zona de Las Lomas.

Posteriormente, la actividad volcánica debió disminuir considerablemente hace unos 400,000 años, ya que la SGODDF (1988), indica la formación de suelos de clima cálido pertenecientes al periodo Interglacial Yarmouth de Norteamérica, y además que la secuencia de estos suelos se interrumpió por focos de actividad magmática que formaron depósitos de piroclastos de composición andesítica en Cuajimalpa, los domos de Totolapa y Cuajimalpa, secuencias de pómez, así como los piroclastos de los depósitos Cuquita.

2) A la segunda fase de la Formación Tarango, Mooser, F. (1984) la denomina Tarango Superior y se relaciona con la siguiente etapa eruptiva del San

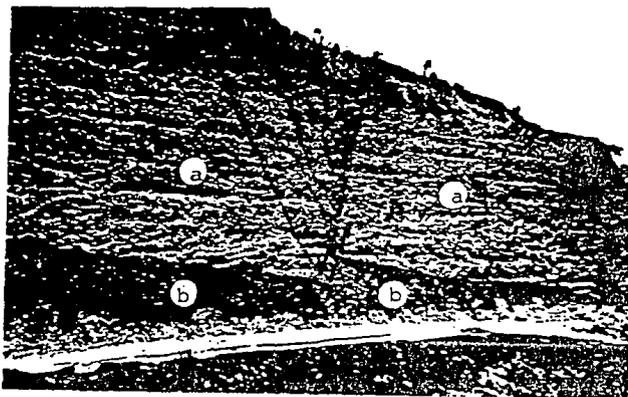
Miguel (contemporánea con la formación de la caldera del volcán) y con la aparición de la glaciación Illinois de Norteamérica.

El inicio de la actividad eruptiva debió ser primordialmente explosiva (típico de erupciones paroxísmicas, Mooser, F., 1984), por lo cual el magma interno fue expulsado violentamente, dando formación a capas de pómez y flujos piroclásticos que se expandieron a kilómetros del cráter. Por otra parte, la generación de vapor de agua y el posterior humedecimiento de las capas de piroclastos, causaron flujos de lodo y lahares que circularon por las barrancas de Tarango, Tacubaya, San Angel, Santa Fe y tal vez por la del Río Borracho.

Según Mooser, F. (1984), los lahares que corrieron por la barranca de Santa Fe formaron gravas y arenas que constituyen los renombrados depósitos de Arenas Azules de hace 170,000 años. Estos se transportaron a manera de masas caóticas de fragmentos angulosos y heterométricos, embebidos en matriz arenosa de andesita.

Tras la depositación de las arenas azules la actividad volcánica continuó siendo explosiva y consistió en erupciones de flujos piroclásticos de andesita y nuevas secuencias de toba amarilla y roja que cubrieron el piedemonte; mientras tanto, la zona montañosa culminó su formación con secuencias de flujos lávicos y la aparición de domos que se intercalaron con los depósitos de piroclastos.

De acuerdo con el trabajo de campo realizado, los depósitos Tarango en la parte de Las Lomas, incluyen una capa de arena pumítica, lahares de arenas azules, tobas volcánicas y capas de materiales fluviales. Estos depósitos presentan localmente intenso fallamiento y baja compacidad (SGODDF, 1988) (Fotografía. 1).



Fotografía 1. Contacto litológico de toba con clastos (a), suprayaciendo al flujo piroclástico gris rosado (b), en las minas de Santa Fe. El depósito está cortado por una falla normal (//) con desarrollo de fallas antitéticas (---).

Posterior a la actividad volcánica del Pleistoceno tardío, se desarrollaron suelos rojos, propios de climas moderados y que pueden tener relación con el interglacial Sangamon de Norteamérica. La unidad de suelos rojos se identificó en las barrancas de La Cañada y Santa Rosa, así como en el pueblo de Cuajimalpa.

Encima de la Formación Tarango hay dos horizontes tobáceos que se intemperizaron y erosionaron: uno en clima húmedo que se reconoce como meteorización Tacubaya, con suelos amarillos (Bryan, Arellano y De Terra, citados en Marsal y Mazari, 1959). El otro horizonte se intemperizó en clima seco, por lo que dió origen a suelos grises; con estratos de aluvión y alto contenido en fósiles.

Cuadro 6. Resumen de eventos geológicos ocurridos en los últimos 600 mil años.

EDAD (miles de años)	PERIODO GLACIAR DE NORTEAMERICA	CLIMA	PERIODO GEOLOGICO	EVENTOS DE ACTIVIDAD VOLCANICA	EVENTOS DE CALMA VOLCANICA	FUENTE DE EMISION	FORMACION
0-10	Wisconsin	húmedo	Holoceno			v. San Miguel	Tarango Superior
10-80		frío					
80-100		húmedo caliente					
100-170	Illinois Superior	frío	Pleistoceno	E. paroxísmica arenas azules lahares Flujo piroclás. flujo de lodo	valles en U abánicos al. suelos amarillos	2a. fase de actividad	Tarango Superior
170		frío arido					
170-300	Illinois Inferior	frío	Pleistoceno	lahar ciclópeo Cuajimalpa	barrancos: Tacubaya Tarango San Angel Rio Hondo súelos amarillos		Tarango Inferior
400-600		frío arido					
400-600	Yarmouth	árido caliente		domo Cuajimalpa secuencia de pómez flujo piroclás. domo Totolapá flujo piroclás. tico Cuquita	suelos rojos		

De acuerdo a Marsal y Mazari, 1959; SGODDF, 1988 y Mooser, F., 1984.

Los suelos cementados con placas de caliche depositados sobre el Horizonte Tacubaya, marcaron el inicio de un período seco (glacial Wisconsin), de hace aproximadamente 10,000 años. Dichas condiciones se prolongaron al final de la Tacubaya, durante el final del Horizonte Becerra y aún en los suelos que se depositaron sobre éste, es decir, el Horizonte Barrilaco, de 4500 o 7500 años (Gutiérrez, 1947).

En el piedemonte de la sierra los Horizontes Tacubaya y Becerra sobreyacen al resto de los depósitos de la Formación Tarango y de hecho Mooser, F. (1984) considera que son las capas más superficiales de esta Formación. El hecho es que los Horizontes Tacubaya y Becerra, así como el Horizonte Barrilaco, se originaron como parte de la misma secuencia de procesos eruptivos, erosivos y de estabilidad que el resto de la Formación Tarango. La secuencia cronológica de los eventos ocurridos en los últimos 600 mil años se muestra en el cuadro 6.

3.2 Tectónica y vulcanismo.

A) Tectónica.

La Sierra de Las Cruces es un complejo tecto-volcánico que cuenta con una edad aproximada a 5 millones de años, es decir, del Plioceno temprano Mooser, F. (1984). Sin embargo, De Cserna (1988) explica que los primeros signos de la dinámica volcánica aparecieron a fines del Mioceno.

Las bases que atestiguan la edad de la sierra se centran en el estudio de la tectónica, de lo cual se han formulado diversas teorías que se comentan a continuación.

Vázquez y Jaimes (1988) hacen notar que los tres aparatos volcánicos (refiriéndose seguramente al San Miguel, La Palma y Los Hongos) se alinean de norte a sur. Esta disposición la relacionan con el sistema de fallas escalonadas Chapala-Acambay, que se extiende en su porción oriental con el sistema de fallas que originó dichos volcanes.

Parece ser que la influencia de Chapala Acambay fue parte de un evento mayor, en el cual el vulcanismo del Plioceno de la Cuenca de México presentó un proceso migratorio hacia el sur. Según esto, los mismos autores adjudican distinta edad a estos volcanes, siendo el San Miguel el más antiguo, luego La Palma y el más reciente, al sur del volcán La Palma (no se encontró su nomenclatura oficial).

De acuerdo con la SGODDF (1988), esta sierra forma parte del complejo tecto-volcánico de la Cuenca de México, el cual sufrió una reactivación a finales del Mioceno y principios del Plioceno, lo que intensificó el fallamiento oligocénico, a partir del cual surgió la Sierra de las Cruces. Sin embargo, las evidencias geológicas y el análisis de rosas de fracturas (Cap. V), muestran que los fallamientos en Cuajimalpa tienen una dirección preferencial al NE y por lo tanto, que la reactivación tectónica del Mio-Plioceno originó un nuevo sistema de fallas con esta misma orientación.

La teoría anterior es apoyada con las ideas de Mooser F. (1984), y De Cserna et al. (1988), quienes indican que durante el Mioceno tardío la actividad tectónica de la Cuenca de México favoreció la formación de estructuras dirigidas al NW, y que en el Plioceno el proceso de subducción en la Trinchera de Acapulco provocó un cambio en la dinámica tectónica, por lo cual se formaron estructuras con orientación al NE.

En el Plioceno Medio la actividad tectónica continuó formando fallas preferenciales al NE, que bloquearon las capas de roca ígnea emanadas en la primera fase de actividad volcánica de Las Cruces. A finales del Plioceno y luego de una segunda fase de actividad volcánica, se reanuda la dinámica tectónica con nuevos fallamientos al NE. Posiblemente esta reactivación se relaciona con las fracturas de la Formación Tarango Inferior y con la formación de los principales barrancos del piedemonte.

El mismo autor considera una tercera fase de reactivación tectónica en el Cuaternario, que seguramente se vincula con la actividad volcánica que originó las arenas azules de hace 170,000 años.

A pesar de que los sistemas de fallas al NW, NNE y NE han tenido continuidad durante todo el Cuaternario (SGODDF, 1988), la rosa de fracturas elaborada en este estudio indica una dirección preferencial al NNE en todo el territorio.

En el piedemonte las orientaciones al NE y ENE son predominantes; ésto indica la aparición de nuevos sistemas posteriores a la actividad volcánica de la sierra.

Se puede concluir que la actividad tectónica del NE ha estado presente desde el origen de la sierra y que fracturó primero las rocas volcánicas del Mioceno y después las estructuras lávicas y depósitos piroclásticos de la Formación Las Cruces y de la Formación Tarango*. La activación de estructuras es evidente con la erupción de las arenas azules hace 170 mil años, aunque no se encontraron mayores referencias al respecto.

* Mooser, F. (1984), indica que los depósitos de Las Lomas han sido afectados en el Cuaternario por disyunciones del NE.

B) Vulcanismo.

La Sierra de Las Cruces se compone de una serie de volcanes, a los que la SGODDF (1988) clasifica como estratovolcanes complejos. Es decir, estructuras volcánicas formadas por una sucesión de eventos magmáticos, tanto explosivos como efusivos.

Posteriormente a un periodo de calma volcánica que se extendió en el Plioceno Medio, se inició una nueva fase en la que los eventos explosivos tuvieron mayor trascendencia que los efusivos, tanto por los volúmenes de material arrojado, como por lo que implicaron en el desarrollo posterior del piedemonte de la sierra. En este proceso, la presión generada por la acumulación de gases provocó la salida violenta del magma, por lo que éste fue lanzado y se expandió a manera de flujo piroclástico, depósito cinerítico y pumítico, principalmente.

Esta condición influyó para que la Sierra de las Cruces se desarrollara como la estructura volcánica de menor dimensión en la Cuenca de México, ya que se estima que originalmente no sobrepasó los 4000 msnm. Por otra parte, la sobreposición de los depósitos piroclásticos le dio mayor desarrollo y complejidad a la Formación Tarango, que en esta parte de la Cuenca tiene mayor desarrollo que en el oriente.

Esta actividad originó formas características del vulcanismo explosivo, donde destacan los cráteres de explosión y estructuras de flujos, como los frentes y laderas de lava. El ascenso de magma viscoso formó domos volcánicos, así como la acumulación de material piroclástico en los conos del centro y sur del territorio.

El vulcanismo explosivo tuvo una de sus fases más violentas a finales del Plioceno con erupciones piroclásticas. Este tiempo se caracteriza por la emanación de nubes ardientes y lahares, que cubrieron depósitos aluviales y se acumularon en la zona de Las Lomas.

Las estructuras volcánicas de mayor dimensión son La Palma y San Miguel, los cuales emitieron volúmenes importantes de piroclastos, en tanto que el resto, volcanes menores, quedaron semicubiertos y muchos de ellos tal vez sepultados, como es el caso de los volcanes Loma Los Conejos y Cuajimalpa (Fig. 8).

El volcán San Miguel es el que representa mayor interés, no sólo por su magnitud (3800 msnm), sino porque es el principal núcleo de expulsión de los piroclastos que componen la vertiente oriental de la Sierra de Las Cruces.

La vida activa del San Miguel se inició a finales del Plioceno, hasta algo más de cien mil años (Mooser, F., et al., 1986). La morfología del cono del San Miguel, muestra que la actividad consistió en dos fases principales: la primera de piroclastos y pumitas que tras su depositación se erosionaron durante un lapso de calma volcánica. La segunda sucedió hace 170,000 años, y según Mooser, F., et al. (1986), fue una erupción paroxísmica, tal vez la más violenta del volcán, formándose así el rasgo actual de caldera (Mooser, F., 1984).

De acuerdo con Milanovsky (en: Belousov, 1979), las erupciones paroxísmicas se caracterizan por dos fases: explosiva y la eruptiva. En el caso del San Miguel, la explosiva provocó la expulsión del tapón lávico que quedó como relicto del vulcanismo anterior y expulsó gran cantidad de piroclastos, producto de la alta acumulación de gases y vapores en el magma.

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS

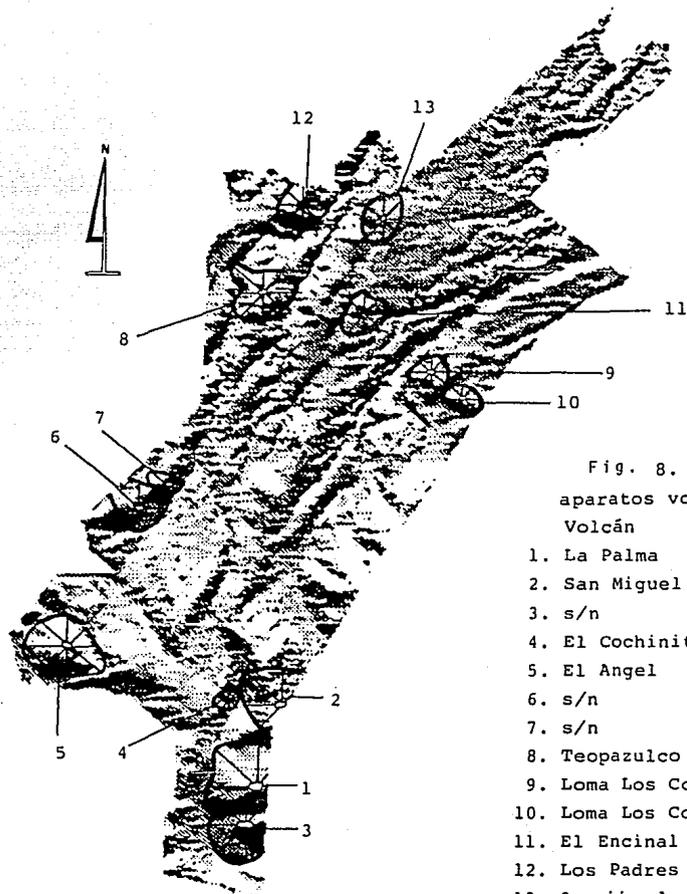


Fig. 8. Distribución de
aparatos volcánicos.

Volcán	Altitud (msnm)
1. La Palma	3810
2. San Miguel	3800
3. s/n	3720
4. El Cochinito	3670
5. El Angel	3330
6. s/n	3330
7. s/n	3180
8. Teopazulco	2950
9. Loma Los Conejos	2870
10. Loma Los Conejos	2870
11. El Encinal	2860
12. Los Padres	2840
13. Cuajimalpa	2780

La segunda fase consistió en la emisión de lavas, que debieron ser amplias en volúmen, aunque de poca longitud, ya que según De Cserna et al. (1988), estos derrames fueron dacíticos, es decir, de flujos ácidos y viscosos. Los piroclastos asociados a esta fase están representados por pómez de composición andesítica (SGODDF, 1988) y andesita azul.

3.3 Estratigrafía.

La estratigrafía en la zona de estudio es de composición y grado de alteración variables y por lo tanto, de diversa resistencia a la erosión y relacionada con la presencia de fenómenos de peligro para la población.

En Cuajimalpa afloran ocho unidades litológicas, cuya descripción se hace con base en una zonificación geomorfológica en la que se diferencian la zona de montaña y el piedemonte.

A) Zona de montaña.

La estratigrafía de la parte alta de la sierra incluye la intercalación de depósitos piroclásticos y flujos de lava, que constituyen la Formación Las Cruces. El mayor espesor de estos depósitos es de 600 m (De Cserna, et al., 1988) o 990 m. (Vázquez y Jaimes, 1989)

El sitio de emisión de los flujos de lava y piroclastos que caracterizan a la Formación Las Cruces fue el estratovolcán San Miguel-La Palma, de tal manera que las cimas de esos aparatos volcánicos están coronadas por lavas andesítico-dacíticas (SGODDF, 1988).

B) Zona de piedemonte.

En el piedemonte destacan los depósitos correspondientes a la Formación Tarango, la cual fue descrita en el apartado de geología de este capítulo. A continuación se realiza la descripción de ocho unidades litológicas que afloran en esta zona, basándose en observaciones hechas en trabajo de campo.

- Toba amarilla
- Toba roja
- Toba pumítica
- Depósitos de lahar
- Arenas azules
- Flujo piroclástico (gris-rosa)
- Coladas de lava e intrusivos
- Conglomerados

Toba amarilla.- Es la unidad de tobas más difundida en el piedemonte superior e inferior. Se compone de material de textura arcillosa o areno-arcillosa de color amarillo-ocre, en seco, y café-ocre, en húmedo. Generalmente se presenta con fragmentos andesíticos de aproximadamente un centímetro de diámetro, y localmente también presenta clastos de pómez, de menos de 1 cm, (Fotografía 2).

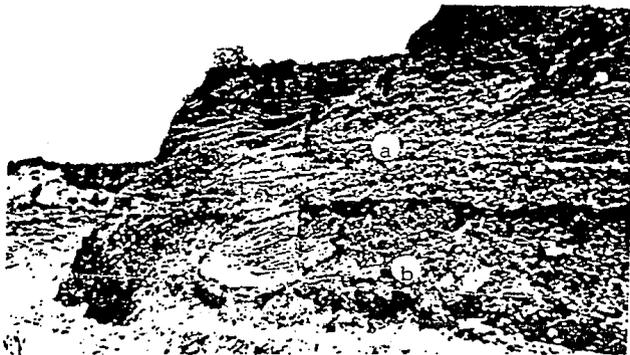
Los afloramientos más representativos se localizan al norte, nororiente y sur del cerro Teopazulco; además, en las divisorias, a la altura de los pueblos Cuajimalpa, San Mateo y San Lorenzo, donde los espesores no sobrepasan los 5 m y sobreyacen a los flujos piroclásticos (y a las Arenas Azules en San José de los cedros). En la colonia de Lomas de Vista Hermosa se les halla en dos unidades que limitan a la toba con pómez. El horizonte inferior aparece no

definido en la calle Paseo de los Laureles (a la altura de la llamada Colina del Perro), con espesor de 7 m; mientras que el horizonte superior está definido en la calle Loma de Tlapexco, con espesor de 3 m.

Estos depósitos generalmente están bien definidos en su contacto con el horizonte inferior y en su parte superior afloran con capas delgadas de suelo.

La resistencia del material a la erosión es variada, y por lo tanto se presenta un desarrollo desigual a los procesos de erosión fluvial: por surcos y escorrentía difusa.

El papel de la vegetación natural es importante, ya que el diaclasamiento y la diversidad de compactación de la roca es favorecido por el crecimiento de raíces hacia el interior de los depósitos. Este fenómeno ocasiona un debilitamiento en el empaque del material y lo hace susceptible a los diversos procesos de remoción.



Fotografía 2. Contacto de toba amarilla (a) y flujo piroclástico (b) sobre el acotamiento norte de la autopista México-Toluca (Santa Fe).

Toba roja.- Esta unidad se distribuye en todo el piedemonte, aunque su espesor disminuye notoriamente hacia el norte del territorio. El mayor espesor es de 4 m en el piedemonte y menor de 1 m en la porción más distal del mismo. El material que lo compone es de textura arcillosa y color marrón, en seco, (Fotografía 3).

El horizonte de toba roja se correlacionó con los suelos rojos comunes en los flancos del volcán Teopazulco, hasta el poniente del pueblo Cuajimalpa y en forma aislada en los pueblos de San Mateo y San Lorenzo.

La estabilidad de este material es débil en laderas de fuerte pendiente (mayor a 30°), y sobre todo, cuando sobreyace a los depósitos de flujo piroclástico, siendo factible el desarrollo de deslizamientos de tierra y caída de suelo.



Fotografía 3. Secuencia de flujo piroclástico gris (a), toba amarilla (b) y toba roja (c), sobre el flanco sur de la autopista México-Toluca, a la altura del pueblo San Lorenzo.

Toba pumítica.- Esta unidad litológica prácticamente no tiene representación en la zona de estudio; sin embargo, es importante mencionarla para la correlación de otras unidades. Se trata de un horizonte bien definido de toba amarilla ocre, con piroclastos de pómez de menos de 1 cm de diámetro.

En la colonia Lomas de Vista Hermosa se encuentra sobreyaciendo a la toba amarilla y subyaciendo a los depósitos de lahar.

Los depósitos de toba pumítica presentan baja resistencia a la erosión, aunque son poco representativos como elemento de riesgo.

Depósitos de lahar.- Se identificó en la zona de estudio un depósito que no es considerado en la literatura especializada, el cual corresponde con los materiales depositados por un flujo de lahar. Esta unidad aflora en la ladera sur del Río La Cañada, en la colonia Lomas de Vista Hermosa, así como en un afloramiento en las minas de Santa Fe, donde se le aprecia como depósito de relleno de valle, sobreyaciendo a las secuencias de tobas amarillas (Fotografía 4).

Se trata de un depósito masivo (6 m en Las Lomas y más de 10 m en San Mateo), de matriz areno-arcillosa y color amarillo ocre, en seco y café, en húmedo. Los fragmentos de andesita son de 2 cm de diámetro en promedio, siendo los menores de 0.5 cm y los mayores de hasta 1 m. Los fragmentos están moderadamente cementados con tobas.

Se considera que esta unidad litológica puede tener relación con el lahar de Las Águilas (Cordero, 1992). En cualquiera de los casos, en este trabajo será considerado como el "Lahar de Cuajimalpa".



Fotografía 4. Depósito del llamado "Lahar Cuajimalpa": (a) sobreyaciendo a la toba amarilla (b). Corte sobre Paseo de los Laureles (Colina del Perro).

Arenas azules. - En la zona de estudio se identificó un afloramiento de arenas azules en las minas de Locaxco (San José de los Cedros), con espesor de 15 m. Esta unidad consiste en una matriz arenosa de composición andesítica. Presenta fragmentos angulosos de andesita, cuyo tamaño varía de 1 cm a varios dcm. El depósito se presenta fuertemente cementado, siendo aparentemente estable, aunque según la SGODDF (1988), el secado y humedecimiento puede provocar el cizallamiento y desprendimiento de este material.

La unidad en cuestión muestra fracturas semiverticales a lo largo de todo el depósito, que pueden corresponder con los sistemas secundarios (con dirección al SW) que De Cserna et al. (1988) han explicado.

Flujo piroclástico. - Esta unidad está ampliamente distribuida en el piedemonte, y conjuntamente con la secuencia de tobas, son los depósitos más comunes que afloran en las laderas de los barrancos, al norte del territorio.

Se identificaron tres tipos de flujo piroclástico: uno al norte de la nueva autopista México-Toluca, a la altura del pueblo San Lorenzo y hasta la vertiente norte del cerro Teopazulco, así como en la barranca La Cañada, en las minas de Santa Lucía y en la colonia Lomas de Vista Hermosa. En estas zonas los piroclastos consisten en fragmentos andesíticos de color gris a rosado en seco, y café en húmedo, con matriz andesítica de textura areno-arcillosa (Fotografía 5). El grosor de los fragmentos es de 5 a 6 cm, siendo los más pequeños menores a 2 cm, y los mayores de 60 cm.

El mayor espesor de esa unidad en la zona de estudio, se tiene en las minas de Santa Lucía, con 20 m, aunque fue identificado un depósito de unos 40 m en la zona comercial de Interlomas (colonia Tecamachalco, Estado de México).



Fotografía 5. Contacto de falla con aparente movimiento inverso (↖). Los depósitos afectados son un flujo piroclástico gris-rosado (a) y uno rosa (b) en el cruce de las carreteras México-Toluca y Naucalpan-La Venta.

Otro tipo de flujo piroclástico se identificó sobre la carretera México-Toluca, entre San Lorenzo y El Zarco. Se trata de horizontes no definidos y con características similares a las del tipo anterior, pero en este caso de color gris-negro. Se considera que estos flujos tienen distinto origen y probablemente corresponde con los depósitos que la SGODDF (1988) indica como morrenas La Marquesa, las cuales pertenecen al período glacial Wisconsin de Norteamérica.

El último depósito de flujo piroclástico gris se observó en las calles Loma de Tlapexco y Bosque de Cedros (Colonia Lomas de Vista Hermosa), donde sobreyace a los depósitos de toba amarilla a manera de depósito de relleno de valle.

En este caso, los depósitos son similares a los anteriores, aunque con disminución en el calibre de los clastos, que no es mayor de 5 o 6 cm de diámetro. Por otro lado, se incrementa el volumen de la matriz, lo cual puede deberse a mayor contenido de agua en el material al momento de su transporte.

Finalmente, hay que mencionar la fuerte alteración que presentan localmente los depósitos de flujo piroclástico, al poniente del pueblo de Cuajimalpa y a la altura del club Lomas de Vista Hermosa (colonia Lomas de Vista Hermosa), donde presentan débil compactación y cementación. La alteración de los depósitos, en ambos casos, ha modificado la estructura de los fenocristales, mostrando un alto grado de deterioro en la roca.

El carácter local de dichas alteraciones lleva a pensar en una posible influencia tectónica, mediante el fallamiento de los depósitos de flujo piroclástico, así como el desarrollo de procesos de erosión diferencial.

Coladas de lava e intrusivos.- En el piedemonte los flujos lávicos se originaron de tres fuentes distintas. Unos se relacionan con aparatos volcánicos de la zona de montaña, otros de algunos focos locales y finalmente los que tienen su fuente de origen en volcanes del Estado de México, al poniente.

Los flujos que provienen de la zona de montaña son los de mayor desarrollo y afloran en el centro del territorio. Depósitos de este tipo sobreyacen a los flujos piroclásticos, al oriente de la carretera México-Toluca, entre San Lorenzo y Cuajimalpa.

Las coladas locales se relacionan con procesos eruptivos de menor dimensión. Esta unidad se localiza en las vertientes N y NNW del cerro Teopazulco y al poniente del pueblo San Lorenzo. En ambos casos los bloques de lava andesítica sobreyacen a los depósitos de flujo piroclástico gris-rosado. En ocasiones esta unidad litológica muestra fuertes rasgos de intemperismo, (Fotografía 6).



Fotografía 6. Afloramiento de lava (a) sobre el flujo piroclástico gris-rosa (b). El depósito se ubica al NW del volcán Teopazulco.

Finalmente los flujos lávicos cuya fuente de origen está en territorio del Estado de México, corresponden con las elevaciones en el extremo poniente de la delegación. Son flujos lávicos de gran volúmen (100 m a la altura del pueblo San Lorenzo) y que muestran fallamiento con dirección NNE, seguramente vinculado con la falla del Río Borracho.

Aunque los intrusivos se encuentran desmembrando, sin arreglo tectónico aparente el piedemonte, se identificaron 3 intrusivos (2 domos y 1 dique) en un área definida entre los volcanes Teopazulco, Cuajimalpa y Los Padres.

Se cree que el ascenso de intrusivos en el area descrita tiene edad pleistocénica y se relaciona con la formación del volcán Teopazulco y con la dinámica tectónica del sistema de fallas vinculadas con el Río Borracho. Pueden tener edad cercana a 170,000 años (Fotografía 7).



Fotografía 7. Intrusivo (a) posterior al depósito de flujos proclásticos, se encuentra en la carretera Naucalpan- La Venta, a la altura del pueblo de Cuajimalpa.

Conglomerados.- Esta unidad litológica se distribuye en el piedemonte inferior, en el fondo de barrancos de los sistemas del Río Borracho y La Cañada, así como en la zona de Las Lomas. Consta de cantos provenientes de la erosión de flujos piroclásticos, por lo cual es la unidad más reciente.

La correlación entre las unidades litológicas descritas en este apartado se realizó con la elaboración de columnas estratigráficas y siete perfiles, de los cuales a continuación se describen los tres más representativos de la estratigrafía de Cuajimalpa (Fig. 9).

Perfil no. 1.- Este perfil atraviesa la zona de minas, al NE de la zona de estudio. Se aprecia la secuencia flujo piroclástico-toba amarilla, que es común en todo el piedemonte. Localmente, la remoción de la capa de toba ha dejado al descubierto al flujo piroclástico.

Por otra parte, no se observa correspondencia entre los depósitos de lahar, flujo piroclástico y arena azul, lo cual corrobora la idea de que dichos materiales se debieron haber transportado por valles fluviales independientes, perdiendo contacto entre sí (Perfil 1).

Perfil 2.- Corta a los ríos Atitla y La Cañada (Fig. 9). En este perfil el flujo piroclástico gris-rosado subyace a depósitos de toba (amarilla y roja). En el valle del Río La Cañada el flujo piroclástico fue removido por la erosión, presentándose en los niveles inferiores del barranco acumulaciones de conglomerados, producto de la actividad erosiva reciente.

El ascenso de intrusivos responde a la acumulación de esfuerzos internos, anteriores y posteriores al depósito del flujo piroclástico (170,000 años), (Perfil 2).

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS

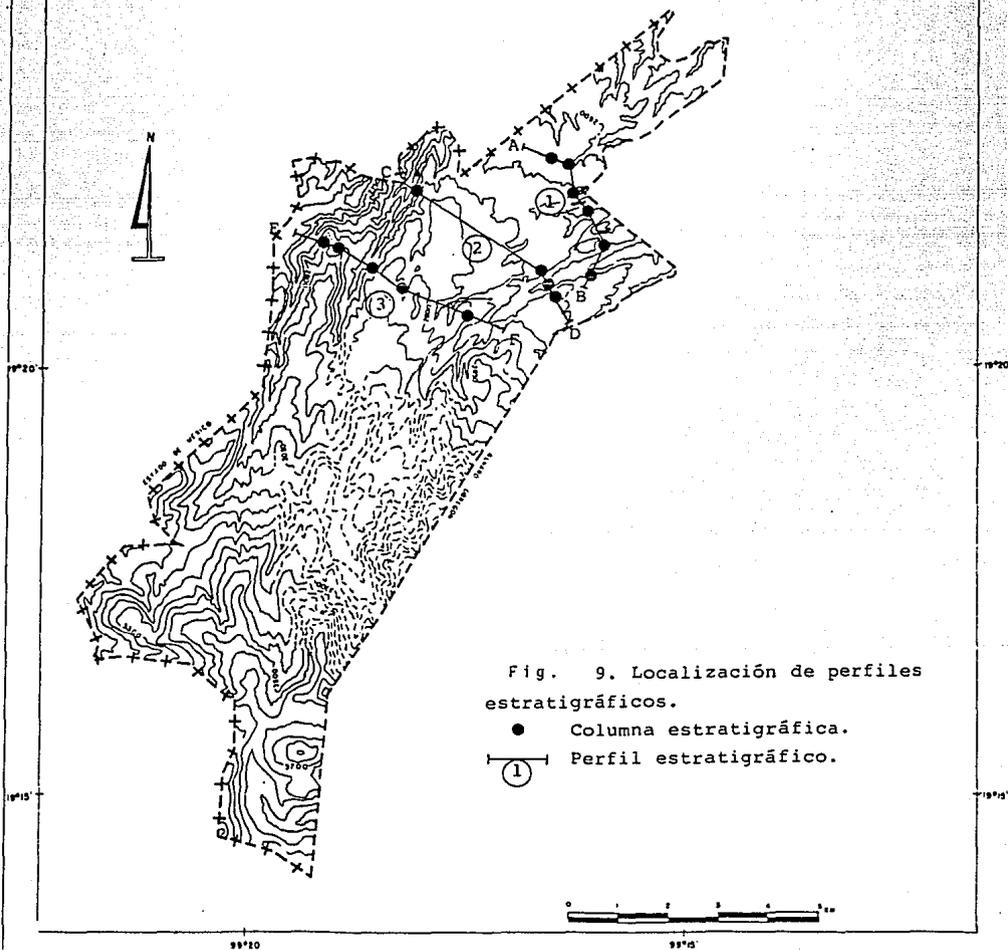
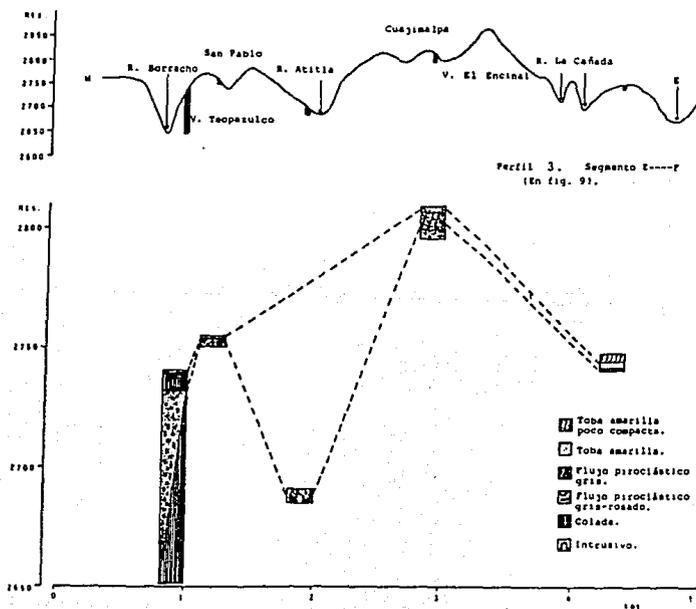


Fig. 9. Localización de perfiles estratigráficos.

- Columna estratigráfica.
- ① Perfil estratigráfico.

Perfil 3.- De poniente a oriente corta los ríos Borracho, Atitla y La Cañada (Fig. 9). Se observa nuevamente la secuencia más común de unidades litológicas que componen el piedemonte de la zona de estudio: en la base, los depósitos indefinidos, y en ocasiones masivos, de flujo piroclástico gris-rosado, subyaciendo a la toba amarilla. La variación de espesor de ésta, debe ser efecto de la erosión diferencial de estos depósitos. Esta secuencia forma parte de la Formación Tarango Superior.

Las coladas de lava provenientes del volcán Teopazulco son posteriores a los depósitos de flujo piroclástico, y de hecho, la fuerte alteración que presenta localmente éste último, puede guardar relación con la actividad de dicho volcán, (Perfil 3).



IV. RELIEVE DE LA DELEGACION CUAJIMALPA

IV.1 MORFOMETRIA.

La morfometría es el estudio de las formas del relieve a partir de la cuantificación de determinados elementos lineales, puntuales y areales del relieve, como son la longitud, superficie, volumen, altura absoluta y relativa, pendiente, orientación, densidad, frecuencia, etc. (Lugo, 1988), los cuales tienen variaciones espaciales y se relacionan entre sí.

La elaboración de mapas morfométricos es básica para el análisis y clasificación del relieve, ya que se considera, aunque de manera indirecta, el origen, la estructura y dinámica del mismo.

Uno de los aspectos de mayor importancia en el análisis morfométrico es la selección de los mapas que se elaboran, así como la interpretación de los mismos. En este trabajo se presentan siete mapas morfométricos, cuya selección se hizo con base en el objetivo central del trabajo: analizar la estructura geológica y geomorfológica, con el propósito de mostrar los principales procesos del relieve y evaluar el impacto que éstos tienen sobre los asentamientos humanos:

- 4.1 Mapa altimétrico
- 4.2 Mapa de densidad de la disección
- 4.3 Mapa de profundidad de la disección
- 4.4 Mapa de pendientes
- 4.5 Mapa de lineamientos
- 4.6 Mapa de intensidad de erosión
- 4.7 Mapa de susceptibilidad a procesos de inestabilidad de vertientes

4.1 Altimetría.

El mapa altimétrico es un material de análisis geomorfológico que permite simplificar e identificar de manera clara e inmediata las principales unidades morfológicas del relieve.

Para la elaboración de este mapa se tomó en cuenta el criterio de Lugo (1988): "el aspecto más importante consiste en determinar los intervalos de altitud". Por tal motivo, se aplicó la metodología empleada por Simonov (en Zamorano, 1990), y que consiste en los siguientes pasos:

a. Se hizo un muestreo sistemático de las alturas absolutas (alturas en msnm), utilizando los puntos de intersección de la proyección U.T.M., trazada en la carta topográfica a escala 1:10,000 de la Tesorería del Distrito Federal (1985). De esta manera se obtuvieron valores de alturas absolutas de 81 puntos, localizados a un kilómetro de distancia cada uno. La distancia entre cada punto muestreado fue de 1 km.

b. Con los valores obtenidos se elaboraron cinco histogramas de frecuencia con intervalos variables (seleccionados al azar) a: 18, 13, 10, 7 y 5 rangos, con el fin de analizar el comportamiento de los datos (Fig. 10).

c. Se seleccionó el histograma que mejor caracteriza las distintas unidades del relieve de la delegación; éste fue el de 7 rangos con intervalos de 230 m (Fig. 11). Aunque el histograma de cinco rangos presenta la distribución más normal (campana de Gauss), no se logra la caracterización del relieve, ya que el mapa quedaría muy simplificado. Al contrario, los histogramas a 10, 13 y 18 rangos mostrarían información excesiva y poco representativa para esta zona.

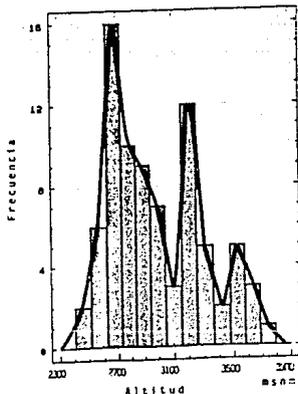
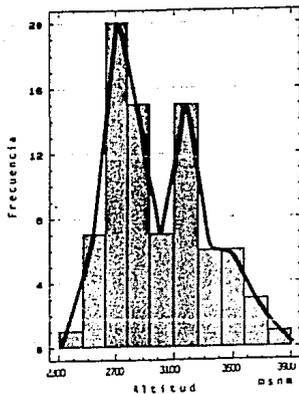
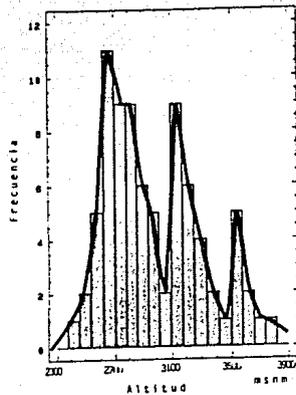
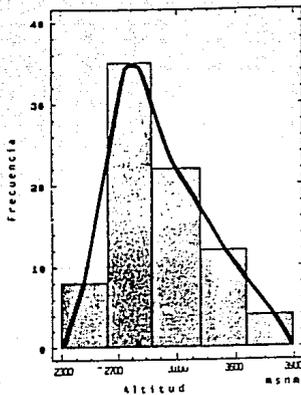


Fig. 10. Histogramas de frecuencia con 18, 13, 10 y 5 rangos de altitud. En línea gruesa se indican las campanas de Gauss.

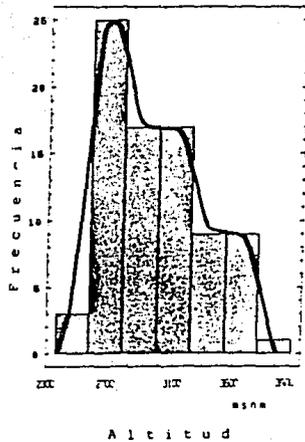


Fig. 11. Histograma de frecuencia con 7 rangos. En línea gruesa se indica la campana de Gauss.

En el histograma de siete rangos, el valor mínimo del primer rango es 2300 msnm y el máximo del último rango es 3900 msnm. El valor obtenido para cada intervalo es de 228.571 m. Sin embargo, para mejor definición de las fronteras de altitud se redondeó el valor para cada rango a 230.0 m.

De acuerdo con ésto, los valores para cada rango quedaron de la siguiente manera:

RANGO	INTERVALO (en msnm)	
	DE	A
1	2300.0	2530.0
2	2530.0	2760.0
3	2760.0	2990.0
4	2990.0	3220.0
5	3220.0	3450.0
6	3450.0	3680.0
7	3680.0	3900.0

El error acumulado en cada rango da un total de 10.0 m (6%), el cual es tolerable, ya que no afecta el resultado final del mapa.

d. Con los rangos anteriores se elaboró el mapa altimétrico, utilizando hachures que favorecieran el efecto visual representativo de cada unidad del relieve (Fig. 12).

Como ya se mencionó, con el mapa altimétrico se obtiene una imagen sintética del mapa topográfico, y se reconocieron dos zonas principales que constituyen el relieve de la delegación Cuajimalpa:

a) Zona de Montaña

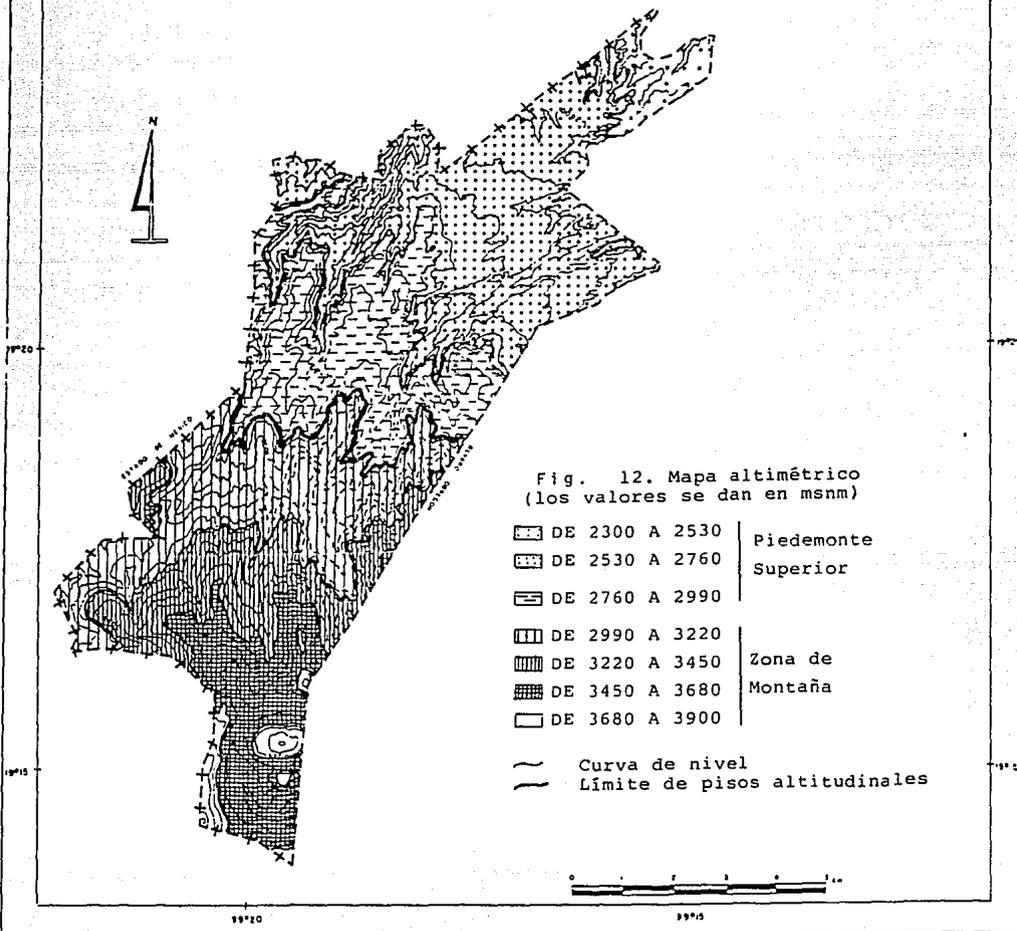
b) Zona de Piedemonte.

a) Zona de Montaña.

Esta zona se extiende de los 2990 a los 3850 msnm, con un desnivel general de 850 m. Comprende las cimas y laderas de montaña, así como sus derrames de lava. Los aparatos volcánicos más representativos por su altura (mayores a 3700 msnm) son El Muñeco, La Palma, San Miguel, Los Hongos, El Caballete y El Triángulo.

- Las cimas de montaña corresponden a la parte alta de los conos volcánicos, domos y calderas, los cuales se distribuyen alineados con dirección de sur a norte, principalmente. Dos alineamientos son particularmente notorios: uno esta formado por las montañas La Palma (3810), San Miguel (3800), El Caballete (3700) y Los Hongos (3700). El otro alineamiento se forma por el volcán El

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS



Muñeco (3850) y otras cimas ubicadas a 3850, 3780, 3730 y 3600 msnm, hacia el norte. Los alineamientos de edificios volcánicos son fácilmente identificables en planta con la secuencia de divisorias de agua de tipo rectilíneo.

- Las laderas de montaña corresponden a edificios volcánicos, frentes y laderas de lava que se extienden con dirección al N y NNE.

-Las coladas de lava también se ubican en esta zona y sus características morfológicas y distribución son más regulares que en las estructuras volcánicas. Debido al carácter fluido de estos depósitos, se distribuyen a manera de lenguas alineadas en varias direcciones al norte de los aparatos volcánicos, hacia el piedemonte.

Las pendientes fluctúan entre 5° y hasta 90° , siendo menores en superficies de coladas de lava y mayores en laderas de edificios volcánicos. Particularmente los valores más altos se tienen en las laderas de los volcanes Los Hongos, El Caballote y El Ocotal, en los cuales la pendiente alta se vincula con el control estructural de la zona.

En la mayoría de los casos, las laderas de montaña están moderadamente disecadas y la diferencia de altura entre el cauce y la parte alta de la montaña llega a ser mayor de cien metros (como en los cerros El Caballote, Los Hongos y El Ocotal).

Cabe mencionar la presencia un desnivel topográfico que se presenta a los 3100 msnm aproximadamente y que delimita las zonas ocupadas por los aparatos volcánicos. La primera comprende el extremo sur (volcanes El muñeco, La Palma, San Miguel, El Caballote y Los Hongos), y la otra que abarca el oriente de la zona de montaña (Volcán El Ocotal). La ubicación de estas dos zonas se

muestra en la figura 13, en la cual se presentan diversas zonas dependiendo del grado de inclinación general del relieve.

b) Zona de Piedemonte.

Se extiende de los 2990 a los 2440 msnm y se trata de una rampa acumulativa de vulcanoclastos (de flujo y de caída), los cuales provienen tanto de la actividad volcánica de la sierra, como del transporte por medio de las corrientes fluviales. La inclinación del relieve varía de 2 a 7^o (Fig. 13).

Según Ortiz et al. (1990), esta zona corresponde al piedemonte superior de la sierra de Las Cruces y se caracteriza por la presencia de procesos fluviales intensos, así como por una alta densidad de la disección, representada por densos abarrancamientos en algunas porciones del piedemonte.

De esta forma, el sistema de valles se presenta moderadamente disecado y mantiene el patrón fluvial de tipo dendrítico, con disposición paralela en la secuencia de valles y divisorias. En el extremo norte de la delegación el sistema fluvial se sintetiza en menor número de corrientes, debido a la disminución de la pendiente, así como por la mayor cercanía con el piedemonte inferior y el nivel de base de la cuenca.

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS

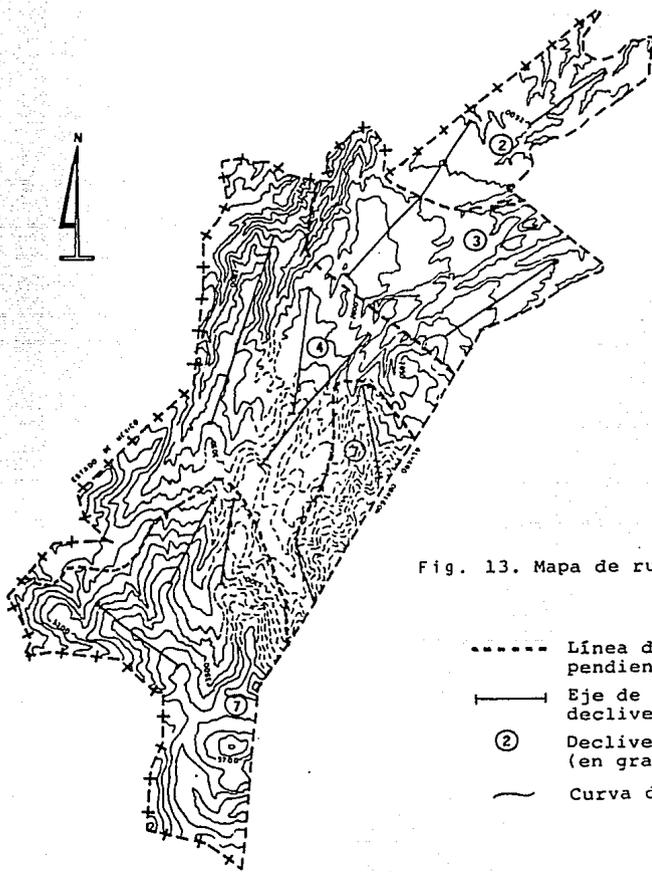


Fig. 13. Mapa de rupturas de pendiente

- Línea de ruptura de pendiente.
- |— Eje de medición de declive topográfico.
- ② Declive topográfico (en grados).
- Curva de nivel



4.2 Densidad de la disección

El mapa de densidad de la disección muestra la relación entre la longitud de talwegs y la superficie del terreno sobre la que éstos se miden.

La finalidad de este mapa es indicar la predisposición del relieve a desarrollar procesos erosivos. Cuando los valores son bajos, quiere decir que ha habido poca afectación por la acción erosiva del agua de escurrimiento; en tanto que las densidades altas indican valores altos de disección del relieve por erosión.

Los valores de densidad de la disección dependen de la interacción de varios elementos como son la pendiente, el tipo de roca y el grado de fractura, el tipo e intensidad de la precipitación pluvial, el tipo y densidad de cobertura vegetal y el estrato edáfico. Sin embargo, en este mapa los elementos citados se evalúan indirectamente por medio del análisis de la densidad de la disección.

El método para la elaboración de este mapa se retomó de Lugo H. (1988) y Símonov (en Zamorano, 1990) y consiste en lo siguiente:

a) Se elaboró el mapa de la red fluvial a detalle, escala 1: 20,000.

b) Se midieron los valores máximos y mínimos de densidad de la disección en diferentes áreas (0.25, 1.0, 4.0, 16.0 y 64.0 cm^2). Los valores se ajustaron (valores de AN y AP) mediante un proceso matemático y se graficaron, donde en el eje de las "x" se obtuvo un valor representativo para la malla, el cual fue de 2 cm^2 , es decir, una superficie de 0.16 km^2 (Fig. 14).

Muestras de longitud de corrientes para distintas unidades de superficie.

Tamaño de la muestra (cm ²)	Longitud de corrientes (km)	
	Máximo	Mínimo
0.25	0.4	0.0
1.0	1.1	0.0
4.0	3.8	0.0
16.0	11.0	0.7
64.0	35.2	10.24

Obtención de valores de "AN" Y "AP"

Sup. (cm ²)	Datos		AN	Max/cm ²	Min/cm ²	AP
	Máximo	Mínimo				
0.25	0.4	0.0	0.4	1.6	0.0	1.6
1.0	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1
4.0	3.8	0.0	3.8	0.95	0.0	0.95
16.0	11.0	0.7	10.3	0.68	0.0	0.68
64.0	35.2	10.24	24.96	0.55	0.16	0.39

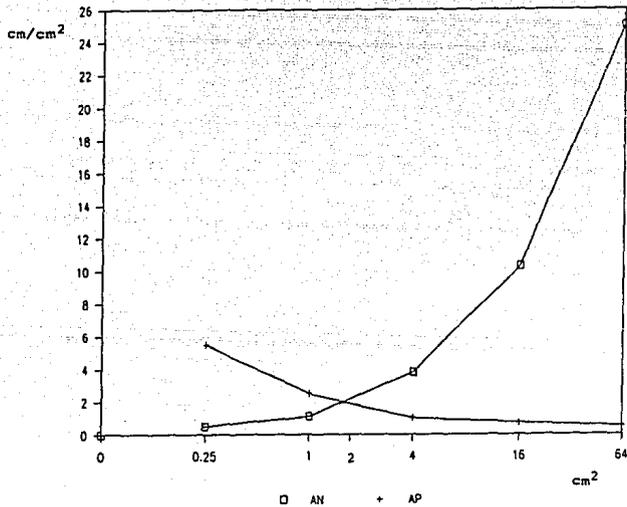


Fig. 14. Gráfica de relación entre los valores de "AN" y "AP", para la obtención del tamaño de cada muestra de densidad de la disección.

c) Con base en lo anterior se midió (con ayuda de un curvímetero) la longitud de cauces comprendidos en cada muestra y se dividió entre el área, de .16 km². Se interpolaron los valores para trazar isolíneas de densidad de disección (Fig. 15).

Los rangos de densidad de la disección son los siguientes:

1.	0 - 0.5	km/km ²
2.	0.5 - 1.0	"
3.	1.0 - 1.5	"
4.	1.5 - 2.0	"
5.	2.0 - 2.5	"
6.	2.5 - 3.0	"
7.	> - 3.0	"

La distribución de los valores de densidad no guarda vínculos directos con la zonificación altitudinal del relieve (en zona de montaña y piedemonte). Sin embargo, cabe señalar que las mayores densidades (3.0 km/km² o más) son más comunes en depósitos volcánicos de caída de la Formación Tarango, así como en algunos depósitos volcánico-andesíticos de la Formación Las Cruces.

Por otra parte, se notó una fuerte correspondencia entre la distribución de la densidad de disección con la morfología de vertientes, ya que las laderas cóncavas y rectas presentaron valores altos, en tanto que las convexas provocaron descensos en la densidad de la disección. Esta relación se explica en base al comportamiento de la morfología de vertientes:

Las laderas cóncavas son concentradoras de humedad y tienden a acumular el agua de escurrimiento en las partes bajas, donde la superficie es

más estrecha, aumentando el volúmen relativo del agua y por lo tanto, el poder erosivo del suelo aumenta.

Por otra parte, las laderas convexas o esparcidoras tienen un comportamiento opuesto al anterior, ya que la humedad captada en la parte alta se transporta a niveles inferiores, donde el área de la ladera aumenta, por lo cual la humedad se expande y disminuye el poder erosivo de la corriente.

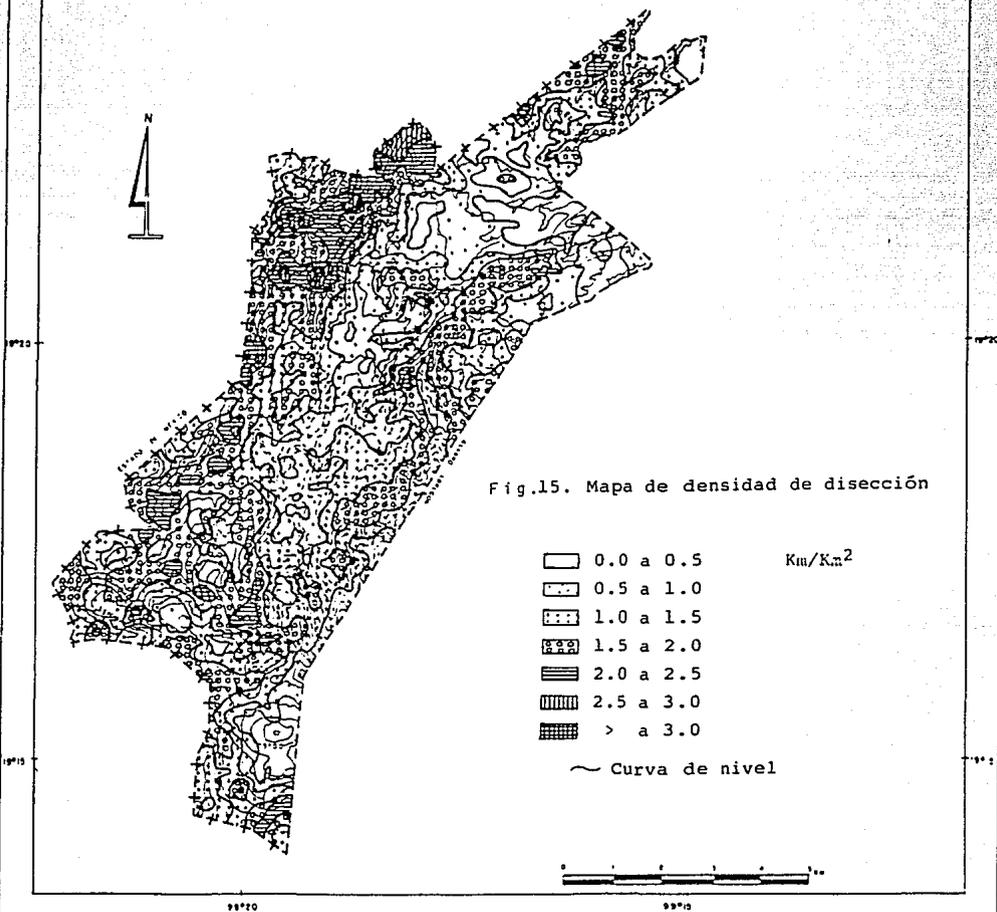
Debido a lo anterior, las mayores densidades de cauces (de más de 2.5 km/km²) se distribuyen a manera de franjas paralelas a lo largo de los valles fluviales, con dirección preferencial al NNE y NE, y disminuyen hacia las cimas o lomas de las partes elevadas del relieve.

Esta situación se ejemplifica en el valle de los ríos Borracho y Atila, donde se alcanzan los valores más altos del territorio, sobre pendientes de más de 30°. Dichos valores llegan a ser de más de 3.0 km/km² de densidad y decrece de 0.0 a 0.5 km/km² en los interfluvios (Fig. 15).

Otra zona con fuerte densidad de disección se localiza en el valle La Cañada, a la altura del pueblo San Mateo, con valores máximos de 2.5 km/km². A partir de esta localidad los valores disminuyen hacia el oriente y aumentan al poniente, siendo de 2.5 y 3.0 km/km² a la altura del pueblo de Santa Rosa.

Cabe señalar que en todas estas zonas, la densidad de disección se relaciona con estructuras disyuntivas, ya que dichos sitios son atravesados por los sistemas de lineamientos de mayor longitud del territorio, de los cuales los sistemas de los ríos Atila y La Cañada (San Mateo) han sido reconocidos como fallas geológicas por otros autores, entre los que destacan De Cserna et. al. (1988) y Mooser, F. (1981 y 1986).

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS



Hay que mencionar que la litología también determina la presencia de valores altos de densidad fluvial. Para esta zona coincide con depósitos de flujo piroclástico (valle La Cañada) y con secuencias de flujos piroclásticos y cenizas (valles de los ríos Borracho y Atitla).

La distribución de valores altos se extiende al S y NE del territorio en dos áreas. La primera en la parte centro-sur de la delegación, sobre el curso alto del Río Borracho. Es una zona extensa de depósitos igneos de la Formación Las Cruces, donde los valores máximos de densidad son de 2.5 a 3.0 km/km^2 . La otra zona es al NE de la delegación en una porción fuertemente fracturada y compuesta por secuencias de toba masiva, toba con pómez y depósitos de flujo piroclástico gris. Los valores máximos que se tienen son de 2.5 km/km^2 (Fig. 15).

Por otra parte, la distribución de los valores intermedios (de 1.0 a 2.5 km/km^2) y bajos (de cero a 1.0 km/km^2), se tiene en las divisorias y principalmente en el piedemonte. El pueblo de Cuajimalpa es la zona más extensa con valores de densidad menores a 1.0 km/km^2 (Fig. 15).

En el análisis de la disección del relieve es importante considerar la distribución de la precipitación y la exposición de las laderas, ya que de ellos depende en buena medida los valores del agua de escurrimiento superficial. Sin embargo, contrariamente a lo que podría esperarse, la distribución de los valores de densidad no corresponde con la distribución de los parámetros pluviales ni con el grado de exposición de las laderas.

Como se ha visto, los niveles de la lluvia anual que se dan en Cuajimalpa son de 1200 mm para el NE y cerca de 1500 mm al sur, mientras que los niveles de lluvia máxima en 24 hrs son de menos de 70 mm al NE y más de 140 mm en la

zona de montaña (ver mapa de intensidad máxima de la lluvia en 24 h.). Según estos datos, los valores máximos de escurrimiento deberían presentarse al sur del territorio, contrariamente a lo que en realidad sucede. Esto confirma la idea de que la erodabilidad del suelo está más en relación con las condicionantes del material litológico y la dinámica tectónica que con la influencia pluvial que predomina en esta zona.

A manera de conclusión se puede decir que en este territorio, la densidad de disección está condicionada primordialmente por la distribución de estructuras disyuntivas, la litología, las pendientes de 30° y la geometría de vertientes cóncavas y rectas.

4.3 Profundidad de la disección.

El mapa de profundidad de la disección tiene la finalidad de mostrar el valor del corte vertical de los ríos y por lo tanto, el grado de erodabilidad del relieve, en donde los valores más altos están en relación con la litología y la distribución de estructuras disyuntivas.

Durante el proceso de erosión fluvial, los escurrimientos tienden a concentrarse en los sitios donde las rocas presentan menor resistencia al proceso erosivo. Desde los hilillos de la escorrentía difusa, hasta las corrientes de tipo permanente, se desarrollan a lo largo de zonas de debilidad, las cuales se vinculan con la pendiente, la vegetación, el volúmen y carga de las corrientes o las características de la roca madre. De estos elementos, el más relevante es la estructura de la roca y de las unidades geológicas, en particular los planos de debilidad (diaclasas, fracturas y fallas).

El valor del corte vertical de los ríos se obtiene con la medición a partir del talweg (en línea vertical) hasta el borde superior del valle. La elaboración del mapa de profundidad de la disección consistió en los siguientes pasos secuenciales:

a) Se realizó un muestreo sistemático de valores de profundidad de disección sobre el mapa topográfico base del área de estudio, donde el tamaño de cada zona de muestra se determinó con la misma malla elaborada para el mapa de densidad de la disección.

b) Se determinaron rangos de profundidad de la disección, donde el valor mínimo fue de 5 m (ya que se obtuvieron mediciones de los espacios entre curvas de nivel cuando era necesario) y el máximo de 60 m. Dado que el mapa

topográfico tiene acotamiento a cada 10 m, la definición de los intervalos de profundidad se hizo también a cada 10 m.

c) Se demarcaron áreas con igual valor de profundidad de disección y se usaron achures apropiados al efecto visual deseado para cada rango.

Los valores más altos de profundidad de la disección (mayores de 50 m) se localizan en el piedemonte, donde se distribuyen a manera de alveolos. Dichas áreas se relacionan con valores altos de densidad de disección, con laderas de pendiente mayor de 15° y con distintos niveles altitudinales, que a su vez corresponden con fallas de orientación preferencial al NNE y NE.

Como ejemplo de lo anterior se tienen tres zonas. La primera se localiza sobre el curso del valle La Cañada, al NW de Santa Rosa y San Mateo. La morfología corresponde a laderas de barrancos y divisorias. Cabe señalar que en esta zona existen fallamientos regionales importantes (orientados al NE), además de varias evidencias geomorfológicas que denotan la presencia de fracturas secundarias, asociadas al sistema disyuntivo principal. El valor de profundidad para esta zona es de 60 m y está determinado por el control estructural y la litología (secuencias de toba volcánica, la cual sobreyace a depósitos de flujo piroclástico gris-rosado) (Fig. 16.)

La segunda se ubica en el extremo NE de Cuajimalpa, donde la profundidad de excavación fluvial es de 60 m. El basamento es de depósitos masivos de toba de grano fino a medio, flujos piroclásticos y lahares. Estos depósitos son explotados en minas a cielo abierto, lo cual, junto con el poder erosivo de los escurrimientos, ha favorecido valores altos de profundidad de la disección.

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS

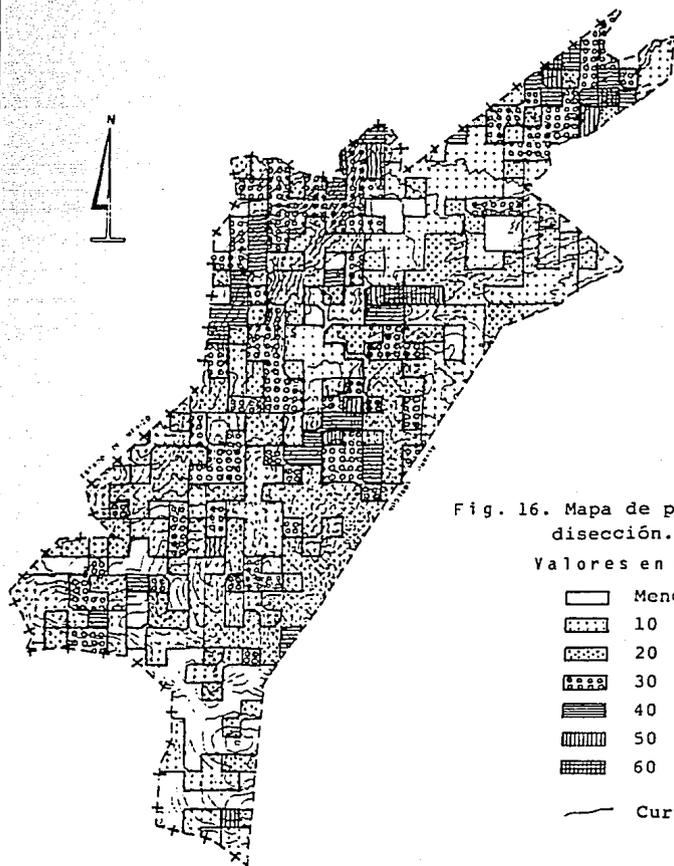
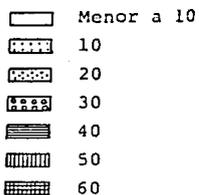
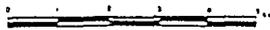


Fig. 16. Mapa de profundidad de la disección.

Valores en metros



— Curva de nivel



Una tercera zona con valores altos se ubica al norponiente, en las cercanías a los poblados de San Lorenzo, San Pablo y Zentlapatl. Aquí se tienen valores de 40 a 50 m y corresponde al valle del río Atitla. Se considera que el control de la erosión en esta zona es de carácter tectónico. El cauce principal del Río Borracho se formó a lo largo de un sistema disyuntivo (con orientación predominante al NE 0-10^o). Por tal motivo, el proceso erosivo fluvial originó laderas de fuerte pendiente (mayores de 30^o), en las cuales se tiene un desarrollo de cárcavas y barrancos asociados con procesos gravitacionales (derrumbes y deslizamientos de tierra), en algunos casos vinculados a fallamientos menores del mismo sistema (Kostenko, 1975).

Los valores más bajos de profundidad de disección se localizan en pendientes moderadas o bajas, que corresponden a materiales compactos y poco afectados por disyunciones.

Al igual que en la densidad de la disección, en este caso tampoco hubo amplia correlación entre la distribución de valores con los parámetros pluviales que dominan en la delegación: los volúmenes de lluvia aumentan hacia el sur en franjas transversales a los principales valles fluviales, en tanto que los valores de profundidad de disección están vinculados con las mismas fuerzas que determinan el sistema fluvial y por lo tanto se distribuyen paralelos a éste en franjas con dirección preferente al NNE.

Sin embargo, ésta distribución en franjas paralelas al NNE presenta desviaciones al NNW, lo cual se debe a la presencia de desniveles topográficos que se dan con dirección SE-NW, los cuales aceleran la dinámica erosiva provocando aumentos de hasta 10 m en los valores de profundidad de disección.

Dichos desniveles no han sido explicados, con excepción del que se ubica a los 2800 msnm, cuyo origen se asocia a un cambio litológico entre rocas compactas (de origen ígneo) y depósitos de diverso origen pertenecientes a la Formación Tarango (Fig. 16).

Cabe señalar que la correspondencia con el mapa anterior es clara, ya que las zonas más disecadas en planta, lo fueron también en sentido vertical. Por otra parte, la relación que se da entre ambos mapas, junto con el de estructuras disyuntivas, es directa. Esto implica que las áreas de mayor inestabilidad deben estar determinadas por la presencia de estructuras disyuntivas.

4.4 Pendientes.

El mapa de pendientes se elabora por una equivalencia de la distancia entre curvas de nivel con valores de pendiente (Lugo, 1988). Este procedimiento se logra de manera mecánica aplicando la siguiente fórmula.

$$\text{Pendiente} = \frac{\text{distancia vertical}}{\text{distancia horizontal}} \times \tan. \alpha$$

La finalidad de realizar este mapa es mostrar la distribución de los valores de pendiente en el territorio, reconociendo los rangos críticos y su relación con las áreas más inestables. De esta forma se pretende detectar la influencia de la pendiente en la predisposición del terreno a desarrollar procesos erosivos.

El mapa de pendientes se realizó con el Sistema de Información Geográfica ILWIS, mediante la digitalización de los mapas topográficos a escala 1:10,000 de la Tesorería del DDF (1985), con acotamiento a cada 20 m.

La selección de los rangos de pendiente se hizo de acuerdo con los objetivos del trabajo, resultando una escala de pendientes de cinco rangos:

menos de - 6^o. Planicie ligeramente inclinada.

6^o - 15^o. Rampas de piedemonte.

15^o - 30^o. Laderas de montaña.

30^o - 45^o. Laderas pronunciadas de montaña.

más de - 45^o. Taludes de relieve accidentado.

La selección de los rangos de pendiente obedece a un criterio geomorfológico encaminado a procesos de remoción en masa. El seguimiento consistió en la fotointerpretación de las zonas que presentan un modelado actual por derrumbes. Estas zonas se relacionaron con la distribución de laderas inestables y las zonas resultantes se verificaron en campo.

- Las pendientes de 0 a 6^o (de planicies ligeramente inclinadas) se distribuyen en las cimas interfluviales que ocupan el piedemonte, las cuales se caracterizan por no haber sido afectadas por la erosión fluvial. El área que ocupa es el 14% del valor del territorio (Fig. 17).

- Las pendientes de 6 a 15^o (de rampas de piedemonte) están presentes en todo el territorio y ocupan la parte baja de los valles intermontanos, las superficies de coladas de lava y laderas de valles secundarios. Este rango de inclinación es característico del valle del río Atzoyapan. La superficie que abarca es del 29% del total del territorio (Fig. 17).

- Las pendientes de 15 a 30^o (de laderas de montaña) son representativas de la parte alta de laderas de montaña y localmente dominan en las laderas de los principales valles fluviales del piedemonte. Son características de barrancos en la zona de Las Lomas. El área que abarcan corresponde al 37% de la delegación (Fig. 17).

- Las pendientes de 30 a 45^o (de laderas pronunciadas de montaña) ocupan preferentemente la parte alta de las laderas en los volcanes San Miguel, Los Hongos, El Caballote y El Ocotil, así como en las laderas del valle de los ríos Borracho, Atitla y La Cañada. Cubren el 17% del área total de la delegación (Fig. 17).

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS

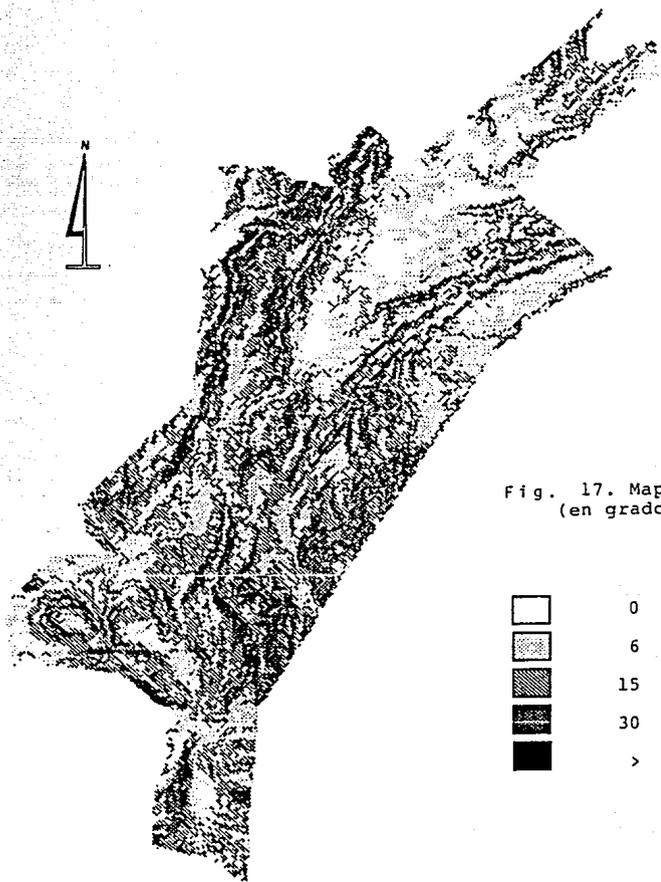
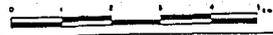


Fig. 17. Mapa de pendientes
(en grados)

	0 - 6
	6 - 15
	15 - 30
	30 - 45
	> - 45



- Las pendientes mayores de 45° (de taludes de relieve accidentado) presentan una distribución más puntual que las anteriores y se vinculan con las pendientes del rango anterior, por lo cual se les ubica en los mismos lugares, pero en un nivel altimétrico mayor. El área que ocupan es del 3% (Fig.17).

El papel de la pendiente en la definición de la inestabilidad de laderas se determinó con la relación entre la distribución de pendientes en la zona de estudio y en las laderas inestables del territorio (Cuadro 7). Los resultados más objetivos muestran que más del 50% de las pendientes de 15 a 30° (de laderas de montaña), cerca del 70% de las pendientes de 30 a 45° (en laderas pronunciadas de montaña), así como el 80% en pendientes mayores de 45° (en taludes de relieve accidentado), se localizan en vertientes erosivas.

Cuadro no. 7. Pendientes en el area de estudio y en las zonas con inestabilidad de vertientes.

Superficie en km ²	Pendiente en grados				
	0 - 6	6 - 15	15 - 30	30 - 45	> 45
A) Area de estudio	11.4	23.51	30.15	13.50	2.5
B) Area de laderas inestables	3.64	10.29	17.1	9.33	1.99
Relación B/A (%)	32	44	57	69	80

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS

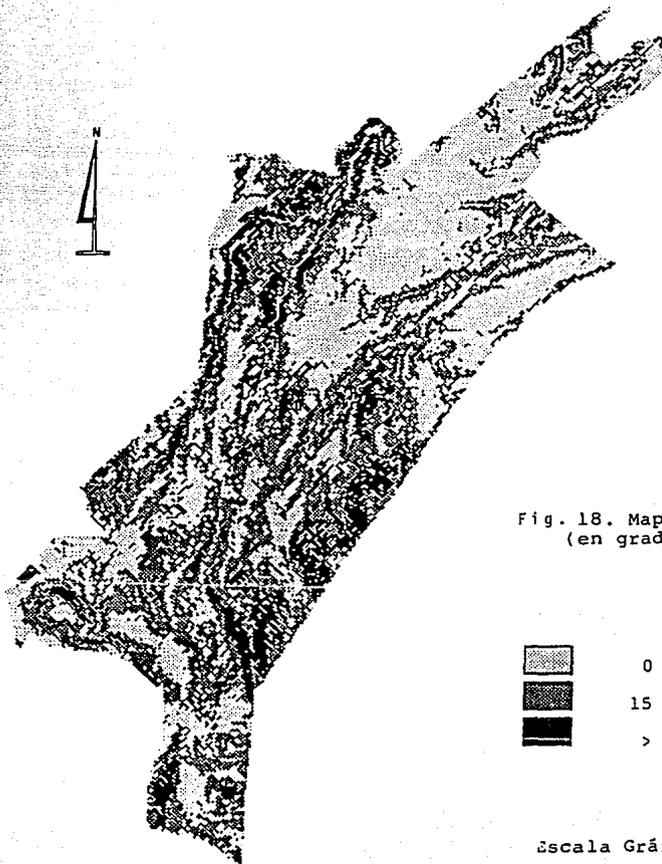
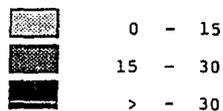


Fig. 18. Mapa de pendientes
(en grados)



Escala Gráfica:



En la figura 18 se visualiza la distribución de las pendientes más significativas que resultaron del análisis anterior: las pendientes de 0 a 15° se distribuyen en rampas ligeramente inclinadas del piedemonte. Las pendientes de 15 a 30°, las cuales coinciden con laderas suaves de montaña se localizan en los valles de los ríos Borracho, Atitla, La Cañada, así como en los sistemas fluviales de zona de Las Lomas y en los valles intermontanos de la zona de montaña. La superficie con pendientes mayores a 15° corresponde con laderas inestables del piedemonte de la zona de estudio. La superficie que abarcan es del 57% de la delegación.

Finalmente, las pendientes mayores a 30° se distribuyen en laderas pronunciadas de montaña y en taludes de relieve accidentado de los volcanes La Palma, San Miguel, Los Hongos, El Caballete y El Ocotal, así como en el piedemonte, en los valles de los sistemas Borracho y Atitla. La superficie con pendientes mayores a 30° corresponde con laderas inestables del piedemonte y ocupan el 20% de la zona de estudio.

4.5 Estructuras disyuntivas

En el mapa de estructuras disyuntivas se muestran los morfoalineamientos del relieve, con la finalidad de explicar la actividad tectónica, así como de evidenciar los vínculos entre ésta y la dinámica erosiva en el territorio, todo lo cual apoya el entendimiento de la distribución espacial de laderas inestables y su relación con los riesgos.

El mapa de estructuras disyuntivas de Cuajimalpa muestra dos tipos de morfoalineamientos: los geológicos, marcados en las cartas y literatura existente y los geomorfológicos que se caracterizan por su expresión directa en el relieve. Estos últimos fueron interpretados de acuerdo con los criterios de Orlova (1981), (Fig. 19).

La distribución de lineamientos en la delegación Cuajimalpa sigue dos patrones bien diferenciados, uno en la zona de montaña y el otro en el piedemonte, los cuales se analizaron con base en la rosa de fracturas de cada zona, además de una rosa general del territorio que permite visualizar, comparar y evaluar la suma de los resultados obtenidos para la montaña y el piedemonte.

-Rosa de fracturas de la Zona de Montaña

Las fracturas en la zona de montaña se presentan con dos orientaciones principales: a) NE $0-10^{\circ}$, con 14.16 km de longitud y b) NW $20-30^{\circ}$, con 9.54 km de longitud, (Fig. 20).

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS

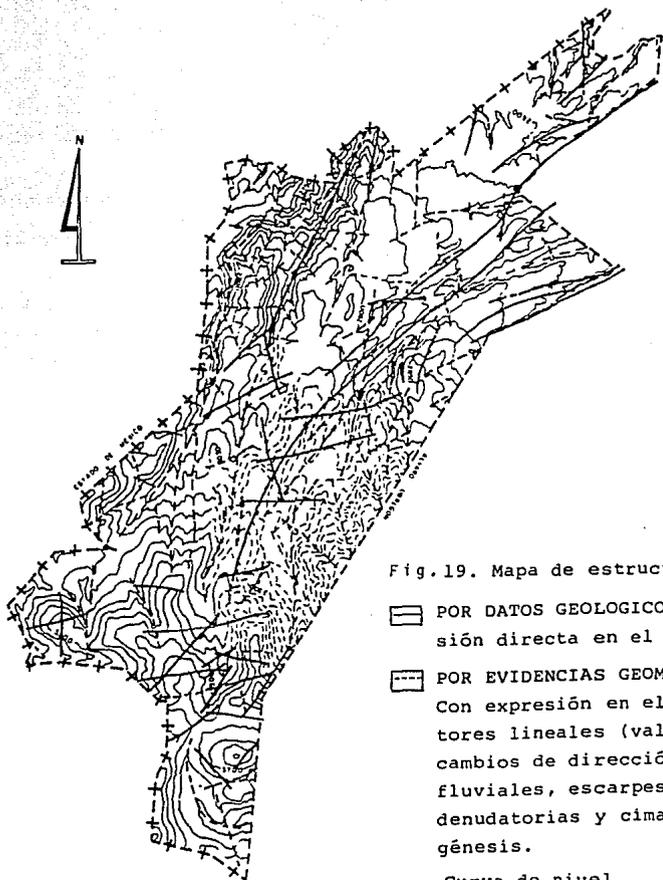


Fig. 19. Mapa de estructuras disyuntivas

— POR DATOS GEOLOGICOS: Sin expresión directa en el relieve.

- - - POR EVIDENCIAS GEOMORFOLOGICAS: Con expresión en el relieve, sectores lineales (valles en V) y cambios de dirección de valles fluviales, escarpes, pendientes denudatorias y cimas de distinta génesis.

— Curva de nivel



a) Las fallas orientadas al NE $0-10^{\circ}$ son las de mayor desarrollo (hasta de 2 km) y están relacionadas con la alineación de volcanes en el centro-sur del territorio (volcanes La Palma, San Miguel y cerros Los Hongos, El Caballote, etc.) y por lo tanto, este patrón tectónico debe tener una edad mínima del Plioceno tardío (formación del Volcán San Miguel); aunque tal vez sea parte del tectonismo que inició en el Plioceno temprano.

b) Las fallas orientadas al NW $20-30^{\circ}$ se distribuyen al oriente y poniente en la zona de montaña. Al oriente coinciden con los ejes del Cerro El Angel y sus valles asociados. Se trata de tres disyunciones paralelas con longitud mayor a 2 km.

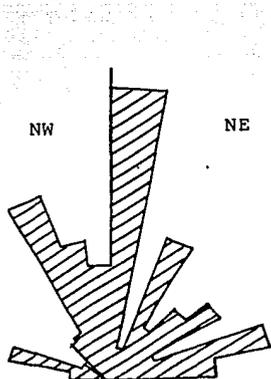
Estos lineamientos tienen una distribución limitada en la zona de montaña, donde los depósitos de flujo piroclástico que se identificaron a la altura de La Marquesa son distintos a los del resto del territorio, lo que indica una génesis distinta a la que domina.

La existencia de estas fallas contradice la idea de Mooser, F. (1984) y De Cserna (1988), quienes indican que los esfuerzos tectónicos del NW quedaron extintos en el Mioceno tardío. Sin embargo, la morfología y actividad exógena son muestra de la dinámica tectónica actual de la zona.

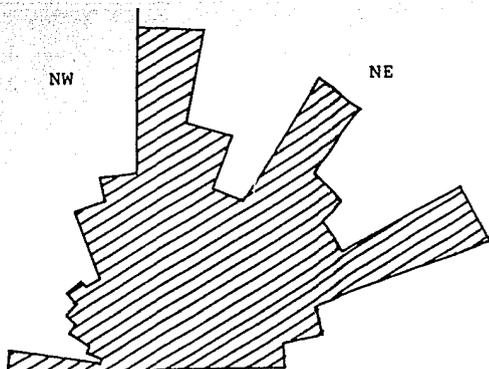
La otra zona de fracturas al NW es el poniente del Cerro El Ocotal, donde se considera que los lineamientos son parte del sistema de fallas radiales que presenta este volcán.

Cabe señalar que las fallas orientadas a $20-30^{\circ}$, $50-60^{\circ}$ y $70-80^{\circ}$ NE son secundarias, ya que su longitud no excede de 300 m y casi siempre se presentan como parte de la red ortogonal de las fallas del NE. Su expresión morfológica

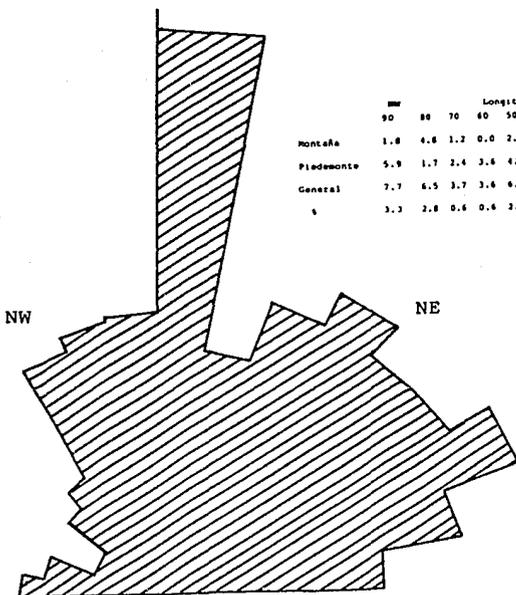
Fig. 20. Rosas de fractura



Montaña

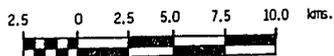


Piedemonte



General

	Longitud de lineamientos (en kms.)																	
	NW			10-0-10										NE				
	90	80	70	60	50	40	30	20	10-0-10	20	30	40	50	60	70	80	90	
Montaña	1.8	4.6	1.2	0.0	2.4	2.5	9.5	6.7	5.5	14.1	1.3	7.3	2.3	4.4	5.6	2.1	7.3	4.7
Piedemonte	5.9	1.7	2.4	3.6	4.2	5.0	4.7	8.3	9.6	14.7	12.1	8.4	14.3	12.4	11.1	17.6	8.5	4.4
General	7.7	6.5	3.7	3.6	6.6	7.6	14.3	15.0	15.2	10.9	13.4	14.7	18.4	16.8	16.7	19.8	15.8	11.4
s	3.3	2.8	0.6	0.6	3.8	3.3	6.0	6.3	4.4	12.9	5.7	7.0	7.6	7.1	7.1	9.0	6.8	4.9



corresponde a valles fluviales rectos, a puertos o al cambio de dirección de las corrientes fluviales en ángulos rectos.

-Rosa de fracturas de la Zona de Piedemonte

En el piedemonte las principales orientaciones de las fallas son las siguientes: a) NE $0-10^{\circ}$, con 16.7 km de longitud; b) NE $30-40^{\circ}$, con 16.3 km de longitud; c) NE $60-70^{\circ}$, con 17.6 km de longitud (Fig. 20).

a) El sistema de fallas del NE $0-10^{\circ}$ se presenta como continuación de la actividad tectónica del Plioceno que afectó la zona de montaña y que en el piedemonte formó fallas que se distribuyen en toda la zona; sin embargo, este patrón está más relacionado con el sistema fluvial de los ríos Borracho y Atitla y con sitios altamente inestables, como se demuestra en el mapa de intensidad de erosión.

Este patrón está asociado con sistemas secundarios de fallas orientadas al NW y al NE $10-20^{\circ}$, las cuales tienen longitud máxima aproximada de 1 km.

b) El patrón tectónico del NE $30-40^{\circ}$ se distribuye en el centro y centro-oriente del piedemonte, siguiendo el eje de las barrancas Santo Desierto, Atitla y Tacubaya, cortando los depósitos de Arenas Azules (170,000 años) y no tiene influencia en la zona de montaña, por lo que se considera que este patrón tectónico es posterior al vulcanismo del sur del territorio.

c) El sistema tectónico del NE $60-70^{\circ}$ se distribuye en el centro-oriente y oriente del piedemonte y corresponde con el eje de las barrancas La Cañada, Atzoyapan y Tacubaya. Las fallas son de casi 3 km de longitud y no se presentan

en la zona de montaña, por lo cual también se consideran como un evento posterior al vulcanismo del sur de la sierra.

-Rosa de fracturas para todo el territorio de Cuajimalpa.

En la rosa de fracturas general se muestra que los esfuerzos tectónicos prevalecientes en el territorio originaron disyunciones al NE $0-10^{\circ}$ desde la formación de la Sierra y continuaron hasta el Cuaternario. La longitud total de estos lineamientos es de 30.92 km, es decir, el 13% del total de lineamientos que se presentan en el territorio (Fig. 20).

Otros lineamientos al NW están vinculados al sistema anterior y en la zona de montaña se agrupan en el extremo poniente determinando una zona ajena al patrón general del territorio.

Los demás sistemas de fallas del NE son importantes y se generaron de esfuerzos posteriores al vulcanismo del sur del territorio. Se extienden en el piedemonte, favoreciendo el desarrollo de sistemas fluviales (Fig. 20).

Algunas de las disyunciones a que se hace referencia y que destacan por sus dimensiones son las siguientes:

1) La Cañada de Contreras, que se alinea al NE, desde la caldera del cerro La Palma, al sur de la zona de estudio.

2) Las barrancas de La Cañada y Santa Rosa (con dirección al NE) fueron excavadas sobre productos volcánicos contemporáneos a la Formación Tarango Inferior (Mooser, F., 1984), lo que indica la probabilidad de que los productos volcánicos de la sierra de Las Cruces hayan sido dislocados en los

mismos planos en que se desarrollaron dichas barrancas. De hecho, Hernández (1987) señala la presencia de desniveles tectónicos con dirección hacia la cuenca, los cuales favorecieron la erosión de los conos volcánicos.

3) La falla de Santa Fe que De Cserna et al. (1988), ubican en las minas de arena de Locaxco y de la que señala que cortó las Arenas Azules expulsadas por el San Miguel hace 170,000 años, resultando un fallamiento normal con el bloque hundido al norponiente.

La falla de Santa Fe también fue estudiada por De Cserna et al. (1988) en el área de Memetla, quien concluye que tiene longitud de 10 km en su tramo al SW del fraccionamiento de Vista Hermosa, y que presenta un rumbo de NE 45°; además de que debió ocurrir entre 170,000 y 110,000 años.

Esta falla sigue de su punto más austral hacia el NE 80°, hasta unirse con la falla de Contadero tras un desarrollo longitudinal de 4 km (De Cserna, 1988). Ligado al sistema de fallas de Santa Fe, la SGODDF (1988) indica que las fallas W-E que se vinculan a este sistema, como se observa en el mapa de lineamientos, están relacionadas con la tectónica que originó la Sierra Chichináutzin (menos de 100,000 años).

Antes de la construcción de la carretera México-Toluca, la falla Santa Fe era visible en superficie, sin embargo, los cortes y recubrimientos la han ocultado actualmente. En esta zona se identificaron algunos fallamientos en depósitos de lahar y flujos piroclásticos, los cuales se relacionan con los esfuerzos tectónicos de la falla de Santa Fe.

4.6 Intensidad de erosión

El mapa de intensidad de erosión o intensidad de la disección muestra la distribución de los valores de erosión fluvial, incluyendo, además del estado actual de la disección, la vulnerabilidad del relieve a ser erosionado.

Este mapa es uno de los morfométricos más completos, ya que los valores que muestra están en función de numerosas variables que interactúan, como las condiciones litológicas y de estructura del subsuelo, la pendiente, las variaciones del clima, la cubierta forestal y la carpeta edáfica.

Para la elaboración de este mapa se evaluaron la densidad de la disección y la pendiente, en las cuales queda implícito el papel de las otras variables que no se analizaron directamente.

Por una parte, la densidad de la disección muestra el valor erosivo actual de las corrientes fluviales, el cual se manifiesta a partir del grado de disección fluvial sobre el terreno original.

Por otro lado, las variaciones de la pendiente del terreno son un índice de distintos grados de la dinámica erosiva, ya que a mayor pendiente la fuerza de gravedad aumenta la inestabilidad de los depósitos rocosos y el poder erosivo del agua de escurrimiento, en tanto que a menor pendiente la estabilidad de los materiales es mayor porque la gravedad actúa con menor intensidad y se tiene una disminución del poder erosivo fluvial.

El procedimiento para la elaboración de este mapa consistió en un muestreo sistemático de valores de intensidad de erosión, para lo cual se utilizó la misma cuadrícula elaborada para el mapa de densidad de la disección. En

dicha malla cada cuadro cubre una superficie de 0.16 km^2 y su aplicación en este mapa tuvo como objetivo obtener un material comparable con el mapa de densidad de la disección.

La obtención del valor para cada muestra se logró con el producto entre los valores de densidad de la disección y la tangente de la pendiente de la muestra; finalmente el resultado se dividió por el valor de área en km^2 , según se ve en la siguiente fórmula.

$$I_d = \frac{D_d * \tan(a)}{A}$$

I_d = Intensidad de erosión en km^2 .

D_d = Densidad de la disección en km^2 .

$\tan(a)$ = Tangente de la pendiente máxima del terreno.

A = Area de la muestra (0.16 km^2).

El valor de inclinación que se da en la fórmula se obtuvo midiendo la pendiente máxima en un área de 0.16 km^2 . El valor obtenido se aplicó en la fórmula, obteniendo los siguientes rangos de pendiente, los cuales tienen correspondencia con los valores de inclinación que se muestran en el mapa de pendientes.

Pendientes ajustadas.

1°

6°

15°

30°

Una vez obtenidos los valores de las muestras, se generó una escala de rangos de intensidad de erosión, la cual presenta intervalos de 1 y 2 km, de la siguiente forma.

Rangos de intensidad de erosión (km/km²)

De 0 - 1

1 - 2

2 - 4

4 - 6

6 - 8

8 - 10

> - 10

Con esta escala se interpolaron los valores obtenidos en las muestras y se configuraron isólinas de intensidad de erosión.

La representación final para el análisis se hizo a escala 1:20,000, donde se hachuraron las áreas de acuerdo con un gradiente de intensidad.

Como ya se indicó, en el mapa de intensidad de erosión se zonifica el relieve atendiendo a la viabilidad que éste presenta para desarrollar procesos erosivo-denudatorios, evaluando la disección actual del relieve y los valores de pendiente, que como se ha mencionado, en conjunto condicionan la intensidad de erosión.

Para este análisis los parámetros más importantes que se consideran son: a) la magnitud de los valores de intensidad, que se define por los siete rangos ya mencionados y b) la distribución de dichos valores.

La evaluación de estos parámetros permite valorar las relaciones causa - efecto que han llevado a la formación de laderas estables e inestables en el territorio. La distribución de las intensidades es en dos tipos principales que se relacionan con la morfología del relieve:

a) Enjambres.

b) Alineamientos.

Asimismo se reconocieron diferencias en los valores de intensidad de erosión para la zona de montaña respecto del piedemonte, las cuales se comentan a continuación.

1. Zona de montaña.

Predomina la distribución de intensidades altas en enjambres, teniendo los núcleos de más alto desarrollo en las laderas de los volcanes El Angel (3330 y 3340 msnm), El Caballete (3700 msnm), Los Hongos (3700 msnm) y en varias elevaciones al norte del Volcán El Muñeco (3870 msnm). En todos los casos se relacionaron valores de intensidad mayores a 4 km/km^2 con laderas de pendiente de 15° o más (Fig. 21).

La distribución de valores altos es favorable en las vertientes altas de esos aparatos volcánicos, de donde disminuyen hacia las cimas con valores de 4 a 6 y de 2 a 4 km/km^2 , en tanto que al fondo de los valles fluviales se tienen los valores más bajos, incluso de 0 a 1 km de intensidad (Fig. 21).

El relieve montañoso de esta zona favorece el predominio de pendientes fuertes y contrastantes, que a su vez están relacionadas con los cambios

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS

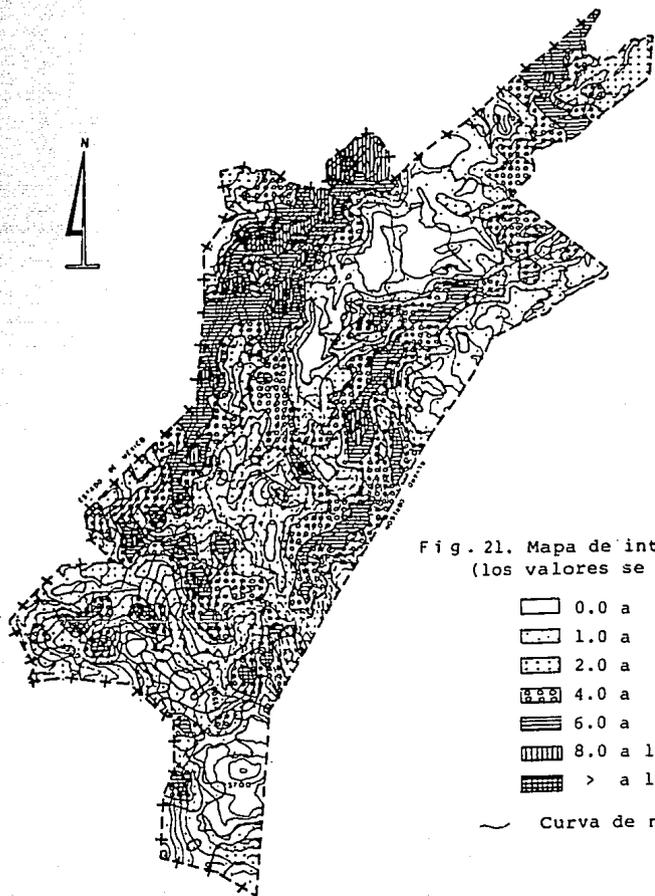
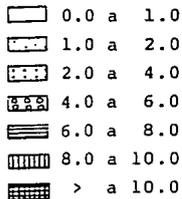


Fig. 21. Mapa de intensidad de erosión
(los valores se dan en Km/Km²)



~ Curva de nivel



bruscos de valores altos y bajos de intensidad de disección, los cuales suceden en espacios relativamente pequeños.

Una de las áreas más complejas en este sentido se presenta al NE del Volcán El Angel, donde la transición de valores altos a bajos se produce en unos 200 m o menos . En este caso, la sucesión de valores está determinada por cambios bruscos en la pendiente y por valores bien diferenciados de densidad de disección.

Por el contrario, la cima y las laderas del Volcán La Palma presentan valores mínimos de intensidad de erosión. Esto se debe al predominio de pendientes moderadas (de 6 a 15^o) y al bajo valor de densidad de disección que se favorece a consecuencia de la litología de rocas compactas que predomina en la zona de montaña del territorio.

Cabe señalar que en la zona de montaña los valores críticos de intensidad de erosión se disparan favorablemente en laderas de exposición al NE, las cuales reciben los niveles más altos de pluviosidad (de 1300 mm anuales), indicando fuerte control de tipo climático en los procesos erosivos de esta porción.

2. Zona de piedemonte

En la zona de piedemonte la distribución de la intensidad de erosión se presenta con tipo lineal, es decir, que las diferentes áreas de intensidad son de forma alargada y siguen los ejes de los principales barrancos, con alineamientos en dirección al NNE y NE.

La distribución de los valores extremos es al NE del territorio, con más de 10 km/0.16 km² en los valles de los ríos Borracho y Atitla, a la altura del poblado San Pablo Chimalpa, así como en el Río La Cañada, en las cercanías a Santa Rosa Xochiac (Fig. 21).

La morfología de las zonas críticas son opuestas a la zona de montaña, ya que aquí se relacionan con la parte media e inferior de las laderas de barrancos, en tanto que los valores bajos se hallan en las partes altas, de lo que resulta una secuencia contrastante de los valores a manera de franjas paralelas a los sistemas hidrológicos.

Cabe señalar que las laderas que se consideran altamente erosivas guardan cierta estabilidad natural con los elementos del medio, lo cual se manifiesta con la carpeta de vegetación y edáfica que soportan.

A su vez, la cubierta forestal es importante en la estabilidad de vertientes, ya que impide en buena medida el inicio de procesos como la escorrentía difusa, laminar y los procesos gravitacionales, gracias al almacén interno de raíces que dan mejor estructura al suelo.

Sin embargo, el emplazamiento de construcciones ha implicado daños a la cubierta forestal y la aceleración de procesos hídricos que culminan incluso con otros de tipo gravitacional. En este sentido, los casos más notorios se identificaron en los siguientes asentamientos.

Barranca Río Borracho

- Panazolco
- Atitla I
- Río Hueyatla
- Prolongación Ocampo

Barranca La Cañada

- La Cañada
- Valle de Las Monjas (parte alta)

Barranca Río Atitla

- Atitla II
- Punta Ahuatenco
- Primerero de Mayo
- El Carmen

En estos casos, la afectación es variable, siendo las colonias Atitla I, II y Panazolco las de mayor riesgo por aceleración brusca de procesos erosivos de tipo fluvial (laminar intenso y lineal en barrancos) y gravitacional (por deslizamientos de tierra en laderas de toba volcánica con pendientes mayores a 30°).

Un elemento de gran interés es que la distribución de los valores extremos de intensidad (en laderas inestables) no está estrechamente vinculada con la exposición de laderas, sino que responde más bien a los arreglos en la distribución de estructuras disyuntivas y de manera particular con la densidad de disyunciones por área.

Se notó que las fracturas orientados al NE $20-30^{\circ}$ y al NW $40-50^{\circ}$ se relacionan en un 63% con zonas de laderas altamente erosivas, siendo los primeros parte de los sistemas del NE, el cual incluye las fallas más extensas del territorio y los segundos, parte de las fracturas secundarias asociadas a los sistemas del NE. Cabe señalar que algunas fracturas secundarias del NW muestran una gran actividad dinámica en la determinación de laderas erosivas, como se muestra en el cuadro 8.

Cabe señalar que la zona de minas del NE del territorio, aparece en este mapa con valores críticos de intensidad; sin embargo, mediante la verificación de campo, se comprobó que los cortes sobre depósitos del llamado lahar Cuajimalpa no presentan evidencias de procesos erosivos, y que se trata de material compactado, donde los escarpes de falla están más bien predispuestos a desarrollar procesos de remoción en masa.

Cuadro	8. Alineamientos en laderas susceptibles a procesos de inestabilidad de vertientes.																	
	NW 90	80	70	60	50	40	30	20	10-0-10	20	30	40	50	60	70	NE 80	90	
Fallas y lineamientos en la deleg. Cuajimalpa (en km.)	7.7	6.5	3.7	3.6	6.6	7.6	14.3	15.0	15.2	30.9	13.4	16.7	18.6	16.8	16.7	19.8	15.8	11.4
Fallas y lineamientos en laderas inestables. (en km.)	2.7	3.7	1.2	1.5	4.2	4.2	6.8	4.3	8.0	10.1	5.9	10.5	8.1	6.5	3.9	5.9	4.9	3.4
Diferencia (en %)	35	57	32	41	63	55	47	29	53	33	44	63	43	39	23	30	31	30

Longitud total de alineamientos en Cuajimalpa: 240 km.

Longitud total de alineamientos en laderas inestables : 95.8 km.

Diferencia: 40%.

Valores mayores a 6 km/km² de intensidad, se distribuyen bordeando las zonas anteriores y se les halla también a todo lo largo del sistema del Río Borracho y en gran parte de los sistemas de los ríos Atitla y La Cañada. Bosques de las Lomas y Lomas de Vista Hermosa son áreas con valores altos de intensidad de erosión.

A manera de conclusión, se puede decir que la intensidad de erosión está determinada por la tectónica predominante en la zona de estudio, y que se manifiesta en laderas de fuerte pendiente con la elevación de procesos erosivos.

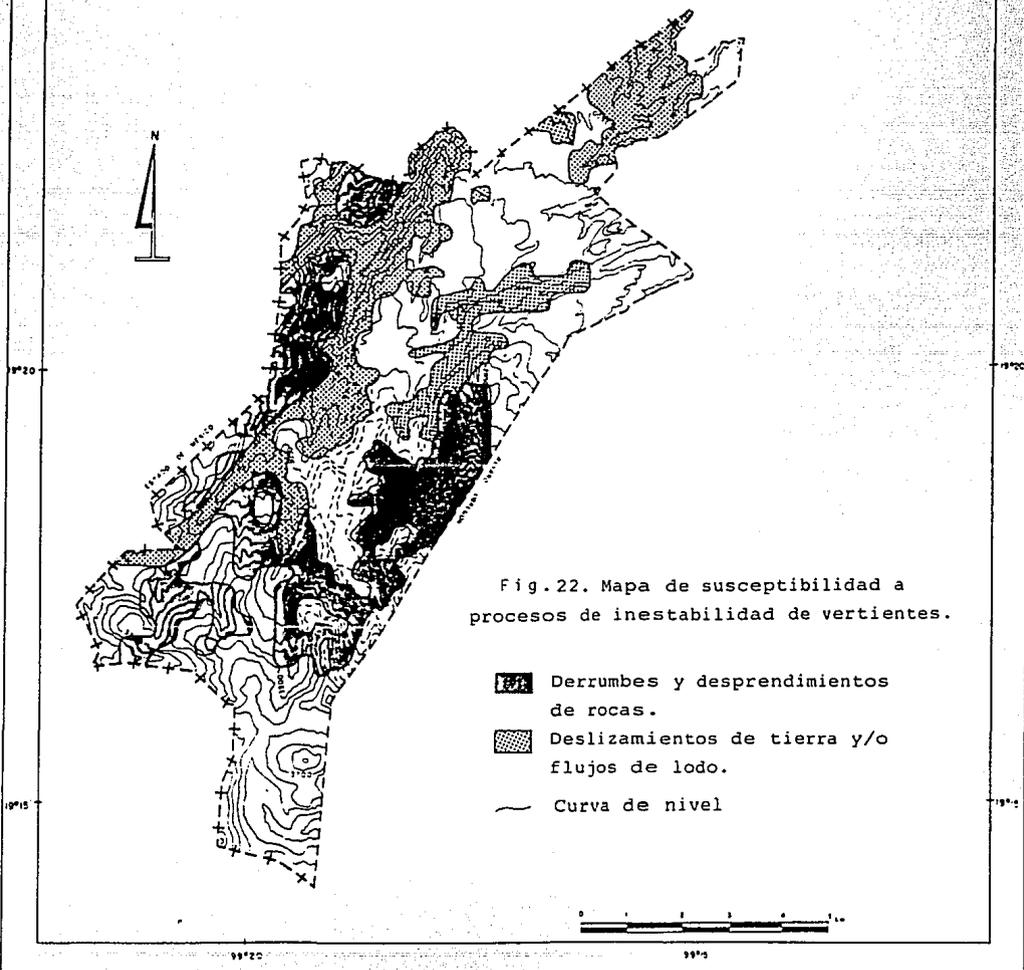
4.7 Susceptibilidad a procesos de inestabilidad de vertientes.

Este mapa se realizó con la finalidad de mostrar las vertientes más "erosivas", con mayor susceptibilidad a procesos de inestabilidad de vertientes. Es resultado de la síntesis de los distintos valores críticos obtenidos en los mapas de densidad de la disección (valores mayores de 2.5 km/km^2), profundidad de la disección (valores mayores de 30 m), intensidad de erosión (valores mayores de 6.0 km/km^2), así como de pendientes mayores de 15° .

Al área así seleccionada se le sobrepuso la litología, con la cual se distinguen dos categorías de laderas inestables: la primera corresponde a laderas de roca compacta (Formación Las Cruces), donde predominan los procesos de caída libre (derrumbes y desprendimientos de roca). Estos procesos suceden en laderas de fuerte pendiente, principalmente en época de lluvias, ya que el exceso de humedad aumenta el peso de las masas de roca y provoca la lubricación de las diaclasas, favoreciendo que el material resbale y se precipite en cuestión de instantes (Fig. 22).

La segunda zona de susceptibilidad subyace a un basamento de tobas y otros depósitos de acarreo (Formación Tarango). Aquí se presentan deslizamientos de tierra y flujos de lodo, es decir, movimientos rápidos de masas de suelo sobre un plano de deslizamiento. Estos procesos se favorecen por la influencia climática, ya que la humedad puede sobresaturar los estratos arcillosos y lubricar los planos de estratificación, causando el deslizamiento de la masa de suelo sobre laderas de pendiente fuerte (Fig. 22).

DELEGACION CUAJIMALPA
DE MORELOS



La superficie de laderas inestables en Cuajimalpa es de 33.4 km², es decir del 40% del territorio. Estas zonas se distribuyen en alveolos de forma alargada de N a S, los cuales siguen el eje de los principales sistemas fluviales (de los ríos Borracho, Atitla y La Cañada).

La actividad en laderas inestables está vinculada con la distribución de estructuras disyuntivas, que se formaron como parte de la actividad tectónica de la Sierra de Las Cruces. Dicha inestabilidad se manifiesta por valores altos de densidad de la disección (mayores de 2.5 km/km²), de profundidad de la disección (mayores de 50 m), de intensidad de erosión (mayores de 6.0 km/km²) y está relacionada con la geometría de vertientes (rectas y Cóncavas), así como con valores de pendientes superiores a 30°.

Los procesos gravitacionales se presentan en zonas de determinada litología de las vertientes.

La caída libre se produce en la zona de montaña y en el piedemonte, en laderas escarpadas de material masivo (Formación Las Cruces).

Por otra parte, los deslizamientos son comunes en el piedemonte, en las laderas de los valles principales (Formación Tarango).

Los resultados obtenidos en el mapa de susceptibilidad a procesos de inestabilidad de vertientes se verificaron en campo, pero la prueba más feaciente de los riesgos, son los eventos ocurridos en los dos últimos años en el territorio de la delegación, los cuales sucedieron en zonas del interior de las áreas que resultaron de éste análisis (ver anexo periodístico).

IV.2. GEOMORFOLOGIA

El mapa geomorfológico es un material de análisis, mediante el cual se evalúan la génesis, morfología y dinámica, que determinan la evolución del relieve. En estudios de riesgos, es de particular importancia, ya que se obtiene una clasificación de las formas del relieve producidas por procesos naturales que pueden representar peligro para la población.

El método para la elaboración del mapa geomorfológico a escala 1:20,000 consistió de tres pasos esenciales.

a) Fotointerpretación del norte del territorio con líneas de vuelo a escala 1:8,000, 1:10,000 y 1:20,000 de 1989, 1990 y 1991, respectivamente.

b) Análisis integral de la cartografía morfométrica.

c) Trabajo de campo; que sirvió para verificar y detectar procesos de reciente actividad, o difíciles de detectar en el análisis e interpretación de las fotografías aéreas.

A continuación se hace el análisis del mapa geomorfológico, de acuerdo con los tres grupos de geformas que se presentan en la zona: endógeno, endógeno modelado y exógeno (Lugo, 1984), Fig. 23.

4.8 Relieve endógeno.

La zona de estudio se encuentra en una de las regiones del país cuya dinámica tecto-volcánica está determinando, en buena medida, la evolución del

relieve actual, es decir, la Cuenca de México. En la delegación Cuajimalpa, dicha actividad originó formas diversas, donde destacan los aparatos volcánicos.

- Edificios volcánicos. Se cartografiaron 13 aparatos volcánicos: 7 en la zona de montaña y 6 en el piedemonte. En la zona de montaña se presentan los mayores edificios, entre los cuales se distinguen los estratovolcanes La Palma y San Miguel, compuestos por roca compacta de composición andesítica. Son la fuente de emisión de los depósitos de piroclastos que afloran en todo el territorio. En el piedemonte, los volcanes Loma de los Conejos, Cuajimalpa y posiblemente el volcán Los Padres, son edificios antiguos que fueron cubiertos por depósitos de la Formación Tarango, por lo que presentan una morfología suavizada y son los de menor densidad de disección, entre los volcanes del norte del territorio.

4.9 Relieve endógeno modelado.

La Sierra de Las Cruces ha sido reconocida como una de las unidades volcánicas con relieve fuertemente alterado, en el interior de la Cuenca de México*. Sin embargo, la denudación del relieve volcánico ha sido continuamente interrumpida por nuevas fases de actividad eruptiva, originándose formas complejas, entre las que predominan los depósitos volcánicos.

A partir del Pleistoceno temprano, la relación entre la dinámica endógena y exógena se ha inclinado a favor de los procesos exógenos. Las formas que se agrupan en este rubro son:

* Lugo(1984) señala a la sierra de Las Cruces, en conjunto con Zempoala y Tepoztlán, como los principales ejemplos de relieve endógeno modelado en la Cuenca de México.

- Laderas y superficies de composición andesítica, disecadas por una densa red de barrancos. Se trata de aparatos volcánicos y formas asociadas a flujos lávicos (superficies, frentes y laderas de lava), cubiertos por piroclastos. La erosión del relieve por los agentes exógenos es moderada y está determinada por la antigüedad de la zona, por altos valores de pendiente y por el tipo de material andesítico de roca compacta, pero localmente fallado.

- Superficies inclinadas complejas formadas de material vulcanoclástico y depósitos de lahar fuertemente disecados por una densa red de barrancos. Consiste de una rampa acumulativa compuesta de de piroclastos de flujo y de caída, que se originaron en el último periodo de actividad volcánica del San Miguel, hace 170,000 años. Son de compactación variada y densamente disecados por el sistema de barrancos, del cual se habla más adelante.

- Escarpa de falla con modelado fluvial. Esta forma se identifica en la vertiente sur del Río La Cañada, a la altura del pueblo San Mateo. El valle del río La Cañada tiene un sector transversal de 20 m, y corre en forma recta de W a E y además, presenta asimetría en sus vertientes. La meridional corresponde a una escarpa de aproximadamente 1200 m de longitud por 60 a 80 m de altura, respecto al fondo del valle.

Cabe señalar que los depósitos al pie de la escarpa en cuestión, se clasifican como coluviones antiguos, que actualmente están siendo retrabajados por procesos fluviales, gravitacionales y de origen antrópico (Fig. 24).

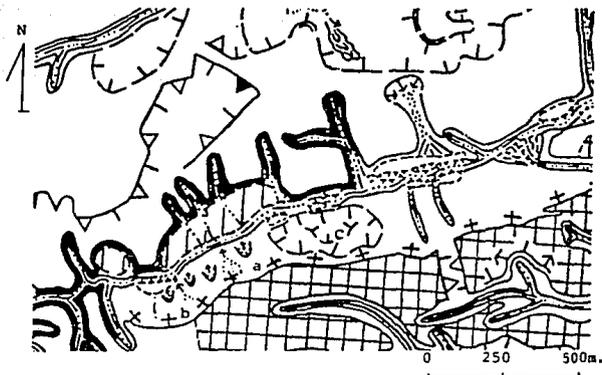


Fig. 24. Ladera al pie de un escarpe de falla (al norte del pueblo San Mateo), la cual está siendo retrabajada por: a) deslizamientos de tierra, b) surcos y c) una mina en explotación. En el centro del valle, formación de terrazas fluviales*.

4.10 Relieve exógeno.

La destrucción del relieve por la acción de los agentes exógenos, incluye dos partes fundamentales: la erosión o denudación y la acumulación. En este apartado, se estudian ambas partes, enfocadas al desarrollo de procesos gravitacionales y erosivo-fluviales.

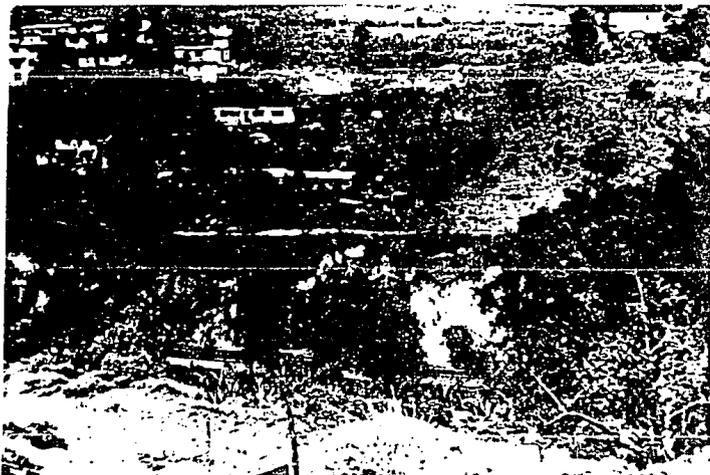
1. Gravitacional.

Los procesos gravitacionales son comunes en el área de estudio, y se presentan en laderas de fuerte pendiente, generalmente en el interior de

* La leyenda de las figuras que se presentan en este apartado, aparece completa en la Fig. 23 "mapa geomorfológico".

barrancos o en escarpas, con fuerte alteración de los depósitos que afloran. Asimismo, el desarrollo potencial de estos procesos es alto y depende en buena medida del avance urbano en las laderas inestables de la zona de montaña.

- Escarpa activa. Presenta una pendiente cercana a los 90° y se encuentra en retroceso por diversos procesos gravitacionales. Generalmente se localizan al pie del límite superior de valles fluviales y de barrancos. La actividad antrópica es catalizador de estos procesos (Fotografía 8).



Fotografía 8. Corte de carretera sobre el acotamiento poniente de la carretera Naucalpan-La Venta, el cual está parcialmente en retroceso por caída de suelo y rocas (↖↗).

- Corredor de detritos. Son canales de escombros, cuya génesis es posterior al desprendimiento. Se favorecen en condiciones de recarga de humedad y fuerte pendiente; aunque suelen ocurrir sin presencia de agua. La

magnitud depende de la longitud de la ladera (Figura 28). En el piedemonte se identificaron en laderas de aparatos volcánicos y superficies inclinadas de piroclastos con fuerte alteración antrópica.

- Laderas modeladas por deslizamientos de tierra. Se presentan en las paredes interiores de los barrancos y en escarpas. La litología característica es de toba volcánica, de poco espesor, que sobreyace a depósitos de flujo piroclástico gris-rosado.

Estas formas fueron identificadas en laderas con valores altos de densidad y profundidad de disección, fuerte intensidad de erosión, además de estar densamente diaclasadas.

Cabe señalar que el impacto antrópico actúa como catalizador de este tipo de procesos, los cuales suceden en laderas con sobrepeso, por vías de comunicación y/o construcciones.

Un ejemplo de lo anterior es el deslizamiento de tierra que sucedió en la pasada temporada de lluvias (1992), sobre la ladera poniente del R. Borracho (calle Prol. Constanza en el pueblo San Pablo). El fenómeno ocurrió por exceso de humedad, en una ladera sometida a sobrecarga y terraceo. La ladera se compone de flujos piroclásticos gris rosado, cubiertos por una capa delgada de ceniza volcánica. La fuerte meteorización del flujo piroclástico y la pendiente de 38° , favorecieron la ocurrencia del proceso, durante una lluvia extraordinaria que sobresaturó la ceniza volcánica (Fig. 25). Dicho fenómeno afectó dos viviendas, resultando cinco personas muertas.

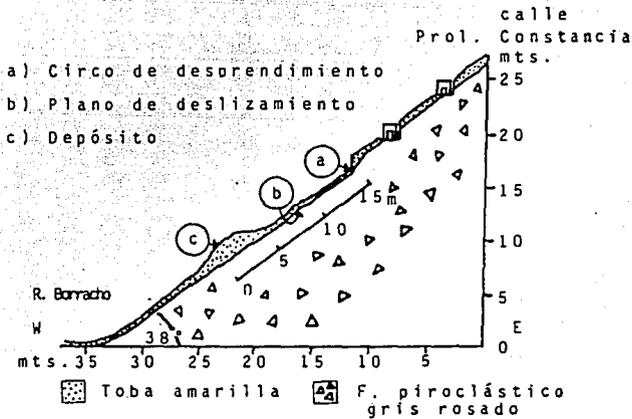


Figura 25. Perfil que ilustra el deslizamiento de tierra ocurrido en la temporada de lluvias del año 1992, en la ladera oriental del Río Borracho.

El desplazamiento de grandes volúmenes de tierra por reptación, se identificó al norte del pueblo de San Lorenzo (Fotografía 9). En este sitio, el desplazamiento es favorecido por lo siguiente.

a) Fuerte inclinación de la ladera.

b) Altos niveles de precipitación pluvial anual (1300 mm anuales) y principalmente máxima en 24 hrs (100 mm a la altura del pueblo San Lorenzo).

c) Contacto litológico entre dos tipos de toba volcánica. La más superficial es de textura arenosa y poco compacta, lo cual favorece la infiltración del agua de lluvia. La toba volcánica que subyace a la anterior es de textura arcillosa y de menor permeabilidad, por lo cual, la humedad se concentra en la capa superior. La fuerte pendiente en condiciones de variación de la humedad, hace que el material pierda cohesión y fricción, por lo cual se desplaza con movimientos lentos y heterogéneos hacia el fondo del valle (reptación).

d) No se descarta la influencia tectónica por la cercanía de un fallamiento, con dirección NE y de notoria expresión en el relieve.

Por otra parte, en el mapa geomorfológico se muestran las laderas con desarrollo potencial de deslizamientos de tierra, las cuales son áreas de inestabilidad de vertientes, y se componen de una secuencia litológica similar a la descrita en el deslizamiento de Prol. Constancia.

- Ladera modelada por caída de rocas o derrumbes. Son laderas que están débilmente afianzadas a la pared que las soporta, por lo cual se comportan como paredes en retroceso. Los procesos más comunes son la caída de rocas o derrumbes.

Actualmente, los derrumbes son comunes en la zona de estudio; sin embargo, al vincularse con laderas rocosas fuertemente intemperizadas, pueden tener amplio desarrollo, conforme se incrementen las obras de infraestructura en la zona de montaña.



Fotografía 9. Laderas con proceso de reptación al norte del pueblo San Lorenzo. Las superficies convexas están sometidas a fuerte lavado por escorrentía difusa.

- Depósitos de flujo de lodo. Se identificó un sólo depósito de flujo de lodo (en el interior de una mina en explotación), el cual consistió en el transporte de ceniza volcánica no consolidada y en estado semiplástico. Dicho proceso ocurrió bajo condiciones muy particulares de influencia antrópica, y sin embargo, es un indicador del comportamiento de éste tipo de depósitos, cuando son alterados (Fotografía 12).



Fotografía 12. Flujo de lodo en el interior de una mina en explotación.

- Depósito coluvial. Son formas de acumulación producidas indirectamente por efecto de la fuerza de gravedad, las cuales se encuentran al pie de laderas de valle fluvial o de barrancos, en forma de abanico de detritos (Fig. 28).

Los depósitos coluviales no siempre se presentan, ya que pueden ser retrabajados por acción del agua de escurrimiento. En Cuajimalpa se identificaron al pie de laderas modeladas por caída de rocas o derrumbes.

2 Erosivo.

La erosión fluvial incluye también procesos de índole gravitacional, por el derrumbe de material en las márgenes de algunos valles fluviales. En el presente apartado se consideran únicamente las formas producidas directamente por la acción fluvial. Se distinguen las siguientes formas.

- Circo erosivo fluvial activo. Son formas cóncavas de fuerte pendiente, localizadas en la cabecera de algunas corrientes fluviales. La dinámica erosiva se manifiesta por intensa erosión planar y en ocasiones por procesos gravitacionales de pequeñas dimensiones (Fig. 26).

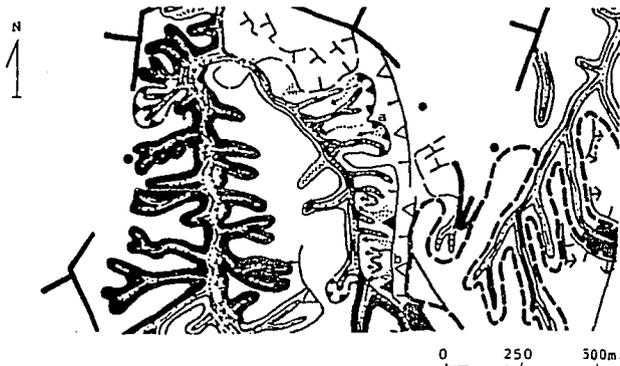


Figura 26. Curso bajo del Río Borracho. Se aprecian: a) circo erosivo fluvial activo en la cima de un escarpe antrópico, y b) Ladera en retroceso por deslizamientos de tierra y surcos.

La mayor incidencia de circos erosivos se presenta en el piedemonte (en laderas interiores de barrancos), donde una pequeña proporción de ellos muestran intensa actividad erosiva. La característica común en éstos últimos es que se han desarrollado al pie de taludes y tajos de infraestructura, así como en áreas con valores altos de intensidad de erosión.

- Escarpa fluvial. Se localizan en la parte superior de laderas de valles fluviales y barrancos. Se trata de formas asociadas al desarrollo natural de una corriente fluvial.

Se cartografiaron dos tipos de escarpa, atendiendo a la dinámica erosiva que presentan. La primera se caracteriza por una intensa dinámica fluvial y desarrollo de surcos, desde la parte alta de la ladera. Por lo tanto, son paredes en retroceso con desarrollo potencial de abarrancamientos. Mientras tanto, las escarpas inactivas se presentan como paredes de corte casi vertical, y que actualmente no tienen indicios de retroceso por efecto de la erosión (Fig. 27).

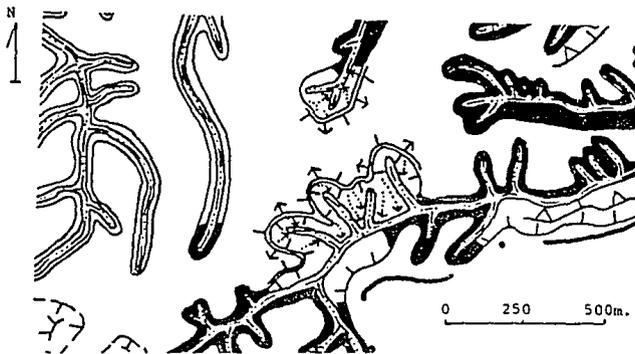


Figura 27. Escarpa fluvial en retroceso por procesos fluviales (saltos de cabecera), en la colonia Lomas de Vista Hermosa.

- Laderas de valles montañosos originadas por la erosión fluvial y procesos gravitacionales. Es un elemento de gran interés en el análisis del relieve, ya que muestra el área modelada por la actividad de corrientes fluviales; en el mapa geomorfológico se definen por un símbolo lineal que divide las laderas cóncavas y convexas del territorio. Al interior de dicho límite, los procesos

erosivos se vuelven más intensos, debido al aumento de la pendiente y por una mayor concentración del agua de escurrimiento (Fotografía 10).

- Surcos. La presencia de surcos es un indicativo de la pérdida de la estabilidad natural de una vertiente y del posible inicio de procesos erosivos de mayor dimensión. En el área de estudio, los cortes del terreno y la acumulación del material de desecho provocan la aceleración del proceso erosivo hídrico y el nacimiento de surcos que pronto evolucionan a otras etapas más avanzadas en la formación de barrancos.

- Superficies modeladas por escorrentía difusa. Son áreas erosionadas por el agua de escurrimiento, a manera de hilillos que remueven el suelo. Dichas áreas se localizan, tanto en zonas deforestadas, como en otras que fueron explotadas para la actividad agrícola que bordea a los poblados (Fotografía 9). Cabe señalar que estas formas se identificaron por fotointerpretación y se corroboraron en el trabajo de campo y con el análisis morfométrico, de donde se obtiene que la escorrentía difusa es incidente en laderas convexas de todo el piedemonte, en pendientes menores de 6° , pero con alta intensidad de erosión.



Fotografía 10. Ladera de valle con modelado fluvial y gravitacional, en las cercanías de la colonia Lomas de Vista Hermosa, la cual está siendo ocupada por construcciones

3 Acumulativo.

Incluye los depósitos formados por la acción de las corrientes fluviales, cuando éstas han perdido fuerza y descargan parte o la totalidad del material que transportan. La distribución de estas formas está restringida al fondo de los valles más desarrollados de ésta zona: de los ríos Borracho y La Cañada.

- Abanicos proluviales. Los depósitos proluviales (Pavlov, 1903), están compuestos de sedimentos de origen fluvial que se acumulan en la desembocadura de una corriente fluvial, con morfología de abanico o manto proluvial.

En Cuajimalpa, los abanicos proluviales son formas menores, al pie de barrancos secundarios. Por esta razón, los clastos de depósitos proluviales se caracterizan por una madurez textural incipiente (Fig. 28).

- Terraza fluvial. Son formas acumulativas originadas por una corriente y que en el pasado constituían partes del lecho fluvial. Su distribución se da en el curso bajo de los sistemas fluviales de los ríos Borracho y Santo Desierto-La Cañada.

En la actualidad, al pie de las terrazas fluviales se presentan llanuras de inundación de desarrollo incipiente. Las llanuras de inundación se forman por el exceso de agua en la corriente, la cual llega a desbordar y depositar parte de su carga en los sitios donde disminuye la pendiente.



Figura 28. Vertiente SE del volcán Los Padres. Se muestra abanico proluvial (a) y derrumbe, con el corredor de detritos y el abanico coluvial (b).

En la delegación Cuajimalpa, el riesgo por inundación aumenta en la temporada lluviosa del año, es decir, de mayo a octubre, cuando se tienen las mayores crecidas en barrancos y valles fluviales. Se identifican en Cuajimalpa dos áreas afectadas por inundaciones. La primera es el curso bajo del Río Borracho, y la otra en el valle del Río La Cañada; en ambos casos se tienen pendientes menores a 6° (Fig. 24).

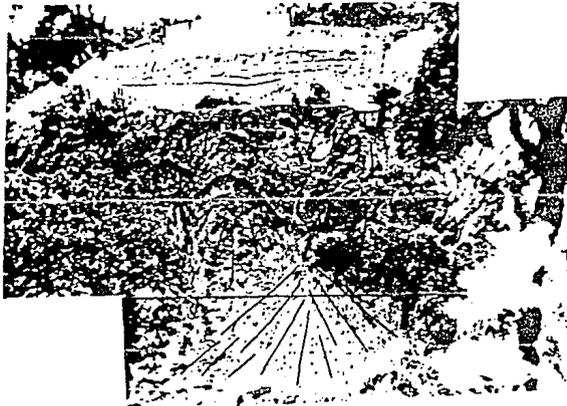
C.4 Antrópico.

El piedemonte de la Sierra de las Cruces es uno de los polos de mayor desarrollo habitacional en la Ciudad de México, y en la delegación Cuajimalpa, el crecimiento de la población ha sido de 25 veces desde 1940. Esto se traduce en obras que alteran el medio natural y la débil estabilidad de vertientes en barrancos, sobre todo en el piedemonte de la sierra. En este apartado se consideran las formas del relieve originadas por las actividades de infraestructura.

- Antiguos valles fluviales actualmente urbanizados. El relieve irregular de la zona de estudio, favorece la traza de las vías de comunicación a lo largo de divisorias y valles fluviales. Las implicaciones que conlleva la alteración del talweg, no se han manifestado en la mayoría de los barrancos, pero pueden favorecer la ocurrencia de inundaciones y la aceleración de erosión por corrientes. Este tipo de obras son comunes en el pueblo San Mateo y en las colonias Las Lomas y Lomas de Vista Hermosa.

- Taludes o tajos de infraestructura. Son escarpas de origen antrópico, con inclinación cercana a 90° . Se deben a la realización de cortes al terreno para autopistas, calles y otras construcciones.

La mayoría de estos taludes se muestran estables y con incipiente remoción de los materiales aflorantes; sin embargo, localmente se encuentran activos, con erosión por surcos y procesos gravitacionales, (Fotografía 11).



Fotografía 11. Corte de carretera que muestra: deslizamientos de tierra (), dirección de los desplazamientos (), así como la formación de un barranco y su depósito de acumulación (). Se localiza en el paramento W de la autopista Naucalpan-La Venta, colonia Zentlapati.

La distribución de escarpas activas en la zona de estudio se explica por lo siguiente:

a) Se localizan en laderas consideradas inestables, vulnerables al desarrollo de formas de erosión lineal e incidencia de procesos gravitacionales.

b) Se presentan en una secuencia litológica de ceniza volcánica (de un metro de espesor aproximadamente), que sobreyace a flujos piroclásticos gris rosado de poca compactación, e incluso con signos notorios de alteración de los clastos.

c) Se localizan en paredes afectadas por disequilibrios de sobrepeso en la parte alta, debidos al asentamiento de construcciones.

- Minas a cielo abierto. De acuerdo con Pantoja (1970), la extracción de materiales para la construcción inició en la zona de estudio a partir del presente siglo (Cordero, 1992). A partir de entonces se han cavado depresiones con escarpas de hasta más de 20 m. Varias minas han sido abandonadas y presentan regeneración de la cubierta arbórea, otras han sido niveladas para obras de infraestructura, o bien, han desarrollado sistemas de barrancos inducidos por la irregularidad del terreno.

Las minas en explotación muestran aparente estabilidad en los frentes de explotación; sin embargo, los fenómenos gravitacionales se identificaron sobre depósitos de flujo piroclástico y ceniza volcánica.

V. USO DEL SUELO

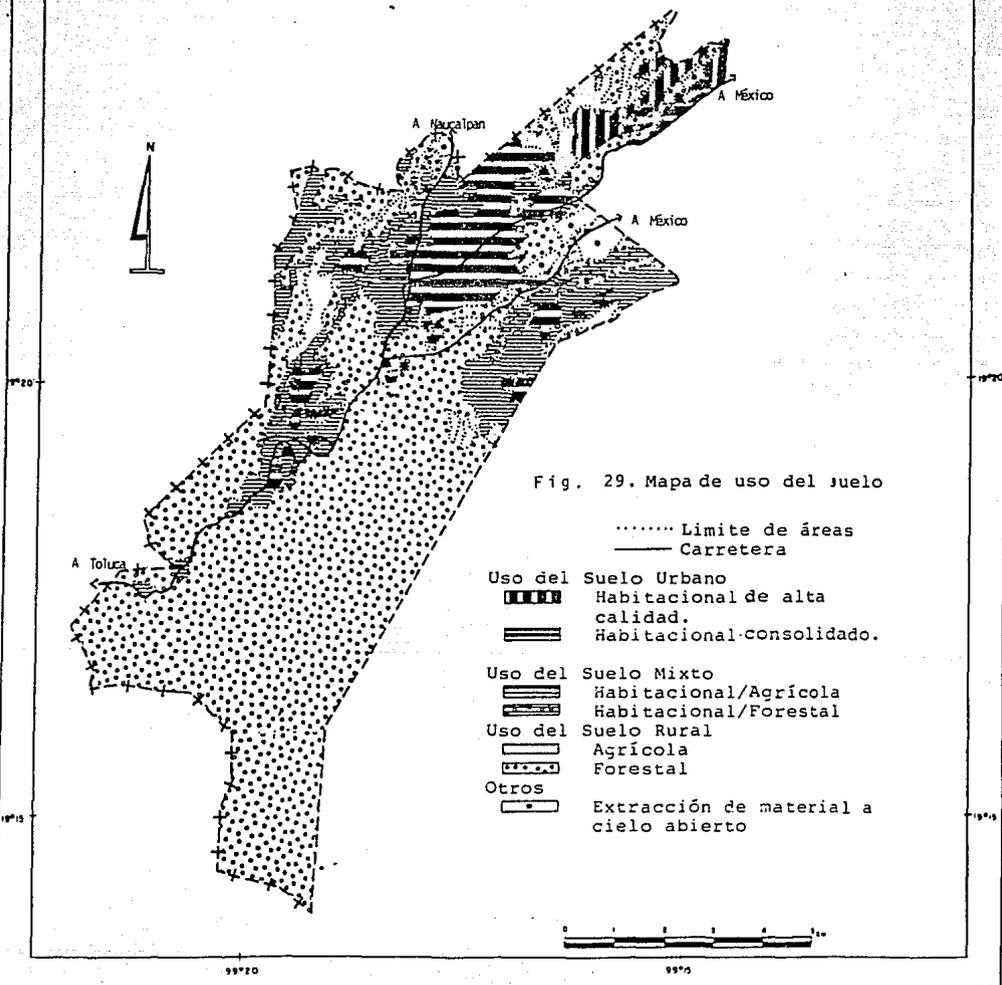
La dinámica del relieve, que se realiza por procesos endógenos y exógenos, tiene su máxima expresión en las áreas más inestables del territorio. La magnitud del peligro que implican estas zonas se determina con el mapa de uso del suelo, en el cual se muestra la distribución espacial de las formas de aprovechamiento urbano y rural en el área de estudio (Fig. 29).

La zonificación del uso del suelo se logró mediante reconocimientos en campo y recopilación de información bibliográfica y cartográfica del DDF, de fechas recientes y sin editar. Además, se hizo la fotointerpretación del norte del territorio a escala 1:10,000 y 1:20,000, con fechas de vuelo de 1989, 1990 y 1991, con la finalidad de definir los límites de usos del suelo. Para este análisis se consideran dos aspectos básicos: el tipo de uso del suelo, que se refiere a las diferentes formas de aprovechamiento del mismo y la distribución espacial de dichos usos (Gelman y Macías, 1983).

En cuanto a los tipos de uso del suelo, los de mayor interés son los que implican mayor pérdida potencial en caso de peligro, lo que generalmente se relaciona con zonas de fuerte interés socio-económico, siendo el uso del suelo habitacional el más importante en Cuajimalpa, ya que está ampliamente difundido en el territorio.

Es por lo anterior que en el presente análisis se pone un mayor énfasis en las áreas habitacionales y en su distribución, lo cual se definió a partir de la segunda parte del presente siglo, en que se da el mayor crecimiento urbano de esta zona.

DELEGACION CUAJIMALPA DE MORELOS



Para ello, se realizó el análisis de varios factores considerados por Kunz (1984), los cuales se adaptaron a las condiciones de la zona de estudio y son los siguientes.

- 1) factor accesibilidad
- 2) factor socio-económico
- 3) factor político
- 4) factor histórico
- 5) factor ambiental

1) Accesibilidad.

La construcción de vías de comunicación y la introducción de medios de transporte público ha propiciado la extensión de zonas habitacionales principalmente en la segunda mitad de este siglo, como es el caso de varias colonias y asentamientos aislados a lo largo de las autopistas México-Toluca, Naucalpan-La Venta, y de la nueva carretera México-Toluca.

Este proceso es particularmente notable en la carretera federal México-Toluca, que por ser la de mayor antigüedad, ha propiciado la expansión de varios asentamientos a lo largo de su eje. Esto favorece la remoción de suelo para la formación de terrazas, el sobrepeso en distintos sectores de las laderas y la eliminación parcial o total de la cubierta forestal y del suelo.

2) Factor socioeconómico.

El crecimiento de la Ciudad de México, impactó a esta jurisdicción desde la década de los sesentas, mediante un proceso de índole socio-económico, que

se continúa hasta hoy día. Dicho proceso consiste en la modificación de usos de suelo rural a zonas habitacionales, al norte de la delegación.

Estos hechos han afectado los poblados prehispánicos (San Pablo Chimalpa, San Lorenzo Acopilco, San Mateo Tlaltenango, Santa Rosa Xochiac y Cuajimalpa), los cuales se han vuelto atractivos por contar con servicios y buena accesibilidad al centro de la ciudad de México. El proceso de urbanización ha sido intenso en varias colonias del pueblo de Cuajimalpa y paulatino en los otros cuatro, donde los usos del suelo agrícola y forestal están siendo desplazados en estas últimas décadas.

La disminución de zonas agrícolas se debe también a los bajos incentivos económicos que representa la actividad agrícola, de tal manera que las tierras de labor se muestran ociosas y sin algún uso bien definido.

El proceso de urbanización se presenta de dos formas: 1) La construcción de viviendas para población de escasos recursos económicos, la cual se asienta en la periferia de los asentamientos, provocando un aumento considerable del uso habitacional en varias zonas agrícolas y forestales, como es el caso de las colonias que bordean los poblados ya mencionados. Generalmente se trata de construcciones provisionales*.

2) La alta densidad de población en el centro de la Ciudad de México, favorece el desarrollo de zonas residenciales en los suburbios de la capital, donde la gente de altos ingresos encuentra sitios exclusivos, con buenas condiciones ambientales, además de accesibles a los centros de labor y comercio.

*Schteingart (1989) señala que las condiciones de construcción en viviendas provisionales tienden a cambiar a través de un proceso largo que culmina con la consolidación de la vivienda.

3) Factor político.

Dada la importancia del crecimiento habitacional en la década de los años sesenta, el gobierno del Distrito Federal aplicó un Programa de Usos del Suelo, dirigido a lograr un desarrollo controlado, favoreciendo el crecimiento en las zonas de relieve plano y limitándolo en las laderas de barrancos y cañadas.

A pesar de ello, el auge de colonias y asentamientos irregulares en las décadas de los años setenta y ochenta fue mayor y superó por mucho las medidas instrumentadas por el gobierno capitalino, el cual ha realizado reubicaciones y deshalojos en algunos de los asentamientos que se establecieron en las laderas de barrancos.

4) Factor histórico.

La expansión urbana en la delegación Cuajimalpa se debe en parte a los asentamientos que surgieron en las últimas décadas y que se desarrollaron como extensión de los pueblos que ya existían. El proceso consistió en la formación de núcleos de casas en la periferia de los asentamientos, los que se incrementan hasta constituirse como parte de la mancha urbana.

Otros usos como el de extracción de material a cielo abierto, responden también al factor histórico ya que su emplazamiento data desde la época de la Colonia. Cabe señalar que las áreas de explotación minera se están transformando en zonas habitacionales y comerciales en los últimos años.

6) Factor ambiental.

La topografía de Cuajimalpa fue determinante en el emplazamiento espacial de los pueblos prehispánicos, los cuales se establecieron en las

divisorias de barrancos del piedemonte; sin embargo, en las últimas décadas los poblados han crecido hacia las laderas de barrancos, donde se tienen pendientes incluso mayores a 30°.

Como se ha visto con el análisis de los factores del suelo, en Cuajimalpa los usos actuales se determinaron a partir de la década de los años sesenta y principalmente en los setenta y ochenta. En este lapso la magnitud del crecimiento provocó un alza en el número de habitantes, de 6025 en 1940 a 156,391 en 1990 (INEGI, 1990).

El aumento de la población, aunado a los cambios al relieve para el emplazamiento de infraestructura, han llevado frecuentemente a la desestabilización de laderas, así como a la consecuente generación de procesos erosivos, que ponen en peligro los intereses económico-sociales y la seguridad de los habitantes de la delegación.

Con el mapa de usos del suelo se pretende definir los grados de vulnerabilidad que presentan los asentamientos humanos en la delegación Cuajimalpa, a partir del nivel de estabilidad de las construcciones. Para ello, se toman como base los materiales que se emplean para la construcción, los cuales se presentan en el cuadro 9.

En el mapa de usos del suelo se incluyen los usos urbanos y rurales, que agrupan a su vez a las siguientes categorías:

A) Uso del Suelo Urbano: Son zonas con predominio de uso habitacional, mezclado en porcentaje variado con otros usos complementarios como los equipamientos y los servicios. En este tipo se incluyen:

- Uso Habitacional de alta calidad. Se trata de zonas habitacionales de tipo unifamiliar y plurifamiliar con predominio de construcciones establecidas con cimentación, castillos, paredes de ladrillo con recubrimiento y techo de losa. Se caracterizan por no requerir de largos periodos de consolidación (Scheingart, 1989), sino que son hechas en relativamente poco tiempo, contando con planos y estudios arquitectónicos, por lo cual tienen un alto grado de estabilidad. Este tipo de uso implica cambios intensos al relieve, mediante cortes, movimientos de tierra y aplanamientos de grandes volúmenes de tierra.

Se distribuye al noreste del territorio en las colonias Bosques de las Lomas y Lomas de Vista Hermosa. (Cuadro 9).

- Uso Habitacional consolidado. Se compone en su mayoría de auto-construcciones consolidadas con castillos, paredes de ladrillo, en muchos casos sin recubrimiento y en general con techo de losa.

En este caso, las construcciones son generalmente de tipo unifamiliar y corresponden a las últimas fases del proceso de consolidación de la vivienda* . Implican cambios fuertes a la topografía mediante obras de terraceo y aplanamiento del terreno.

Se distribuye en las colonias San Lorenzo Acopilco, San Pablo Chimalpa, San Mateo Tlaltenango, Santa Rosa Xochiac, Tianguillo, Cruz Blanca, Xalpa, Cabecera Cuajimalpa, Contadero, Cacalote, El Molino, Locaxco, Lomas Memetla y Cooperativa Palo Alto (Cuadro 9).

*Scheingart (1989) señala que durante el proceso de consolidación, los dueños de la vivienda le hacen mejoras por medio de autoconstrucción principalmente.

B) Uso del suelo Mixto. Se trata de zonas que presentan baja densidad de uso habitacional, con predominio de uso forestal y agrícola. Se expande al sur del territorio, en tanto que al norte se encuentra bordeando los usos urbanos.

Los usos del suelo que se incluyen son los siguientes:

- **Uso Mixto Habitacional No Consolidado/ Agrícola**. Incluye los asentamientos irregulares de tipo provisional que se encuentran en las primeras fases de consolidación de la vivienda o que constituyen viviendas rurales. Se caracteriza por la autoconstrucción con materiales de baja calidad (ladrillo, cartón, lámina, lámina de cartón o asbesto, adobe).

Este uso es de baja densidad de ocupación, ya que se compone de unidades de tipo unifamiliar que comúnmente se encuentran inmersas en terrenos agrícolas. En estos casos, los terrenos se presentan ociosos, debido a la falta de incentivos económicos para el desarrollo agrícola.

- **Uso Mixto Habitacional No Consolidado/Forestal**. Similar al anterior pero con la variante de que el uso predominante no es agrícola sino forestal.

Los usos del suelo mixto se relacionan con zonas de fuerte alteración del medio natural, ya que las construcciones se asientan en laderas y barrancos, con pendientes mayores a 30°, y donde son comunes los terraceos y las barreras de contención para prevenir movimientos de tierra.

En estas últimas categorías se incluyen las colonias Las Lahas, Las Cruces, Tantoco, La Pila, La Venta, Loma del Padre, Zentlapatl, Ampl. Memetla, Cruz Manca, Las Tinajas, San José de los Cedros, Jesús del Monte, Ahuatenco, Panazolco y La Cañada (Cuadro 9).

C) Uso del Suelo Rural. En este rubro se incluyen las áreas que carecen casi por completo de algún tipo de aprovechamiento y por lo tanto no se presentan riesgos naturales actualmente, razón por la cual son zonas de poco interés para el presente trabajo.

- **Uso Agrícola.** Como se ha mencionado, las tierras agrícolas no están siendo aprovechadas para tal fin y actualmente se presentan ociosas, como terrenos de pastos o carentes de cualquier otro recubrimiento vegetal.

- **Uso Forestal.** Ver cap. I, Vegetación.

- **Uso de extracción de material a cielo abierto.** La actividad minera ha implicado la eliminación de la carpeta superficial de suelo, mediante la realización de cortes al terreno para la extracción de arena, grava, hormigón y otros materiales para la construcción, por lo cual estas zonas se componen de escarpes hasta de unos 20 m y con pendientes cercanas a los 90° , carecen de recubrimiento edáfico. Actualmente éste uso está siendo desplazado por el habitacional.

El pronóstico de crecimiento urbano incluye la expansión de las zonas habitacionales sobre las laderas de los barrancos del centro y norte del territorio, provocando una creciente mezcla de usos y desaparición de masas arbóreas y agrícolas que darán mayor complejidad al mosaico de usos del suelo.

Cuadro 9. Materiales empleados para la construcción en zonas habitacionales.

COLONIA	TECHO		PISO		PAREDES	
	CARTON	TEJA ASBESTO	LOZA	CEMENTO	ADOBE	LADRILLO
Sn. Lorenzo			x	x		x
Las Maromas	x	x			x	x
Las Lahas		x	x		x	x
Las Cruces	x	x			x	x
Tantoco	x	x			x	x
Sn. Pablo		x	x	x		x
La Pila	x	x			x	x
La Venta	x	x			x	x
L. del Padre	x	x			x	x
Zentlapatl	x	x			x	x
Sn. Mateo			x	x		x
Tianguillo			x	x		x
Cruz Blanca			x	x		x
Xalpa			x	x		x
Ampl. Memetla		x				
Cruz Manca	x	x			x	
Las Tinajas		x				
Cuajimalpa			x	x		x
Contadero			x	x		x
S, J. Cedros	x		x			
Cacalote			x			x
J. del Monte	x	x				x
El Molinito	x		x			x
Memetla	x		x			x
El Yaqui	x		x			x
G. Palo Alto	x		x			x
El Molino			x			x
Locaxco			x			x
C. Palo Alto			x			x
Ahuatenco	x	x	x		x	
Panazolco	x		x		x	x
Santa Rosa		x	x	x		x
La Cañada	x		x		x	
Manantiales	x	x			x	
Chantecuanil	x		x		x	
Acilburritos	x		x		x	
Las Lahas	x		x		x	
LL. Conejos	x	x	x		x	
Muitles			x	x	x	x
Doña Juana		x	x		x	

Fuente de información: López-López, E., 1987.

VI. EVALUACION DEL TERRITORIO

En este capítulo se evalúa la dinámica geomorfológica del relieve, en relación con los daños que puede provocar en las variadas formas de aprovechamiento del suelo. El relieve de la zona de estudio es heterogéneo y presenta vertientes predispuestas para desarrollar procesos erosivos intensos. Cuando el material aflorante consiste en roca compacta, los procesos más viables son la caída de piedras o derrumbes. En otros casos predominan los depósitos de vulcanoclastos de resistencia variable a la erosión; aquí, los procesos comunes son los deslizamientos de tierra y la reptación.

Por otra parte, el proceso urbano en Cuajimalpa, muestra que la sociedad tiene la capacidad (socioeconómica y técnica) para alterar el balance natural del relieve. En ocasiones los cambios al relieve son directos: nivelaciones, desplazamientos de tierra, cortes y acumulaciones de material detrítico. Pero la transformación también se realiza en el paisaje con prácticas de deforestación, eliminación del suelo y con la alteración de los patrones fluviales, todo lo cual favorece la generación de procesos erosivos, en ocasiones intensos, en las vertientes de valles fluviales y barrancos.

Es por lo anterior que el conocimiento de las formas y dinámica del relieve es de gran importancia para mejorar el aprovechamiento del suelo y asimismo, para evitar la utilización de espacios favorables a la generación de procesos peligrosos para los intereses y la seguridad de la población.

Para ello, en el presente capítulo se analizan los 10 mapas realizados para el presente estudio, los cuales se sintetizan en uno sólo: de evaluación del

territorio de Cuajimalpa, mismo que se dividió en dos grandes áreas: de montaña y de piedemonte, las cuales en su conjunto agrupan siete zonas (Fig. 30).

1. Zona de montaña, de laderas andesíticas con pendiente superior a 30° , desmembradas por una densa red de barrancos controlados por estructuras disyuntivas. El uso del suelo es forestal (*Abies religiosa*, *Pinus teocote* y *Pinus montezumae*, intercalados con plantas arbustivas y pastos).

1.1. Vertientes inestables con procesos de ladera: caída de rocas y derrumbes. Se recomienda destinar este territorio como área de recreación, o bien, como reserva ecológica, con fines de conservación del sistema natural que sostiene.

2.1. Zona de piedemonte, de superficies inclinadas, constituídas de material vulcanoclástico y depósitos de lahar. La pendiente es de 8 a 12° y están disecadas por una densa red de barrancos con control estructural. Esta zona, según Ortíz et al. (1990), corresponde al piedemonte superior de la Cuenca de México. El uso del suelo es forestal, con un predominio de las siguientes especies: *Pinus teocote*, *Pinus montezumae*, *Quercus lauránea*, *Quercus mexicana*, *Quercus rugosa* y *Quercus microphilia*, intercalados con plantas arbustivas y pastos.

2.1.1. Vertientes inestables, con procesos de deslizamientos de tierra. Se recomienda utilizar este territorio como área de recreación, procurando su recuperación ecológica mediante campañas de reforestación, control y vigilancia de los visitantes. Esta zona no es apta para el uso habitacional, es necesario

enfatar en éste último punto, ya que el desarrollo urbano de la Ciudad de México tiende a incluir este territorio al Area Metropolitana.

2.2. Zona agrícola: se distribuye a manera de manchones sobre superficies convexas (en las divisorias o muy cerca de ellas). Estas áreas carecen de recubrimiento forestal, lo que favorece que los procesos de denudación fluvial (erosión laminar y en surcos) sean una característica de las mismas.

2.2.1. Vertientes inestables, con reptación y deslizamientos de tierra. Se recomienda la aplicación de técnicas de conservación de suelo en la actividad agrícola. Esta área no se recomienda para uso urbano.

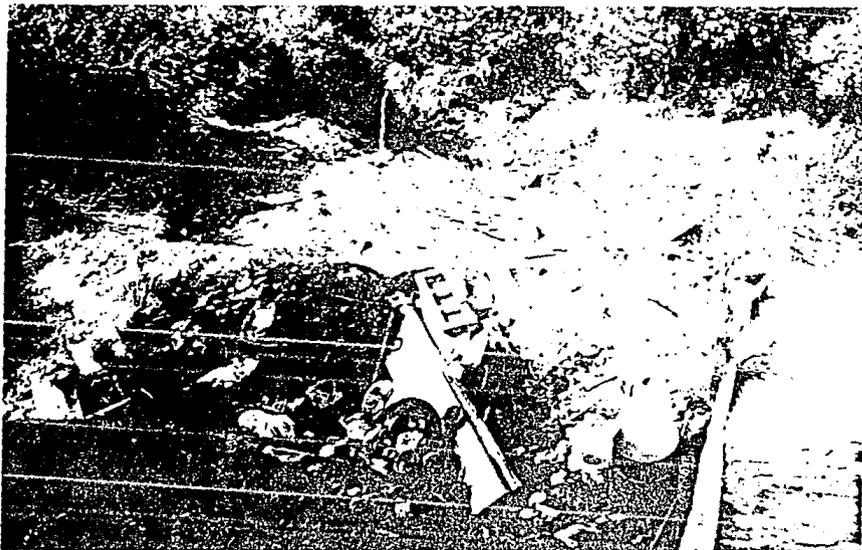
2.3. Zona de uso mixto (habitacional y agrícola), con predominio de un proceso inicial de consolidación de la vivienda (autoconstrucción con materiales de baja calidad), o viviendas rurales. La densidad de uso habitacional es baja y se intercala con zonas agrícolas, lo que en algunos casos favorece el desarrollo de surcos, cárcavas y pequeños barrancos, que se desarrollan a partir de brechas y caminos improvisados.

2.3.1 Vertientes inestables con reptación y deslizamientos de tierra, además de erosión por surcos, cárcavas y barrancos que representan riesgo.. Las recomendaciones para el uso del suelo son iguales que en el punto anterior, en lo que respecta a la actividad agrícola. Es necesario el control del uso habitacional, mediante programas que regulen el uso del suelo.

2.4. Zona de uso mixto (habitacional forestal), con predominio de un proceso inicial de consolidación de la vivienda (autoconstrucción con materiales de baja calidad), o viviendas rurales. La densidad de uso habitacional es baja y se intercala con zonas forestales. Presentan una fuerte alteración al entorno

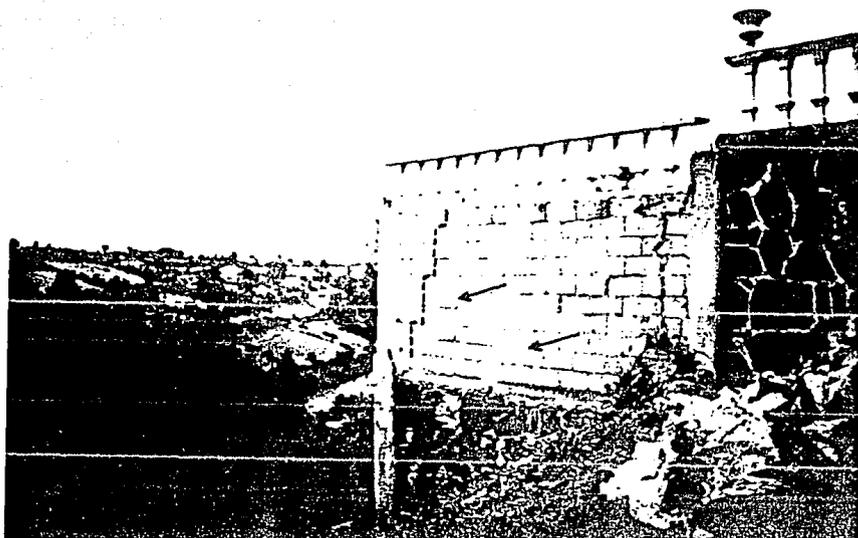
natural. La urbanización favorece la erosión (surcos, cárcavas y barrancos) originados a partir de brechas y caminos.

2.4.1. Vertientes inestables (en la zona habitacional forestal), con reptación, deslizamientos de tierra y erosión remontante (saltos de cabecera activos), en pendientes superiores a 30° . Se recomienda la aplicación de técnicas de conservación del entorno natural, procurando la regeneración de la cubierta forestal y del suelo. Esta zona no es apta para el uso habitacional y se recomienda el desalojo de asentamientos humanos en zonas con deslizamientos potenciales (fotografía 13).



Fotografía 13. Depósito formado por un deslizamiento de tierra en la colonia Prol. Constanza. Se aprecian vestigios de la vivienda donde perdieron la vida cinco personas.

2.5. Zona de uso habitacional consolidado, con asentamientos que representan una fase avanzada en el proceso de consolidación de la vivienda (autoconstrucciones, generalmente con paredes de ladrillo, techo de losa y cimientos). Se distribuye en los interfluvios, con pendientes de 2 a 7⁰, favorable para la construcción sin modificar el relieve. La aparente estabilidad de esta zona puede desaparecer por el avance de los asentamientos humanos que se expanden hacia las márgenes de la ladera, o por socavones antiguos y otras alteraciones antrópicas. Hay que mencionar que no existe un registro del número, distribución y profundidad de estos túneles de extracción, por tal motivo, es necesario considerarlos como un riesgo potencial, que se traduce en colapsos o subsidencias del terreno.



Fotografía 14. Agrietamientos en una vivienda al norte del pueblo San Lorenzo, la cual se asienta en una ladera con proceso de reptación.

2.5.1 Vertientes inestables con procesos de ladera: reptación, deslizamientos de tierra y cabeceras activas en las márgenes interfluviales. Se recomienda la aplicación de técnicas de conservación y de estabilidad de las laderas, asimismo, restringir el crecimiento habitacional en los flancos e interior de valles fluviales, mediante programas que regulen el uso del suelo (Fotog. 14).

2.6. Zona habitacional de alta calidad, con predominio de asentamientos de tipo unifamiliar y plurifamiliar. Constituyen viviendas de alta estabilidad: paredes de ladrillo, techo de losa y cimientos, con base en estudios de mecánica de suelos. Hay una transformación sustancial del relieve original. En la mayoría de los casos se ha reforzado la estabilidad de una vertiente a partir de obras de ingeniería de gran magnitud, ya que el uso habitacional de este tipo se localiza en vertientes con pendiente mayor a 30°. Esto se hace con el fin de tener vistas panorámicas del entorno natural. Hay que mencionar que de acuerdo con las características morfológicas del relieve, este territorio no es adecuado para el uso habitacional, pero gracias a las obras de infraestructura realizadas, la hacen un área relativamente estable.

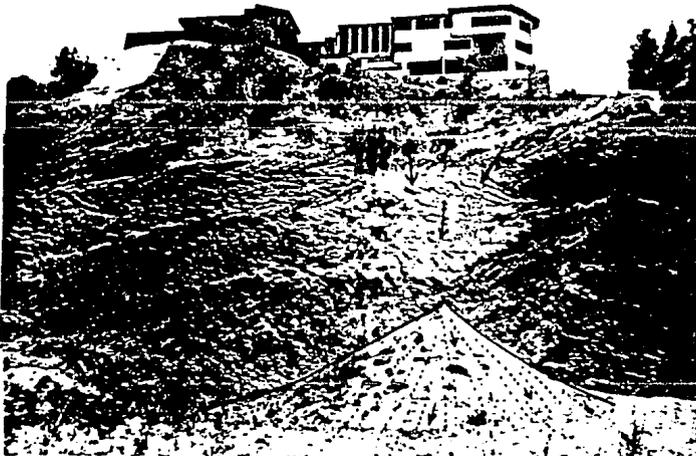
2.6.1 Vertientes inestables con procesos de ladera: deslizamientos de tierra potenciales, cabeceras activas y hundimientos del terreno por socavones antiguos. Riesgo de inestabilidad por contactos litológicos de toba volcánica, que sobreyace a depósitos de flujo piroclástico, así como de toba volcánica de textura arenosa, poco compacta, suprayacente a toba volcánica de textura arcillosa. La morfología es igual a la descrita en el punto 2.5. Se recomienda un control del crecimiento urbano, con la aplicación de programas que regulen el uso del suelo. Asimismo, certificar la seguridad de la población actual, mediante estudios de mecánica de suelos para esta zona (fotografía 15).



Fotografía 15. Construcciones de alta calidad en la colonia Lomas de Vista Hermosa. A la derecha se observa un coluvión al pie de un corte sobre cenizas volcánicas.

2.7. Zona de gran transformación del relieve. Representa las zonas de minas a cielo abierto y de obras de infraestructura de gran magnitud (vías de comunicación).

2.7.1. Vertientes inestables (en la zona de gran transformación del relieve), con deslizamientos de tierra provocados por la actividad antrópica, localizados en tajos, tanto de extracción de material (minas a cielo abierto), como en los cortes de carretera. Se presentan en pendientes de 40 a 90^o, en depósitos poco consolidados (tobas poco compactas y depósitos de lahar de matriz arenosa) (fotografía16).



Fotografía 16. Vivienda en la parte alta de un escarpe antrópico activo. Al pie del escarpe se muestra el cono detrítico. El corte se localiza en el acotamiento norte de la nueva autopista México-Toluca, a la altura de la colonia Contadero.

VI. CONCLUSIONES

1. El relieve de la delegación Cuajimalpa es de edad Plio-pleistocénica y en su morfología actual se distinguen dos unidades: 1) la zona de montaña (de andesitas compactas) y 2) la zona de piedemonte superior, compuesta de vulcanoclastos de flujo y de caída. La evolución de estas unidades responde a ciclos alternados de actividad volcánica y erosiva, donde los procesos denudatorios han determinado la dinámica del relieve en el último periodo geológico.

2. Las áreas susceptibles a desarrollar procesos de inestabilidad de vertientes, están vinculadas con la distribución de las estructuras disyuntivas, las cuales se formaron como parte de la actividad tectónica que formó la Sierra de Las Cruces.

Dicha inestabilidad se manifiesta por valores altos de densidad y profundidad de la disección y se relaciona con vertientes de geometrías rectas y cóncavas, así como valores de pendiente superiores a 30° .

3. Los procesos modeladores más importantes en la zona de estudio son los gravitacionales y los fluviales. Los primeros representan mayor riesgo para la población y son de dos tipos: a) caída de rocas o derrumbes y b) deslizamientos de tierra.

Los derrumbes se producen en la zona de montaña y se presentan en laderas andesíticas altamente fracturadas, que corresponden a la Formación Las Cruces. Las pendientes que favorecen dicho proceso son superiores a 30°.

Los deslizamientos de tierra son comunes en el piedemonte (depósitos vulcanoclásticos de la Formación Tarango) y afectan las laderas de los valles principales. De acuerdo con el análisis estratigráfico que se realizó en campo, se observó que dicho proceso se favorece cuando los depósitos de flujo piroclástico (gris-rosado) sobreyacen a depósitos de toba arcillosa.

4. En el mapa de evaluación del territorio se presentan, de manera sintética, los resultados obtenidos en las diversas etapas de análisis: geología, morfometría, geomorfología y uso del suelo. En este mapa el relieve de Cuajimalpa se divide en dos grandes zonas:

a) La Zona de montaña, de laderas andesíticas, con pendiente mayor a 30°; el uso del suelo es forestal, por lo que no existen riesgos de peligro directo para la sociedad.

b) La zona de piedemonte, de superficies inclinadas, fuertemente disecadas y constituidas de material vulcanoclástico y depósitos de lahar; la pendiente es de 2 a 7°. El uso del suelo es variado, lo cual le da mayor complejidad y aumenta la posibilidad de ocurrencia riesgos naturales, principalmente por procesos gravitacionales (deslizamientos de tierra y caída de rocas o derrumbes).

La zona de piedemonte está constituida de siete subzonas, de las cuales, las de uso del suelo mixto (habitacional-agrícola y habitacional-forestal), tienen

mayor susceptibilidad a riesgos naturales. En esta situación se encuentran las colonias Panazolco, Atitla I y II, Prol. Constanza, Primero de Mayo, Chantecuani, Prol. Av. México, Punta Ahuatenco, La cañada, Valle de las monjas y Prol. Ocampo. Todas ellas presentan viviendas de baja estabilidad y se ubican en laderas con pendiente mayor a 30° , donde existe una alternancia litológica (de flujo piroclástico debajo de depósitos de ceniza volcánica), que favorece los deslizamientos.

5. El proceso de urbanización en Cuajimalpa ha sido intenso desde hace 40 años, provocando la expansión de zonas habitacionales al interior de laderas de valles y barrancos. La invasión de la áreas forestales está provocando el desarrollo de procesos erosivos intensos en laderas de fuerte pendiente, principalmente gravitacionales y fluviales, por aceleración del retroceso de cabeceras activas.

BIBLIOGRAFIA

- ARELLANO A.R.V. "Datos geológicos sobre la antigüedad del hombre en la cuenca de México". Mem. II Congr. Cient. Mexicano de Ciencias Sociales, V. V. México, 1946.
- BASSOLS, A. Geografía, subdesarrollo y regionalización. México y el tercer mundo. Ed. Nuestro Tiempo, México, 1975.
- BATISTA, J. L., Sánchez, M. y Díaz, M. Territorios inundables en Cuba. sin información.
- BELOUSOV, V. V. Geología estructural. Ed. Mir. Moscú, 1979.
- BIRKELAND, P. y LARSON, E. Putnam's Geology. Oxford University Press. Nueva York, E.U., 1989. pp 310-346.
- BLASQUEZ, L. La edad glacial en México. Imprenta El Nigromante. México, 1944.
- BRYAN, K. Los suelos complejos y fósiles de la altiplanicie de México en relación con los cambios climáticos. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, tomo XIII. México, 1948. pp 1-20.
- CALVO, F. La geografía de los riesgos./Geocrítica Internacional, no. 54. Facultad de Geografía e Historia. Universidad de Barcelona. Barcelona, España, noviembre, 1984.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. La prevención de los desastres en México. Fascículo 1. Secretaría de Gobernación, México, enero 1990.
- CERVANTES, J. y asociados S. A. "El medio natural Distrito Federal". Plan Director de Desarrollo Urbano Distrito Federal. Tomo II. Dirección General de Planificación del D.D.F. México, 1976.
- COQUE, R. Geomorfología. Alianza. Madrid, España, 1984.
- CORDERO, M. El origen y evolución del relieve en la delegación Alvaro Obregón. Tesis UNAM México, 1992.
- DAKOMBE, R. V. y GARDINER, V. Geomorphological field manual. G. Allen and Unwin, Londres, 1987.
- DE CSERNA, Z., DE LA FUENTE, M., PALACIOS, M., TRIAY, L., MITRE, L.M. y MOTA, R. Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México. / Boletín 104 del Instituto de Geología. UNAM, México, 1988.
- Departamento del Distrito Federal. Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal. Tomo 1. DDF, México, 1975.

- DERRAU, M. Geomorfología. Ariel. Barcelona, España. Tercera ed., 1983.
- DGRUPE Programa Parcial de Desarrollo Urbano de la Delegación Cuajimalpa. DDF, México, 1986.
- Dirección General de Parques, Reservas y Areas Ecológicas Protegidas. Proyecto del Programa de Manejo del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones. DGPR y AEP, México, 1983.
- Dirección General de Planificación. Plan Parcial de Desarrollo Urbano de la Delegación Cuajimalpa. DDF, México, 1983.
- Dirección General de Planificación. "Diagnóstico urbano". Memoria descriptiva de la delegación Cuajimalpa, cap. III. DDF, México, 1987. pp 13-22.
- DUCCI, M.E. "Delegación Cuajimalpa de Morelos". Atlas de la Ciudad de México, no. 8. DDF, México, 1981.
- FEDORENKO, V.C. Prevención de deslizamientos y derrumbes montañosos. Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov. Moscú, URSS, 1988. (en ruso).
- FRIES Jr. C. "Bosquejo geológico de la región entre México, D.F. y Taxco, Gro." XX Congreso geológico Internacional, excursiones A-4 y C-2. México, 1956.
- GAMA, J. L. Areas verdes en la delegación Cuajimalpa de Morelos./ Diagnóstico Integral de la delegación Cuajimalpa, tomo VII. DDF, México, 1987.
- GELMAN, O. y MACIAS, S. "Aspectos metodológicos en la elaboración y uso de modelos en el pronóstico de fenómenos destructivos". Boletín del Instituto de Planeación y Operación de Sistemas, no. 68. Oct. México, D.F.,-nov.-dic., 1982.
- GELMAN, O. y MACIAS, S. "Aplicación del enfoque sistémico para el estudio interdisciplinario de desastres". Conferencia mundial de sistemas. Resúmenes extendidos. Caracas, Venezuela. Julio, 1983.
- GRIGGS, G. y GILCHRIST, J. Geologic hazards, resources and environmental planning. Wadsworth, Belmont, Ca., E.U., 1977.
- GUTIERREZ, C. Bosquejo geológico e hidrológico de la cuenca del valle de México. Tesis UNAM Escuela Nacional de Ingenieros, UNAM México, 1947.
- HERNANDEZ, S. G. Geomorfología de las delegaciones Cuajimalpa y Miguel Hidalgo. Tesis UNAM México, 1987.
- INEGI. Cuajimalpa de Morelos. Cuaderno de información básica delegacional. DDF, México, 1990.
- LEDO, T. Ecología urbana. Enspes. La Habana, Cuba, 1991.
- KOSTENKO, N. Geomorfología estructural. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F., 1975.

- KUNZ, I. C. Estructura urbana en México, el caso de Aguascalientes. Tesis UNAM. F.F.y L., UNAM, México, 1984.
- LOPEZ, E. Vivienda. / Diagnóstico integral de la delegación Cuajimalpa, tomo VI. DDF, México, 1987.
- LUGO, J. Geomorfología del sur de la Cuenca de México. / Serie Varia, T. 1., num. 8. Instituto de Geografía. UNAM, México, 1984.
- LUGO, J. Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos). Instituto de Geografía, UNAM México, 1988.
- LUGO, J. Diccionario geomorfológico con equivalentes de los términos más comunes en alemán, francés, inglés y ruso. UNAM México, 1989.
- MARSAL, R. y MAZARI, M. El subsuelo de la Ciudad de México. Tomo 1. Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1959.
- MERITANO, J. Los sensores remotos, sus imágenes y aplicación en geología. Serginsa. México, 1985.
- MOOSER, F. "Historia geológica de la Cuenca de México". Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo. DDF, México, 1975.
- MOOSER, F. "Geología de la Cuenca de México". Atlas de la Ciudad de México. DDF, México, 1981.
- MOOSER, F. (relator). ? Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, D.F., 1984. pp 3-32.
- MOOSER, F., TAMEZ, E., SANTOYO, E. HOLGUIN, E. y GUTIERREZ, C.E. Características geológicas y geotécnicas del valle de México. Comisión de vialidad y transporte urbano. México, septiembre 1986.
- NAVA, A. Terremotos. / La Ciencia desde México, tomo 34. Fondo de Cultura Económica. México, 1987.
- ORLOVA, A.V. El mozaico móvil del planeta. Ed. Nedra. Moscú, URSS, 1981. (en ruso).
- ORTIZ, M. A. y OROPEZA, O. Consideraciones críticas sobre la investigación geográfica de los desastres de origen natural. / Geografía y Desarrollo, revista del Colegio Mexicano de Geógrafos Postgraduados A.C.. Año 4, vol. 3, mun. 7. Ciudad Universitaria, México, 1992.
- PANTOJA, A. J. Los recursos pétreos del municipio de Naucalpan, Estado de México. Instituto de Geología, UNAM, archivo técnico inédito, 1970.
- RODRIGUEZ, R. y OCHOA, C. Estudio geoelectrico del sistema acuífero de la Cuenca de México. / Geofísica Internacional, vol. 28-2, num. 2. Instituto de Geofísica, UNAM México, 1988. pp 191-205.

- SCHTEINGART, M. "Formas de producción de la vivienda y políticas habitacionales del Estado"./ Los productores del espacio habitable: estado empresa y sociedad en la Ciudad de México. Cap. 3. El Colegio de México, México, 1989.
- SIMONOV, Y.G. Análisis geomorfológico regional. Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov. Moscú, URSS, 1972.
- SIMONOV, Y.G. Análisis morfométrico. Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov. Moscú, URSS, 1985.
- Secretaría General de Obras. Manual de exploración geotécnica. DDF, México, D.F., 1988. pp 12-46.
- Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. Ecoplan del Distrito Federal. Síntesis informativa. SAHOP, México, D.F., 1980.
- SMALL, R.J. The study of landforms. A text of geomorphology. Cambridge, University Press. Great Britain, 1978.
- STRAHLER, A. Geografía física. Omega. Barcelona, España, 1981.
- TARBUCK, E. y LUTGENS, F. The earth an introduction to physical geology. Merrill Publishing Co. USA, 1990.
- VALLEJO, P. Uso del suelo./ Diagnóstico Integral de la delegación Cuajimalpa, tomo VI. DDF, México, 1987.
- VAZQUEZ, E. y JAIMES, R. Geología de la Cuenca de México./ Geofísica Internacional, vol 28-1, num. 2. Instituto de Geofísica. UNAM, México 1988. pp 133-190.
- VERSTAPPEN, H.TH. Applied geomorphology. International Institute for aerial survey and earth science (ITC). Enschede, The Netherlands, 1983.
- ZAMORANO, J.J. Análisis ingeniero-geomorfológico de la Cuenca de México. Tesis doctoral. Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov. Moscú, URSS, 1990. (en ruso).

Material cartográfico

-ORTIZ, M.A., ZAMORANO, J.J., LUGO, J.I. y FRAUSTO, O. "Susceptibilidad a corrimiento de tierras". Principales fenómenos naturales que provocan desastres en la Cuenca de México. /Atlas Nacional de México, V.2.10. Instituto de Geografía, UNAM, México, 1990.

- SCHLAEPFER C. Carta geológica de México. Hoja México 14-Q-h (5), escala 1:100,000, y texto: "Resumen de la geología de la hoja México, Distrito Federal y estados de México y Morelos". Instituto de Geología, UNAM, México, 1968.

-CGRUPE Programa Parcial de Desarrollo Urbano, delegación Cuajimalpa. esc. 1:20,000. DDF, México, 1990.

-Tesorería del Distrito Federal. Carta urbana. Números E14A39-31 "Cuajimalpa", E14A39-32 "Santa Fe", E14A38-46 "General Ignacio Allende", E14A39-41 "Desierto de los Leones", E14A39-42 "San Bernabe Ocotepec", E14A38-56 "La Marquesa", E14A39-51 "Cuarto Dinamo", E14A48-16 "Cerro El Muñeco" y E14A49-11 "Cerro El Triángulo". esc. 1:10,000. DDF, México, 1985.

Se desgajó un cerro en San Pablo Chimalpa

Permanecen en zonas de alto riesgo mil 500 habitantes de Cuajimalpa

Alonso Urrutia y Víctor Ballinas □ Como consecuencia de las intensas lluvias que han caído en los últimos días y del reblandecimiento de la tierra, ayer se desgajó parte de un cerro en la colonia San Pablo Chimalpa, causando la muerte de cinco personas; cuatro más requirieron hospitalización. Al mismo tiempo, personal de Protección Civil de la delegación Cuajimalpa desalojó a 300 personas y las trasladó a un albergue. Son ya ocho las personas que han muerto en los últimos 20 días en esa delegación. ■ 24

■ Les ofrece la delegación 3 millones si se reubican
Presionan a 70 familias a dejar zonas de alto riesgo en Cuajimalpa X-92

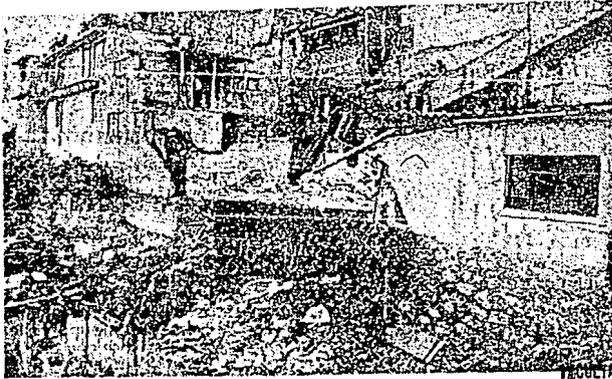
Damificados de la colonia Las Lajas, ubicada en la delegación Cuajimalpa, sostuvieron ayer que las autoridades delegacionales pretenden "obligarlos" a firmar un convenio mediante el cual serían indemnizados con 3 millones de pesos a cambio de aceptar su reubicación, pues habitan zonas irregulares de alto riesgo.

Fernando Pérez, del Frente Amplio de Acción Popular (FAAP), señaló que la propuesta de indemnización no satisface a alrededor de 70 familias que aún se encuentran en el Deportivo Morelos, habilitado como albergue, a donde fueron trasladadas la semana pasada tras el desgajamiento del cerro ubicado en San Pa-

blo Chimalpa.

Plantean una alternativa de reubicación pero con facilidades para adquirir predios, pues la cantidad que les ofrecen sería insuficiente para "reubicarnos por nuestra cuenta". La delegación se compromete a trasladar a las familias originarias del interior de la República que deseen salir de la ciudad.

En la delegación, explicó, hay por lo menos 52 asentamientos irregulares, algunos de los cuales se ubican en zonas de alto riesgo: barrancas y laderas de cerro. Sin embargo, precisó, algunos de esos asentamientos prácticamente están consolidados pues tienen poco más de diez años de haber sido ocupados.



SORPRENDIDO por un derrumbe de lodo y piedras, un campesino que caminaba por la ladera de un cerro en La Marquesa falleció ayer sepultado. (Foto de Mayolo)

S-XII-90

Un derrumbe con varios heridos en Cuajimalpa, e inundaciones que atravesaron a vehículos con el agua hasta el cofre, sufrió el DF en las últimas 24 horas. Hubo cortes en el servicio eléctrico en diversas zonas, mientras cinco municipios del Estado de México...

20-VI-91

EL REBLANDECIMIENTO de la tierra, causado por las recientes lluvias, hizo que un cerro de la colonia Palo Alto se desgajara. Dos de los moradores de una de las casas edificadas en ese lugar recibieron lesiones

VI-86

99°22'00"

99°20'00"

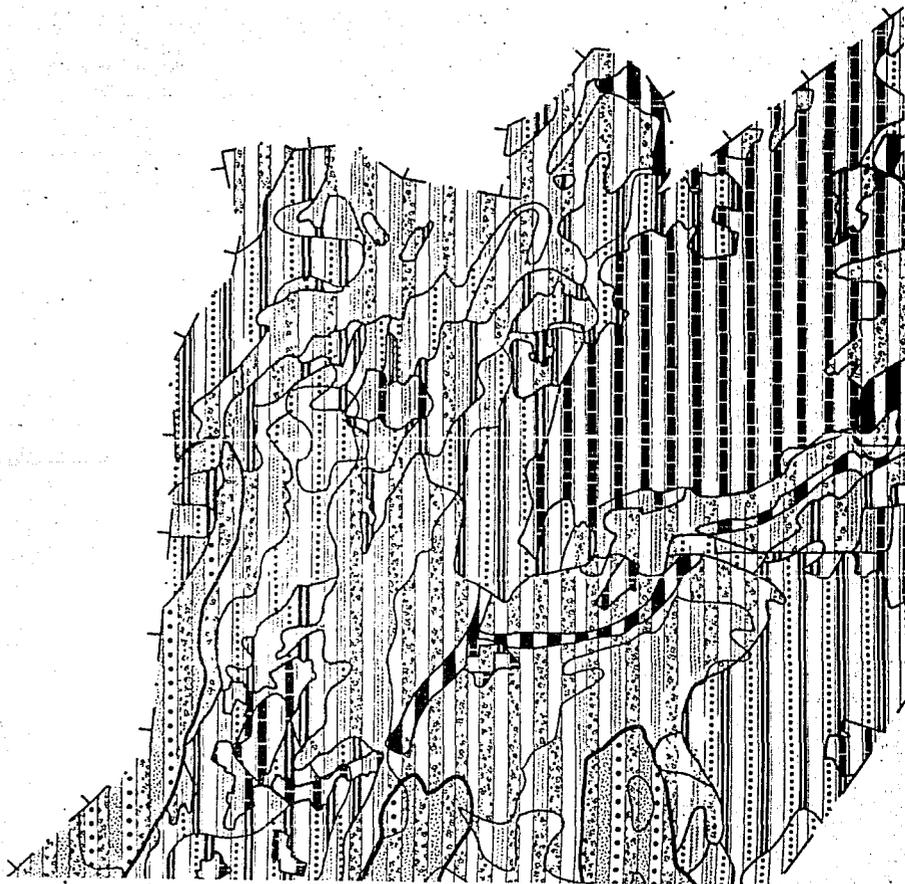
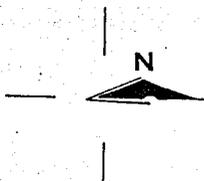
99°18'00"

9°24'00"

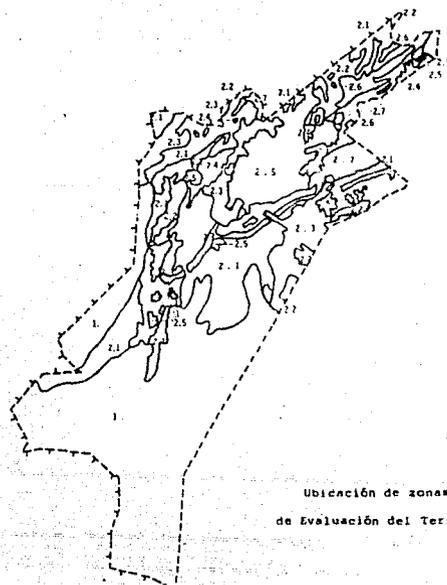
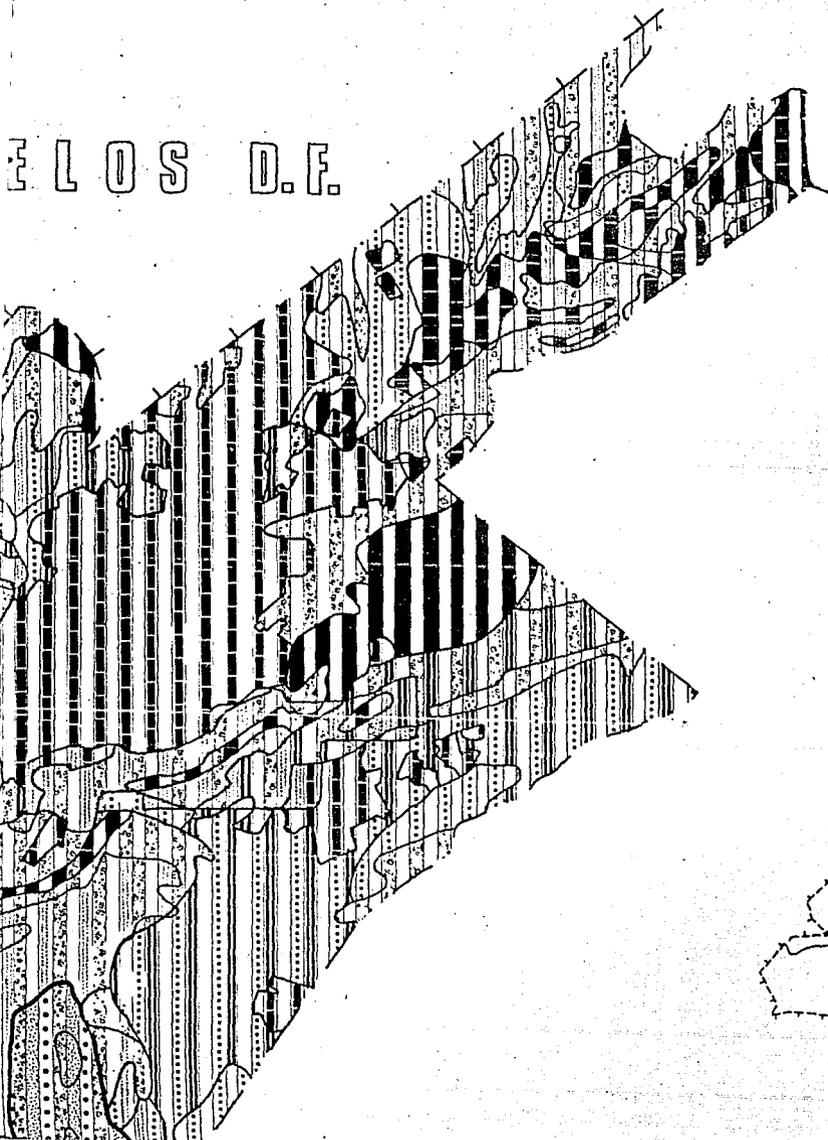
9°22'00"

9°20'00"

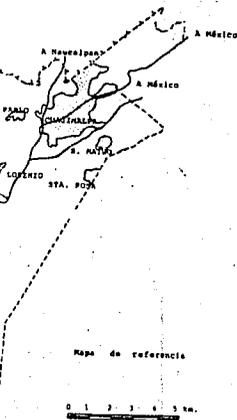
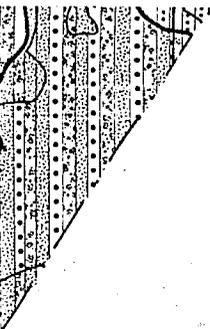
CUAJIMALPA DE MORELOS D.F.



ELOS D.F.



Ubicación de zonas
de Evaluación del Territorio



laboro:
 Arturo Garcia Romero

FIG. 30

MAPA DE EVALUACION DEL TERRITORIO

SINBOLOGIA

SONA DE MONTAÑA

1. Zona de montañas, de laderas andeálticas con pendientes superior a 30°, desmenuzadas por una densa red de barrancos controlados por estructuras disyuntivas. El uso del suelo es forestal (árbol religioso, Pinus insipida y Pinus montezumae, intercalados con plantas arbustivas y pastos).

1.1 Vertientes inestables con caída de rocas y derrumbes. Se recomienda destinar este territorio como áreas de recreación, o bien, como reserva ecológica, con líneas de conservación del sistema natural que sostiene.

SONA DE PIEDENORTE

2.1 Zona de piedemonte, de superficies inclinadas, constituidas de material volcánico y depósitos de lavar. La pendiente es de 2 a 7° y están disecadas por una densa red de barrancos con control estructural. El uso del suelo es forestal, con un predominio de pinos y encinos intercalados con plantas arbustivas y pastos.

2.1.1 Vertientes inestables, con deslizamientos de tierra. Se recomienda utilizar este territorio como áreas de recreación, procurando su recuperación ecológica mediante campañas de reforestación, control y vigilancia de los visitantes. Esta zona no es apta para el uso urbano.

2.2 Zona agrícola, se distribuye en superficies conexas de divisoria con pendiente de 2 a 7°. Carecen de recubrimiento forestal, lo que favorece los procesos de denudación fluvial (erosión laminar y surcos), características de las mismas.

2.2.1 Vertientes inestables, con reptación y deslizamientos de tierra. Se recomienda la aplicación de técnicas de conservación de suelo en la actividad agrícola. No se recomienda para uso urbano.

2.3 Zona de uso mixto (habitacional y agrícola), interfluvios con pendiente de 2 a 7°, constituidos por viviendas que inician el proceso de consolidación (autoconstrucción con materiales de baja calidad), o que son viviendas rurales. La densidad de uso habitacional es baja y se intercala con zonas agrícolas.

2.3.1 Vertientes inestables, con presencia de reptación y deslizamientos de tierra, además de erosión por surcos cárcavas y barrancos. Las recomendaciones para el uso del suelo son iguales que en el punto anterior, en lo que respecta a la actividad agrícola. Es necesario el control del uso habitacional, mediante programas que regulen el uso del suelo.

2.4 Zona de uso mixto (habitacional forestal). Laderas de valle fluvial con pendiente mayor a 10°, constituidas por viviendas que inician el proceso de consolidación (autoconstrucción con materiales de baja calidad), o que son viviendas rurales. La densidad de uso habitacional es baja y se intercala con zonas forestales.

2.4.1 Vertientes inestables con reptación, deslizamientos de tierra y erosión remontante (caídas de cabezera activas), en pendientes superiores a 10°. Se recomienda la aplicación de técnicas de conservación del entorno natural, procurando la recuperación de la cubierta forestal y del suelo. Esta zona no es apta para el uso habitacional y se recomienda el desarrollo de asentamientos humanos en zonas con deslizamientos potenciales.

2.5 Zona de uso habitacional consolidado, interfluvios con pendientes de 2 a 7°, constituidos por asentamientos que representan una fase avanzada en el proceso de consolidación de la vivienda (autoconstrucciones generalmente con paredes de ladrillo, techo de losa y ciavetas). La aparente estabilidad de esta zona puede desaparecer por el avance de los asentamientos humanos hacia las sierras de la ladera, o por socavones antiguos y otras alteraciones antrópicas.

2.5.1 Vertientes inestables con reptación, deslizamientos de tierra y cabezera activas en las márgenes interfluviales. Se recomienda la aplicación de técnicas de conservación y de estabilidad de las laderas, evitando, restringir el crecimiento habitacional en los flancos e interior de valles fluviales, mediante programas que regulen el uso del suelo.

2.6 Zona habitacional de alta calidad, interfluvios y laderas de valle fluvial, con predominio de asentamientos de tipo unifamiliar y unifamiliar. Constituyen viviendas de alta estabilidad (paredes de ladrillo, techos de losa y ciavetas) con base en estudios de ingeniería y en una transformación sustancial del relieve original. Este territorio no es adecuado para el uso habitacional.

2.6.1 Vertientes inestables con deslizamientos de tierra potenciales, cabezeras activas y hundimientos del terreno por socavones antiguos. Riesgo de inestabilidad por contactos litológicos de laves volcánicas, que sobreyacen a depósitos de tipo proclítico. Se recomienda un control del crecimiento urbano, con la aplicación de programas, que regulen el uso del suelo.

2.7 Zona de gran transformación del relieve, interfluvios y laderas de valle fluvial, controlados por zonas de aluvio a cielo abierto y obras de infraestructura de gran entidad (obras de consolidación).

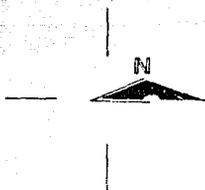
2.7.1 Vertientes inestables, con presencia de deslizamientos de tierra provocados por la actividad antrópica. Se localiza en talas, tanto de extracción de material como en las cortes de carretera. Se presentan en depósitos poco consolidados (toras poco compactas depósitos de lavar de perfil arenoso), y en donde la pendiente es mayor a 40°.

1:1000 0 1 2 3 km

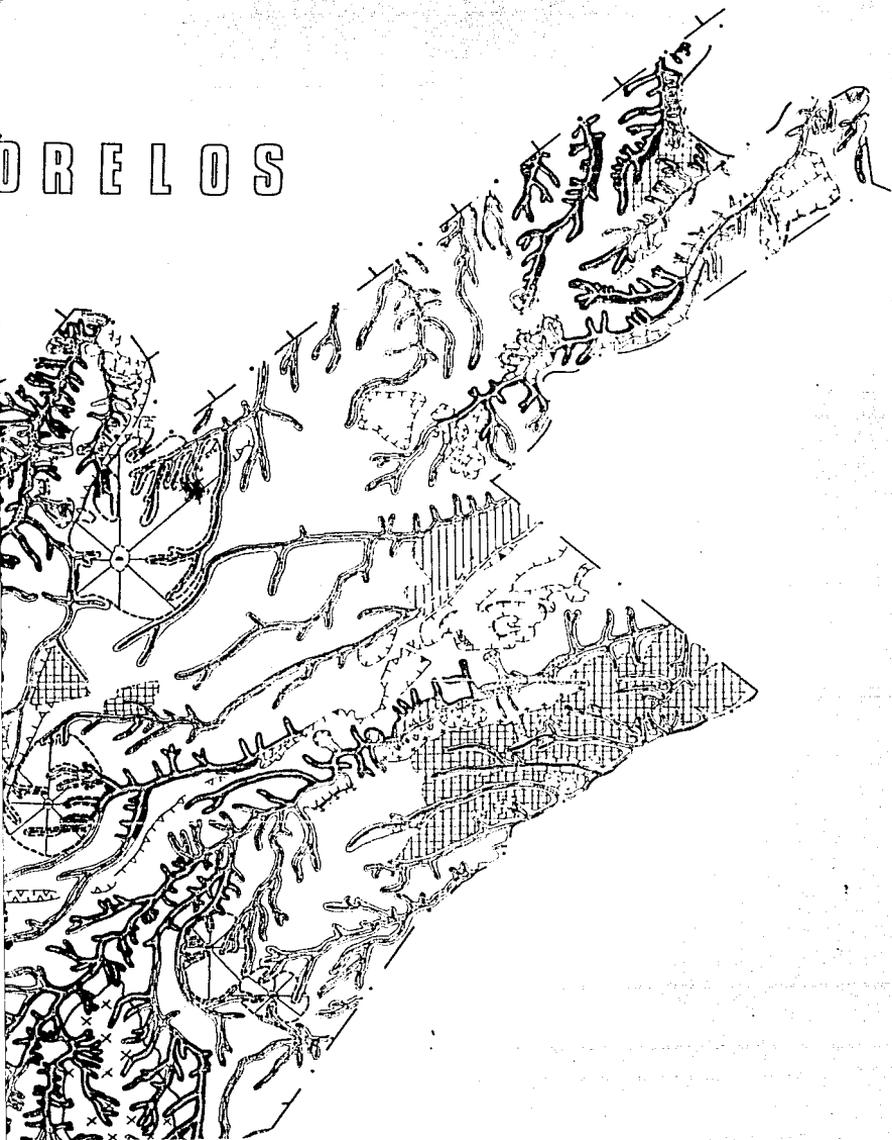


91°27'45" 99°27'00" 99°18'00"

CUAJIMALPA DE MORELOS



DRELOS



93°18'00"

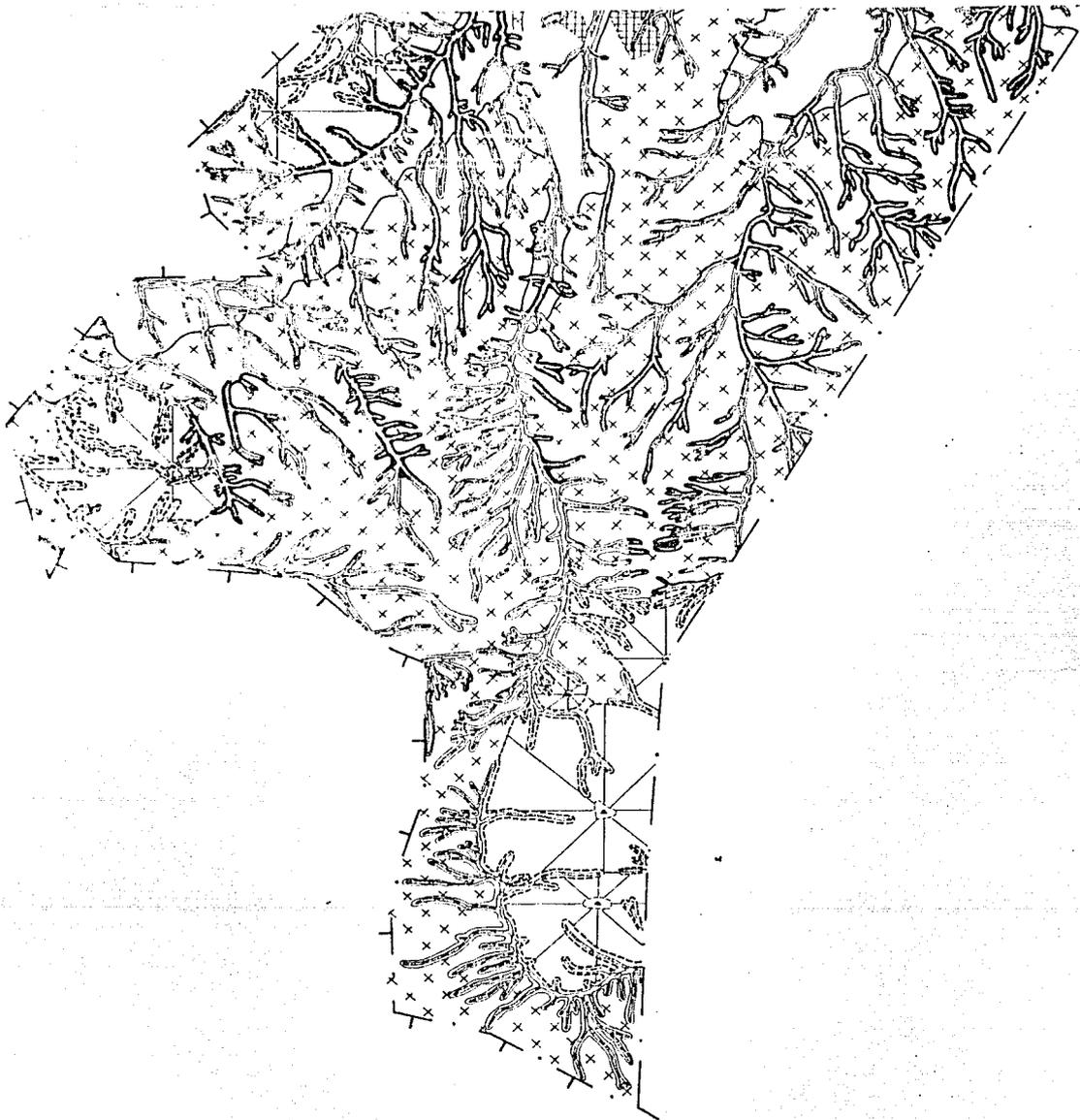
92°45'00"

92°15'00"

92400

92200

92000



M

SIMBOLO

I. FORMAS DEL

Edif

II. FORMAS DEL

Lade
de b
Sup
por
laha
ced

Esc

III. FORMAS D

a) Gravi

Zac

Cor

Lade

Act

Pote

Lade

Act

Pote

Dep

Dep

b) Ecosi

Cir

Esc

Act

Ine

TESIS U

COL. GEO

99°18'00"

99°16'00"

99°14'00"

99°22'00"

99°20'00"

99°18'00"

M A P A G E O M O R F O L O G I C O

S I M B O L O G I A .

I. FORMAS DEL RELIEVE ENDOGENO.

 Edificio volcánico no diferenciado.

II. FORMAS DEL RELIEVE ENDOGENO MODELADO.

 Laderas y superficies de constitución andesítica, disecadas por una densa red de barrancos.

 Superficies inclinadas complejas, formadas por material vulcanoclástico y depósitos de lahar, fuertemente disecadas por una densa red de barrancos.

 Escarpa de falla con modelado fluvial.

III. FORMAS DEL RELIEVE EXOGENO.

a) Gravitacional.

 Escarpa activa.

 Corredor de detritos.

 Laderas modeladas por deslizamiento de tierra activa.

 Potencial. Ladera modelada por caída de rocas y derrumbes

 Activa.

 Potencial.

 Depósito de flujo de hielo.

 Depósito coluvial.

b) Erosivo.

 Circo erosivo (fluvial) activo.

 Escarpa (fluvial)

 Activa.

 Inactiva.

 Barranco.

 Laderas de valles montañosos originados por la erosión fluvial y procesos gravitacionales

 Summa.

 Superficie modelada por seccrecencia difusa.

 Abanico aluvial.

 Abanico proluvial.

 Textura fluvial.

 D) Antrópico.

 Antiguos valles fluviales actualmente urbanizados (avenidas y caminos).

 Trenches o tajos de infraestructura.

 Activo (con procesos fluviales y gravitacionales).

 Inactivo.

 Mira a cielo abierto.

 En explotación (mostrando los frentes de explotación).

 Abandonado.

 Terreno nivelado.

IV. SIMBOLOS COMPLEMENTARIOS (elementos puntuales y lineales del relieve).

 Cima de montaña

 Aguda.

 Cúpula.

 Talweg.

 Contacto geomorfológico.



TESIS U.N.A.M.

COL. GEOGRAFIA

Elaboro. Arturo Garcia Romero.

FIG. 23