

0 1060

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

5



FILOSOFÍA  
Y LETRAS  
UNAM

**“ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO ENFOCADO A LOS  
PROCESOS DE LADERA EN LA SIERRA DE  
GUADALUPE, MÉXICO”**

**T E S I S**

Que para optar por el grado de

**MAESTRO EN GEOGRAFÍA**

(Especialidad en evaluación y conservación de recursos naturales)

FAC. DE FILOSOFÍA Y LETRAS

**PRESENTA**  
Oscar Frausto Martínez



DIVISION DE ASESOR  
ESTUDIOS DE POSGRADO  
Dr. José Juan Zamorano Orozco

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Septiembre de 2002



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo manifestar mi agradecimiento a todas aquellas personas que fueron partícipes en el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. José Juan Zamorano Orozco por la dirección de esta tesis y orientación largo de mi formación académica en el Instituto de Geografía.

A los sinodales, Mtra. Oralia Oropeza, Dra. Irasema Alcántara, a los Doctores José Lugo Hubp y Mario Arturo Ortiz Pérez, por la lectura y recomendaciones pertinentes, ambas permitieron mejorar enormemente este escrito.

A Steffen Giese por su auxilio y apoyo en todos estos días

A mis padres y hermanos por estar conmigo.

A mis compañeros y amigos del Instituto de Geografía por su apoyo en el trabajo de gabinete y campo.

A Maria Teresa, Oscar, Rodrigo y Geiser los cuales me alentaron a terminar este compromiso.

A la Dirección General de Asuntos del personal Académico (DGAPA) de la UNAM, con número de expediente 523.01/1784 SFA/96.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## INDICE GENERAL

	PAG.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I ANTECEDENTES .....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Objetivo General.....	2
1.2.1 Objetivos específicos.....	2
1.3 Marco teórico – conceptual.....	4
1.4 Metodología.....	8
1.5 Consideraciones finales del Capítulo I.....	11
CAPITULO II MARCO GEOLÓGICO .....	12
2.1 Cronoestratigrafía .....	12
2.2 Litología y aspectos tectónicos locales .....	20
2.3 Sismicidad.....	29
2.4 Consideraciones finales del Capítulo II.....	33
CAPITULO III GEOMORFOLOGÍA .....	37
3.1 Morfometría .....	37
3.1.1 Inclinación del terreno.....	37
3.1.2 Geometría de laderas.....	43
3.1.3 Lineamientos del relieve.....	50
3.1.4 Aspectos hidrográficos: procesos y formas del relieve.....	58
3.2 Análisis Geomorfológico.....	83
3.3 Consideraciones finales del Capítulo III.....	113
CAPITULO IV DERRUMBES, DESLIZAMIENTOS Y EXPANSIÓN LATERAL DEL SUELO PROVOCADOS POR LA SISMICIDAD EN EL GRABEN DE CUAUTEPEC: REGIÓN SUR DE LA SIERRA DE GUADALUPE .....	114
4.1 Generalidades sobre los derrumbes, deslizamientos y la expansión lateral del suelo.....	114
4.2 Los procesos gravitacionales en la fosa de Cuauatepec, sierra de Guadalupe.....	114
4.3 Aspectos metodológicos aplicado al estudio de los procesos gravitacionales en la fosa de Cuauatepec.....	118
4.4 Resultados de los métodos aplicados.....	121
4.4.1 Profundidad de la disección.....	121
4.4.2 Densidad de la disección.....	126
4.5 Discusión de los resultados.....	131
4.6 Consideraciones finales del capítulo IV.....	136
CONCLUSION.....	137
BIBLIOGRAFIA.....	139
ANEXOS.....	146

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## INTRODUCCIÓN

El estudio del relieve terrestre a partir de su génesis, evolución y dinámica, es la tarea central de la Geomorfología. Esta disciplina usa diversos métodos de las ciencias de la Tierra con el fin de identificar, explicar, analizar e interpretar las formas y elementos que constituyen la corteza terrestre.

En el estudio de las amenazas o peligros naturales, la Geografía Física ha diseñado y desarrollado técnicas y métodos propios que permiten reconocer territorios susceptibles a fenómenos peligrosos. La Geomorfología contribuye con sus métodos a identificar los mismos y analizar su origen, evolución, estado actual y el pronóstico de lo que puede ocurrir en el futuro.

Este trabajo de investigación está integrado por cuatro capítulos. En el primero se desarrolla el marco teórico conceptual, el planteamiento del problema, los objetivos y los métodos utilizados. De la misma manera, se pone de manifiesto el papel de la Geomorfología en el estudio de las amenazas naturales, sus alcances y sus contribuciones teóricas.

Los aspectos geológicos son analizados en el segundo capítulo; ahí la cronoestratigrafía, los tipos de roca, la evolución tectónica y la sismicidad, permitieron la primera caracterización del relieve; del mismo modo, se hace evidente la influencia de la estructura geológica como condicionante en la morfología y clasificación de las formas del relieve. La sismicidad, en este mismo capítulo, se estudia a partir de datos históricos y se resalta como un elemento catalizador de los movimientos del terreno.

En el tercer capítulo se analizan la morfometría y los aspectos geomorfológicos de la Sierra de Guadalupe y zonas adyacentes. Este apartado es el punto central de este estudio. El último capítulo (cuarto), hace referencia a los aspectos teórico -metodológicos relacionados con la temporalidad de los procesos gravitacionales en el *graben* de Cuauhtepac. Se presentan conclusiones y el último apartado corresponde a la bibliografía.

Esta tesis contó con el apoyo de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM, con número de expediente: 523.01/1784 SFA/96 y con el apoyo del Instituto de Geografía de la UNAM.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CAPITULO I. ANTECEDENTES**

Las investigaciones geográficas sobre riesgos naturales pueden aportar parámetros importantes para la evaluación, manejo y planeación del medio donde habita el hombre. El análisis de los fenómenos naturales y tecnológicos que provocan desastres, la vulnerabilidad de la población ante un fenómeno peligroso, y las situaciones de contingencia ante los desastres, así como la función y transformación del territorio, da por resultado la evaluación del riesgo del lugar.

Las investigaciones geográficas de carácter preventivo (evaluación de la amenaza) permiten identificar el tipo de fenómenos peligrosos que, sumado con la vulnerabilidad humana, inducen al riesgo. El resultado de estos trabajos se remite a la ubicación de lugares de ocurrencia, al tipo de fenómenos que provocan desastres, su génesis, su regularidad, estadios de evolución y ciclos dinámicos, además de su planeación y prevención.

### **1.1 Planteamiento del problema**

El área de estudio comprende la región de la Sierra de Guadalupe. Se ubica en el sector centro-occidente de la cuenca de México (Fig. 1); es un sitio de contraste relevante entre el relieve, los recursos naturales y los continuos asentamientos humanos, resultado de crecimiento de la Ciudad de México. El mal uso y manejo de este territorio lo hace susceptible a que los fenómenos naturales modeladores del relieve provoquen desastres. El análisis geomorfológico que se realiza define las características del relieve a partir de su génesis, su morfología, su edad relativa y su dinámica (pasada y actual). Estos aspectos se presentan en una cartografía detallada que será la base para elaborar un mapa de amenaza geomorfológica, en la cual se hace evidente su localización y su evolución a partir de las condiciones naturales y antrópicas actuales. Lo anterior pondrá de manifiesto la vulnerabilidad física del territorio, y servirá de alguna manera para prevenir y mitigar periodos de contingencia.

### **1.2 Objetivo general**

- A partir de un análisis geomorfológico, identificar los fenómenos naturales que pueden representar una amenaza en la región de la Sierra de Guadalupe y áreas adyacentes.

#### **1.2.1 Objetivos específicos**

- a) Clasificar las formas del relieve de acuerdo con su génesis, morfología y procesos actuales
- b) Elaborar una cartografía morfogenética de la zona de estudio
- c) Establecer los componentes y mecanismos de la amenaza en función de las características geomorfológicas de territorio.
- d) Identificar en un mapa los fenómenos naturales que pueden representar una amenaza en el área de estudio.



Figura 1. Ubicación de la Ciudad de México y del área de estudio, la región de la sierra de Guadalupe, en la cuena de México.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 1.3 Marco teórico – conceptual

El estudio de los riesgos se aborda de acuerdo con los fundamentos teóricos y metodológicos de cada ciencia. Las ciencias naturales, con base en parámetros geológicos, geofísicos, biológicos, climáticos y ecológicos, proporcionan elementos básicos para el conocimiento de la génesis, evolución, dinámica y ciclos de ocurrencia de los peligros (amenazas) naturales que inducen a situaciones de desastre.

En contraparte, las ciencias humanas (sociales, económicas y administrativas) consideran la vulnerabilidad y la percepción de la población antes, durante y después de las situaciones de desastre, así como el costo de las pérdidas materiales, planes de emergencia y acciones políticas ante las situaciones de contingencia.

Con base en lo anterior, se hace necesario definir y conceptualizar la amenaza como *"un fenómeno de la naturaleza o humano que afecta directa o indirectamente a una comunidad..., y depende del grado de probabilidad de ocurrencia en cierto lugar y en un intervalo de tiempo"* (Wilches- Chaux, 1993).

La amenaza ha sido dividida por Whittow (1976), en dos grandes grupos de acuerdo con su origen y tipo de riesgo: los naturales y aquellos que son inducidos por el hombre. Estas amenazas se caracterizan por su magnitud, contraste espacial y patrón temporal. Otras clasificaciones de la amenaza se centran en la génesis: naturales, por acciones bélicas, tecnológicos y por negligencia humana.

Batista y Sánchez (1995), clasifican las amenazas naturales con base en su origen: huracanes, lluvias intensas, inundaciones, tornados, penetración del mar y marejadas; sismos, maremotos y tsunamis; deslizamientos de tierra, avalanchas y aludes; erupciones volcánicas; sequías intensas; incendios forestales; heladas y granizadas. Esta clasificación se distingue, sobre todo, por mostrar aquellos fenómenos susceptibles de desarrollar desastres en zonas intertropicales.

Por otro lado, Hewitt 1997, a raíz de un estudio detallado de las causas y consecuencias de los fenómenos naturales y antrópicos que desencadenan desastres, divide las amenazas en: a) naturales (atmosféricos, hidrológicos, geológicos y biológicos); b) tecnológicos (manejo de sustancias peligrosas, procedimientos peligrosos y medios peligrosos); c) violencia social (medios de violencia, perpetradores y métodos) y complejos (hambruna, crisis de refugiados, derrames tóxicos, pruebas nucleares y explosiones). Esta división de las amenazas se observa con detalle en la Figura 2, donde se clasifican en función de su génesis, el agente o condiciones específicas de peligro y la situación o eventos asociados con los desastres.

Con base en lo anterior, se tiene que las amenazas geomorfológicas son de dos tipos: endógenos y exógenos. El primero, condicionado por procesos sísmicos, volcánicos y tectónicos; el segundo, por los agentes modeladores que están en relación estrecha con las condiciones ambientales.

Cabe considerar que, aunque simplista, esta primera clasificación de las amenazas permite entender la génesis de los fenómenos, de ahí su importancia. Sin embargo, para entender de modo integral las relaciones entre naturaleza y sociedad no es suficiente este criterio. En este punto hay que mencionar que el

presente estudio (amenaza bajo un criterio geomorfológico) constituye el punto de partida de un análisis multidisciplinario que se conoce como un estudio de riesgo.

Existe un concepto que engloba, por un lado, la amenaza y la geomorfología (amenaza geomorfológica) se atribuye a Panizza (1993). Se entiende como *"la probabilidad que cierto fenómeno de inestabilidad se verifique en cierto territorio en un intervalo determinado de tiempo"*. Destaca el concepto de inestabilidad *"... aquella forma del relieve que no esta en equilibrio con el ambiente natural o humano y que tiende, por lo tanto, a alcanzar este equilibrio modificándose. O bien, una forma en equilibrio, pero especialmente dinámica..."*

Cabe destacar en este punto de vista, la especial consideración a las formas del relieve. La inestabilidad del territorio debe considerarse en relación con los factores (génesis, estructura interna y dinámica) y elementos (puntos, líneas y áreas que integran las formas del terreno) del relieve, señalando las formas inestables, además de conocer sus características, permite elegir las medidas más oportunas en caso de desastre.

De esta manera, cabe mencionar que el mapa geomorfológico es el documento que resume la esencia del párrafo anterior, reiterando que es la base del mapa de amenaza, resultado final de esta tesis.

El concepto de amenaza geomorfológica es resultado de una continua transformación de las ciencias de la Tierra, en este campo las investigaciones antecedentes sobre amenazas naturales inician en la década de los años veinte, se identifican los agentes causales de los peligros, incidiendo en la elaboración de políticas que permitan mitigar el impacto de los mismos (Burton, Kates y Snead 1969).

En la década de los años cuarenta, las investigaciones toman otro rumbo, se centran en el estudio de los procesos físicos de los peligros (White 1945) y aspectos sociales de percepción (Burton y Kates 1962), lo que indica la primera división conceptual en los estudios de peligro o amenaza.

Con el trabajo de Mitchell (1980), se sistematiza la investigación de los procesos físicos de las amenazas, denotando que los estudios de los eventos naturales que representan peligro para la sociedad deben de analizar las características principales del fenómeno, que se reflejan en la magnitud, extensión espacial, localización, ciclos de comportamiento y periodicidad.

La caracterización de la amenaza geomorfológica tiene por fundamento los principios de Kates (1971), quien propone considerar al fenómeno como tal, es decir, describir el comportamiento, la dinámica y ciclos de actividad de los fenómenos.

Burton (1978) propone siete variables en relación con la amenaza: 1. Magnitud (alta - baja); 2. Velocidad de emplazamiento, ambas pueden ser cuantificadas instrumentalmente (sismógrafos, pluviómetros, o diseños técnicos propios para cada fenómeno) o descritos por inferencias estadísticas; 3. Frecuencia (frecuente - raro); 4. Duración (largo - corto), los cuales se caracterizan por medio de análisis estadísticos o cronológicos; 5. Espaciamiento temporal (regular - irregular) distinguiendo entre fenómenos en secuencia o al azar (esporádicos); 6. Extensión espacial (limitado - ilimitado) y 7. Dispersión espacial (difuso - concentrado), que presenta patrones puntuales, lineales o en áreas.

Figura 2. Tipo de amenazas según su génesis, agentes o condiciones específicas de peligro y situaciones o eventos asociados al desastre (Hewitt 1997).

Agentes (condiciones / procesos)	Eventos (peligros específicos)
<b>AMENAZAS NATURALES</b>	
<b>ATMOSFERICOS</b> Temperatura, lluvia, presión, vientos, relámpagos, nieve, granizo.	Tormentas de nieve y granizo, tornados, sequías, tormentas de lluvia y viento, ciclones tropicales y tormentas eléctricas e incendios.
<b>HIDROLÓGICOS – GEOMORFOLÓGICOS</b> Corrientes fluviales, deshielos, agua subterránea, cambios del nivel del mar	Inundaciones en riberas fluviales y en la costa, obturación natural de cauces, avance de glaciares, erosión.
<b>GEOLÓGICO – GEOMORFOLÓGICOS</b> Sismicidad, volcanismo, tectonismo, movimientos en masa, radioactividad y geotérmicos.	Terremotos, erupciones volcánicas, derrumbes, deslizamientos, avalanchas, flujos, subsidencia, yacimientos geológicos.
<b>BIOLÓGICOS Y SANITARIAS</b> Virus, bacteria, protozoo, algas, plantas, insectos y animales	Epidemias, plagas, transmisión de enfermedades sexuales, "invasiones" de plantas, animales e insectos.
<b>AMENAZAS TECNOLÓGICAS</b>	
<b>SUSTANCIAS PELIGROSAS</b> Materiales radioactivos, sustancias tóxicas, gases peligrosos, materiales mutágenos y cancerígenos.	Contaminación de: construcciones, suelos, aguas superficiales y subterráneas. Contaminación industrial y pesticidas contaminantes.
<b>PROCESOS PELIGROSOS</b> Radioactividad, fuego	Elaborado con materiales peligrosos: a partir de aire (radio nucleidos SO <sub>2</sub> ), o a partir de agua (afluentes y colantes). Colapso de estructuras: colisiones y explosiones.
<b>MEDIOS PELIGROSOS</b> Vehículos, estaciones y líneas de distribución energética, explosivos	Accidentes: transporte, plantas industriales, minas, medicas y cirujas.
<b>VIOLENCIA SOCIAL</b>	
<b>GUERRA</b> Armas de fuego, incendiarias, nucleares, químicas, tóxicas, gas, biológicas. <b>PERPETRADORES</b> Gobiernos, fuerzas armadas y grupos terroristas. <b>MÉTODOS</b> Guerra, terror, subversión, sabotaje, genocidio.	Bombardeos (naval o artillería), guerrillas, terrorismo, guardias blancas.
<b>AMENAZAS COMBINADAS</b>	
<b>SMOG</b> Aire y ambiente Rotura de diques artificiales	Contaminación ambiental, inversiones térmicas, luz solar Inundaciones, epidemias, muerte
<b>AMENAZAS COMPLEJAS</b>	
Hambruna Crisis de refugiados Derrames tóxicos Explosiones nucleares	Sequías, inundaciones, guerra, pobreza Hambruna, guerra, sequías Rotura de líneas de transporte, manejos de sustancias tóxicas, inundaciones, terremotos Contaminación, circulación atmosférica, crisis de refugiados, genocidio.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

En 1997, Frampton *et al.* proponen una alternativa para clasificar las amenazas, con un modelo donde la génesis, tipo, agente, intensidad, frecuencia, distribución y niveles de energía son considerados (Figura 3). Además, destaca el dominio del carácter sectorial que ha predominado en los estudios de la amenaza.

Tomando en cuenta este punto de vista de enlazar los fenómenos geomorfológicos, destacando el comportamiento, la dinámica y ciclos de actividad, además de las diferentes alternativas de clasificación, se puede elaborar una cartografía de la amenaza. El objetivo es mostrar las regiones donde se presentan fenómenos geomorfológicos peligrosos. Así, es necesario elaborar el mapa geomorfológico, y es el primer paso para elaborar la carta de amenaza geomorfológica.

Figura 3. Clasificación de la amenaza de acuerdo con Frampton, *et al.* 1997.

<b>Clasificación 1: Por su origen</b>				
Totalmente natural		semi-natural		Antropogénica
<i>huracanes, tornados, terremotos</i>		<i>sequías, deslizamientos</i>		<i>inundaciones, incendios</i>
<b>Clasificación 2: Por el tipo de amenaza</b>				
inundaciones	Hundimientos	Sismicidad	Corrimientos de tierras	fallas activas
<b>Clasificación 3: Por el agente de control</b>				
Gravedad		Agua	Viento	combinados
<i>subsistencia y derrumbes,</i>	<i>erosión, inundaciones, sequías,</i>	<i>Erosión,</i>	<i>volvaneras,</i>	<i>avalanchas, deslizamientos,</i>
	<i>nevadas y lluvias extremas</i>	<i>avance de dunas</i>		<i>inundaciones, subsidencias</i>
<b>Clasificación 4: Por su intensidad</b>				
Baja intensidad	clasificados según el tipo de daños y total de habitantes afectados o muertos			Alta intensidad
Localizado	<i>Inundaciones, erosión, licuefacción</i>			
Disperso	<i>Derrumbes, flujos lodosos, tsunamis</i>			
<b>Clasificación 5: Por su frecuencia, ejemplo de fenómenos hidroclimáticos.</b>				
Baja frecuencia		Alta frecuencia		
<i>Huracanes</i>	<i>Tornados</i>	<i>Sequías</i>	<i>incendios</i>	<i>inundaciones</i>
<b>Clasificación 6: Por su distribución geográfica</b>				
Dominio	Tropical	Sub tropical	Templado	Polar
Marítimo	<i>Huracanes, cambios drásticos de temperatura del océano (El niño)</i>	<i>Inundaciones y erosión, huracanes</i>	<i>tormentas, inundaciones, marejadas</i>	<i>tormentas</i>
Continental	<i>Inundaciones, erosión</i>	<i>sequías, inundaciones</i>	<i>tornados, deslizamientos, inundaciones, tormentas</i>	<i>avalanchas, nevadas extraordinarias</i>
<b>Clasificación 7: Por los niveles de energía</b>				
Baja energía		Alta energía		
<i>erosión del suelo, lluvias temporales</i>		<i>Deslizamientos, inundaciones</i>	<i>terremoto, huracán</i>	

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Los estudios de amenaza geomorfológica en México han sido abordados desde una perspectiva analítica, identificando y describiendo los procesos geomorfológicos modeladores del paisaje, estos estudios hacen énfasis en aquellos procesos considerados inestables. Ejemplo de lo anterior son los mapas de susceptibilidad a fenómenos naturales que causan desastres en México y la Cuenca de México (Ortiz *et al.*, 1992 y Zamorano *et al.* 1992); el estudio de las zonas minadas de la Delegación Álvaro Obregón realizado por Cordero (1994), enfocado a los colapsos del terreno. Asimismo, el trabajo de García (1994), quien analiza los componentes del medio natural para evaluar el territorio desde una perspectiva geomorfológica, identificando regiones vulnerables a desastre, son un ejemplo de esta perspectiva.

Se suman a los anteriores, los trabajos de Salas (1995), sobre la amenaza geomorfológica a la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo, siendo un estudio de caracterización de procesos. Salinas (1995), autora de un estudio geomorfológico de la sierra de Guadalupe, donde se identifican las regiones susceptibles a inundaciones y desprendimiento de rocas; y García (1994), que estudia la amenaza de un deslizamiento de tierras en la población de Metztlán, Hidalgo.

En este estudio, se sintetizan los trabajos de amenaza geomorfológica realizados en México. De igual manera se retoma y elabora el presente análisis teniendo en cuenta la experiencia del grupo de geomorfólogos que han trabajado en este tema.

## 1.4 Metodología

En la realización de este trabajo se siguieron cuatro métodos principales.

### 1. Revisión Bibliográfica

a) Con el fin de identificar la frecuencia y los ciclos de recurrencia de fenómenos naturales con características de desastre, se realizó una búsqueda de información en crónicas y archivos históricos. De esta manera se contó, para el caso de las inundaciones, con datos muy antiguos (1061); para hundimientos y movimientos del terreno no fue posible llegar a este detalle; no obstante, se cuenta con información aislada hasta el año de 1955. Para la información sísmica se tiene desde 1900 a 1995 (SSN). Asimismo, se complementó con datos de Mota, en: De Cserna (1988), además, Rojas *et al.* (1987); Figueroa (1979) y Nava (1987). De esta manera se integró una pequeña base de datos que fue analizada de acuerdo con Sing *et al.* (1985), lo que permitió analizar la recurrencia, magnitud e intensidad.

b) Se analizó la información publicada referente a la geología y la tectónica. En la primera fue posible caracterizar la estratigrafía del basamento geológico. Para la segunda fue posible considerar los mecanismos de desplazamiento de las distintas estructuras disyuntivas presentes, así como los principales rasgos neotectónicos. En este aspecto fueron de gran importancia las propuestas de Campa (1967), Lozano (1968), Mooser (1985), Mooser *et al.* (1996), De Cserna *et al.* (1989), Hernández (1989) y Ferrari (1995).

c) Se analizó información de 3 estaciones climáticas pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional y la Comisión Nacional del Agua para el periodo 1921 – 1995, con el fin de identificar periodos de lluvia y sequía, y magnitud y frecuencia de las inundaciones. Asimismo, con base en las características fluviales (patrón de drenaje, carga y escala –tirante de agua-) se determina la frecuencia y probabilidad de eventos torrenciales, siguiendo para ello los criterios de Beven y Carling (1989). Finalmente se identifican y diferencian las modificaciones antrópicas de los sistemas fluviales y lacustres, con base en Bedient y Huber (1992).

## 2. Trabajo de gabinete

La elaboración de mapas morfométricos y su análisis, consistió en lo siguiente:

- a) Inclinación del terreno. Se elaboraron dos variantes de este mapa, cada una con un objetivo y criterio distinto, con el objetivo de identificar regiones geomorfológicas mayores; se tomaron en cuenta la propuesta de Cooke y Doornkamp, (1974). La relación entre la pendiente y los procesos de ladera se logró a partir del método de Kugler (en: Demeck *et al.* 1978).
- b) Con el fin de analizar las vertientes en tres dimensiones se elaboró la carta de geometría de laderas con el criterio de Kugler (*Op. Cit*). De esta manera, fue posible establecer nueve tipos de geometrías y su relación con la dinámica de los escurrimientos (concentración, dispersión y escurrimiento); esta característica fue esencial para una mejor interpretación de los movimientos del terreno (procesos gravitacionales).
- c) Lineamientos del relieve. Con el fin de reconocer los elementos disyuntivos, se realizó una cartografía en donde se representaron y clasificaron de acuerdo con su expresión en el relieve, su actividad neotectónica, su densidad, orientación, longitud y su relación con procesos erosivos fluviales y gravitacionales. Para tal efecto se tomaron en cuenta los siguientes autores: Wise, *et al.* (1985), Orlova (1981), Hernández *et al.* (1991) y Panizza (1995), Lugo y Ortiz (1985) y Jianjun *et al.* (1997).
- d) La densidad y profundidad de la disección fueron analizadas usando el criterio propuesto por Simonov (en: Zamorano, 1990) y Crozier (1992), como resultado de lo anterior se determinó la secuencia evolutiva y de degradación de los procesos gravitacionales.

## 3. Fotointerpretación, trabajo de campo y levantamiento geomorfológico preliminar.

En la realización de este apartado se tomaron en cuenta los datos obtenidos en los dos puntos anteriores. De esta manera se facilitó la interpretación de las fotografías aéreas y su representación cartográfica.

- a) Se utilizaron dos escalas en la interpretación de las fotografías aéreas: 1: 75000; 1986 y 1:19 000; 1993. Con este material se reconocieron las principales formas del relieve. Con el primer vuelo fue posible elaborar un levantamiento geomorfológico regional (a escala 1:40 000). De esta manera se analizó la distribución espacial de las formas que integran este territorio. A partir de este mapa se detectaron regiones donde la dinámica endógena y

exógena que representa una amenaza para los asentamientos humanos; para estas condiciones se utilizó el segundo vuelo, la representación definitiva en este caso es de 1:20 000. Los documentos que se obtuvieron fueron verificados en numerosos recorridos de campo, logrando así una mayor aproximación a la realidad.

- b) Trabajo de campo. Durante los recorridos de campo se verificaron y corrigieron las fronteras geomorfológicas identificadas en la fotointerpretación. Conforme se desarrolló esta actividad, fue posible detallar y, en algunos casos, identificar procesos que por las características de ocurrencia y escala no fue posible observar en las fotografías aéreas. Es el caso de los alvéolos de erosión laminar, la reptación, procesos de tunelamientos sub-superficiales, todos ellos relacionados con el suelo y la dinámica de las laderas.

Por otro lado, se hicieron 23 columnas estratigráficas. De cada una de ellas se colectó en promedio dos muestras por columna (en total 50), con el fin de estudiar la sedimentología de los depósitos aplicando las técnicas de: Corrales *et. al.* (1977) y Fischer y Schmicke (1984), Kirkby y Morgan (*Op. Cit.*). Los datos que se obtuvieron ayudaron a caracterizar de una manera más precisa los depósitos que constituyen los principales flujos de escombros, asociados a los movimientos del terreno. En estas zonas se realizaron perfiles topográficos, longitudinales y transversales a las acumulaciones ya mencionadas. También fue posible hacer un registro de grietas, subsidencia del terreno, y detallar áreas de inundación que no fue posible observar con los métodos indirectos que se utilizaron (fotografías aéreas).

- c) El análisis de la información geomorfológica se realizó a partir de una clasificación morfogenética donde se tomaron en cuenta los criterios de Panizza (1978); Peña- Monné *et. al.* (1997); y Bashenina *et.al.* (1997). Con el análisis de esta información se determinó la secuencia y evolución del relieve, al mismo tiempo fue posible identificar y caracterizar la magnitud, intensidad y frecuencia de los procesos geomorfológicos.

#### 4. Mapa de amenaza geomorfológica: estudio de los procesos gravitacionales en la fosa de Cuauhtepic.

En la elaboración del mapa de amenaza se consideran las formas del relieve tomando en cuenta la génesis, la estructura interna y la dinámica. Estos aspectos son resultado del análisis de mapa geomorfológico, Los criterios que se tomaron en cuenta son los descritos por: Panizza (1993), Burton (1978), Sancho (En: Peña-Monné 1997), y Zankova (1959). Dos elementos definen este estudio: a) identificación, tipificación y caracterización de los procesos gravitacionales; y b) propuesta de una secuencia evolutiva con base en criterios estratigráficos, topográficos y geomorfológicos.

El estudio de los procesos gravitacionales destaca las características genéticas, dinámicas, magnitud, extensión y periodicidad que representan un peligro para los asentamientos humanos. Tomando en cuenta este punto de vista, destacando el comportamiento, la dinámica y ciclos de actividad, se puede elaborar una cartografía de la amenaza. Su objetivo mostrar las regiones donde se presentan fenómenos geomorfológicos peligrosos. Esta es la meta de este trabajo.

## **1.5 Consideraciones finales del capítulo I**

Al iniciar el estudio del marco teórico de la presente investigación, se encontró un ambiente de confusión en torno a los conceptos de amenaza. La revisión de los conceptos nos permitió definir los objetivos y métodos a emplear en esta tesis. Los paradigmas del estudio de las amenazas, así como la diferenciación entre amenaza y amenaza geomorfológica nos muestra lo amplio y no menos complejo del estudio. Se hace necesaria la intervención de diversas disciplinas para realizar un estudio integral, que permita la prevención y mitigación de la ocurrencia de un desastre natural. En este punto hay que mencionar que los estudios geomorfológicos proporcionan el punto de partida de este tipo de investigaciones.

## CAPITULO II. MARCO GEOLÓGICO

El presente capítulo se ha dividido en tres apartados con el fin de destacar: a) los elementos generales de la cronoestratigrafía; b) las características litológicas y los aspectos tectónicos locales, y c) la sismicidad regional y local. En su conjunto, estos aspectos sintetizan los elementos de la estructura geológica del área en estudio, y es la primera aproximación en el análisis geomorfológico.

### 2.1 Cronoestratigrafía

El área de estudio está constituida por unidades geológicas bien diferenciadas que datan del Oligoceno al Reciente (Fig. 4): Guadalupe, El Tigre, Formación Tarango y depósitos lacustres y fluviales (Mooser *et al.* 1996).

a) Guadalupe se constituye de una serie de productos volcánicos emitidos en cinco etapas (Mooser *op cit*) de composición diferente (basalto, andesita, dacita y riolita). Tres estudios antecedentes (Lozano 1969, Campa 1968 y Giese 1996) registran el dominio de basaltos y andesitas. La evolución de la sierra de Guadalupe es la siguiente:

Las dos primeras etapas de formación son de emisión de lavas ácidas en el Mioceno; constituye el basamento de la sierra de Guadalupe. Las estructuras se disponen en dirección oeste-este (Picacho Tres padres y Moctezuma). Las emisiones de tipo basáltico se reconocen en la formación Cuauhtepéc, expuesta en el centro-sur de la sierra, presentan una dirección preferencial NE-SW (Picacho El Jaral y Tlayacampa) y NW-SE (Cerro Tlalayole). Esta disposición denota una típica emisión de zonas de tensión (Lozano *Op. Cit.*); y debido a la presencia de un sistema de fallas datado en el Plioceno, se le atribuye una edad relativa anterior. Las fallas Cuauhtepéc y Chiquihuite-Tenayo dislocan una serie de domos y volcanes (Sánchez y Singh 1986), que originan un sistema de fosas y escalonamientos aún reconocible (Fig. 5). La disposición de la secuencia estratigráfica se observa en la figura 6 (perfil A - A'); las rocas del Mioceno forman el basamento de la sierra. Asimismo, el desplazamiento de las unidades es provocado por fallas normales de hasta 300 metros (Mooser, *et al.* 1995). Éstas se presentan en un sistema escalonado en dirección sur.

En el Pleistoceno medio se registra la máxima etapa de emisiones de lava andesítica (Fig. 5), que forma casi por completo la sierra (De Cserna, *et al.* 1988). Las coladas de lava son de menor dimensión (menor a 3 Km de longitud) sepultando, en algunos sectores, al basalto Cuauhtepéc. Dicha actividad domina en el norte de la sierra, aunque se reconocen algunas estructuras aisladas (Cerros Gordo y Petlecatl). En la Fig. 7 (Perfil B - B'), se muestra la disposición de las rocas del Plioceno, las cuales sepultan casi por completo el basamento de la sierra. Asimismo, fallas de tipo normal dislocan el sector central y oriental de la misma, formando fosas (Cuauhtepéc y Barrientos) o sistemas escalonados de fallas al occidente. Se reconocen, nuevamente, las fallas de Tenayo y Cuauhtepéc).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



MAPA GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL DE LA SIERRA DE GUADALUPE Y ÁREAS ADYACENTES

SECUENCIA GEOLÓGICA

Qm	Depósitos aluviales del Cuaternario superior
Ql	Depósitos luviales del Cuaternario Superior
Qv-m	Vulcanitas básicas e intermedias del tipo ferrocálcico del Cuaternario Medio al Superior
Qr	Tobas en depósitos de facies del Cuaternario
Qf	Formación Tarango del Cuaternario
Qv	Vulcanitas intermedias y básicas del Cuaternario inferior
TPG-3.2.1	Andesitas básicas y rholitas del Plioceno - 3.2.1
TPG	Basalto Cuauhtpec del Mioceno
TMV	Vulcanitas principalmente ácidas del Mioceno
TOV	Vulcanitas principalmente intermedias del Oligoceno

ESTRUCTURA

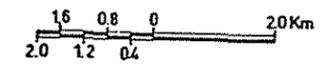
- Falla Normal, mostrando el Mayor huechlo
- Falla Transformante, mostrando la dirección del desplazamiento
- Fallas y Lineamientos no diferenciados
- Lineamientos sin definir
- Estructuras circulares
- Domo
- Caldera

SISMICIDAD

- Magnitud en escala Richter
- EPICENTROS
- Profundidad La Km

SIMBÓLOS COMPLEMENTARIOS

- Límites de unidades geológicas



FUENTES:

**Geología y estructura**  
 Mooser, F. et al. (1996).  
 De Cserna, Z. et al. (1988).

**Sismicidad**  
 Figueroa, M. 1971;  
 Mota, P. 1988;  
 Mota P., et. al. 1992;  
 Frausto O. y Zamorano O. 1997

Figura 4. Mapa geológico: 1. Sierra de Guadalupe; 2. Caldera del Tigre. A - A' Perfiles geológicos.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

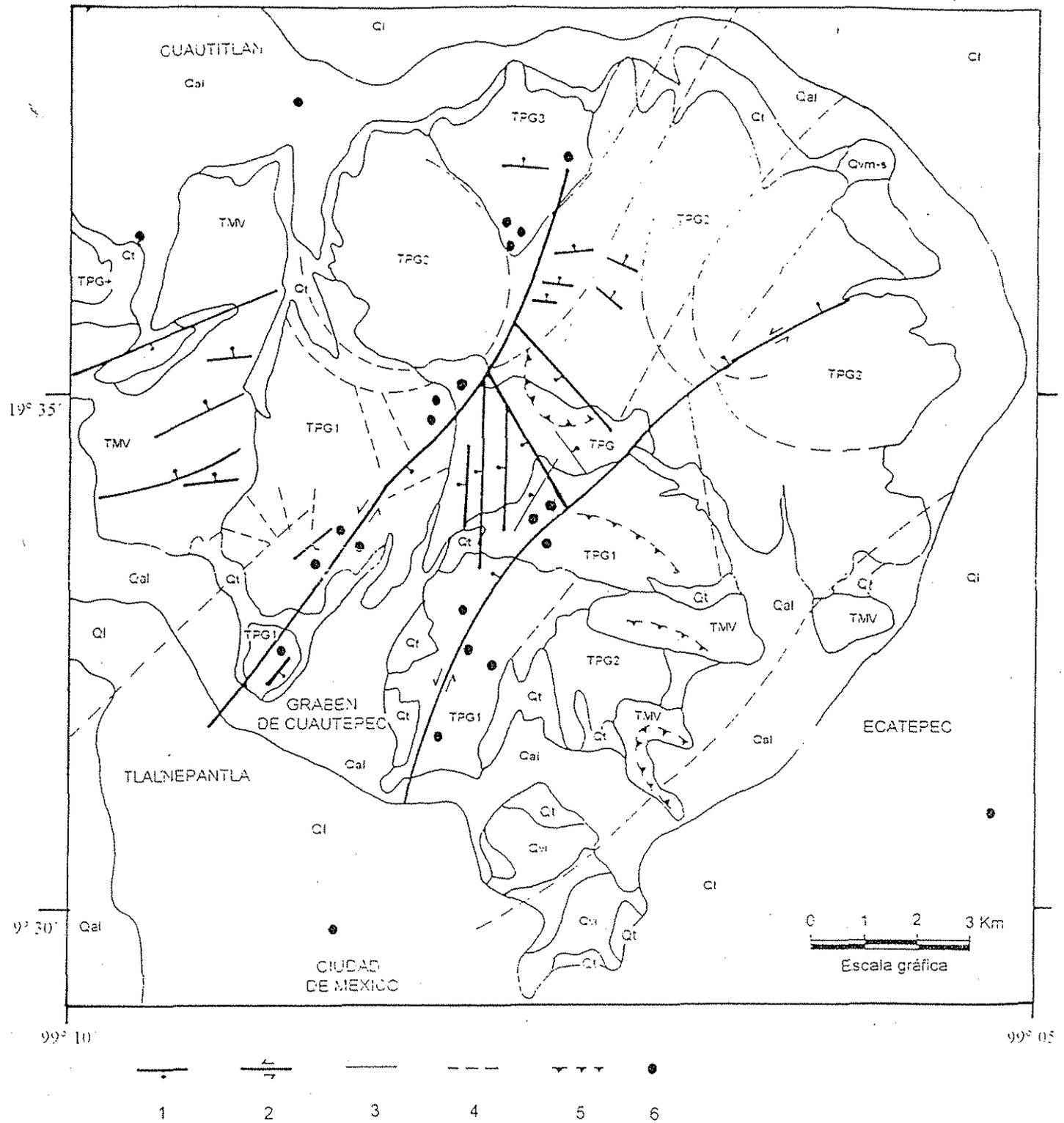


Figura 5. Mapa geológico de la Sierra de Guadalupe y áreas adyacentes. Unidades geológicas: Rocas volcánicas del Mioceno (TMV); Rocas Volcánicas del Plioceno TPG +, 1; Rocas volcánicas del Cuaternario medio al superior (Qvm - s); Rocas Volcánicas del Cuaternario inferior (Qvi); Tobas del Cuaternario Superior (Qi); Depósitos aluviales del Cuaternario - Reciente (Qal), y Depósitos lacustres del Cuaternario al reciente (Ql). Elementos estructurales: 1. Falla normal mostrando el bloque hundido; 2. Falla transcurrente mostrando la dirección de desplazamiento; 3. Límite de las unidades geológicas; 4. Fallas, fracturas y lineamientos no diferenciados; 5. Calderas, y 6. Epicentros con magnitud Richter superior a 3°.

SIERRA DE GUADALUPE

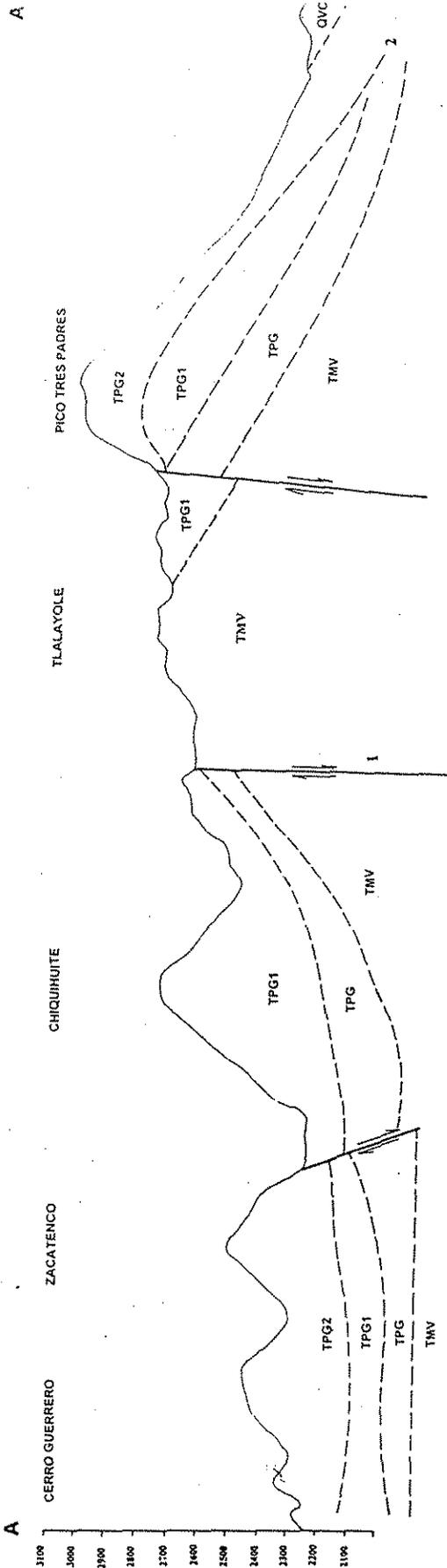


Figura 6. Perfil A-A', La Trayectoria es de sur - norte (Fig. 3). Unidades geológicas (Mooser, *et al.* 1996): Rocas volcánicas del Mioceno (TMV); Basalto Cuauhtepc del Plioceno inferior (TPG); Rocas volcánicas del Plioceno (TPG 1, 2); Rocas volcánicas del Cuaternario (QVC). Elementos estructurales (De Cserna, *et al.* 1988): 1. Falla normal mostrando la dirección de desplazamiento; 2. Límite inferido de las unidades.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En el Pleistoceno medio se registra la máxima etapa de emisiones de lava andesítica (Fig. 5), que forma casi por completo la sierra (De Cserna, *et al.* 1988). Las coladas de lava son de menor dimensión (menor a 3 Km de longitud) sepultando, en algunos sectores, al basalto Cuauhtepac. Dicha actividad domina en el norte de la sierra, aunque se reconocen algunas estructuras aisladas (Cerros Gordo y Petlecatl). En la Fig. 7 (Perfil B – B'), se muestra la disposición de las rocas del Plioceno, las cuales sepultan casi por completo el basamento de la sierra. Asimismo, fallas de tipo normal dislocan el sector central y oriental de la misma, formando fosas (Cuauhtepac y Barrientos) o sistemas escalonados de fallas al occidente. Se reconocen, nuevamente, las fallas de Tenayo y Cuauhtepac).

La tercera etapa sigue siendo de carácter basáltico–andesítico. Se reconoce por la formación de un pequeño campo volcánico (María Auxiliadora) localizado al norte de la sierra. Dicha unidad está constituida por 6 domos con sus respectivas coladas de lava formadas al final del Plioceno. En la figura 8 (Perfil C–C') se observa cómo el campo volcánico creció hacia la periferia; de esta manera el área de la sierra de Guadalupe creció hacia el Norte. En esta zona es posible reconocer casi por completo la secuencia geológica.

Las dos últimas etapas de actividad efusiva de la sierra se distribuyen fuera del complejo circular que la define, son consideradas como una transición entre la sierra El Tigre y la de Guadalupe (Fig. 4). Su orientación es NW-SE y se conoce como Lomas Bulevares. Éstas se constituyen por cinco domos volcánicos alineados que, unidos con los cerros de Tlayacampa, El Olivo y Barrientos, forman la depresión de Valle Hermoso. A estos eventos también se asocia una emisión de vulcanitas intermedias y básicas, que se encuentra al NE de la sierra y su composición es de basalto.

b) Unidad geológica El Tigre. Su formación inició en el Oligoceno con una serie de emisiones de tipo intermedio; durante el Mioceno dominó la formación de domos volcánicos y flujos de lava. Siguió un periodo de calma durante el cual se depositaron materiales volcánicos retrabajados, etapa que domina hasta el Cuaternario, donde domos, volcanes de escoria y coladas de lava sepultan gran parte de su estructura. La sierra El Tigre se encuentra fallada y escalonada por un sistema ortogonal de fracturas con dirección NE-SW y NW-SE. (Fig. 4). La secuencia estratigráfica de la sierra se muestra en la figura 9 (Perfil D–D'), se reconoce el sistema de fallas escalonadas al oriente; Asimismo, rocas del Cuaternario sepultan casi por completo su basamento, mismo que aflora sólo en algunas porciones.

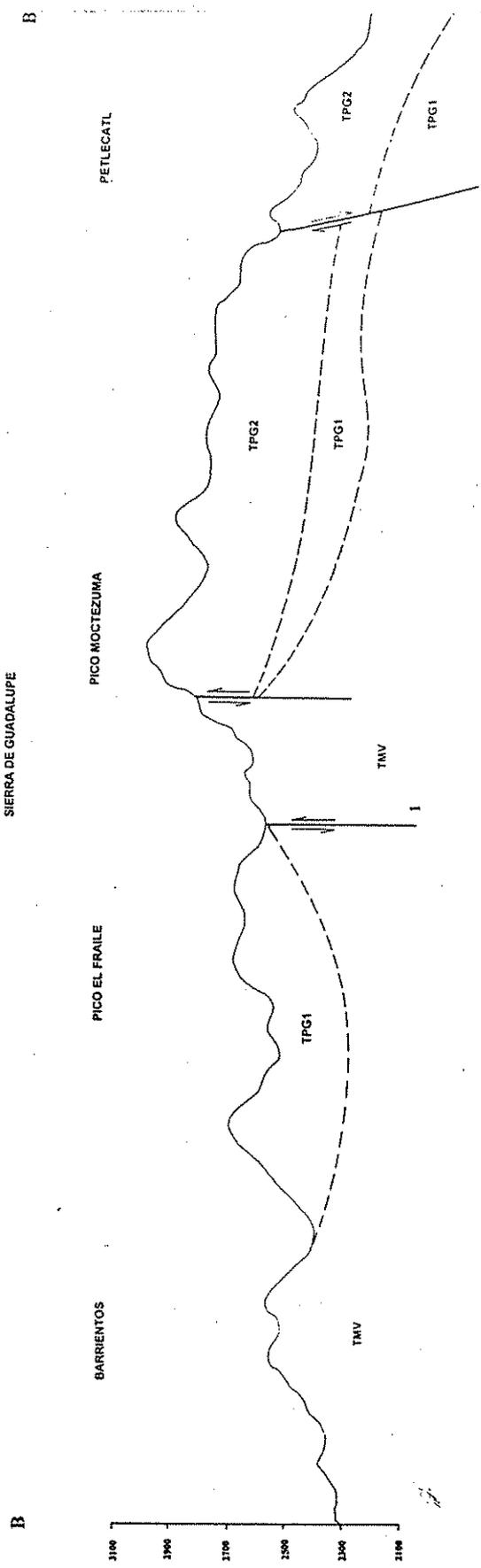


Figura 7. Perfil B-B'. La Trayectoria es de oeste - este (Fig. 4). Unidades geológicas (Mooser, *et al.* 1996): Rocas volcánicas del Mioceno (TMV); Rocas volcánicas del Plioceno (TPG 1, 2). Elementos estructurales (De Cserna, *et al.* 1988): 1. Falla normal mostrando la dirección de desplazamiento; 2. Límite inferido de las unidades.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

SIERRA DE CUADALUPE

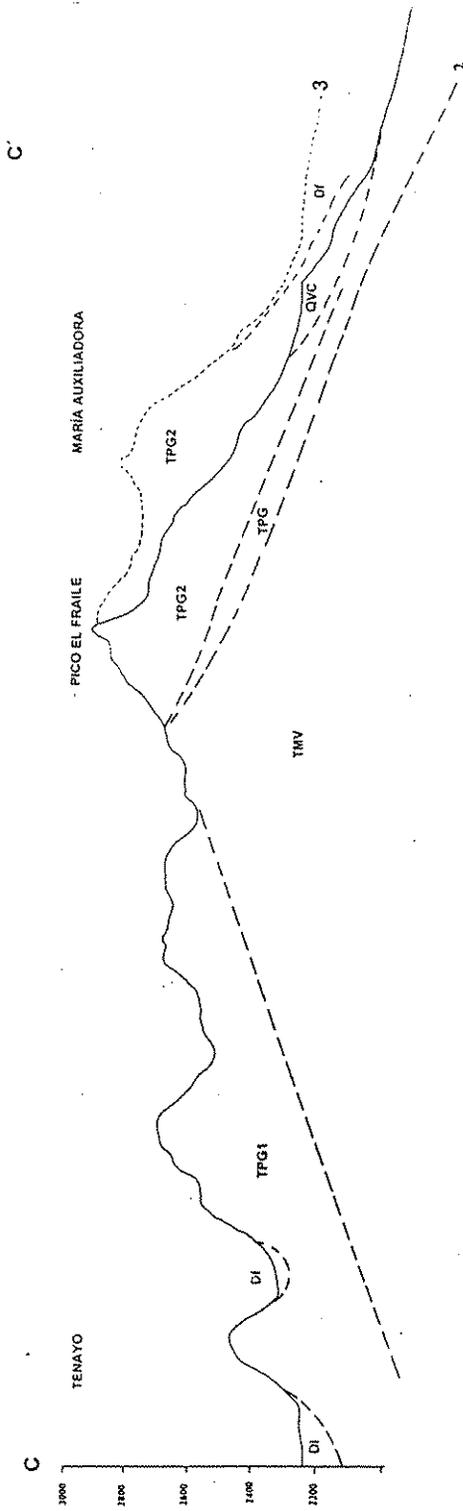


Figura 8. Perfil C-C': La Trayectoria es de suroeste - noreste (Fig. 4). Unidades geológicas (Mooser, *et al.* 1996): Rocas volcánicas del Mioceno (TMV); Basalto Cuatpec del Plioceno inferior (TPG); Rocas volcánicas del Plioceno (TPG 1, 2); Rocas volcánicas del Cuaternario (QVC); Depósitos fluviales del Cuaternario y reciente (DI); Depósitos lacustres del Cuaternario y reciente (DI). Elementos estructurales (De Cserna, *et al.* 1988): 1. Falla normal mostrando la dirección de desplazamiento; 2. Límite inferido de las unidades geológicas; 3. Perfil del campo volcánico de María Auxiliadora.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

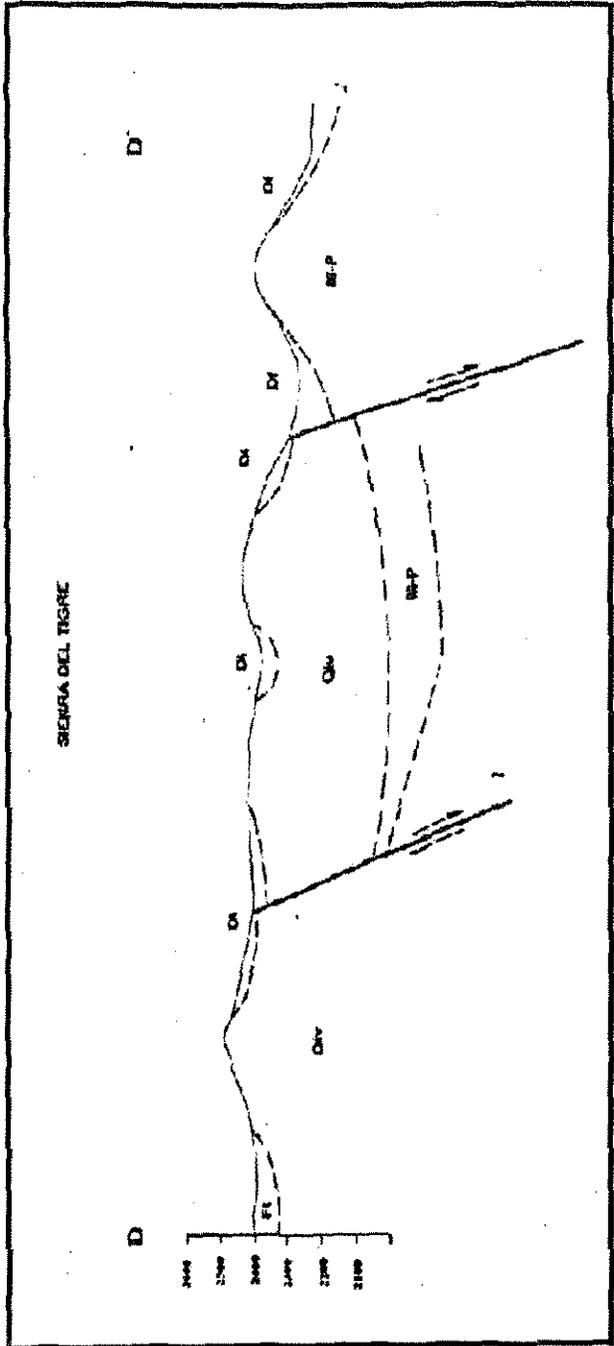


Figura 9. Perfil D - D'. La Trayectoria es de oeste-este (Fig.4). Unidades geológicas (Mooser, *et al.* 1996): Rocas volcánicas del Mioceno - Plioceno (M - P); Rocas volcánicas del Cuaternario inferior (Qvi); Formación Tarango del Cuaternario (Ft); Depósitos de tobas en flancos del Cuaternario (Df); y Depósitos fluviales del Cuaternario (Df). Elementos estructurales (De Cserna, *et al.* 1988): 1. Falla normal mostrando la dirección de desplazamiento; 2. Límite inferido de las unidades.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- c) Formación Tarango. Dicha unidad ha sido descrita por Fries (1965), Mooser (1968), Mooser F. *et al.* (1996) y Giese S. (1996), quienes reconocen entre 5 y 7 unidades constituidas de lahares, flujos de piroclastos, ignimbritas, tobas, pómez, paleosuelos y depósitos fluviales (Fig. 5). La secuencia varía en función de su disposición estratigráfica y topográfica. En el área de estudio se reconocen 6 unidades, las cuales están falladas y ligeramente basculadas, y se sobreponen a varias estructuras volcánicas de las sierras El Tigre y Guadalupe. Su edad se encuentra todavía en discusión, sin embargo, Mooser, *et al.* (1986) propone una edad de 170 000 años. Los ambientes genéticos varían de un vulcanismo de tipo explosivo, etapas de calma y periodos de erosión intensa, de ahí la variedad de sus unidades.
- d) Depósitos fluviales y lacustres del Cuaternario. Corresponden a una secuencia sedimentaria denominada "arcillas lacustres superficiales" (Mooser *et al.* 1974), la cual se divide en tres: unidad arcillosa superior (de 0 a 25 metros de profundidad), unidad arcillosa inferior (de 26 a 53 metros de profundidad), dividiendo a éstas se encuentran las denominadas "capas duras" (a 26 y 56 metros de profundidad). Las capas duras se constituyen de cenizas volcánicas cementadas. Asimismo, los depósitos fluviales se interdigitan con los depósitos lacustres, mucha de las veces correlativas a la Formación Tarango. Se caracterizan por ser depósitos de torrentes, dado las características fluviales de la cuenca, la disposición de los depósitos fluviales se presenta al pie de las sierras, siendo más potentes hacia el sur de la misma (Mooser *op. cit.* Y De Cserna *et al.*, 1988).

## 2.2 Litología y aspectos tectónicos locales

El presente apartado tiene por objeto analizar los diferentes tipos de roca y su distribución en el área de estudio (Fig. 4). Lo anterior permite una primera aproximación a la clasificación del relieve.

a) Rocas volcánicas intermedias del Oligoceno (Tov). Son las más antiguas de la Cuenca de México y sus afloramientos son escasos; en la zona de estudio existen algunos de ellos. Son de tipo ácidas, tobas y lavas. Constituyen el basamento de la sierra El Tigre y definen una caldera seccionada por un sistema de fallas con orientación N-NW, además presentan un sistema radial de fracturas en las laderas del edificio volcánico (De Cserna *et al.*, 1988), mismas que definen un diseño fluvial radial centrífugo que se refleja en la red fluvial (Fig. 10). La mayor parte de estos depósitos están sepultados por rocas volcánicas cuaternarias y por los materiales que constituyen la Formación Tarango.

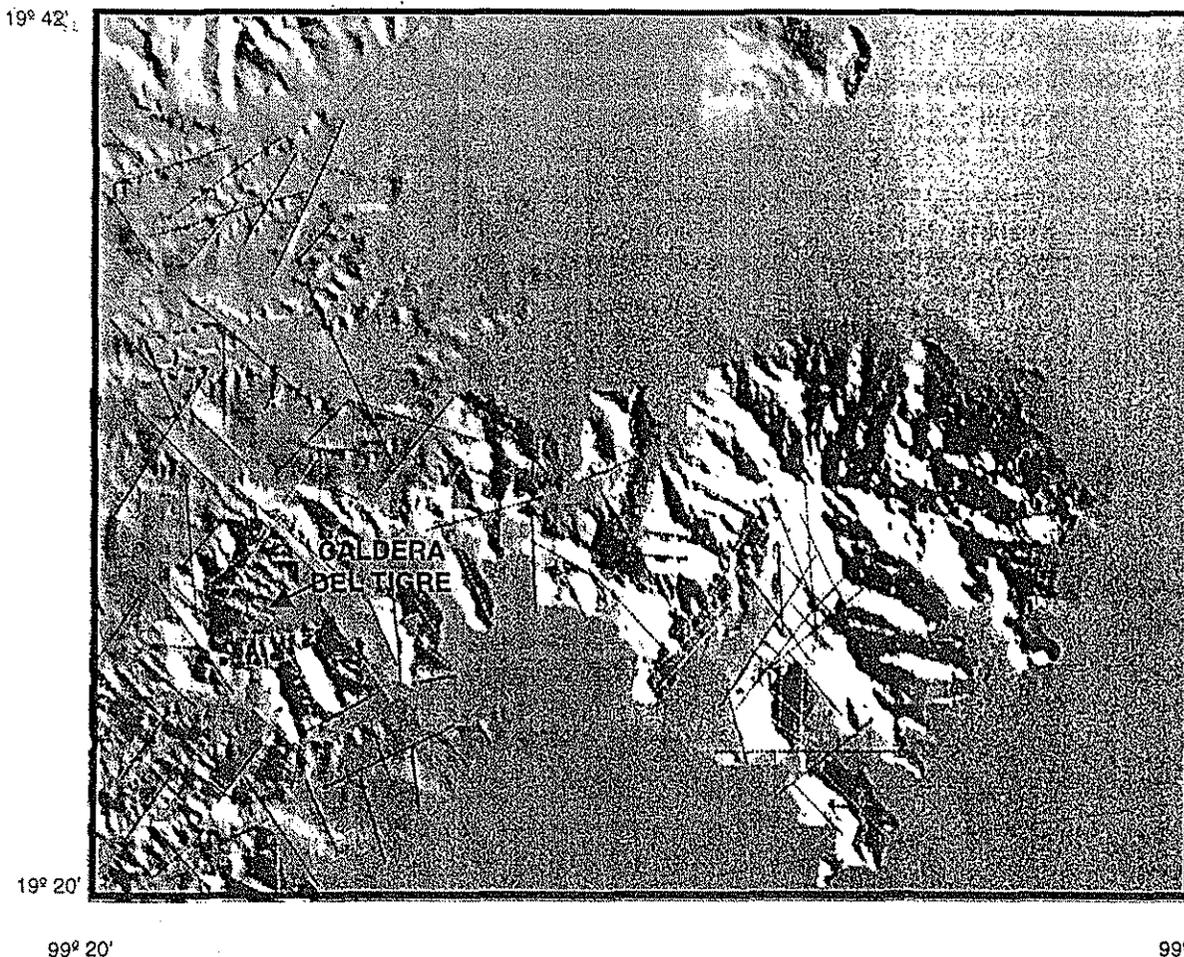


Figura 10. Modelo Digital del Terreno (MDT) con fuente de luz al NE. Se observa la caldera del Caldera del Tigre y el sistema radial de fracturas y fallas que la caracterizan.

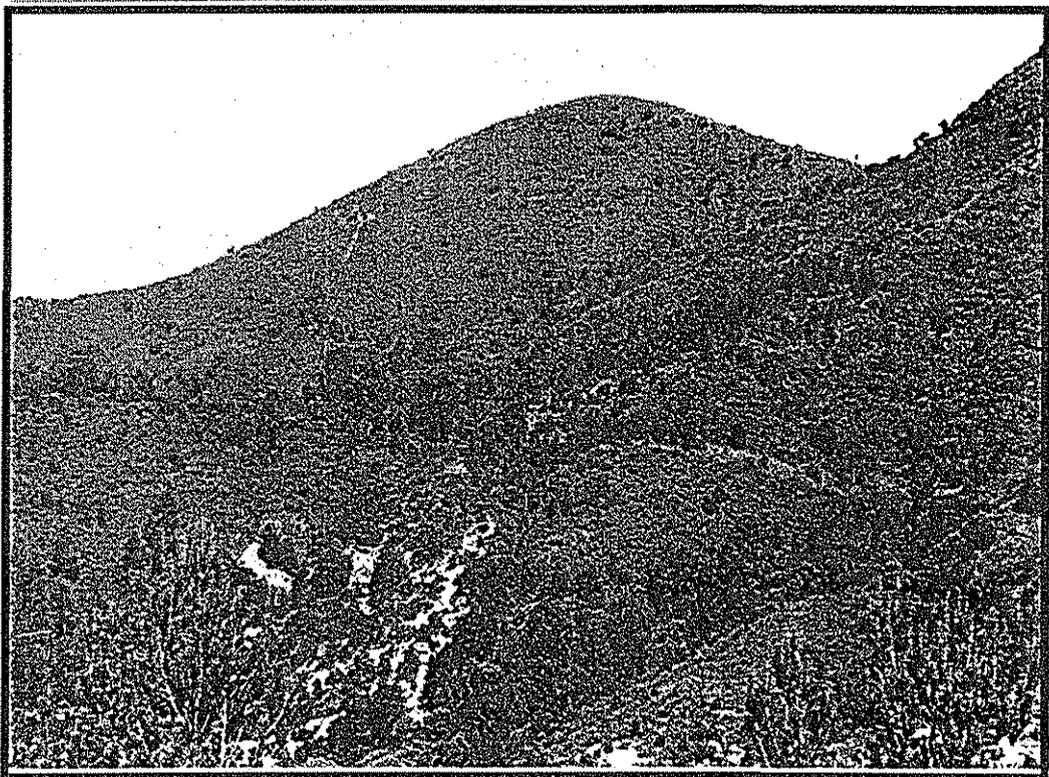
b) Rocas volcánicas ácidas y Basalto Cuatepec del Mioceno (TMV). Forman un grueso paquete de lavas ácidas, consecuencia de las primeras erupciones volcánicas ligadas a la subducción de la Placa de Cocos. Constituye las elevaciones volcánicas de Barrientos y del cerro del Tepeyac, un domo principalmente dacítico (Mooser *et al.*, 1996). A diferencia del grupo anterior, las estructuras volcánicas del Mioceno están menos afectadas por la erosión y el tectonismo; se identifican estructuras originales: conos, coladas y domos. Asimismo, el sistema de fracturas y fallas sigue una dirección W-E. El espesor máximo es de 1000 metros .

c) Andesitas, dacitas y riolitas del Plioceno (TPG +, 1,2,3). Forman domos y coladas de lava de 300 m de altura, constituyen la mayor parte de la sierra de Guadalupe y se han dividido en cuatro unidades, según Mooser *op. cit.* (Fig. 5). La primera unidad (TGp1) constituye una serie de domos riolíticos con radio de más de un kilómetro y alturas de más de 300 metros; se encuentran alineados y fallados en dirección noreste-suroeste (los cerros El Tenayo, El Chiquihuite, Cabeza Blanca y Picacho Tlacomulco son los elementos más relevantes de esta unidad) y se ubica en el sector sur de la sierra. La unidad TGp2 se localiza al norte de la sierra y abarca un gran porcentaje del territorio de la misma. Está

representada por domos, coladas de lava y volcanes con radio de hasta 2 kilómetros y altitud de hasta 2900 msnm. Los cerros Picacho, Los Díaz, Las Canteras y Tres Padres (Fig. 12) son los elementos más relevantes de esta etapa y se encuentran fallados, con dirección de preferencial noroeste-sureste.

La tercera etapa de la Formación Guadalupe (TGp3) es un campo de domos y coladas de lava; se ubican en el sector norte de la sierra, y consiste en seis aparatos afectados por fallas de dirección este-oeste. Las fallas son de tipo normal que definen bloques hundidos al norte; esta unidad se conoce como campo volcánico de María Auxiliadora y su composición es tipo ácida.

Finalmente, la última etapa, TGp+, se ubica fuera del cuerpo de la sierra de Guadalupe y sepulta parte de la sierra de Barrientos. Es un conjunto de "cinco" domos con dirección noroeste-sureste.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 11. Domo dacítico "Pico Tres padres"; se reconoce la típica morfología de cúpula.

d) Rocas volcánicas intermedias y básicas del Cuaternario (Qvi). Se divide en vulcanitas intermedias y básicas del Cuaternario temprano y vulcanitas básicas e intermedias del tipo fenobasalto del Cuaternario medio y tardío. El primer grupo se ubica en el sector sur y suroriente del área en estudio y son pequeños aparatos volcánicos y domos que forman elevaciones aisladas, a excepción de los que constituyen la sierra El Tigre. Las elevaciones aisladas de Satélite, Guerrero, Zacatenco y Gachupines son pequeños domos que no superan los 300 metros de altura sobre el nivel de base de la planicie y se presume, por la disposición del eje mayor de cada aparato, que fueron emplazados a lo largo de zonas de debilidad con

dirección Noreste–Suroeste. El segundo grupo se ubica al norte del área en estudio y está representado por dos aparatos volcánicos, uno de escoria (cerca del poblado de Guadalupe Victoria) y otro de lava con emisiones de toba y ceniza (cerca del poblado de Tultepec). La serie de piroclastos producto de esta etapa volcánica cubren gran parte de las laderas norte de la sierra de Guadalupe.

e) Formación Tarango del Cuaternario (QFt). Representa abanicos volcánicos que se extienden en las estribaciones de las sierras elevadas que limitan la cuenca de México al oriente y poniente. Está formada por depósitos de lahares, tobas, flujos piroclásticos, pómez, suelos y rellenos aluviales. Con excepción de los lahares, el resto de los materiales no están consolidados. Se ubica en el sector occidental del área en estudio y forma la sierra de Monte Alto–Monte Bajo y sepulta parte de la sierra El Tigre, Barrientos y La Muerta. Su espesor ha sido calculado entre 300 y 400 metros.

El cambio abrupto en las etapas volcánicas de la formación Tarango se denota por el tipo de sus productos (lahares, pómez y cenizas), así como por sus etapas de "calma" que favorecen el desarrollo de suelos o etapas erosivas (las cuales pudieron ser contemporáneas o no a las volcánicas) y se evidencian por los depósitos aluviales. La figura 13 muestra las "arenas azules", elemento típico de la formación Tarango. Estas arenas se constituyen de bloques andesíticos de 30 mm de eje mayor y una matriz arenosa poco consolidada.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 12. Arenas azules de la Formación Tarango, en las proximidades de la presa Madín, consiste en bloques de andesita de entre 15 y 30 mm de eje mayor y matriz arenosa no consolidada.

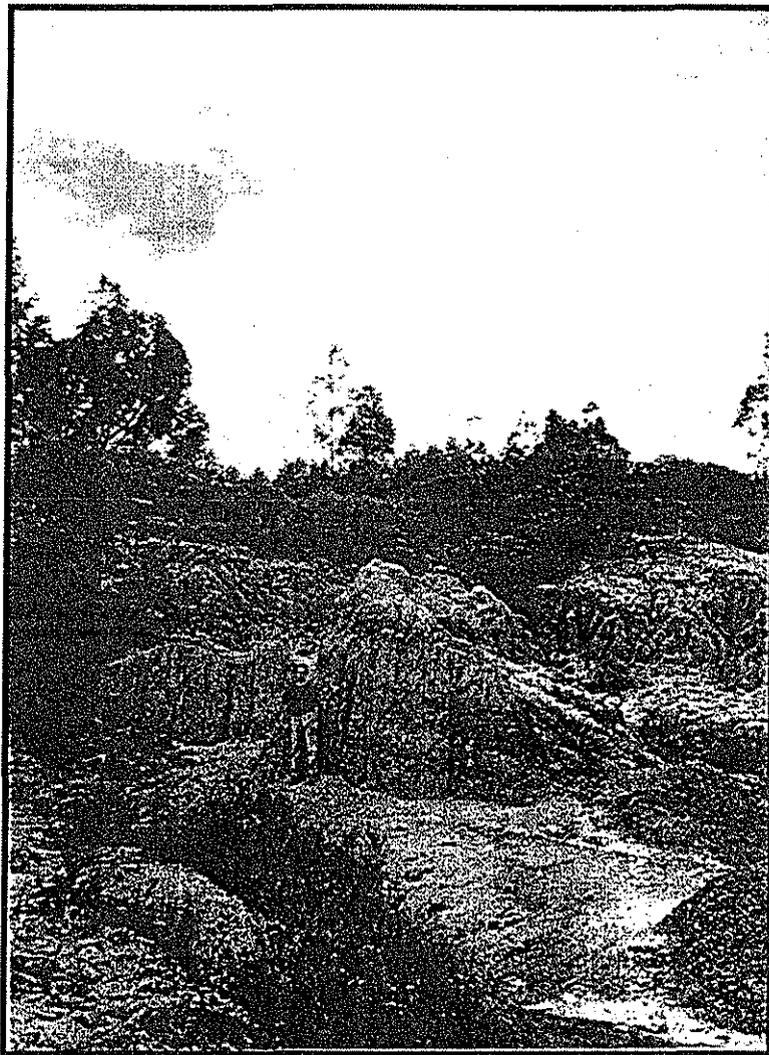
Un cambio en la actividad volcánica dio origen a flujos piroclásticos, tobas y cenizas; éstas se intercalaron con paleosuelos. La culminación de esta serie está representada por depósitos aluviales y suelos. La formación Tarango se encuentra fallada y moderadamente fracturada; las fallas son normales, con rumbo noreste-suroeste (se infieren por lineamientos de ríos y trayectoria de parteaguas). Sin embargo, en campo se encontraron varias fallas de tipo inversa. En la fotografía 13 se muestra la pómez y paleosuelos fallados de forma inversa; el rumbo es NW35° y el echado de 56° al NE. Posiblemente esta falla es resultado de la distensión regional que generó fallas en dirección NE-SW; las denominadas Arenas Azules tienen una edad que se calcula en 170 000 años (Mooser, *op. cit.*).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 13. Falla inversa en la formación Tarango. Desplazamiento vertical de estratos de tobas y paleosuelos de casi 4 metros. Proximidades de la presa Madín.

- e) Tobas en depósitos de flancos recientes. (Qt). Estos depósitos cubren las laderas del norte y occidente de la sierra de Guadalupe, fueron descritas por Campa (1968) y Lozano (1969) como parte de la Formación Tarango, sin embargo, debido a sus características y ubicación se separan de ésta y deben considerarse como una unidad independiente. Se forma por una serie de capas de hasta 2 metros de espesor, que en conjunto alcanzan hasta 12 metros. No se encuentran cementadas y tienen una expresión masiva (Fig. 14), suavizan la pendiente de las laderas de montaña y por ser susceptibles a la erosión presentan cortes de disección de hasta 8 metros de profundidad. Se reconoce por su color amarillo (vidrio pumítico fino) y en algunas ocasiones llega a constituir una morfología de abanico que no tiene que ver con los procesos fluviales.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 15. Depósitos holocénicos de tobas, con espesor de hasta 12 metros; masivas y débilmente cementadas, que cubren las laderas norte de la sierra de Guadalupe y el Tigre.

f) Depósitos aluviales y lacustres recientes (Qal). Consiste en aluviones, lentes de piroclastos y lacustres de espesor variable. En la mayoría de los casos son contemporáneos con los elementos volcánicos del Cuaternario. Se constituye por diferentes miembros y el espesor máximo alcanza los 500 metros (Fries 1962). Los aluviones se presentan poco consolidados y la textura es variable (gravas, arenas, limos y arcillas). Las características sedimentológicas reflejan ambientes de torrente. Por otro lado, los depósitos lacustres tienen una profundidad que varía de 30 a 300 metros y se interdigitan con los depósitos fluviales, aunque en algunos casos se encuentran sepultando lavas. Las arenas, limos, además de lentes, son los elementos más representativos de este depósito (Marsal y Mazari, 1969).

Los depósitos aluviales se conocen también como depósitos de transición entre la planicie, las sierras y los aparatos volcánicos localizados en el interior de la planicie lacustre. Los depósitos aluviales se clasifican de acuerdo con el porcentaje de clastos presentes en el cuerpo, de esta manera se presentan dos tipos de transiciones: interestratificada y abrupta (Mooser, *op. cit.* y Campos, *et al.*, 1994).

Los depósitos interestratificados se presentan en el sector poniente del área de estudio, al pie de la sierra El Tigre y de la Formación Tarango, donde se acumularon sedimentos que descendieron de las zonas montañosas hacia la planicie. Se presenta una secuencia de arcillas lacustres con arenas y gravas de origen fluvial (Fig. 15). En la sierra de Guadalupe se reconocen los depósitos transicionales en la fosa de Cuauhtepac y en la parte septentrional, formando una región interestratificada ancha (de hasta 2 Km).

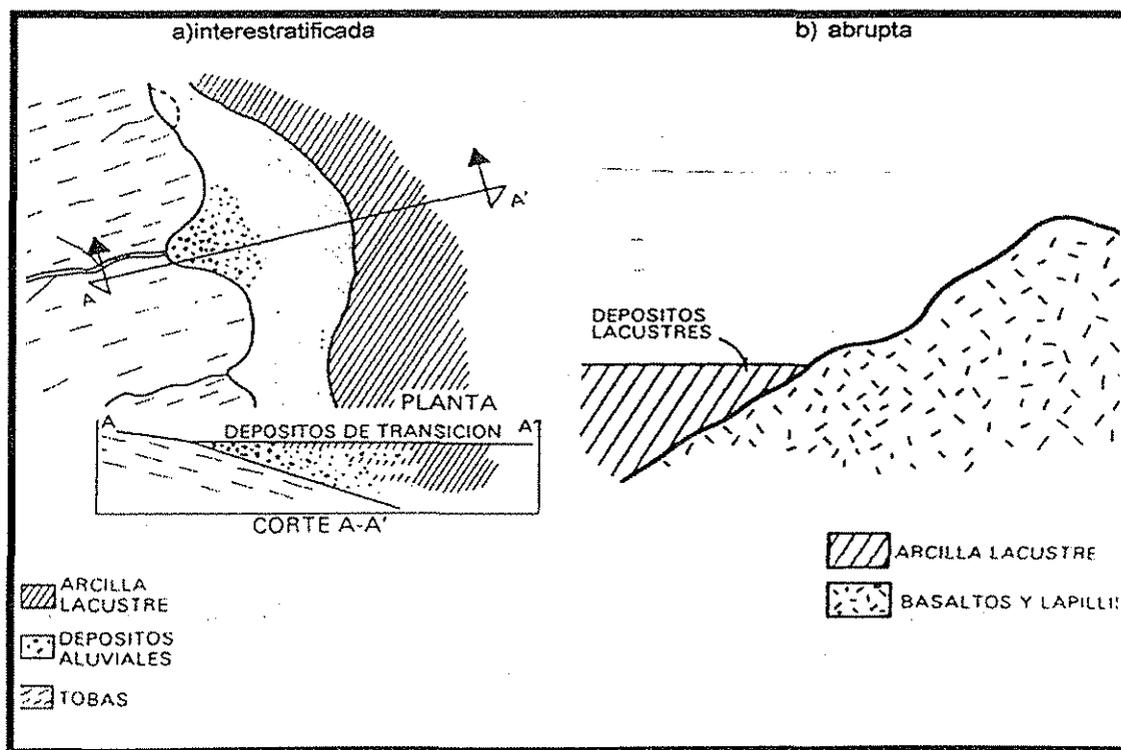


Figura 15. Depósitos de transición: Esquema explicativo del tipo de transición: a) interestratificada, y b) abrupta (Mooser *et al.* 1986).

La condición abrupta se identifica en el contacto entre los depósitos de relleno de la cuenca y las laderas de montaña y/o edificios volcánicos aislados; en este caso, los depósitos aluviales son prácticamente nulos, lo cual origina que los sedimentos lacustres estén en contacto directo con la roca (Fig. 15). Ejemplos representativos se pueden observar en los cerros del Tepeyac, Gordo y Gachupines.

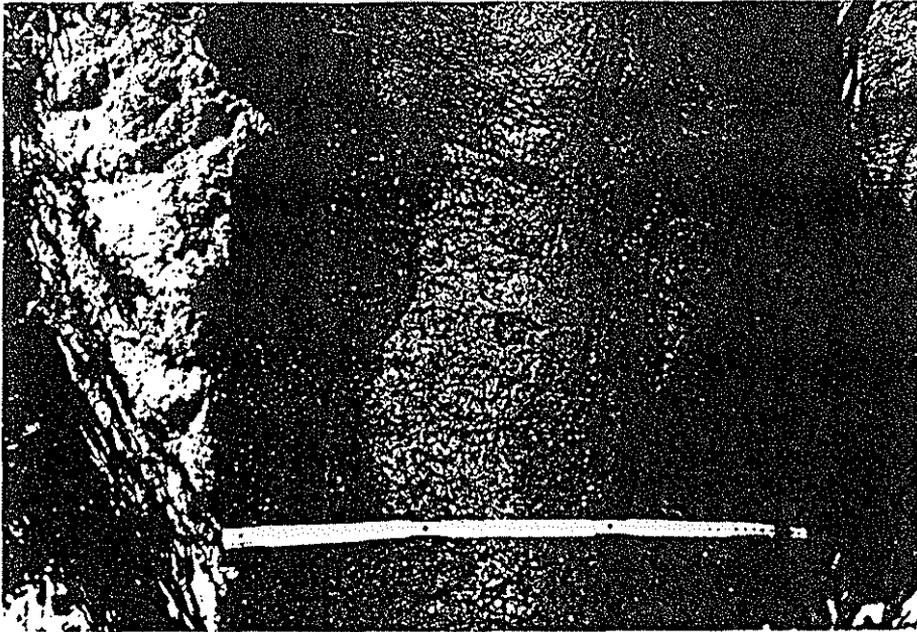
Finalmente, los materiales lacustres (Mooser, *et al.* 1986), se dividen en cinco unidades:

1. Costra superficial de hasta 7 metros de profundidad, constituida por rellenos artificiales (materiales de la construcción y arqueológico), suelo blando, depósitos aluviales blandos con lentes de material eólico y lacustre intercalados, y costra seca (materiales lacustres cementados);
2. Serie arcillosa superior, con una profundidad máxima de 50 metros, formada por cuatro estratos principales (arcilla preconsolidada principal, arcilla normalmente consolidada, arcilla preconsolidada profunda y lentes duros);
3. Capa dura, con 5 metros de espesor: es un depósito limo-arenoso fuertemente cementado;
4. Serie arcillosa lacustre inferior con espesor de hasta 15 metros de estratos de arcillas separados por lentes duros, y
5. Depósitos profundos de 5 metros de espesor: es una serie de arenas y gravas aluviales con matriz limosa, cementada con arcillas duras y carbonato de calcio; la parte superior de estos depósitos ésta más consolidada.

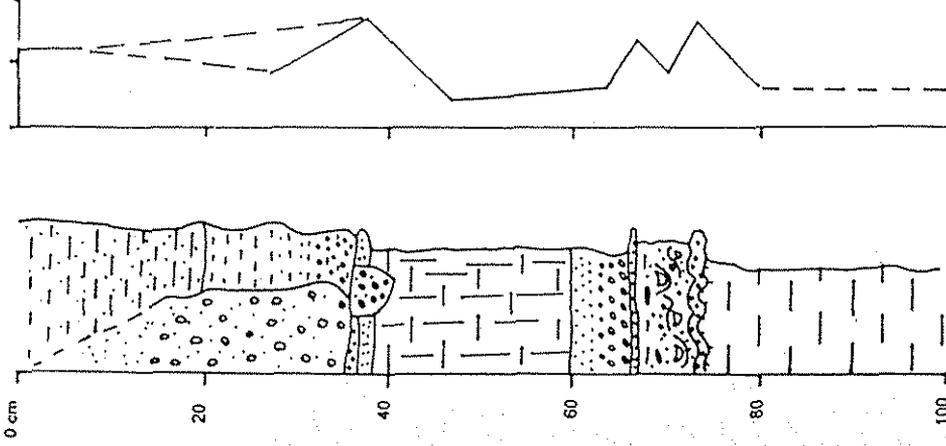
En superficie se identificaron estratos aluviales, lacustres y eólicos (Fig. 16), además de una capa deformada que se ubica entre dos cuerpos lacustres. Así, en todo el conjunto se detecta, con base en la interpretación de los sedimentos, un cambio en los ambientes de depósito, de lacustre a aluvial, y entre éstos, depósitos eólicos relacionados con sequías estacionales, pues se identifican sobre los estratos lacustres.

En el análisis de laboratorio se obtuvo mediante tamizado, el porcentaje total de limos, lo cual nos permite tener un punto de comparación de los materiales que forman cada estrato. Vuelve a destacar el estrato aluvial ubicado entre los dos estratos lacustres. Según Corrales *et al.* (1977), una secuencia lacustre-aluvial-lacustre es típica de regiones de cuenca y facies de depósitos regulares. Asimismo, por las condiciones propias de los sedimentos, es factible encontrar estructuras sedimentarias de deformación generadas por algún fenómeno extraordinario (sismos o erupciones volcánicas) o por cuestiones físico-mecánicas de los materiales (diferencia entre la densidad de los mismos). Se reconocieron las siguientes estructuras de deformación: micropliegues, estructuras de inyección ("velas") y estratificación convoluta.

SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA



% DE LIMOS



Estratificación aluvial, con bandas de arena en la base. Estratificación con gradada normal y lentos de arena en la base. El porcentaje de limos varía de 40 a 50.

Discordancia erosiva, estratificación aluvial de may a menor. El porcentaje de limos disminuye a profundidad.

Paleocanales en la base y cambio gradual de arena a limo. Depósito de menor a mayor de lacustre para a aluvial.

Estrato lacustre de 20cm de espesor, con gnefas de 2-3 cm en la vertical.

Estrato de aluvión deformado con estructuras de micropliegues y estratificación convoluta, presencia de micropliegues.

Estrato lacustre rico en CaCO<sub>3</sub> y precipitación de Fe.

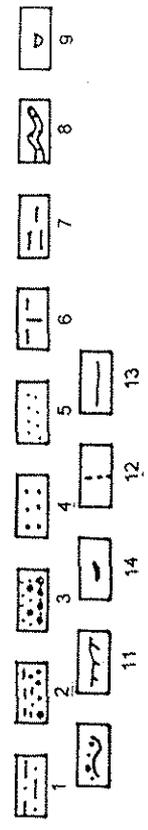


Figura 16. Secuencia fluvio-lacustre en las proximidades de Ecatepec, donde se muestra la diferencia entre los materiales que constituyen la zona con superficial de esta unidad. Estratos: 1. Arenas aluviales finas, ricas en limos; 2. Arenas aluviales con estratificación normal y paleocauce fluvial constituida de gravas y pebre en limos; 4. Secuencia aluvial de arenas gruesas de matriz arenosa; 5. Aluvión en cambio de facie lacustre; 6. Secuencia lacustre rico en CaCO<sub>3</sub> y grietas verticales de hasta 15 cm; 7. Secuencia lacustre, con bandas de estratificación fina (menor a los 2 cm de espesor). Estructuras sedimentarias; 8. Estratos aluviales deformados ("velas"); 9. Estructuración convoluta; 10. Micropliegues de aluvión embobidos de una matriz limosa; 11. Superficie de erosión; 12. Cantos. En perfil sedimentológico; 13. Tendencia en la vertical inferida, y 14. Tendencia en la vertical.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

### 2.3 Sismicidad

Las características tectónicas que se relacionan con el tipo, arreglo y distribución de las estructuras disyuntivas, se han analizado de manera conjunta con las características litológicas. La sismicidad es otro factor que tiene relación con la tectónica, su análisis se hace, para su mejor entendimiento, desde un marco regional y local. La relación que existe entre el tipo de roca, el arreglo estructural y la sismicidad es determinante para la ocurrencia de amenazas en la zona de estudio. Esta es la razón, por la cual, a continuación se analiza.

La actividad sísmica regional es resultado de la subducción de las placas oceánicas Cocos y Rivera, debajo de la placa continental de Norteamérica que se sucede a lo largo de la costa del Pacífico mexicano (Fig. 17); genera sismos "grandes" con magnitud  $M_s > 7$  o intensidad X-XI Mercalli (Mota 1988). Conjuntamente, sismos de esta magnitud se generan en la parte continental a una profundidad mayor a 40 Km, relacionados con fallas activas de mecanismo normal o con componentes de transcurrancia (Singh *et al.*, 1985; Quintero 1994; Yates *et al.*, 1988).

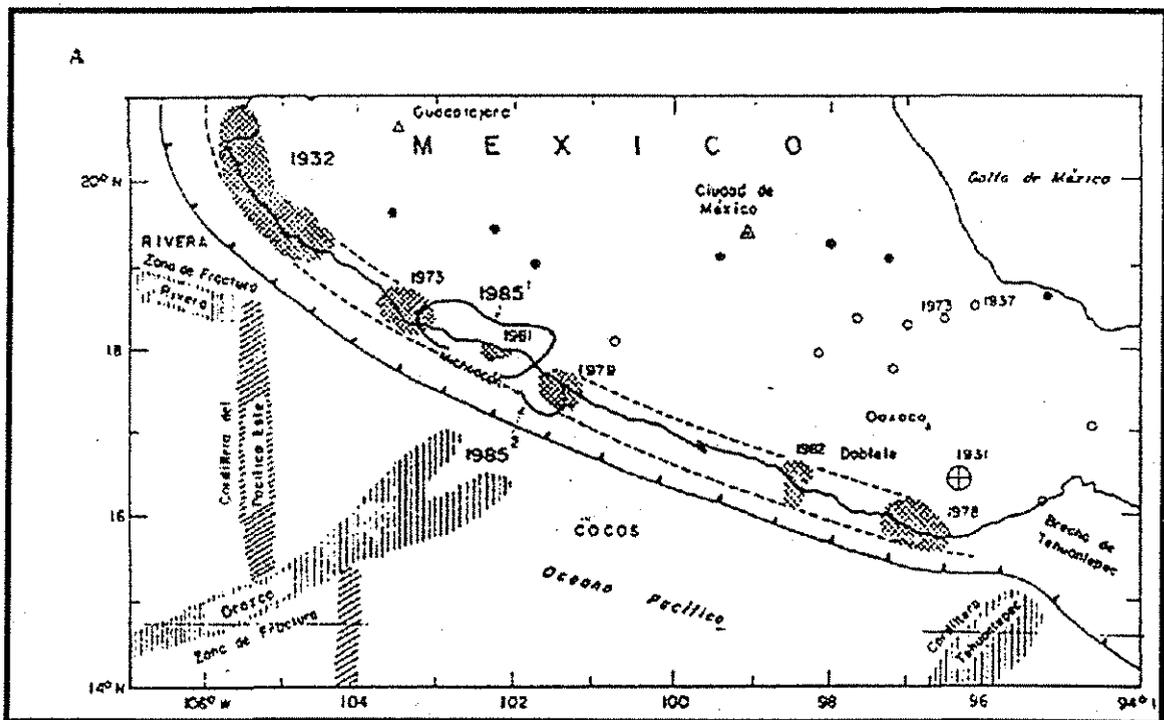


Figura 17. Configuración tectónica en el suroccidente de México y de epicentros de  $M_s = 7$  grados, los achures muestran las brechas sísmicas. Yates *et al.* 1988.

Con base en el estudio de los grandes sismos de México y el cálculo de los periodos de recurrencia a lo largo de la zona de subducción realizada por Sánchez y Singh (*Op. Cit.*); se tienen periodos de recurrencia de 30 a 75 años (Fig. 18). Asimismo, Keller *et al.* (1973), identifico zonas de quietud y brechas sísmicas en la misma región,

las cuales coincidieron con los sismos de Colima (1973, Ms= 7.5), Centro de Oaxaca (1978, Ms= 7.8) y Petatlán (1979, Ms= 7.6); Por su parte, Singh *et. al.*, (1981), contribuyeron a ubicar regiones de recurrencia anómalamente grandes para Michoacán, Jalisco, Guerrero, Ometepec y Tehuantepec. Los temblores de Playa Azul (1981, Ms = 7.3) y el terremoto doble de Ometepec (1982, Ms = 7.0 y 6.9) se generaron en la brecha sísmica de Michoacán y Ometepec, respectivamente. Cabe considerar que los sismos de 1985 no ocurrieron en estas regiones sísmicas preestablecidas, lo que indica la existencia de regiones con periodos de recurrencia más grandes (Fig. 18).

Figura 18. Sismos a lo largo de la zona de subducción de México (Fuente: Sánchez y Singh 1986).

REGION	LATITUD (°N)	LONGITUD (°W)	AÑO DEL EVENTO (magnitud)	PERIODO DE RECURRENCIA (en años Prom.)
Este de Oaxaca	16.2	95.8	1897 (7.4), 1928 (7.7), 1965 (7.8)	34
Centro de Oaxaca	16.0	96.8	1870 (7.9), 1928 (8.0), 1978 (7.8)	54
Oeste de Oaxaca	16.6	97.7	1854 (7.7), 1894 (7.4), 1928 (7.4), 1968 (7.4)	38
Ometepec	16.5	98.5	1950 (7.3), 1982 (6.9 y 7.0)	32
San Marcos	16.7	99.2	1845 (7.9), 1907 (8.0), 1957 (7.7)	56
Petatlán	17.3	101.4	1943 (7.7), 1979 (7.6)	36
Michoacán	18.1	102.5	1911 (7.9), 1985 (8.1 y 7.9)	74
Colima	18.4	103.2	1941 (7.9), 1973 (7.5)	32

- *Sismicidad local.* Tradicionalmente los temblores que se sienten en la Ciudad de México y áreas adyacentes se atribuyen a sismos que ocurren a lo largo de la costa del Pacífico, generalmente en las zonas generadoras de sismos descritas en el apartado anterior. Sin embargo, un examen cuidadoso del registro sismológico muestra que la región de la cuenca de México, e incluso en la misma Ciudad de México, acusa la existencia de una actividad sísmica local que, decididamente, está relacionada con la estructura geológica de la misma cuenca (Mota, en: De Cserna *et al.*, 1988).

Los datos del registro de la actividad sísmica local entre 1912 y 1995 (Fig. 19) muestra que la intensidad de los epicentros en la Ciudad de México y áreas circunvecinas no supera los 6 grados en la escala Richter; ejemplos de esta actividad son el sismo del 22 de enero de 1924, reportado en las inmediaciones del lago de Texcoco con una profundidad de 30 km y 6 grados Richter, los sismos de la Sierra de Guadalupe con una magnitud de hasta 5.3 Richter y profundidad de 10 Km (sismo del 18 de noviembre de 1991); y el sismo del 20 de febrero de 1981 en Lomas de Tarango, con magnitud de hasta 3.4 y profundidad de 8 Km (Mota, *op. cit.*).

Este tipo de sismicidad esta íntimamente relacionada con la tectónica local. Mooser (1970) propuso cinco fallas que, por su expresión en el relieve y por cortar depósitos holocénicos lacustres, se consideran activas. Estas fallas son: Cuauhtepc W y E; Guadalupe, E; Texcoco, W; y Mixihuca, NE. Por otro lado, las fallas Tres Padres, Barrientos, Monte Alto-Monte Bajo y Atzacapotzalco presentan microsismicidad y elementos geológicos que presumen su actividad contemporánea.

Figura 19. Relación de sismos registrados en la Ciudad de México y áreas circunvecinas (Figueroa 1971; Mota *et al.*, 1988 y Archivo Digital del Servicio Sismológico Nacional 1995).

Año	Latitud	Longitud	Prof. En km.	Intensidad
1924	19.4	99.2	N.D.	6
1961	19.7	99.1	33	0.82
1970	19.2	90.6	33	4.9
1973	19.44	98.99	9	3.7
1974	19.34	99.14	5	N.D.
1974	19.367	98.25	33	4
1974	19.37	99.17	5	N.D.
1974	19.37	99.2	5	N.D.
1974	19.38	99.08	5	N.D.
1974	19.41	98.16	5	N.D.
1976	19.216	99.15	33	4
1976	19.416	98.883	33	3
1976	19.416	98.883	33	3
1976	19.75	98.914	33	3
1977	19.333	99.216	5	3
1977	19.36	98.89	16	N.D.
1977	19.36	99.08	33	N.D.
1977	19.501	98.916	1	N.D.
1977	19.71	98.68	33	3
1978	19.04	98.78	1	N.D.
1978	19.269	99.218	1	3
1978	19.333	99.061	33	4
1978	19.59	98.87	1	2
1978	19.72	99	1	2
1978	19.72	99	1	2
1978	19.75	98.25	33	3
1979	19	98.38	33	1
1979	19.33	99.17	1	5
1979	19.347	98.917	33	3.5
1979	19.36	98.67	1	2
1979	19.36	99.3	5	5
1979	19.38	98.6	33	3
1979	19.38	98.8	33	N.D.
1979	19.38	99	4	3.5
1979	19.39	98.6	33	3.5
1979	19.39	98.82	1	3.5
1979	19.39	98.94	1	3.5
1979	19.65	99.12	33	1
1979	19.39	98.99	2	4
1980	19.319	99.254	0	0.83
1980	19.4	98.25	33	3
1980	19.49	98.81	5	3
1980	19.736	99.192	1	1.2
1981	19.256	99.179	2	0.4
1981	19.246	99.184	10	3.2
1981	19.258	99.234	10	3.3
1981	19.262	98.956	33	3.2
1981	19.268	99.177	7	3
1981	19.3	99.2	5	1.6
1981	19.3	99.4	2	3.5
1981	19.328	99.076	9	3.1
1981	19.361	99.332	10	3.3
1981	19.377	99.192	33	3.5
1981	19.382	99.196	5	0.55
1981	19.384	99.244	4	0.55
1981	19.397	99.256	4	2.89
1981	19.4	99.1	33	3
1981	19.4	99.2	4	3.3
1981	19.4	99.2	3	4.2
1981	19.407	99.204	5	1.14
1981	19.45	99.28	10	3
1981	19.469	98.236	5	3.2
1981	19.5	99.2	3	2.7
1981	19.5	99.2	33	3.5
1982	19.3	99.3	4	2.4
1982	19.4	99.1	5	2.1
1983	19.282	99.249	5	0.95
1983	19.4	99	5	1.5
1983	19.5	99.2	5	3
1983	19.7	99.1	10	2.4
1984	19.339	98.988	5	0.3
1985	19.278	98.155	0	4.2
1986	19.679	99.262	10	0.72
1990	19.307	98.19	10	0.83
1990	19.787	99.002	33	0.22
1991	19.33	99.218	5	N.D.
1991	19.4	99.3	33	3.3
1994	19.309	98.268	0	N.D.
1994	19.376	99.047	5	N.D.
1995	19.27	98.952	10	N.D.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se han registrado más de 2000 microsismos por año en la cuenca de México (Figuroa, 1971), aunque la mayoría no supera un grado Richter. Se han detectado zonas de recurrencia sísmica dentro de la cuenca de México así como sus posibles ciclos de retorno (Fig. 20).

Figura 20. Períodos de recurrencia observados de sismos generados en la cuenca de México y sus regiones entre 1924 y 1995.

REGIÓN	LATITUD (°N)	LONGITUD (°W)	AÑO DEL EVENTO (magnitud y profundidad)	PERIODO DE RECURRENCIA (en años prom.)
Chapultepec	19.400	99.250	1924 (6, N. D.), 1981 (3.3, 4 Km.)	57
Cuautitlan	19.700	99.200	1961 (1, 33 Km.), 1983 (2.4, 10 Km.)	22
Chichinautzin	19.333	99.217	1977 (<1, 5 Km.), 1991 (<1, 5 Km.)	14
Centro	19.370	99.070	1974 (<1, 5 Km.), 1977 (<1, 33 Km.), 1978 (4, 33Km.), 1994 (<1.5Km.)	< 20
Guadalupe	19.560	99.450	1970 (4.4, 33 Km.), 1978 (3, 33 Km.), 1985 (4.2, 10 Km.), 1991 (5.3, 10 Km)	7

La región de la sierra de Guadalupe es la de mayor recurrencia, con intervalos cortos de tiempo: 7 años de promedio. Los sismos que se generan en esta región destacan por su intensidad, de hasta Ms= 5.3 grados Richter. La sismicidad se asocia a las fallas que limitan la fosa de Cuautepec, principalmente en la falla ubicada en el sector oriental del graben y que corta a los cerros de Zacatenco y Tres padres (Fig. 21).

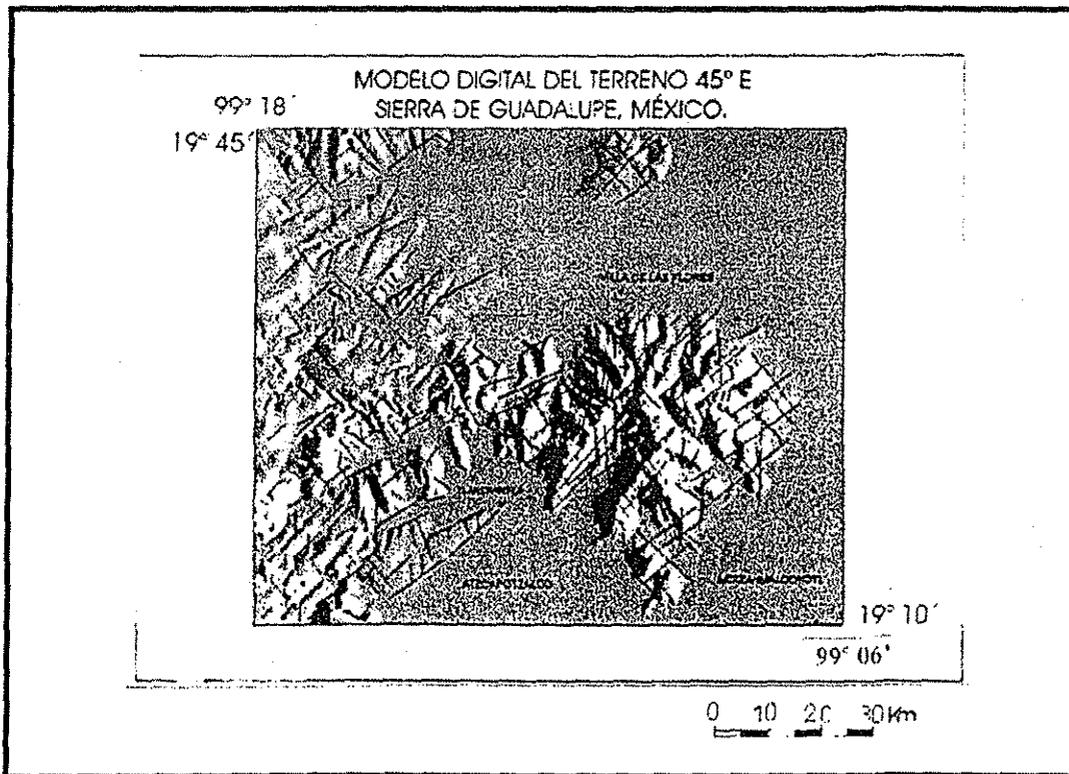


Figura 21. Modelo Digital del Terreno con fuente de luz E, se muestran los elementos lineales del relieve y los eventos sísmicos locales.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- *Sismicidad histórica*. La serie de daños que provoca la sismicidad regional y local en la cuenca de México, especialmente en la Ciudad de México, ha sido registrada a través de crónicas, mapas y documentos históricos; Nava, 1987; Mota, 1992 y Ramírez *et. al.* 1993, han sintetizado la historia de la sismicidad en México. En la figura 22 se define la intensidad y magnitud de los daños y las zonas que son frecuentemente afectadas por este fenómeno.

Se identificaron 46 sismos históricos que han provocado daños en construcciones y más de 45 000 muertos; se reconoce una serie de fenómenos secundarios asociados a la sismicidad, destaca la caída de edificios, formación de grietas, hundimientos, derrumbes y caída de rocas. Se presenta una recurrencia de 27 a 35 años para sismos circumpacíficos, lo cual se aproxima a la propuesta de Sing, al reconocer periodos de 30 años. En tanto que la sismicidad local presenta ciclos de recurrencia menores a 20 años y hasta de 7 años en la sierra de Guadalupe.

En la descripción de las características y efectos sísmicos identificados (Fig. 22) es factible reconocer algunos eventos relacionados con la sismicidad, así en los sismos de 1475, 1620, 1697, 1768, 1882, 1909, 1957, 1973 y 1991 se registran derrumbes (Tepeyac y Tenayo), dislocaciones de cerros y caída de rocas (Tenayo y sierra de Guadalupe); en los de 1455, 1496, 1768 y 1882 se describen procesos asociados a la licuefacción (Atzacapotzalco y San Cristóbal); las erupciones volcánicas son la causa de los sismos de 1507 (Volcán de Colima) y 1807; la formación de grietas y hundimientos se registra en la mayoría de las crónicas. Cabe destacar que cuatro sismos son, por sus efectos, los de mayor magnitud: 1475, 1768, 1882 y 1985.

## 2.4 Consideraciones finales en torno al capítulo II

El conocer el tipo de eventos que dieron origen a los materiales que constituyen el área de estudio es el primer paso en el reconocimiento del territorio. Los factores litológicos y tectónicos del relieve sólo pueden ser comprendidos en función del conocimiento de la evolución geológica. Para ello, es necesario describir e identificar las etapas de formación geológica y los procesos tectónicos a los cuales estuvo o está sujeta la región.

Se identificaron diferentes tipos de rocas volcánicas, las cuales se diferencian por su edad relativa (del Oligoceno al Reciente), por su composición (básicas, ácidas o intermedias) y por su estructura (falladas o densamente fracturadas, domos, volcanes o calderas). Asimismo, rocas sedimentarias y depósitos contemporáneos se diferenciaron con base en su ambiente de depósito (aluvial, lacustre o eólico).

Lo anterior es la base de la clasificación genética del relieve, siendo los endógenos, principalmente, los procesos identificados. Así, se tienen procesos tectónicos (fallas, fracturas, fosas y pilares) y volcánicos o magmáticos (laderas y coladas de lava, calderas, volcanes, domos).

Los depósitos aluviales, lacustres y eólicos se caracterizan por los materiales que los forman. Así, por el tamaño de las partículas, la secuencia estratigráfica o las estructuras de sedimentación es posible conocer la intensidad y magnitud de los procesos que les dieron origen, lo cual nos permitirá enriquecer la descripción de los procesos exógenos que se identificaron en la carta geomorfológica.

Se analizó la sismicidad regional y local desde la perspectiva de la densidad, la magnitud, la intensidad y la profundidad de los epicentros. Se destacan los periodos de recurrencia y las zonas sismogeneradoras. Los eventos sísmicos

regionales son los que mayor desastre provocan en la zona de estudio. Sin embargo, se reconocen estructuras tectónicas locales con manifestación microsísmica (Cuautepec E y Tenayo), que superan los 6 grados de intensidad y 30 Km de profundidad. Se han identificado los tipos de materiales, la estructura, la evolución geológica y la sismicidad en el contexto de la sierra de Guadalupe y áreas adyacentes, como se dijo; es la primera aproximación al estudio del relieve. Sin embargo, antes de presentar la clasificación del mismo, es necesario conocer las propiedades morfológicas.

Figura 22. Relación histórica de los sismos que causaron desastres en la cuenca de México, de 1455 a 1995 (Nava, 1987; Mota, 1992 y Ramírez, et. al. 1995)

Núm.	AÑO	INTENSIDAD Mercalli	MAGNITUD Richter	CARACTERÍSTICAS Y EFECTOS SISMICOS IDENTIFICADOS
1	1455 (3 casa)	IX - XI	5.9 - 7.7	"...hubo también terremotos y <u>la tierra se agrietó y las chinampas se derrumbaron allá por el norte, junto al lago; y la gente se alquilaba a otra a causa del hambre.</u> "
2	1475 (9 caña)	XI	7.7 - 8.5	"Tuvo lugar un temblor, <u>muchísimos cerros se dislocaron y aplastaron casas</u> ... "...hubo por entonces fortísimos temblores de tierra, tan frecuentes y repetidos que <u>los cerros se desgajaron en pedazos, las casas quedaron aplastadas: Tepeyac, Chalco - Amecamecan</u> "; "Al sexto año del reinado de este rey (Axayacatl) <u>tembló la tierra que no sólo cayéronse las casas, pero los montes y sierras y en muchas partes se desmoronaron y deshiciéron...</u> "; "... en el año 9 Calli reinando en México Moctezuma 1° hubo fuertes temblores, tanto que se arruinaron casi todas las casas y edificios de esta ciudad, <u>se abrió en algunas partes la tierra y se hundieron las cumbres de algunos cerros. Pienso que sea el que llaman del Molcajete y otros dos sus vecinos que están junto a las canteras de tezontle.</u> "
3	1496 (4 pedernal)	X	6.9 - 7.7	"...hubo temblor general <u>llenándose de tierra de grietas, surgiendo de ella arena y piedras...</u> "
4	1499 (7 caña o 4 ocelote)	VIII	5.9	"Comenzó a manar con tanta fuerza el agua del manantial de Coyohuacan, es decir, ..., que se encaminó todo el torrente de agua para Tenochtitlan, ... y todo a causa del temblor de tierra, repitiéndose 4 veces.
5	1507 (2 caña)	VI	5.2	"... tembló la tierra y se ahogaron 1800 hombres en el río Tuzac..., además, provocó fuego en el cerro de Uisasacht (epetl), cabe en Culhuacan..."
6	1582 (11 conejo)	VII	5.9	"Fuerte temblor de tierra ... que pensaron los moradores y vecinos ser tragados de la tierra: a lo menos yo diré que morando en esta sazón en el convento de Tlacopan, que es una legua de México, y comenzando a temblar la tierra ... temiendo el peligro de caerse la casa y vimos el campanario y la torre donde están las campanas hacer muy grandes movimientos y con ellos se tañeron las campanas mayores que son muy grandes..."
7	1589 (11 de abril)	VI - VII	5.2 - 5.9	"Por este tiempo, martes 11 de abril a las cuatro de la tarde, tembló la tierra en México y en toda aquella provincia, lo cual causó temor muy grande a la gente..., con lo cual se cayeron en México y sus alrededores algunas paredes y otros edificios hicieron sentimiento por las grietas, especialmente en Cuyuacan y Atzacapotzalco".
8	1611 (agosto)	VII (?)	5.9	"... tembló la tierra en este mexicano reino y en alguna de sus partes tan recio, que hizo mucho daño, en especial en esta ciudad que arruinó algunos edificios, <u>en la capilla de San Francisco, la de Xochimilco</u> ".
9	1620 (13 de febrero)	X - XI	6.9 - 7.7	"... hubo un terremoto que duró un cuarto de hora, <u>demolió edificios, abrió sierras y descubrió espantosas cavernas</u> en esta gran capital de la Nueva España".
10	1646 (14 de abril)	X	6.9	"Después del temblor se desbarató el tejado de la iglesia de <u>Atzacapotzalco</u> , sumándose a la destrucción de la ciudad..."
11	1653 (17 de enero)	X - XI	6.9 - 7.7	"... tembló la tierra con mucha fuerza... de oriente a poniente, que se temió una gran mina en esta ciudad, duró más del tiempo que se puede ocupar en rezar dos credos con devoción, <u>cayóse cercas y casas. Hizo muchos daños fuera de la ciudad principalmente en las amilpas y en Atzacapotzalco derribó la iglesia</u> ".
12	1665 (20 de enero)	?	?	"... hubo espantoso acaecimiento, es decir, <u>reventó el volcán llamado Popocatezín. Cuando esto sucedió se extendía mucho la llama causando grande temblor de tierra, causando mucho temor en los habitantes</u> ".
13	1687	VII	5.9	"... tembló fuertemente como dos credos; se cayó una casa <u>en la calle Ortega y mató a dos personas...</u> "
14	1697 (26 de febrero)	XI	7.7	"... se sintió fuerte terremoto que duró el espacio de dos credos, en Acapulco echó al suelo muchas casas, <u>se sintió de nuevo el terremoto, precedido de un rumor y retumbó como de un cañonazo, el ruido que se oyó antes, producido por los montes allá por el Tepeyac, habría dado tiempo a cada persona para salvarse</u> ".
15	1754 (24 de agosto)	X - XI	6.9 - 7.7	"... continuos movimientos de tierra... terremoto que causó daño en gran parte de la ciudad, pero <u>en Acapulco fue tan horroroso que hizo retroceder el mar...</u> "
16	1754 (30 de agosto - 1 de septiembre)	X - XI	6.9 - 7.7	"... se experimentó un fuerte y extraño terremoto por espacio de seis minutos con terribles y raras movimientos de oriente a poniente..., algunos templos se lastimaron y cercas de algunos conventos ese vinieron abajo..."

Continúa en la siguiente página

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

17	1768 (30 de marzo)	XI - XII	7.7 - 8.5	"...se padeció en esta capital y en la mayor parte del reino un temblor de tierra que hizo perecer a dos mujeres, dejando resentido el mayor número de edificios, igualmente a los puentes que en esta ciudad dan paso sobre las acequias que la cruzan... En otras ciudades del reino, han padecido igualmente sus fábricas, habiéndose desplomado las casas reales de <u>San Cristóbal (sic.)</u> , estante 4 leguas de la capital. <u>Es el tercer temblor más intenso de este siglo y el más fuerte e intenso de este siglo.</u> Comenzó, como es regular, con un movimiento vibratorio de abajo por arriba que duró muy poco muy poco tiempo aunque fuertísimo; después tardaron los edificios a recobrar su equilibrio cerca de seis minutos, como el del año de 54... se hundió la tierra <u>allá por el norte, hacia San Cristóbal y hubo muchas exhalaciones sulfúreas (sic.)</u> mezcladas con el aire que sale al tiempo del terremoto del interior de la tierra".
18	1784 16 de enero)	VII	5.9	" se sintió un temblor de tierra... cuya duración sería de 8 segundos, sintiéndose en terrenos firmes como el de Tacubaya y Los Remedios..."
19	1787 (28 de marzo)	VIII - XII	5.9 - 8.5	"... hubo un temblor de tierra que duró cinco minutos..., se quebrantaron algunas partes del palacio, el cañón de la diputación y varias casas, agriló los campos..., <u>en la costa (cerca de Ometepe) el mar se retiró más de una legua descubriéndose tierras de diversos colores, peñascos y árboles, y con la misma velocidad que se huyó volvió, y antecediendo pescadores hizo muchos pedazos a once de ellos, llevándolos colgados y metidos entre los palos de un monte que dista legua y media del mar, y en excesiva altura...</u> "
20	1795 (8 de abril)	VII	5.9	"... temblor de tierra causando daños en paredes y agrietamiento del campo..."
21	1800 (8 de marzo)	IX - X	5.9 - 6.9	"... hubo temblor... <u>tuvo como efecto rajar y lastimar algunas paredes...</u> se conoce como el temblor de San Juan de Dios, <u>se determinaron los daños a iglesias, conventos, colegios, hospitales casa particulares, acueductos (sic.) puentes y atarjeas, se presentan tablas y planos</u> ".
22	1806 (25 de marzo)	VI	5.2	"... temblor de tierra conocido como el de la Encarnación, provocó daños menores..."
23	1807 (17 de septiembre)	V	5.2	"... fuerte temblor provocado por las <u>erupciones en el volcán de Colima</u> , provocó algunos daños menores..."
24	1818 (31 de mayo)	IX	5.9	" Terremoto... resultan dañados acueductos, iglesias, conventos, puentes y campos agrícolas..."
25	1820 (4 - 8 de mayo)	X - XI	6.9 - 7.9	"... se desplomaron iglesias, muriendo 30 personas a causa del temblor del día 4; en Acapulco gran desastre al igual que en Chilapa..."
26	1837 (22 de Noviembre)	V	4 a 5.0	"...destrucción de varios edificios y formación de grietas y fracturas en el piso y en el campo.... Fue un sismo débil.
27	1845 (7 de abril)	X - XI	7.5	"... <u>el sismo más fuerte del siglo XIX.</u> Fue un movimiento de intensidad extraordinaria, terrible. Se dañaron edificios públicos, templos e innumerables viviendas, sobre todo aquellas que se ubicaban en el centro de la ciudad. Provocó la muerte a 17 personas..."
28	1882 (19 de julio)	x	7	"... daños en la Ciudad de México y derrumbes en varios cerros de México (Tepeyac y Tenayo, así como en La Malinche). <u>La laguna de Texcoco se derramó sobre los sembradíos y llanuras occidentales a más de 2 km. de distancia. Se presentó el hundimiento del terreno, en el templo de San Agustín, de más de 18 cm y del canal de San Lázaro cuyas aguas bajaron 1.40 mts.</u> "
29	1894 (2 de noviembre)	X	7.0	Varios muertos en la Ciudad de México, cuarteaduras y grietas a casas y campos de cultivo, desplome de muros y derrumbes de edificios. Hundimientos en la escuela Nacional Preparatoria. Las chinampas de Santa Anita y varios pueblos cercanos se "volcaron " (relación con la licuefacción).
30	1907 (14 de abril)	X	7.9	Derribo el colegio Salesiano, rompió cañerías y produjo grietas en las calles, sobre todo en el campo, el sismo se originó en Guerrero y tuvo consecuencias regionales de importancia. Varias localidades próximas a la Ciudad de México se afectaron por lo fuerte del terremoto.
31	1909 (30 de julio)	IX - X	7.5	"Derrumbes y desmoronamiento de los cerros, daños a casas, calles y al Palacio Nacional, el sismo se originó en Guerrero y provocó un Tsunami".
32	1911 (7 de junio)	X	7.8	"Derrumbó el cuartel de <u>San Cosme</u> , el altar de la iglesia de <u>San Pablo</u> y tiró muros en varias partes de la Ciudad. <u>Flexionó rieles de Tranvía, produjo grietas en las calles y en los campos</u> "
33	1912 (19 de Oct.)	V	7	Se botó el estilete. Sismo conocido como el de Acambay .
34	1928	VII	7.7	Cuarteaduras y grietas en el campo y en muchas casas y derrumbe de algunas bardas. Sismo de Oaxaca. Derrumbe el palacio municipal de <u>Chalco</u> . Grietas en el pavimento y daños numerosos. Las fuentes se vaciaron.
35	1932 (3 de junio)	X-XI	8.4	Numerosas grietas y casas derrumbadas. Gran cantidad de cañerías reventadas. Derrumbó varias casas y tiró muchas bardas. Sismo de las costas de Jalisco. <u>El sismo más grande que se haya registrado en este siglo en México.</u>
36	1941 (23 de Feb.)	X	7.9	Daño la cúpula del <u>cine Insurgentes</u> . Cuarteó edificios y produjo grietas en las calles. Sismo originado en las costas de Colima.
37	1957 (28 de julio)	X - XI	7.7	Destruyó varias casas y edificios de la Ciudad de México. Derribó el Angel de la Independencia y levantó el pavimento de varios sitios de la Ciudad. Daños en el campo y pequeños derrumbes de roca en la de sierra de Guadalupe.
38	1973 (23 de enero)	V - VII	5.3	"Para los habitantes de Ciudad <u>Satélite</u> , <u>Naucaipan</u> , <u>Tlalneantla</u> , y el noreste de la Ciudad de México, los dos temblores de la madrugada pasada fueron precedidos por fuertes ruidos o explosiones subterráneas al decir por muchos".
39	1979 (14 de Marzo)	Xi	7.6	Daños en la <u>colonia Roma y Centro</u> , destruyó la Universidad Iberoamericana en la colonia <u>Campestre Churubusco</u> Sismo de Petatlán
40	1985	XI - XII	8.1	Gran destrucción de la Ciudad de México, principalmente en las colonias: <u>Doctores</u> , <u>Tepito</u> , <u>Tlalteolco</u> , <u>Guerrero</u> , etc., sismo generado en las costas de Michoacán. Causó la muerte de más de 5000 personas (cifra oficial) aunque se estima que murieron 20 000 habitantes (Nava S. 1987).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPITULO III GEOMORFOLOGÍA

La morfología agrupa el conjunto de técnicas, procedimientos y métodos utilizados para determinar atributos configuracionales del relieve y, con base a ellos, conocer el sistema de relaciones que caracterizan las formas del terreno (Pedraza De, J. 1996).

Los atributos configuracionales hacen referencia a parámetros tales como: Límites, medida, fisonomía, posición y distribución de los componentes del relieve sobre la superficie terrestre; resulta por tanto evidente su fundamento topológico (geométrico o matemático) y fisiográfico (fisionómico o geográfico), *Ibidem*.

Por lo anterior, el análisis del relieve debe de iniciar con una caracterización de sus propiedades morfométricas; a su vez, deben confrontarse con los elementos fisiográficos de su entorno y que, en su conjunto, nos permita la clasificación del relieve.

### 3.1 Morfometría

La morfometría se ocupa de los parámetros espaciales con categoría geométrica, es decir, tipología y dimensiones de las formas del terreno, así como todo un conjunto de procedimientos matemáticos que sirven para su clasificación (Guide *et al.* 1994); Asimismo, Lugo H. J. (1988), menciona que el estudio de las formas del relieve parte de la cuantificación de determinados elementos lineales, puntuales y superficiales del mismo.

Debemos de entender que el objetivo de la morfometría es llegar a establecer correspondencias entre la geometría del terreno y los procesos que la originan, partiendo de la premisa de que no se debe dar un peso mayor al análisis geométrico del relieve frente al genético, es decir de la configuración frente a lo dinámico. Según Chorley (1962), lo configuracional es prioritario en geomorfología y constituye el sistema morfológico, dentro del cual debe ser fácil establecer relaciones "intrínsecas" o internas; dicho de otro modo, determinar relaciones que impliquen a las formas *per se* y no en tanto aparecen asociadas a unos procesos.

El análisis morfométrico del relieve del área en estudio se fundamenta en la elaboración de cartas temáticas que nos llevaron a caracterizar las propiedades dinámicas de los procesos. La base cartográfica de interpretación es a escala 1:20 000 (cartas topográficas del Sistema de Información Geográfica S. A. de México), aunque en algunos casos fue necesario modificar la escala de análisis (1:10 000 y 1:5 000). Con este punto de partida se caracterizó la morfología y los procesos modeladores en función de los siguientes mapas morfométricos.

#### 3.1.1 Pendiente del terreno

La pendiente señala el grado o porcentaje de inclinación del terreno respecto a la horizontal. Según Cooke y Doornkamp (1974), la pendiente del terreno es la variable más importante en el análisis de los procesos y la utilización del terreno. La diferenciación del territorio de acuerdo a rangos en grados o porcentaje de pendiente tiene los siguientes objetos: a) mostrar la relación entre la pendiente del terreno y las regiones geomorfológicas; y b) identificar procesos geomorfológicos relacionados con la pendiente del terreno.

Debido a lo complejo del relieve del área de estudio (dado por el contraste entre la montaña y la planicie), es conveniente, según Lugo, H. (1988), diferenciar grados de pendiente para cada tipo de relieve, lo cual, al conjuntarse permitirá un análisis sistemático y profundo, destacando las particularidades de cada tipo de terreno.

Los mapas de pendiente se elaboraron por medio de un Sistema de Información Geográfica (ILWIS - 2.3), utilizando para ello tres bases cartográficas: a) Mapa topográfico escala 1:50 000 de INEGI, Hojas Cuautitlan (E14 A58) y Ciudad de México (E14 A68), elaboradas en 1965; b) Base topográfica SIGSA escala 1:40 000 de las hojas México Centro y México Norte, elaborada en 1992; y c) Mapa Municipal de Tlalnepantla, Sistema de Información Municipal, escala 1:20 000, elaborado en 1994.

Así, debido al objeto de estudio que tiene cada mapa de pendientes, se diferenciaron dos análisis específicos, siendo los siguientes:

1. Mapa de pendientes del terreno y regiones geomórficas. Se constituye de cinco rangos de pendiente (Fig. 23):

- a) Menor a 1° de inclinación: corresponde a la planicie lacustre ubicada entre los 2235 metros y los 2250 metros de altitud; es una superficie ligeramente ondulada, transformada por los asentamientos humanos. Es una región netamente acumulativa y de drenaje deficiente.
- b) De 1° a 3° : corresponde a una zona de transición de origen lacustre - fluvial, ligeramente inclinada y ondulada que ocupa un rango altitudinal entre los 2250 y 2300 metros de altitud. En esta zona predominan procesos de acumulación proluvial. En este intervalo se incluyen elevaciones efímeras que corresponde a superficies de erosión, coladas de lava o edificios volcánicos parcialmente sepultados. Hay que mencionar que estos relieves "relictos" presentan cimas planas o ligeramente convexas que no superan los tres grados, en la mayoría de los casos.
- c) De 3° a 6°: Este rango esta representado por una rampa proluvial moderadamente inclinada que representa el piedemonte de la sierra de Guadalupe.
- d) De 6° a 18°: Están incluidas laderas de lava cubiertas por depósitos coluviales, material piroclástico, y en menor medida, depósitos proluviales. Se asocia al piedemonte volcánico de las sierras de Monte Alto – Monte Bajo.
- e) De 18° a 30° : Esta pendiente es característica de laderas rectas que definen elevaciones aisladas periféricas al conjunto que se conoce como "Sierra de Guadalupe". En esta categoría queda incluida la sierra "El Tigre", con más 2600 metros de altitud.
- f) mayores a 30°: Queda incluido el conjunto montañoso de la sierra de Guadalupe ( 2900 m de altitud). Las cimas agudas y las laderas de fuerte pendiente de origen volcánico se definen de manera precisa en este rango.

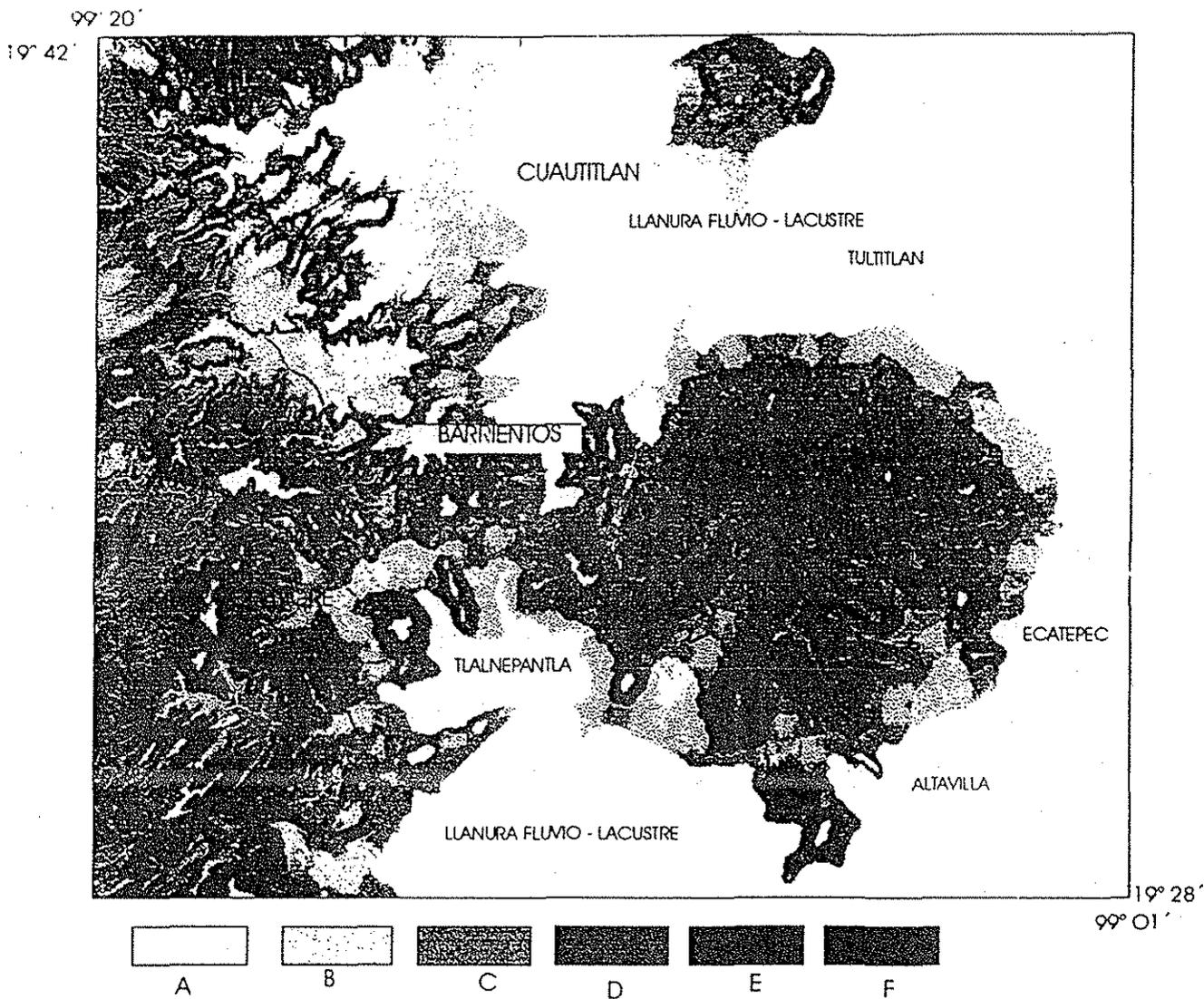


Figura 23. Mapa de pendientes y regiones geomorfológicas de la Sierra de Guadalupe y áreas adyacentes. Rangos: A) Menor a 1° (Planicie lacustre); B) De 1° a 3° (planicie lacustre - fluvial); C). 3° a 6° (Rampas proluviales); D) 6° a 18° (Laderas de premontaña); E) . Entre 18° y 30° (Laderas volcánicas y elevaciones aisladas); y F) Mayor a 30° (Conjunto montañoso).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 2. Procesos geomorfológicos asociados a la inclinación del terreno.

La relación entre la pendiente y los procesos modeladores esta representada en la Fig. 24. La dinámica a la que se hace alusión es de carácter erosivo, acumulativo o mixto. La interpretación de esta conexión se presenta de acuerdo a la metodología de Kugler H. (en: Demek J. et al. 1978), y su interpretación se hace a partir de rangos de pendiente, que hace evidente los procesos modeladores más dinámicos. Aunque éstos estudios se establecieron para zonas llanas y de procesos fluviales y periglaciales, el principio de relación se puede establecer para cualquier territorio.

Para una mejor comprensión del análisis, que a continuación se presenta, a cada rango de inclinación y su relación con el relieve se ha diferenciado y se reconoce en el mapa correspondiente (Fig. 24).

- a) Menor a 1°. Corresponde a la llanura fluvio – lacustre donde predominan procesos de inundación, erosión - acumulación eólica y fluvial (a nivel de canal) y hundimiento del terreno.
- b) De 1° a 3°. Se relaciona con diferentes unidades geomórficas: llanuras de origen fluvio – lacustre ligeramente inclinadas, piedemonte y cimas planas ligeramente inclinadas. Procesos de acumulación proluvial y fluvial son característicos de las dos primeras unidades, en tanto que los procesos de erosión areal (sea en mantos de erosión laminar o escorrentía difusa) de la última.
- c) De 3° a 7°. Se asocia con los depósitos de piedemonte, llanuras proluviales inclinadas, laderas de lava cubiertas de piroclastos y laderas constituidas de volcanoclastos. Aunque las formas son predominantemente acumulativas, existen procesos de erosión que se demarca por la disección fluvial en forma de barrancos de hasta 10 metros de profundidad, erosión lateral remontante y mantos de erosión laminar;
- d) De 7° a 15°, corresponde a laderas inferiores de montaña constituidas de coluviones, piedemonte fuertemente inclinado, conos coluviales o proluviales y laderas cubiertas de tobas. Es la transición clara entre la montaña y el piedemonte. Los procesos, aunque acumulativos (en forma de conos coluviales y proluviales), son primordialmente de carácter erosivo, barrancos de hasta 15 m de profundidad y circos de erosión fluvial remontante;
- e) De 15° a 30°. Laderas de lava y piroclastos, además de mantos coluviales, están relacionadas a este grupo de pendientes. Se encuentran disecadas por barrancos profundos (de hasta 20 m), los procesos de acumulación gravitacional y de flujos lodosos son predominantes, es una zona de transición entre la parte cumbral de las sierras de Guadalupe y El Tigre y las laderas bajas,
- f) De 30° a 45°. corresponde a la parte cumbral de las sierras y demarca las elevaciones aisladas; elementos del relieve como cimas y escarpas lineales (de carácter denudativo) son reconocibles; asimismo corresponde a laderas de valles profundos con morfología en "V" de la sierra de Monte Alto – Monte Bajo, la parte cumbral de la caldera de El Tigre y la escarpa de falla de Barrientos en dirección NE – SW son reconocibles, los procesos denudativos fluviales y gravitacionales dominan en este tipo de pendientes,
- g) de 45° a 60°, se relaciona con laderas cumbrales de lava, escarpas denudativas gravitacionales y afloramientos rocosos con procesos gravitacionales activos, asimismo, laderas rectas de valle profundos (de hasta 40 m) de la sierra de Monte Alto – Monte Bajo.

h) Mayor a 60°. Los afloramientos rocosos y escarpas gravitacionales activas, son los procesos más representativos en esta categoría.

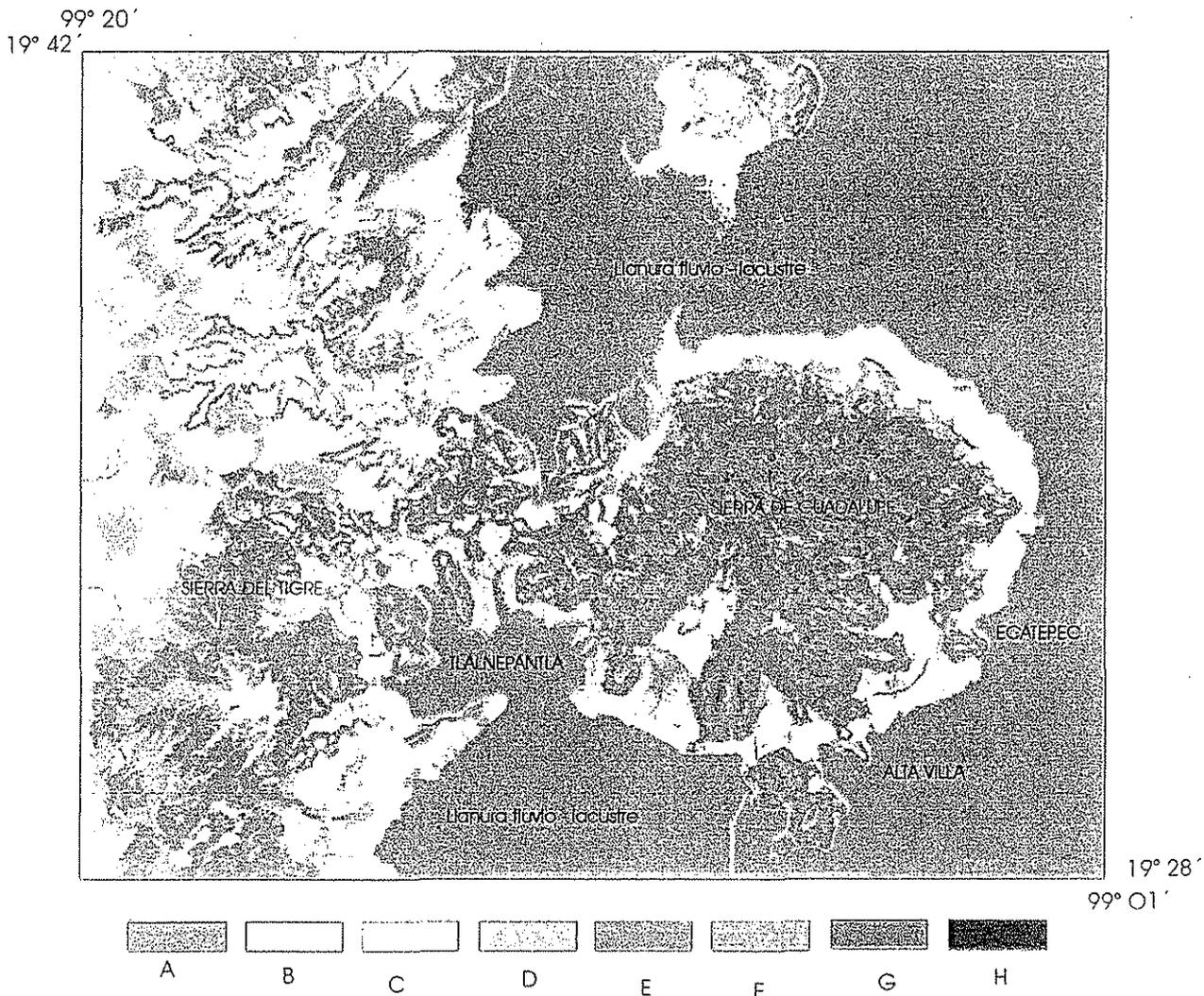


Figura 24. Mapa de pendientes de la sierra de Guadalupe y áreas adyacentes. Rangos: a) Mayor a 1°; B) 1° a 3°; C) 3° a 7°; D) 7° a 15°; E) Entre 15° a 30°; F) de 30° a 45°; G) 45° a 60°; H) mayor a 60°.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Considerando la inclinación del terreno, utilizando dos criterios, fue posible dividir la zona de estudio de acuerdo a sus atributos morfológicos y dinámicos. De esta manera, se pudieron reconocer relaciones específicas entre las unidades geomorfológicas y los procesos que las modelan. La Figura 25 muestra de manera gráfica los aspectos mencionados, además de destacar algunas observaciones en torno al uso del suelo.

Aunque existe una dinámica acumulativa en pendientes superiores a 7° a nivel del piedemonte, a manera de abanicos proluviales, y procesos gravitacionales (acumulativos), la erosión fluvial y la denudación dominan en las laderas de valle y montaña.

Finalmente, la elaboración de diferentes cartas de pendientes sugiere un análisis del territorio con la finalidad de relacionar esta propiedad morfométrica del relieve con procesos geomorfológicos que pueden llegar a ser peligrosos.

Figura 25. Relación entre la inclinación del terreno, la morfología y dinámica.

INCLINACIÓN DEL TERRENO EN GRADOS DE PENDIENTE		CARACTERÍSTICAS
Regiones geomorfológicas	Unidades del relieve y procesos	Morfología y procesos geomorfológicos <sup>1</sup>
Menor a 1°		Llanura lacustre acumulativa: Agrietamiento: desecación – compactación; hundimiento; inundaciones (en áreas de drenaje deficiente).
1° a 3°		Llanura fluvial – proluvial y rampas de piedemonte: Acumulativos: sedimentación; agrietamiento (desecación) e inundaciones.
3° a 6°	3° y 7°	Laderas de lava cubiertas de piroclastos; laderas de valle y piedemonte inferior: Acumulativos: sedimentación fluvial y depósitos gravitacionales Erosivos: laminar o en manto (areal), cárcavas y barrancos (lineal) Existen modificaciones al terreno: rampas y terrazas de hasta 10 m de altura.
6° a 18°	7° a 15°	Piedemonte y laderas inferiores de montaña; Acumulativos: depósitos gravitacionales Erosivos: barrancos y cárcavas (torrente) Existen modificaciones al terreno: escarpas y rampas fuertemente inclinadas terrazas de hasta 20 m de altura.
18° a 45°	15° a 30°	Laderas: inferiores y medias de montaña; y de valle: Acumulativos: depósitos gravitacionales Erosivos: barrancos, saltos de cabecera y circos activos Existen modificaciones al terreno: terrazas de hasta 40 metros de altura, escalinatas y laderas montañosas cubiertas por placas de cemento.
	30° a 45°	Laderas montañosas de lava Acumulativos: depósitos gravitacionales Erosivos: barrancos y circos fluviales activos; circos de desprendimiento Existen modificaciones al terreno: Terrazas, escalinatas, cauces canalizados y anfiteatros de erosión fluvial cubiertos por placas de cemento.
Mayor a 45°	45° a 60°	Laderas superiores de montaña: Acumulativos: depósitos gravitacionales (coluviones "colgados"). Erosivos: circos de desprendimiento, cabeceras fluviales (circos).
	Mayor a 60°	Porción cumbre (Afloramientos rocosos y escarpas): Erosivos: circos de desprendimiento activos: vuelcos.

<sup>1</sup> La presencia de estos procesos varía en función de las condiciones que los generan (temporales – espaciales).

### 3.1.2 Geometría de laderas :

Caracterizar la geometría de las laderas en función de su morfología tridimensional es determinante en la clasificación del relieve. Así, las propiedades geométricas de las vertientes nos muestran configuraciones, que al relacionarse con otros elementos morfológicos (litología, pendiente, orientación y procesos) permite su clasificación y la determinación de la dinámica de los diversos procesos que actúan sobre ellas (Kugler, en Demek 1976).

Richter (1962), señala que los perfiles de las vertientes pueden de tipo cóncavo, convexo o recto. En tanto que, la dirección del movimiento de los materiales sobre la superficie de la ladera, puede ser convergente, divergente o paralelo. La figura 27 muestra esta relación, dando por resultado las siguientes categorías.

PERFIL \ DINAMICA	CONVENO	RECTA	CONCAVO
DIVERGENTE			
PARALELO			
CONVERGENTE			

Figura 26. Tipos de laderas a partir de su configuración tridimensional (Richter, 1962 y Kugler, en Demek 1976).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La identificación de cada tipo de laderas, en la zona de estudio, se logra mediante la interpretación de curvas de nivel y fotografías aéreas a escala 1:19 000 y 1:75 000. Cabe destacar que este análisis fue aplicado para el piedemonte y la montaña, debido a que los contrastes altitudinales de estas dos unidades fueron los más representativos para aplicar la metodología que se presenta. La caracterización se hace en función de los conjuntos montañosos principales: sierra de Guadalupe, sierra de Barrientos y sierras de El Tigre – Monte Alto – Monte Bajo.

El Figura 27 muestra la distribución del tipo de las laderas según su geometría, en la interpretación se relacionan elementos morfológicos, la inclinación del terreno, la litología, las formas del relieve y los procesos morfodinámicos más representativos. Este conjunto de relaciones se sintetiza en la Figura 28 y a continuación se presenta un análisis:

- a) Convexas - divergentes. Para la zona de estudio, corresponden a laderas de origen volcánico (andesita y riolita), con pendientes de hasta 30° de inclinación, donde procesos de erosión laminar y en manto, son los representativos, estas condiciones se observan en los "cerros" de Tenayo y Chiquihuite (Figura 29).

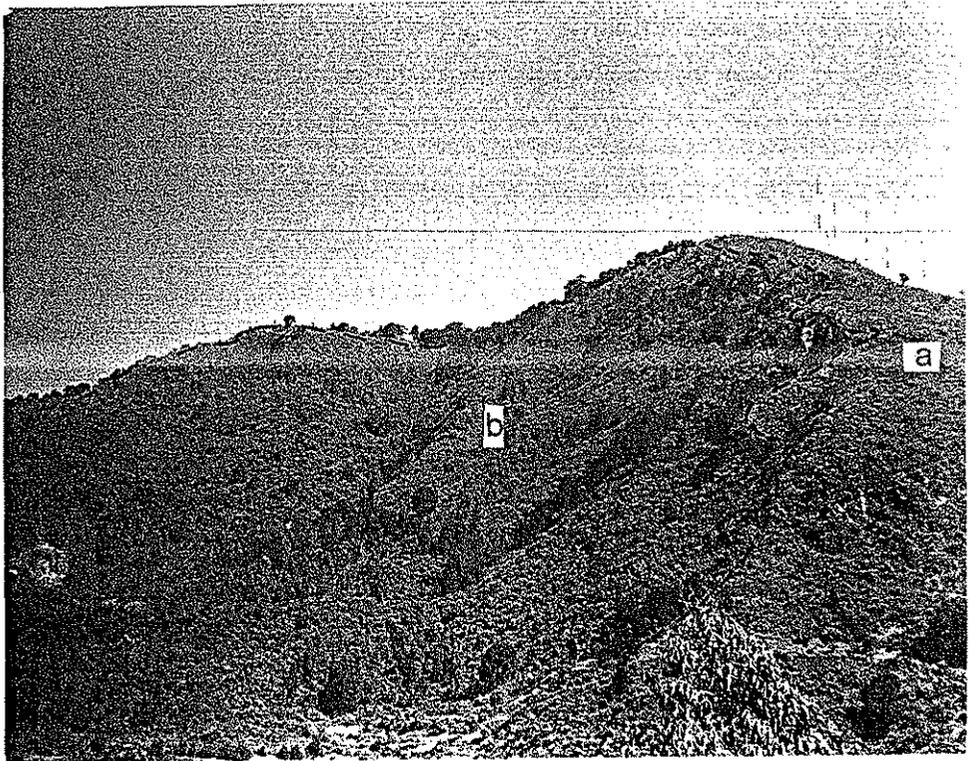


Figura. 29. Ejemplo de laderas: a) Ladera convexa – divergente y b) ladera cóncava – paralela; ambas en la sierra de Guadalupe.

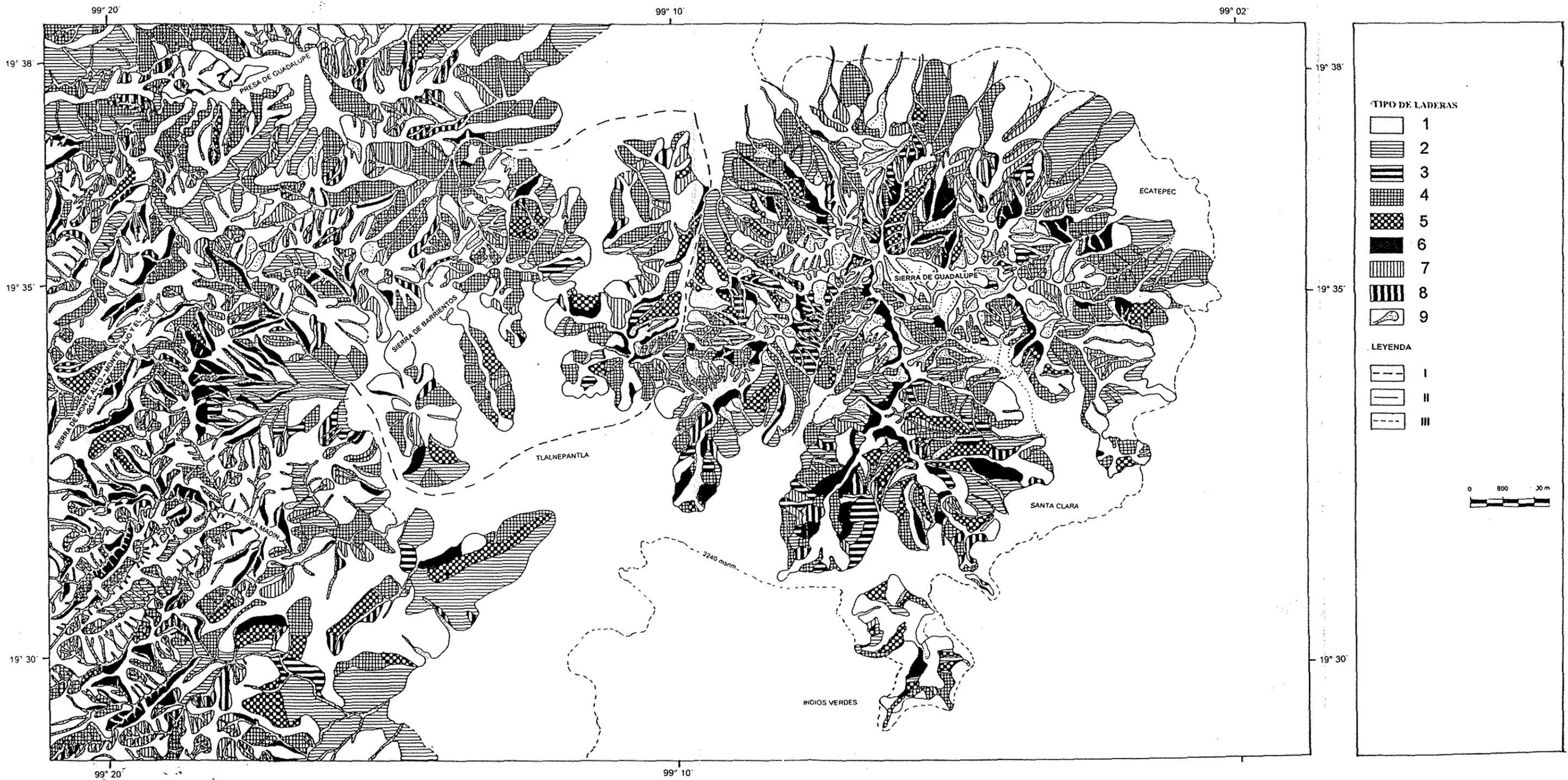


Figura 27, Distribución de la geometría de laderas en el área de estudio. Tipos de laderas: 1. Convexo – divergente; 2. Recta – divergente; 3. Cóncavo – divergente; 4. Convexo – paralela; 5. Recta – paralela; 6. Cóncavo – paralela; 7. Convexo – convergente; 8. Recta – convergente; y 9. Cóncavo – convergente. Símbolos complementarios: I. Sistema de sierras principales; II. Límite entre el tipo de laderas; III. Curva de nivel de 2240 msnm.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**FIGURA 28**

Relación entre la geometría de las laderas, la morfología, la inclinación, litología, la morfología, las formas del relieve y dinámica

FORMA Perfil movimiento		MORFOLOGIA	PENDIENTE	LITOLOGIA	FORMAS DEL RELIEVE	PROCESOS
Cóncava	Divergente	Conjuntos montañosos	Variable y siempre mayor a 25°	Riolitas y andesitas	Estructuras volcánicas (calderas, domos y edificios volcánicos con diferente grado de modelado). Cimas interfleuves amplias; escarpas de falla y de desprendimiento.	Erosión remontante en las cabeceras y a lo largo del curso de los barrancos (saltos); Gravitacionales: vuelcos y desprendimientos.
Convexa Recta Recta	Divergente Paralela Convergente	Estribaciones de montaña y elevaciones aisladas	Fuertes: de 25 a 30° Suaves: menor a 6° (en cimas interfleuves)	Riolitas densamente fracturadas y andesitas	Domos volcánicos Cimas interfleuves; escarpas y cambios de pendiente (erosivos y litológicos) Paredes rocosas y valles profundos con morfología en "V"	Avalanchas de erosión laminar e incisión del cauce. Gravitacionales: vuelcos y desprendimientos.
Cóncava Convexa Cóncava	Paralela Convergente Convergente	Zona de transición entre las elevaciones de montaña y el piedemonte	Moderadas: entre 8 y 15°	Basaltos, andesitas y riolitas: material no consolidado de origen volcánico acumulaciones proluviales y coluviales	Domos y paredes rocosas. Circos y escarpas de erosión y desprendimiento. Conos coluviales y de eyección. depósitos de derrumbe (lóbulos). Pequeñas depresiones aisladas (nivel de base local)	Erosión remontante en las cabeceras y a lo largo del curso de los barrancos (saltos) laminar. Erosión difusa, superficies de erosión laminar. Gravitacionales: Vuelcos y deslizamientos Acumulaciones proluviales en mantos
Recta Convexa	Divergente Paralela	Piedemonte	De baja inclinación; entre 6 y 8°	Andesitas Depósitos no consolidados de origen volcánico y erosivo Depósitos no consolidados de coluvión, proluviación y aluvión	Rampas de acumulación: formadas a partir de depósitos proluviales; acarreos.	Avalanchas de erosión laminar y superficies de escorrentía difusa; ensanchamiento del cauce por socavación lateral Gravitacionales: reptación, y expansiones laterales del suelo

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- b) Rectas - divergentes. Están representadas por superficies de gran longitud. Su origen es ígneo (coladas de lava y escarpes); la pendiente llega a ser mayor a los 30° (en la mayoría de los casos); otras formas de relieve asociada a esta geometría son los conos de eyección y un piedemonte moderadamente inclinado. La pendiente en ambos casos es de 7°. Los procesos que predominan son acumulativos, se asocian a la dinámica fluvial y proluvial, no obstante también se reconocen mantos de escorrentía difusa y laminar. La orientación preferencial de estas laderas, en la sierra de Guadalupe, es 10° NE (Figura 30), el ejemplo tipo está localizado en las inmediaciones de Ecatepec y Altiavilla; Por otro lado, en la sierra "El Tigre", la orientación es 30° NE y coinciden con depósitos de lahares, flujos piroclásticos y conos de eyección formados por los ríos Cuatlitlán; Tlatleplanta, Los Remedios y San Javier, a diferencia de las laderas que se localizan en la sierra de Guadalupe, éstas son de menor inclinación (de 3° a 6°). Finalmente, las vertientes que constituyen la sierra de Barrientos se orientan 50° - 60° SE, donde las formas del relieve que las definen son conos de eyección y coladas de lava de moderada inclinación (de 3° a 12°). Los procesos acumulativos fluviales y los de erosión laminar y manto son los representativos.
- c) Cóncavas - divergentes. Caracterizan laderas montañosas modeladas por diferentes agentes exógenos, de igual manera es posible reconocerlas en el piedemonte (donde la pendiente es menor a 3°). La dinámica y las formas del relieve en este rango son variadas y la relación con los procesos que las modelan es compleja. Los agentes fluviales están representados por una erosión areal (alvéolos de erosión laminar) y lineal (barrancos); la acumulación asociada a los anteriores, esta representada por mantos proluviales y diluviales. Por otro lado, se observó que las laderas montañosas también tienen influencia gravitacional, en este caso existe una relación muy clara entre los circos de desprendimiento, los escarpes y los depósitos que caracterizan a cada uno de ellos (lóbulos de deslizamiento y coluviones). La orientación de este tipo de laderas que es más frecuente en la sierra de Guadalupe es 60° NW y menor en la sierra El Tigre - Monte Alto - Monte Bajo, donde se orientan 80° NE y 70° SE; en estas sierras los depósitos aluviales y de abanico se asocian a los ríos Cuatlitlán y los Remedios. Finalmente, en la sierra de Barrientos se orientan en dirección 10° NE 10° SW, y la forma del relieve que la define es una planicie ligeramente inclinada, localizada en el poblado de Buena Vista.
- d) Convexa - paralela. La región montañosa y de piedemonte son las zonas representativas de esta categoría. En el primer caso la inclinación no supera los 25° y se asocia a afloramientos rocosos de andesita, en esta zona se localizan las cabeceras de los principales barrancos y valles, la dinámica característica es la gravitacional que ha definido formas del relieve específico: escarpas y circos de desprendimiento, y depósitos coluviales al pie de los mismos. La segunda, con una inclinación menor a 12°; la dinámica exógena no es tan agresiva, está representada por escorrentía difusa que genera depósitos efímeros de mantos proluviales. La orientación de este tipo de vertientes es radial en la sierra de Guadalupe y Barrientos, en tanto que en la del Tigre - Monte Alto - Monte Bajo la orientación preferencia es 30° NW, misma que es perpendicular a la disposición del sistema de valles que cortan la sierra.

---

Sólo se muestran las gráficas de este tipo de laderas; para una observación detallada de las orientaciones en otros tipos de laderas, remitirse al anexo de la tesis

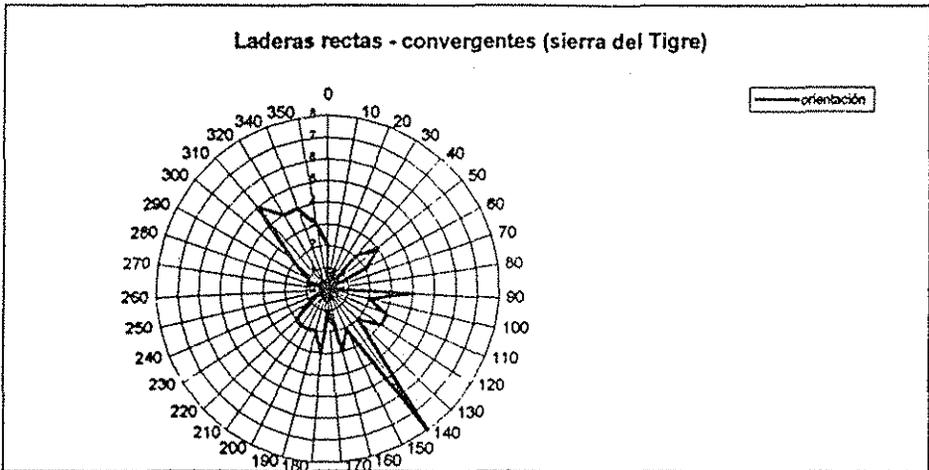
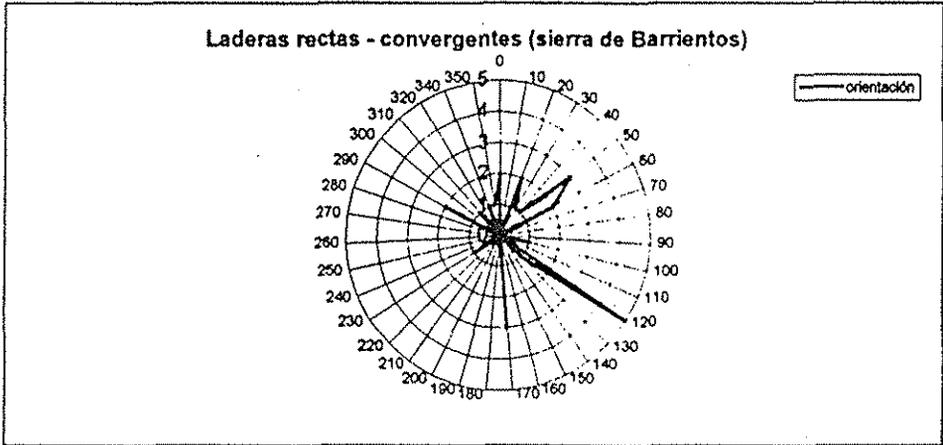
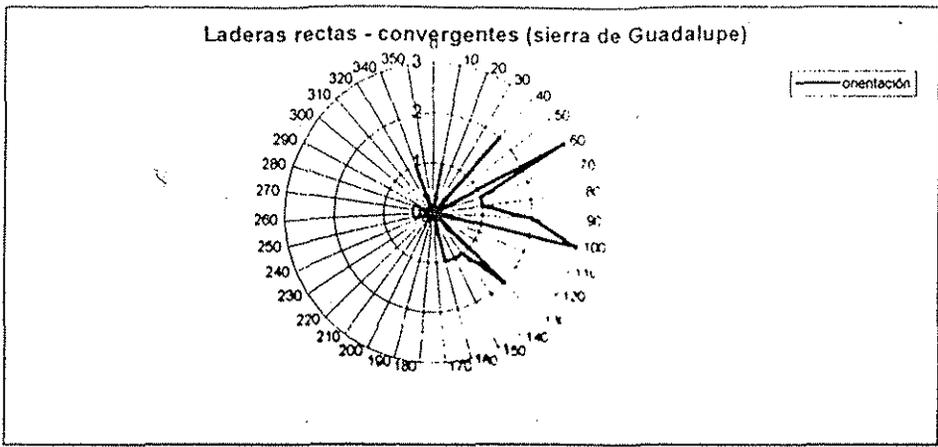


Figura 30. Orientación de las laderas recto - divergentes.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

- e) Rectas - paralelas. Este tipo de laderas es característico de la región montañosa y de las elevaciones aisladas. La inclinación es superior a los 30°; están constituidas de lavas andesíticas y en algunos casos se asocian con escarpas de falla francas. La orientación que predomina es 50° NW – SE. La forma del relieve más representativa son las laderas que definen valles profundos y que adoptan una morfología en "V".
- f) Rectas - divergentes. Son frecuentes de la zona de montaña, donde la pendiente supera los 30°. No se logró establecer una relación directa con el tipo de materiales, sin embargo, fue posible relacionarlas con los procesos gravitacionales. La orientación para la sierra de Guadalupe, es perpendicular a las fallas y coinciden con las escarpas correspondientes 30° NW - SE. En tanto que en la sierra del Tigre – Monte Alto – Monte Bajo, la dirección es perpendicular a los valles del río San Javier, Tlalnepantla y los Remedios, cuya morfología de los valles es en forma de "V".
- g) Convexo - convergentes. Presentes en laderas de montaña, elevaciones aisladas y piedemonte; la pendiente supera en la mayoría de los casos los 15°. Para la porción montañosa y elevaciones aisladas la litología que la define es de andesitas, basaltos y riolitas. Siendo los materiales de acarreo los que definen el piedemonte. Los Procesos fluvial han alcanzado un gran desarrollo en estas formas y están representados por cabeceras, barrancos y mantos de erosión laminar. Por las características de la pendiente, los gravitacionales están presentes de manera muy dinámica en las escarpas. Las orientaciones son heterogéneas y no guardan una dirección preferencial.
- h) Rectas - convergentes. Se presenta en la región de montaña y elevaciones aisladas, la inclinación del terreno es superior los 25°, se asocia a andesitas y riolitas densamente fracturadas y materiales de la Formación Tarango. Procesos de erosión fluvial (barrancos profundos en forma de "V") y gravitacional (escarpas y nichos de desprendimiento) están presentes. En la sierra de Guadalupe se identifican dos orientaciones preferenciales: SW 80° NE y SE 50°, coincidiendo con el patrón estructural de fallas regionales. En la sierra de Barrientos se concentra la orientación al Este, lo cual se explica por la orientación de coladas de lava y domos "alargados". Por otro lado, en la sierra "El Tigre" este tipo de laderas se orienta en la forma ortogonal (NW 50° SE), lo cual denota el carácter estructural.
- i) Cóncavas - convergentes. Las características litológicas, morfológicas, dinámicas y de orientación coinciden con el apartado anterior, a excepción de la inclinación que es de 15°.

#### *Consideraciones generales en torno al tipo geométrico de las laderas*

El tipo geométrico de las laderas tiene un peso considerable en la clasificación del relieve. Se debe considerar que la diferenciación de las mismas es un modelo, quizá un poco simplista, sin olvidar que las formas pueden ser más complejas. Esta primera aproximación permitió, al relacionarla con el tipo de materiales y la pendiente, definir patrones generales donde se relaciona con las formas del relieve y su génesis, en algunos casos, se llegó a establecer procesos que se llevan a cabo en cada una de ellas. Sin embargo, es necesario mencionar que en el análisis de la geometría de laderas deben considerarse otros elementos, tales como la cobertura vegetal, la orientación de las vertientes, el micro clima, la humedad, entre otros. La aproximación que se realizó sirve sólo como un acercamiento al estudio del relieve, que debido a la falta de elementos e información no fue posible realizarlo a profundidad.

### 3.1.3 Lineamientos del relieve

El mapa de estructuras disyuntivas tiene por objeto mostrar los principales elementos lineales en el relieve, su expresión en el mismo y su origen. Estas disyunciones se disponen en una dirección dominante, en la mayoría de los casos, y su actividad está condicionados a la dinámica endógena (Lugo H., 1989). El análisis que se presenta tiene como punto de partida la explicación de las concentraciones (densidad) y la expresión morfológica en el terreno de las fracturas o fallas.

El reconocimiento y estudio de las disyunciones se desarrollo con base en métodos indirectos y de campo. Los primeros se realizaron a partir de la interpretación visual de 8 modelos digitales del terreno (MDT), cada uno con una fuente de luz distinta (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW, Figura 31). Para la elaboración de los MDT se utilizo la base topográfica a escala 1:20 000. De igual modo, se interpretaron un total de 42 fotografías aéreas en dos escalas (1:19 000 y 1:75 000). Los resultados obtenidos en cada caso sirvieron para integrar el mapa de disyunciones de la zona de estudio (Figura 32).

En el campo se pudo reconocer y asociar las estructuras disyuntivas a formas del relieve específicas; del mismo modo, se caracterizaron los movimientos relativos y las orientaciones preferenciales. Con estos datos fue posible verificar y, en algunos casos, establecer la importancia de las fracturas y fallas en el modelado.

#### *- Distribución y análisis espacial de las disyunciones (densidad)*

El mapa de densidad de fracturas (Figura 33) muestra la longitud total de estas estructuras en una superficie determinada. El área de muestreo representa 1 cm<sup>2</sup>, en un mapa escala 1:40 000, lo que equivale en el terreno a una superficie de 1.6 km<sup>2</sup>. En ésta se midió la longitud total de fallas y fracturas, el total fue dividido entre el valor de la unidad de muestreo (1.6 km<sup>2</sup>); de esta manera se obtuvo un mapa de isolíneas que muestran las distintas densidades de estructuras disyuntivas en el terreno.

Los resultados que se obtuvieron comprenden valores que van de uno a trece kilómetros lineales sobre una superficie de 1.6 km<sup>2</sup>. Con el fin de analizar los índices obtenidos y poder establecer una relación directa con el relieve, se establecieron siete rangos que de manera convencional y tomando en cuenta las regiones geomorfológicas ponen de manifiesto la importancia de la existencia de las estructuras disyuntivas en el relieve.

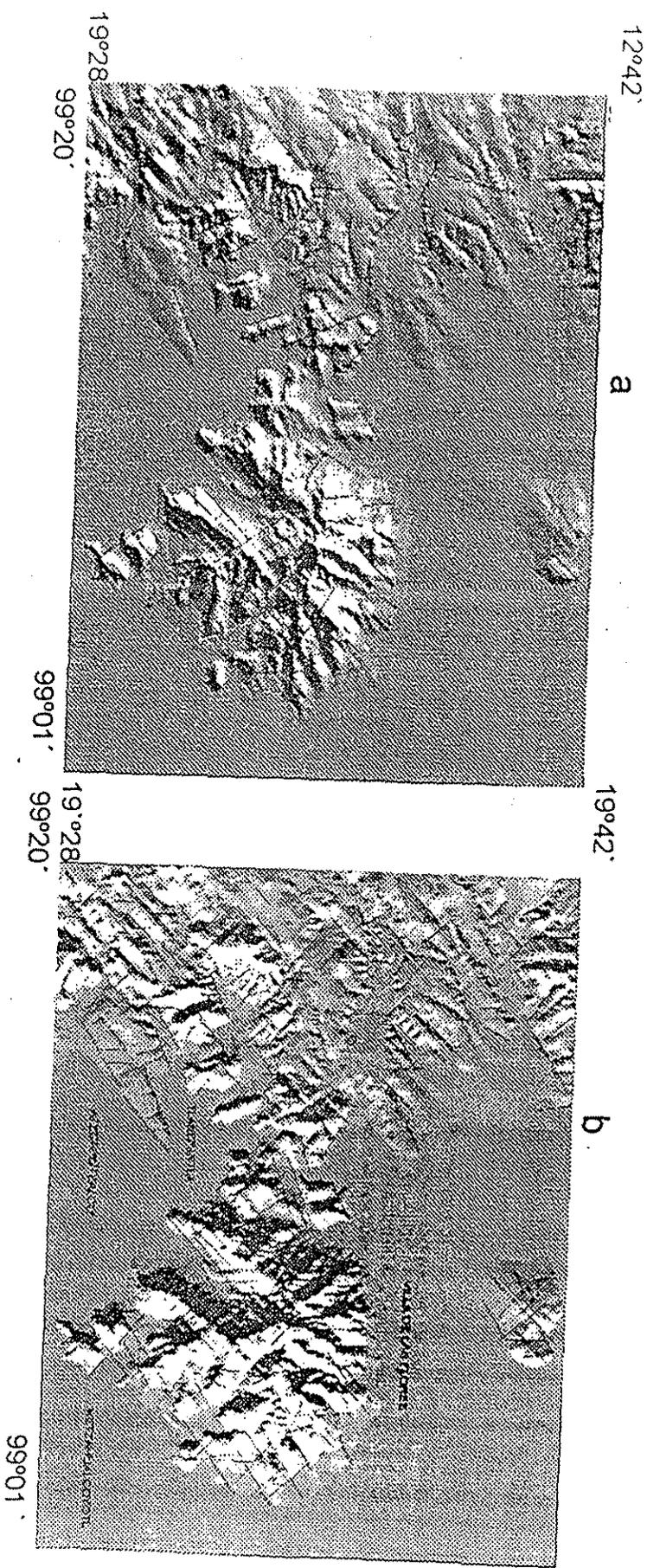


Figura 33 . MDT del área en estudio con fuente de luz: a) Noreste; b) Sureste. Se muestran los lineamientos inferidos por interpretación visual.

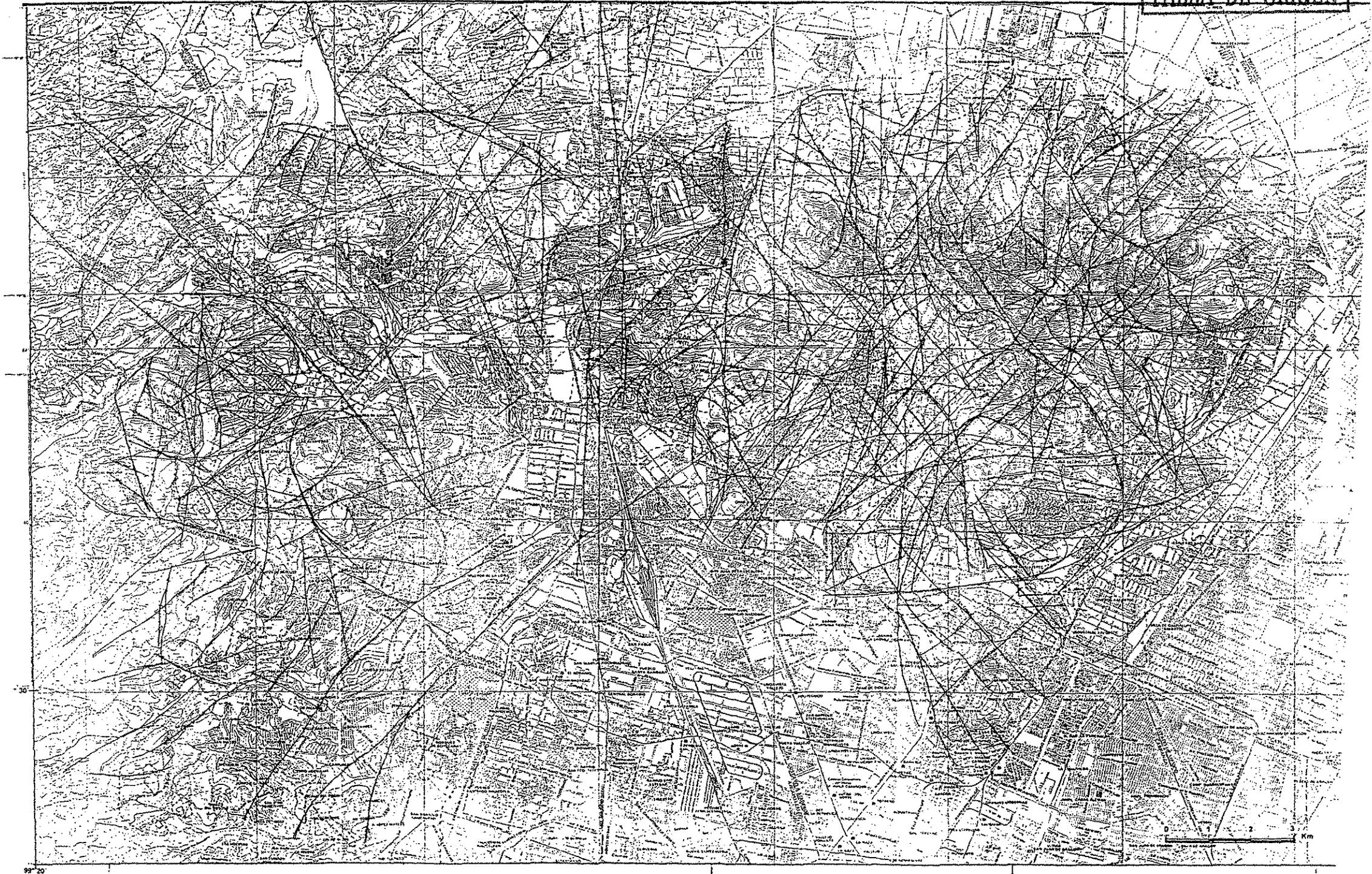
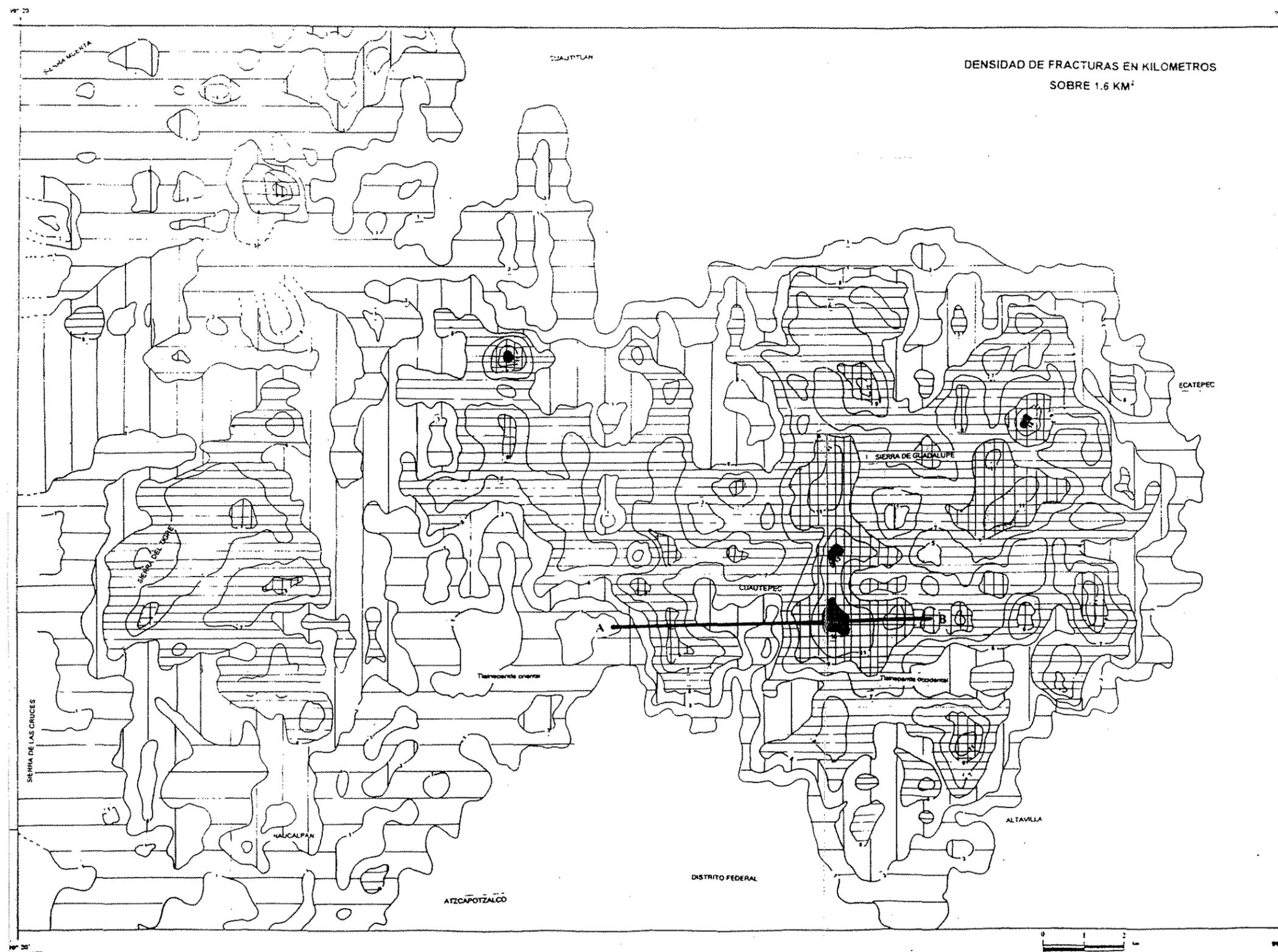


Figura 3 . Lineamientos del relieve en el área de estudio.



MAPA DE DENSIDAD DE FRACTURAS  
KM/KM<sup>2</sup>

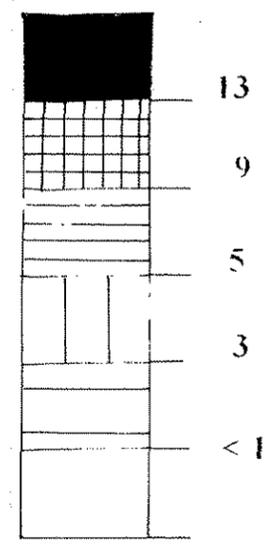


Figura 33. Mapa de densidad de fracturas en kilómetros sobre 1.6 km<sup>2</sup>. Se muestran las isoclinas de igual valor en Km. A - B corresponde a la ubicación del perfil de fracturamiento.

a)  $< 1\text{km}/1600\text{m}^2$ . Ocupa la parte más deprimida de la cuenca de México para el sector que circunda la Sierra de Guadalupe; este valor debe de tomarse con mucha reserva, con seguridad no es representativo. Si se revisa el método de análisis que se utilizó para identificar las estructuras disyuntivas, basadas en la expresión en el relieve de las mismas, no es posible reconocerlas en superficies acumulativas debido a que es probable que estén sepultadas. Esto último debe de hacerse notar como una deficiencia del método utilizado. Valores similares caracterizan la región montañosa y de piedemonte de la sierra de Monte Alto – Monte Bajo, donde predominan tobas y materiales volcánicos retrabajados, si bien esta presente, no se observa un patrón o tendencia definida.

b) De 1 a 3  $\text{km}/1600\text{m}^2$ . Este rango de densidad se distribuye en tres regiones. La primera, en el piedemonte de la Sierra de Guadalupe y El Tigre, siguiendo la trayectoria de los valles y barrancos, así como los depósitos asociados (abanicos proluviales). La segunda región esta ubicada en la sierra de Monte Alto Monte Bajo, sobre materiales de toba y piroclástos que presentan una morfología de rampas onduladas y de poca inclinación. Finalmente, la tercera se presenta en las depresiones intermontanas que son límites geomorfológicos o zonas de transición hacia la montaña, en este caso el ejemplo más representativo se observa entre la sierra el Tigre y la pequeña sierra de Barrientos. En este apartado hay que mencionar, que la fosa de Cuauhtepc queda bien diferenciada por isolíneas que denotan distintas densidades, El perfil de fracturamiento (figura 34) muestra la heterogeneidad de estos valores, concentrándose en las líneas de falla. Esta particularidad hace que el diseño semicircular que presentan las isolíneas en conjunto sea interrumpido.

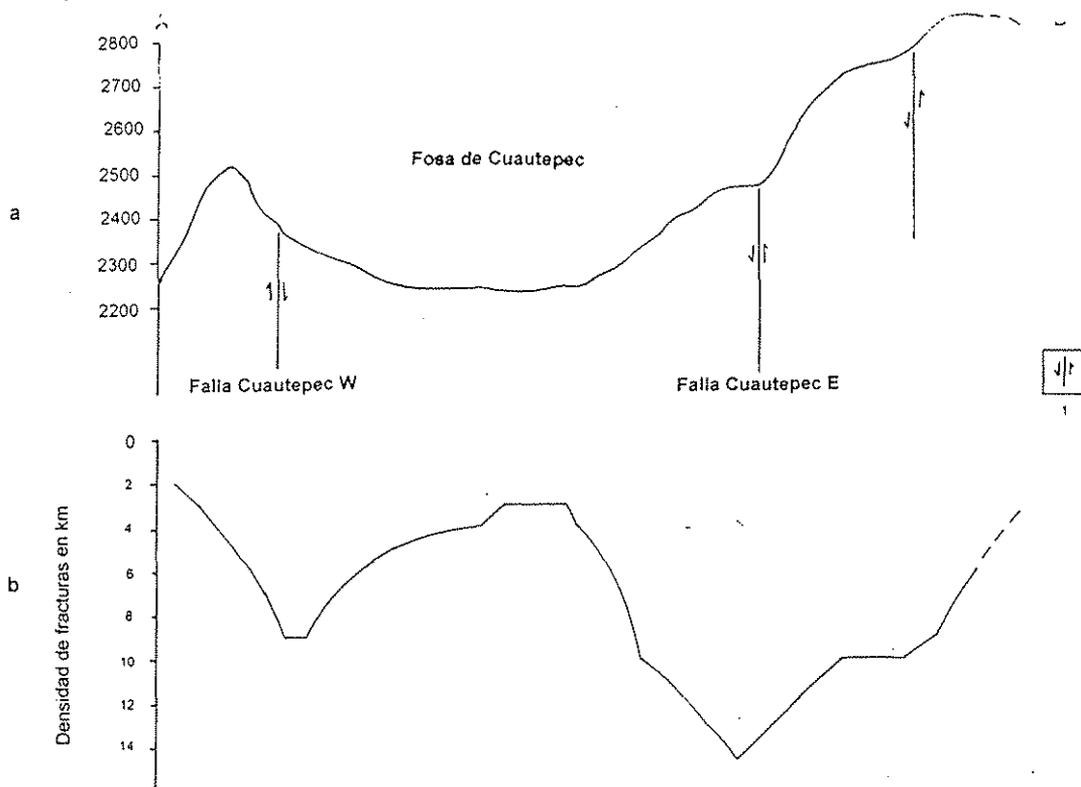


Figura 34. Perfil de Fracturamiento: a) Representación del relieve, y b) Representacion de la densidad de fracturas. 1. línea de falla.

c) De 3 a 5 km/1600m<sup>2</sup>. Este rango se presenta en laderas de premontaña y piedemonte que corresponden a la sierra El Tigre y Guadalupe. En el primer caso, el área que ocupa estos valores es amplia y se dispone preferentemente en la región de premontaña, donde el relieve presenta morfologías muy variadas y marcadas amplitudes altitudinales relativas. En la sierra de Guadalupe, los mismos valores se disponen sobre un piedemonte incipiente que bordea el conjunto montañoso. Aquí el relieve es homogéneo en cuanto a morfología y desniveles altitudinales relativos, debido a que se trata de una rampa acumulativa. La fosa de Cuauhtepic también se reconoce en este rango.

d) De 5 a 9 km/1600m<sup>2</sup>. Definen claramente la región montañosa de las sierras de Guadalupe y El Tigre. Se definen orientaciones preferenciales de la configuración de densidad, principalmente N – S, SE – NW y NE – SW. Los elementos tectónicos principales son las fallas de Cuauhtepic E y W, Texcoco W, Barrientos, Mixihuca, Monte alto – Monte Bajo y Chapultepec (Figura 35). Las tres primera seccionan la sierra de Guadalupe formando una fosa y un sistema de bloques escalonados al sureste. La falla Mixihuca, con una longitud de más de 4 kilómetros, trunca el sector oriental de la caldera del Tigre. Fallas con longitud menor a 2 km se reconocen en el campo volcánico de María auxiliadora, Barrientos y en los pilares que limitan la fosa de Cuauhtepic.

e) De 9 a 11 km/1600m<sup>2</sup>. Se distribuye en el sector occidental de la región montañosa de la sierra de Guadalupe, cuya litología esta constituida de Riolitas del Mioceno y el basalto Cuauhtepic. Éstas son las rocas de mayor edad, por lo que se infiere que se encuentran deformadas por los diferentes episodios tectónicos. Al mismo tiempo representan la parte cumbral (cimas interfluviales) de los conjuntos montañosos. La orientación preferencial es NE- SW y están bien representadas por las escarpas de fuerte pendiente que limitan las fosas de San Juan Ixhuatepec, Buena Vista, Las Cruces y Barrientos, presentando desniveles topográficos de hasta 100 m (Fig. 35). Asimismo, el sistema radial de fracturas y fallas N-S que definen la caldera El Tigre. Cabe destacar la presencia de otros sectores con estos valores de densidad en la sierra El Tigre y en la de Monte Alto – Monte Bajo, que se asocian principalmente a valles con cambio abrupto en la dirección, los ángulos de cambio varían de 86° a 120°, sin embargo la mayoría es de 90°, así afluentes de los ríos Cuautitlan, Tlalnepantla y San Andrés muestran estas estructuras.

f) Mayor a 13/1600m<sup>2</sup>. Se distribuyen exclusivamente en la sierra de Guadalupe, específicamente en el sector occidental de la fosa de Cuauhtepic, manifestando las líneas de falla y fracturas en dirección N – S y NE – SW, corresponden a la porción más elevada de la sierra.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

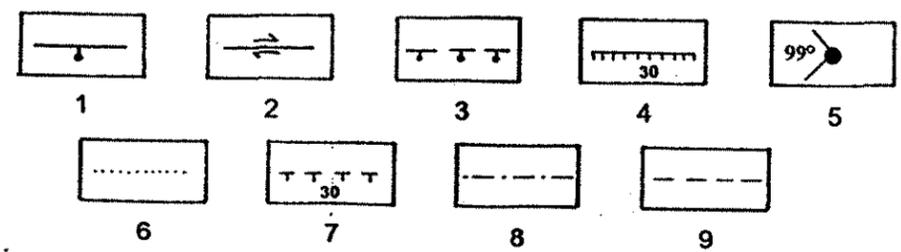


Figura 35. Expresión de los principales elementos lineales en el relieve: *De primer orden*; a. Tectónicos: 1. Falla normal, mostrando la dirección del bloque hundido; 2. Falla transcurrente, mostrando la dirección relativa de desplazamiento. b. Geomorfológicas: 3. Falla normal inferida, escarpa y ruptura de pendiente. De segundo orden: a) Tectónicos; 4. escarpas y rupturas de pendiente mostrando el desnivel en metros; b) Tectónico - fluvial; 5. Cambio abrupto en la dirección de valles fluviales, se muestra el ángulo de cambio; c) Erosivo - acumulativo; 6. Valles con morfología en "V"; 7. Escarpas y pendientes denudatorias, mostrando el desnivel en metros; d) Mixtos; 8. Sectores lineales de parteaguas con cimas de diferente génesis. De tercer orden; 9. Lineamientos no diferenciados, sin evidencias geológicas - geomorfológicas

- *Consideraciones en torno al estudio de los lineamientos del relieve.*

El análisis de las estructuras disyuntivas nos permitió reconocer aquellos sectores del terreno donde su concentración favorece la intensidad de los procesos modeladores del relieve. De igual manera, fue posible identificar patrones preferenciales de orientación (NE – SW y N-S) y su expresión en el relieve (escarpas, valles profundos y patrones de drenaje paralelos y subparalelos). Estos ejemplos tienen una estrecha relación con el patrón tectónico de fallas y fracturas regionales ya mencionados.

La identificación de las estructuras disyuntivas se realizó tomando en cuenta la expresión de éstas en el relieve, por tal motivo en la planicie y en el piedemonte no fue posible reconocerlas con precisión. Esto obedece al continuo proceso de acumulación de las dos regiones mencionadas que cubren las estructuras disyuntivas, haciendo difícil su reconocimiento por los métodos empleados. Si el objetivo es identificar fallas y fracturas o detallar estas regiones en cuanto a la existencia de disyunciones, es recomendable utilizar otro tipo de metodología, que bien puede ser la gravimetría.

### 3.1.4 Aspectos hidrográficos: procesos y formas del relieve

La caracterización de los aspectos hidrográficos, se hace a partir del análisis de los sistemas fluviales y lacustres se fundamenta en las propiedades morfológicas de los mismos. Kugler H. (en: Demek J. y Embleton C. Op. Cit.) menciona que a los cuerpos de agua (ríos y lagos) es posible estudiarlos de acuerdo a sus propiedades morfométricas (longitud, ancho, orden fluvial, tipo de valle, patrón fluvial, altitud, entre otras) e hidrológicas (carga, escala – tirante de agua-, arrastre, erosión y transporte).

Este apartado tiene por objeto caracterizar los procesos fluviales mediante la identificación de las propiedades morfométricas de la configuración fluvial, orden fluvial y longitud, su relación con las regiones geomorfológicas y formas del relieve; conjuntamente, relacionar aspectos hidrológicos como la gasto y escala -tirante de agua-. Para la planicie lacustre, la evolución de la desecación del lago y la identificación de la extensión de la región geomorfológica de la planicie lacustre.

En el estudio de estos aspectos, se tomaron en cuenta:

- a) Identificación del sistema de fluvial (talweg, canales y cuerpos de agua) por medio de interpretación de fotografías aéreas a diferentes escalas (1:19 000 y 1:35 000) y mapas topográficos a escala 1:20 000; a su vez se diferenciaron en: permanentes y temporales.
- b) Interpretación de la configuración de la red fluvial. Según Spiridonov (en: Chikischev 1973), la configuración de la red fluvial refleja los principales rasgos de la estructura geológica, determinando, en la mayoría de los casos formas del relieve, así, las configuraciones pueden ser pinadas, paralelas, anulares, radiales, etcétera. Conjuntamente, estos ríos tienen un orden donde los de primer a tercer orden manifiestan el carácter erosivo, en tanto que ordenes mayores, de cuarto o quinto en adelante, señalan el control estructural de formas mayores o tectónicas (Strahler, En: Guide 1990),
- c) Para los ríos y canales que cuentan con estaciones hidrométricas se elaboraron gráficas y tablas de los niveles máximos y mínimos de gasto (volumen cúbico de agua transportado; en  $m^3/s$ ) y escala (altura máxima y mínima del río; en metros de altura). Según Bedient B. y Huber W. (1992), el gasto y la escala – tirante de agua-, relacionada con información de precipitación, inundaciones y sequías permite señalar la frecuencia y magnitud. Solo se tiene información de 3 estaciones hidroclimáticas pertenecientes a la Comisión Nacional del Agua (CNA); los periodos de análisis son diferentes, siendo el máximo de 60 años y el mínimo de 11.
- d) Reconocimiento de la variación de la rivera lacustre en diversos periodos con base en fuentes bibliográficas y mapas antiguos. Se consideran tres mapas históricos donde se define la rivera lacustre en la proximidad de la sierra de Guadalupe. Estos mapas se seleccionaron debido a tres aspectos: 1. El del S. XVI por ser una referencia precolombina de la extensión del lago; 2. De 1630, por reconocerse los poblados de Tlalnepantla, Ecatepec y Cuautitlán (zona de estudio); asimismo por obedecer a una representación gráfica de la máxima extensión del lago en las inundaciones de ese año, y 3. El de 1915 por ser uno de los primeros mapas georeferenciados de esta área y por mostrar ya las modificaciones producto de la desecación y desagüe los lagos.

e) El trabajo de campo permitió verificar, corregir y en algunos casos caracterizar formas del relieve que no era posible detallarlas en fotografías aéreas; es el caso de los valles obturados, que fueron diferenciados en dos grupos a partir de los recorridos mencionados: 1. Obturados por procesos geomorfológicos (carga de sedimentos o derrumbes) y 2. Por residuos sólidos (basura). Asimismo, para algunos ríos que no cuentan con estaciones hidrométricas, se elaboraron columnas estratigráficas con el fin de mostrar el acarreo de materiales, su tipo y los espesores, así como el límite de algunas formas producto de los procesos fluviales y lacustre (límite de los depósitos proluviales, profundidad de la disección, tipos de valles, transición entre la rivera lacustre y los depósitos de piedemonte; reconocimiento de los procesos actuales sobre la antigua rivera lacustre, entre otros).

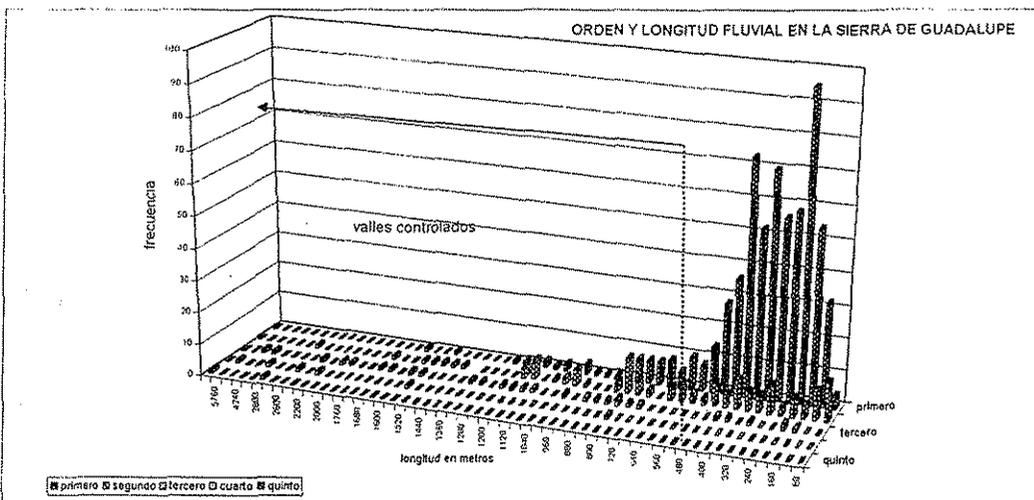
- Configuración y orden de la red fluvial

El análisis de la red fluvial se realizase hace a partir de tres regiones principales: A) sistema fluvial sierra de Guadalupe; B) sistema fluvial de la sierra de Monte Alto – Monte Bajo y C) sistema fluvial de la sierra de Barrientos (Figura 36).

A) Sistema fluvial de la sierra de Guadalupe.

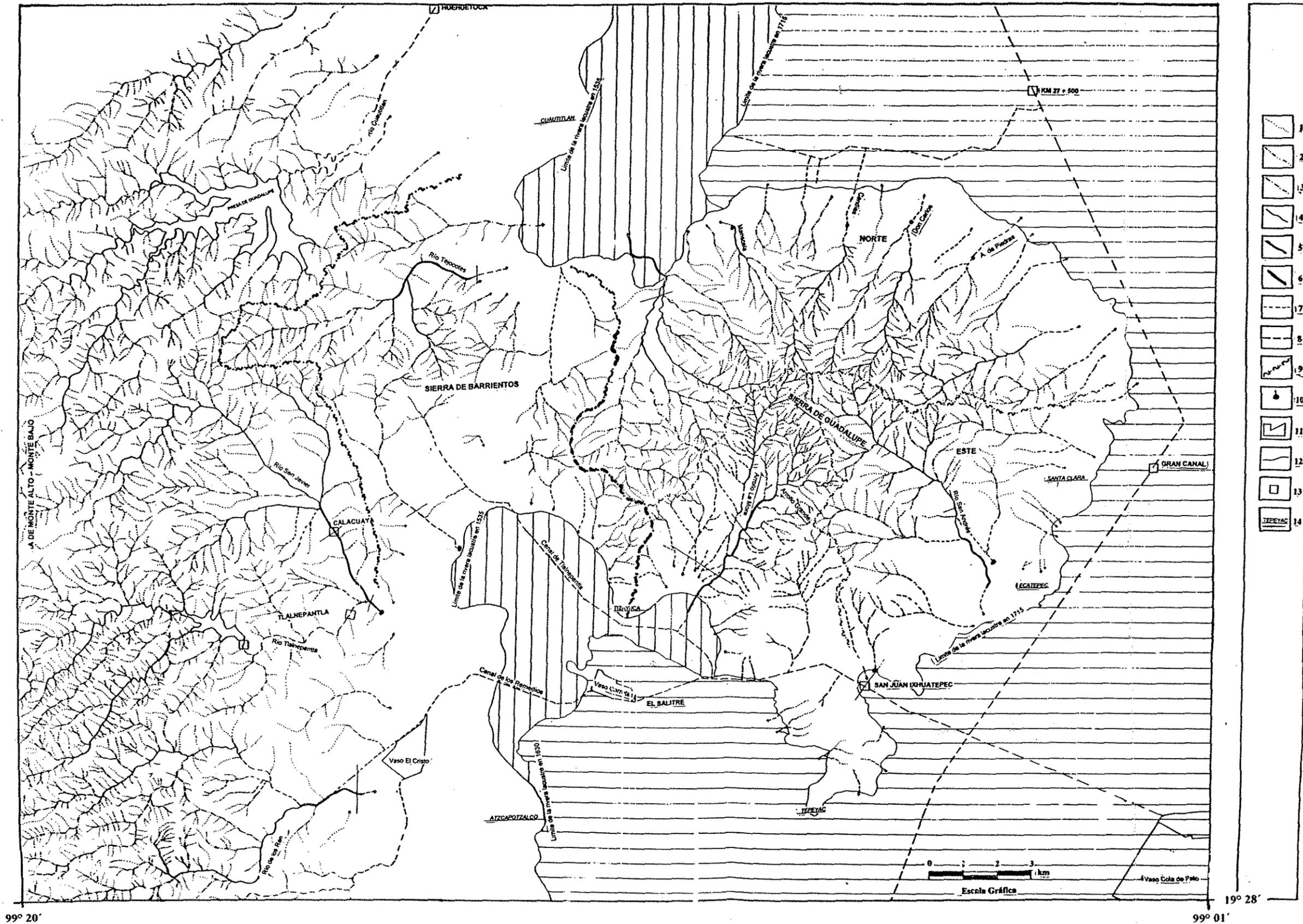
Esta sierra constituye un complejo volcánico donde es posible reconocer morfologías de conos truncados, que se asocia a edificios volcánicos. Éstas definen un sistema radial; configuración que fue la inicial y responde a los atributos morfológicos del terreno. Este sistema fluvial evoluciono a patrones de tipo dendrítico y subdendrítico como respuesta a la diferenciación erosional de los tipos de roca que componen la sierra de Guadalupe. También se observa un control en la dirección de los cauces y en su mismo emplazamiento, debido a la existencia de fallas y fracturas. El ejemplo más representativo de este aspecto son los cauces que drenan la fosa de Cuauhtepac.

La Figura 37 muestra la frecuencia y longitud de los valles en la sierra de Guadalupe según su orden. Se observa que el 90% de los valles son de primero y segundo orden, a su vez, estos valles no superan los 400 metros de longitud. Forman barrancos de hasta 10 metros de profundidad y con morfología de valle en "V", lo cual determina su carácter erosivo.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 37 . Orden y longitud de causas de la sierra de Guadalupe.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 36. Mapa de sistemas fluviales y áreas lacustres. Clasificación de orden fluvial: 1. Ríos de primer orden; 2. Ríos de segundo orden; 3. Ríos de tercer orden; 4. Ríos de cuarto orden; 5. Ríos de quinto orden; 6. Ríos de sexto orden y más; Símbolos complementarios: 7. Ríos canalizados; 8. Canales; 9. Parteaguas principales y secundarios; 10. Inicio del entubamiento de los ríos; 11. Vasos reguladores de aguas negras; 12. Extensión máxima del cuerpo lacustre; en achure vertical para el año 1535; en achure horizontal para el año 1630 - 1715; 13. Estación

En contraste; los ríos con orden superior a 3 constituyen menos del 10%, siendo su longitud de hasta 5 kilómetros (Arrollo Grande, La Mora y La Joya), es posible identificar el cambio abrupto entre los valles de primero y segundo orden y los de cuarto y quinto. No existe un paso gradual que se denote por los valles de tercer orden. Según McCullag P. (1968) esta anomalía es generada por factores de tipo estructural. Los ríos de mayor longitud drenan la fosa de Cuauhtepic. Si bien, en su conjunto la sierra de Guadalupe representa una región, tres áreas están bien diferenciadas en su interior por la dirección de flujo de los ríos y la configuración de drenaje (Figura 38):

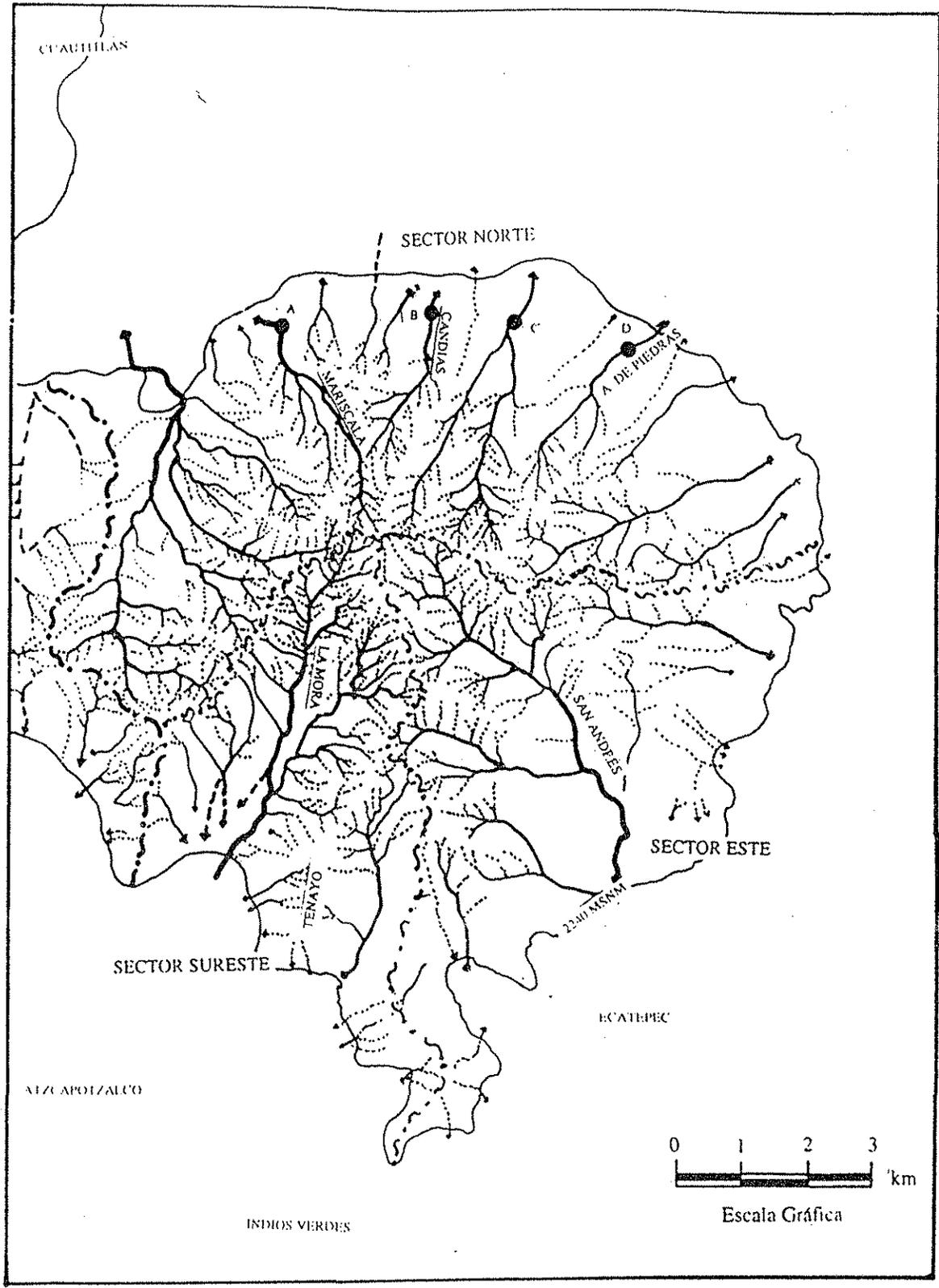
1. Zona norte. Drenada por ríos de régimen estacional a los cuales se asocian potentes conos de eyecciones activos al pie de la montaña. El patrón de drenaje es de tres tipos: anular, en los domos El Picacho y Pico Los Díaz; radial en los volcanes de María Auxiliadora y Pico Tres Padres; y pinada centrifuga, generados por el abrupto cambio de pendiente y se relaciona con la formación de potentes conos de eyección de los ríos Afluente de Piedras, Chiqueros, Mariscal, Don Carlos y Candías. Hay que mencionar que las configuraciones de drenaje mencionadas se presentan alternadas, describiendo patrones complejos, difícil de establecer un patrón único. Este punto tiene un grado de subjetividad que depende de la preparación del interprete.

Los depósitos generados por las avenidas de los ríos mencionados, desarrollan una secuencia estratificada de 1.86 m de espesor visible (Figura 39); se reconocen 4 estratos de sedimentos aluviales finos y 3 gruesos, éstos presentan bloques de hasta 60 cm de eje mayor. Se establece cuatro secuencias sedimentarias que corresponden a un cauce distinto. Es posible correlacionarlas entre sí a partir de un estrato que aparece en tres de las cuatro columnas (figura 39). Este depósito representa pulsaciones de una dinámica de torrentes estacionales, que bien pudieron estar presentes en los periodos húmedos o asociados a lluvias extraordinarias. Este depósito es significativo desde el punto de vista geomorfológico, ya que su existencia se liga a cambios significativos de carácter erosivo y acumulativo, que se traducen en la transformación de la morfología del relieve.

2. Zona este. Los escurrimientos son de carácter erosivo y presentan una configuración subdendrítica; se reconocen en el río San Andrés rectitudes y cambios de dirección que guardan relación con fallas y fracturas. No obstante es el sector que presenta una densidad menor, con respecto a los demás, se presentan circos de erosivos activos y barrancos cuyo corte en la vertical llega a ser de hasta 15 metros. Como respuesta a esta dinámica erosiva existen extensos conos proluviales, de hasta 6 km de longitud; medidos desde el ápice a su periferia. Hay que mencionar que estas formas de relieve acumulativo, adoptan una morfología de rampa ligeramente inclinada que se funde con la planicie lacustre inmediata y no presenta importantes diferencias morfológicas.

En la figura 40 se representan dos rampas acumulativas características de esta zona, corresponden al río San Andrés y al Arroyo Tres Barrancos. Ambos escurrimientos son de carácter estacional y su dinámica es torrencial; así lo demuestra los depósitos de bloques rocosos de hasta 40 cm de eje mayor cementados en una matriz limo - arenosa, que se localizan en la facie proximal, en relación con el ápice del abanico.

Las regiones morfológicas características en cada río están representadas en la figura 41, en ellas se observa las regiones cuya dinámica de inundación tiene una relación estrecha con las formas del relieve.



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10

99° 01'

Figura 38. Regiones hidrológicas de la Sierra de Guadalupe (Norte, Este y sureste). Corrientes fluviales: 1 de primer orden; 2. de segundo orden; 3. de tercer orden; 4. de cuarto orden; 5. de quinto y más orden. Símbolos complementarios: 6. Divisoria de aguas principal entre las sierras de Guadalupe y Barrientos; 7. Parteaguas secundario; 8. Curva de nivel de 2440 msnm; 9. Canales; 10. Sitios de levantamiento de columnas estratigráficas en el sector norte de la sierra.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

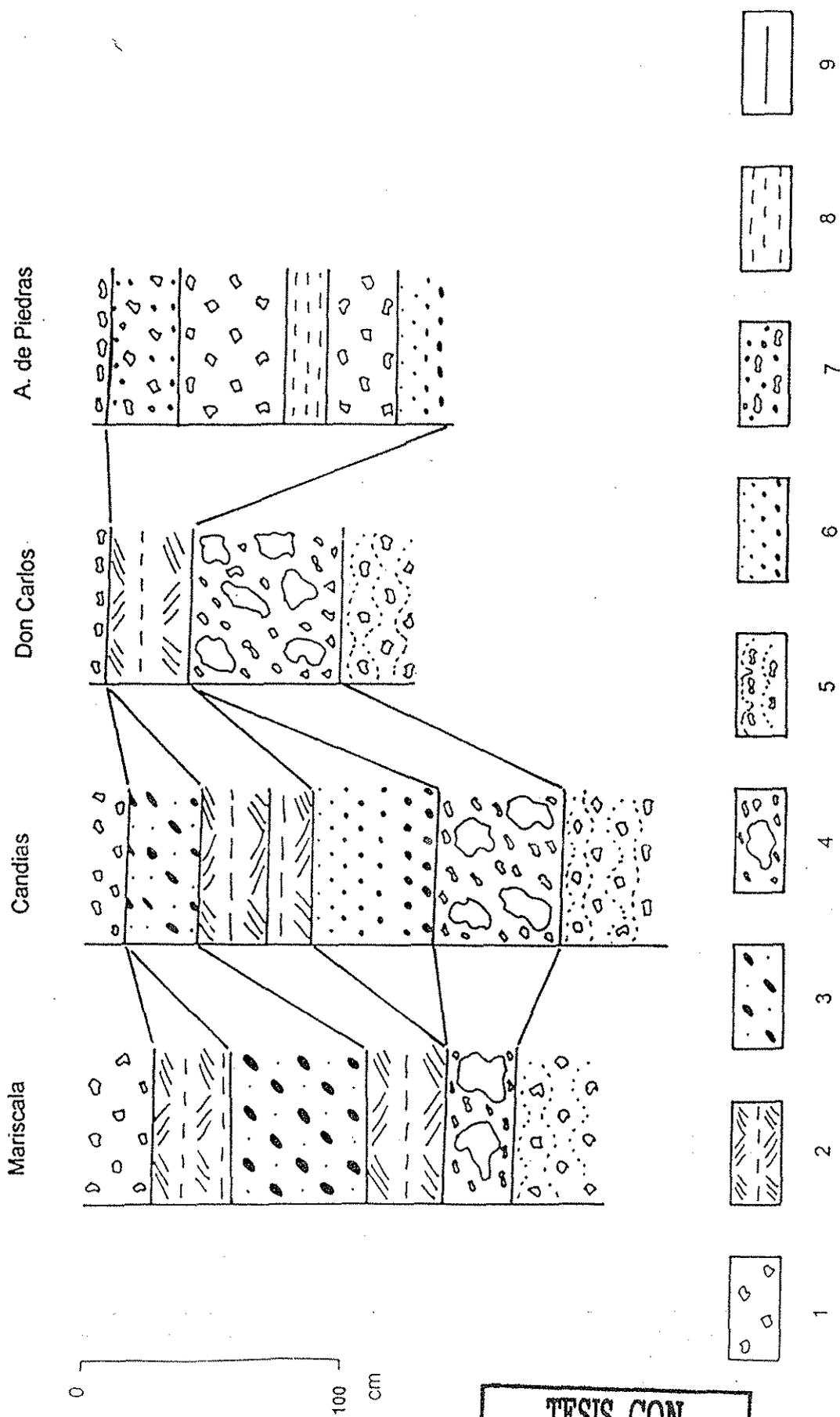
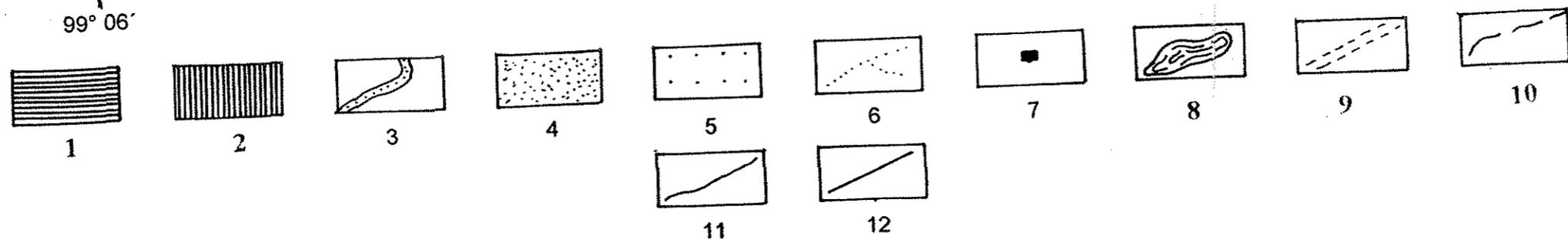
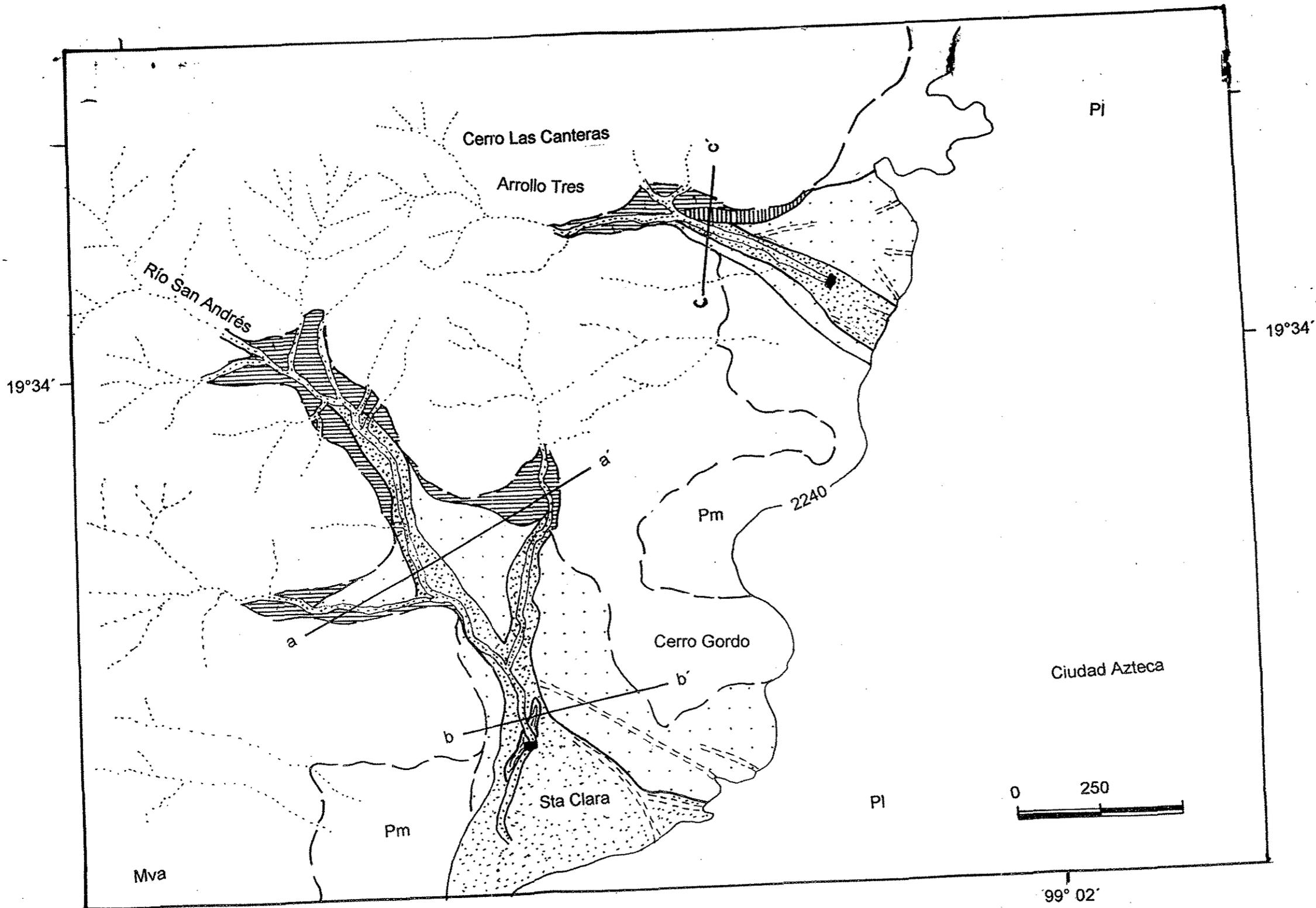


Figura 39. Secuencia de correlación sedimentaria entre los arroyos Mariscal, Candias, Don Carlos y Arrollo de Piedras ubicados al norte de la sierra de Guadalupe: 1. Bloques de roca angulosos y gruesos, con matriz de toba arenosa; 2. Secuencia fluvial con estratificación cruzada, de matriz arenosa; 3. Secuencia fluvial imbricada con bloques subredondeados 4. Secuencia fluvial de bloques de pómez con arenas y gravas; 5. Depósito de arenas de origen volcánico; 6. Secuencia fluvial con estratificación gradada normal; 7. Secuencia de bloques con bordes angulares y arenas poco trabajadas; 8. Tobas; 9. Línea de correlación.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

64

Figura 40. Esquema geomorfológico Arroyo Tres Barrancos y Río San Andrés, (Suereste - sierra de Guadalupe): 1. Zona de acumulación (depósitos de origen gravitacional y proluviales) con marcada disección fluvial y altura relativa de 15 metros; 2. Zona de acumulación (depósitos de origen gravitacional y proluviales) con marcada disección fluvial y altura relativa de 9 metros; 3. Cauce o lecho actual; 4. Llanura de inundación ordinaria o estacional; 5. Llanura de inundación extraordinaria; 6. Surcos o barrancos; 7. Sitio de obturación por residuos sólidos o canalización; 8. Lago de obturación; 9. Antiguos cauces; 10. Limite entre las unidades geomorfológicas; 11. Curva de nivel de 2440 msnm; 12. Trayectoria de perfiles.



El río San Andrés ha sido modificado en el sector distal del cono por medio de canales y ha sido entubado, lo anterior tiene por objeto retener las grandes avenidas que se suceden. Este río se caracteriza por la dinámica hidrológica extrema, la cual se manifiesta en un río de 1 metro de ancho por 40 cm de profundidad en época de estiaje, mientras que, en verano, su anchura es de 80 metros y su profundidad de 2.10 metros (Figura 42). Asimismo, este río se encuentra obturado por desechos sólidos y en temporada de lluvia forman una represa de hasta 150 m<sup>2</sup>.

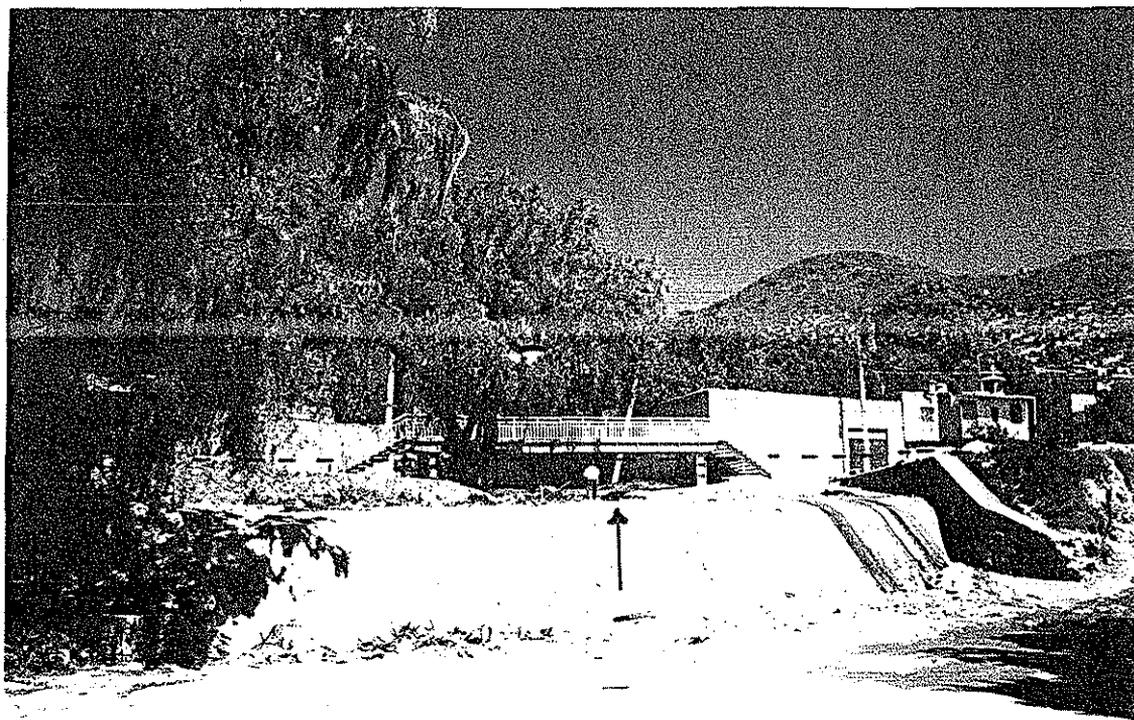


Figura 42. Desembocadura del río San Andrés (Febrero de 1997). En línea punteada se señala el límite de la terraza aluvial y de crecidas ordinarias (de hasta 2.15 m). La flecha señala el sitio de desembocadura. Se observa la gran cantidad de residuos sólidos que son transportados en época de lluvias y que obturan el río formando un encharcamiento. El río puede llegar a presentar más de 80 metros de ancho.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

666

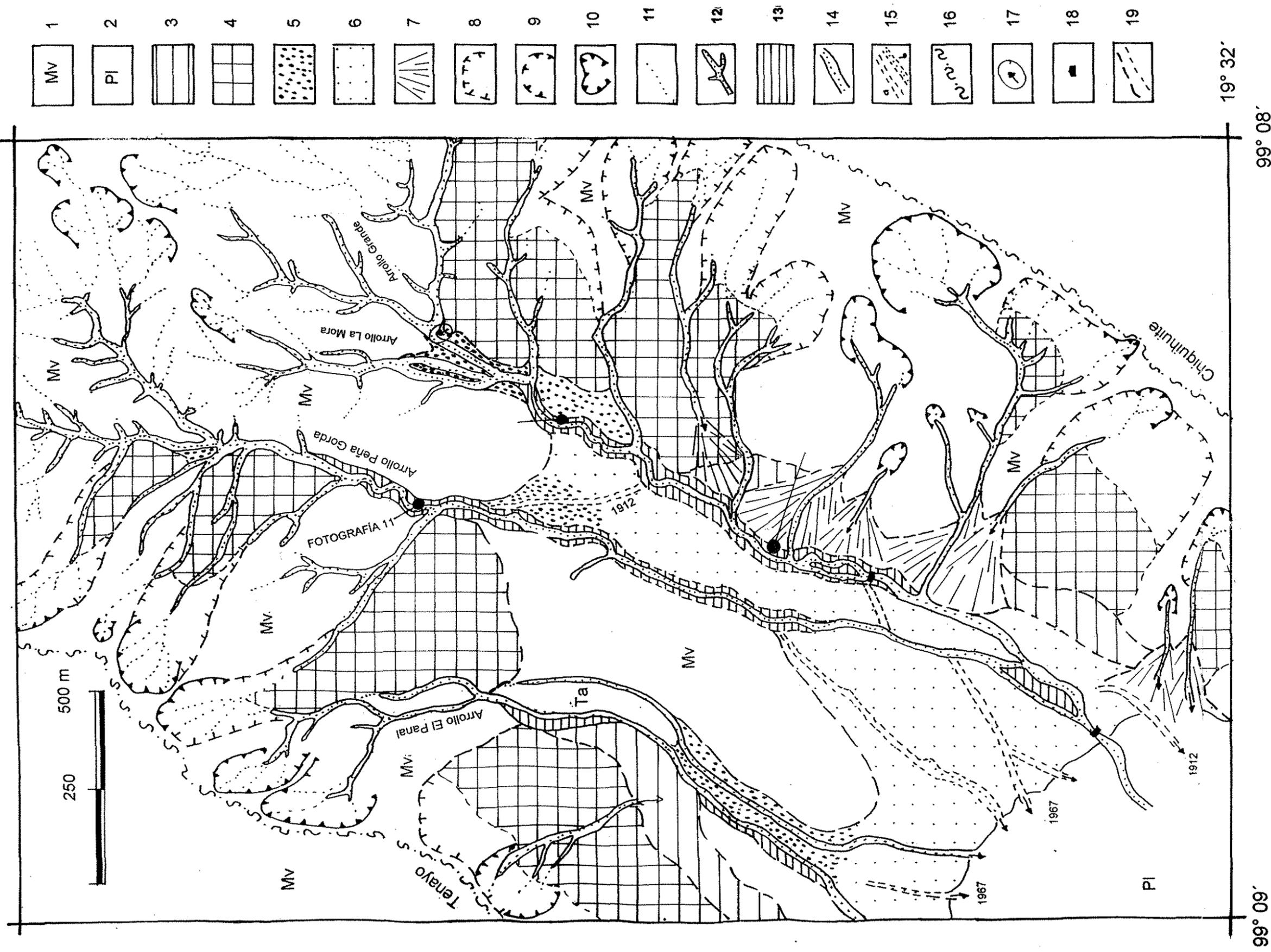
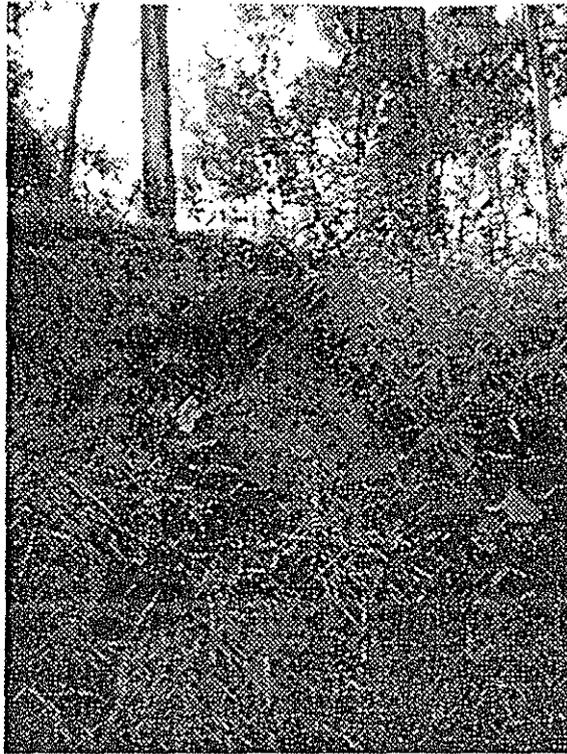


Figura 43. Fosa de Cuauhtepac y ríos La Mora, Arrollo Grande y El Pinal: 1. Laderas Volcánicas; 2. Planicie lacustre; 3. Piedemonte. 4. Depósitos de derrumbe, no diferenciados por el tipo de caída; 5 Depósitos de torrente; 6. Depósitos aluviales; 7. Cono de eyecciones; 8. Corona de desprendimiento antigua (disecada); 9. Corona de desprendimiento reciente y activa; 10. Circo de erosión fluvial; 11. Talwegs; 12. Barrancos con profundidad de la disección menor a 10m; 13. Llanura de inundación extraordinaria, terraza y bancos de arena con altura de hasta 6 m; 14. Ríos con profundidad de la disección mayor a 10m y zona de inundación ordinaria; 15. a) Cauces antiguos reconocidos a partir de trabajo de campo e interpretación de fotografías aéreas, b) Cauces antiguos inactivos y sin relación aparente con la dinámica fluvial actual; 16. divisoria de aguas; 17. Obstrucción del cauce por derrumbe; 18 Obturación del cauce por acumulación de residuos sólidos; 19. Contacto de las unidades. Otros: Ta, Terraza de nivelación; los años de 1912 y 1967 señalan la fecha en que los ríos drenaban ese cauce (Cervantes Asociados, 1969).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 44. Depósito de torrente con bloques de hasta 1.20 m de eje mayor. La altura con respecto al talweg es de 3.40 m. Sobre este material hay desarrollo de suelo y vegetación de árboles y arbustos.



Figura 45. Depósito intercalado de aluvión (a) y proluviación (b). Los primeros tienen un espesor de 12 cm y se constituyen de arenas finas ricas en limo (observar el patrón de grietas verticales en el estrato) y presenta bloques de roca con eje mayor de 3 cm. El estrato de proluviación se constituye de bloques de roca subredondeados de hasta 10 cm de eje mayor, tiene un espesor de 34 cm.

B) Sistema Fluvial de la sierra de Monte Alto - Monte Bajo.

Los ríos de este sistema presentan valles de hasta 80 metros de profundidad y disecan materiales de la Formación Tarango, principalmente. El patrón de drenaje es subparalelo y subdendrítico. En la Figura 46, se observa la frecuencia de ríos de primer orden relacionados con su longitud, más del 95% de éstos no supera los 500 m lineales, poniendo de manifiesto el carácter erosivo de los valles, en campo se han identificado circos fluviales activos y valles profundos en "V". La gran variedad litológica, con respecto a la unidad anterior, favorece una densidad importante en la existencia de cauces de este tipo. El sistema fluvial Sierra de Monte Alto – Monte Bajo, se ha dividido en dos áreas que a continuación se analizan:

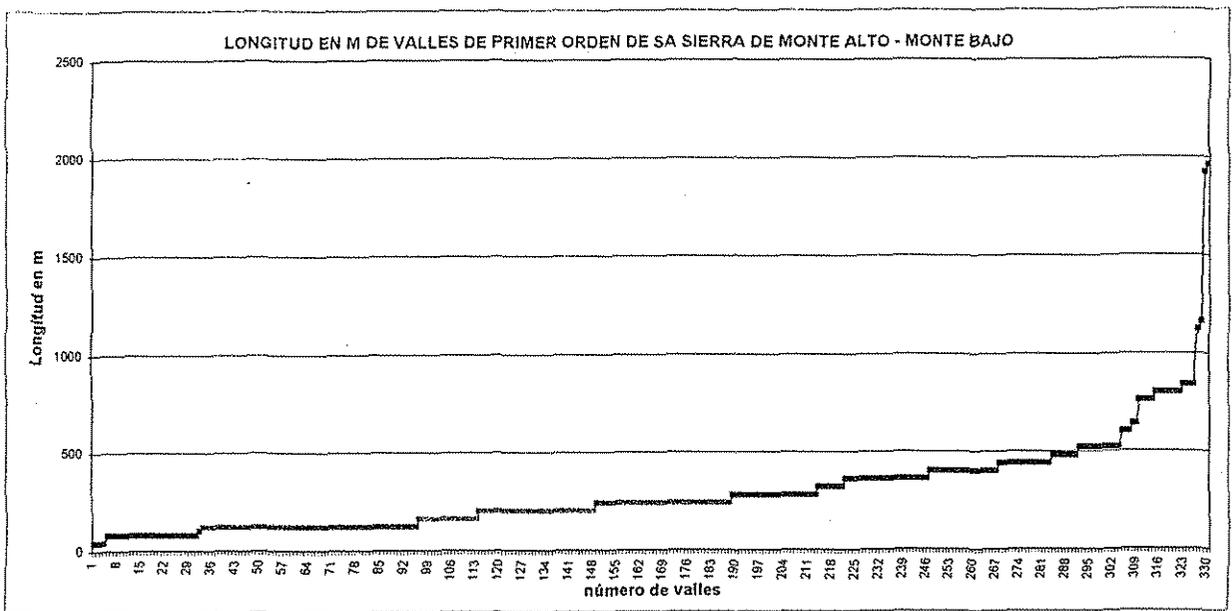


Figura 46. Longitud en metros de ríos de primer orden en la sierra de Monte Alto – Monte Bajo.

1. Zona de valles de Cuautitlán, se orientan al noreste; el río Cuautitlan constituye el principal sistema hidrológico de esta región; es de carácter permanente, se encuentran bien diferenciados el periodo de estiaje y crecidas. Otra de las características de este sector es la formación de una planicie aluvial de conglomerado y arenas gruesas (planicie de Cuautitlán). Esta planicie aluvial esta ligeramente ondulada. Actualmente sólo es drenada por los ríos temporales del norte de la sierra de Guadalupe y por los ríos Tejocote y Las Cruces. Estos dos ríos forman conos aluviales con extensión de 3 kilómetros y registran avenidas temporales.

2. Los valles de Tlalnepantla – Los Remedios. Son ríos de carácter permanente y su dirección preferencial es NE – SW y NW – SE. El orden del río principal (Tlalnepantla - Verde - San Javier) es de séptimo orden y tiene una estructura subparalela dendrítica. Se constituye de cuencas pequeñas de carácter local (como la del río San Juan y Tlalnepantla) con fluvios de primer y segundo orden, que se unen en los ríos de los Remedios y San Javier. En su conjunto, drenan una planicie amplia de Chula Vista – Tlalnepantla y la de Atzacapotzalco.

### C) Región de la sierra de Barrientos.

Los ríos de esta región presentan un orden de primero a quinto. Los ríos de las tres primeras categorías representan más del 80 % y no superan los 800 metros de longitud (Figura 47). Forman un sistema rectangular y anular de ríos que denota la influencia de la estructura geológica, de domos y volcanes. Los ríos principales son El Tejocote y Los Marines, de un orden jerárquico de 5 y una longitud superior a los 3 km, ambos presentan una orientación N-S.

El sistema fluvial está dividido en pequeñas cuencas que llegan a conectarse por medio de canales al río de los Remedios, Tlalnepantla o Cuautitlán. Existen pequeños ríos que forman conos de eyecciones, principalmente en Loma Bonita, Tlayacampa y Atizapán. Hay dos pequeñas planicies fluviales de los ríos El Tejocote y Los Marines, las cuales están ligeramente inclinadas y totalmente urbanizadas, por lo que los ríos han sido canalizados o entubados. Se identificó una obturación por desechos sólidos en el río del Tejocote, sin embargo no se tiene información si éstos han generado un desborde e inundaciones.

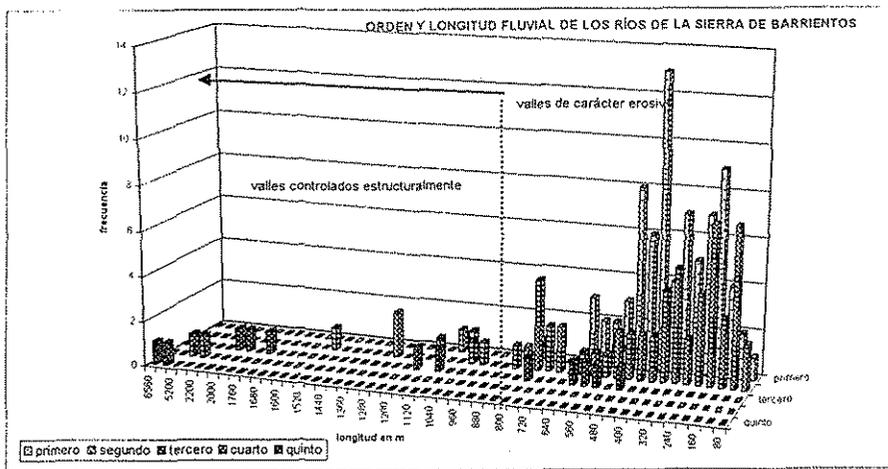


Figura 47. Orden y longitud fluvial de los ríos de la sierra de Barrientos.

*- Características hidrológicas (gasto y escala) para los ríos Cuautitlán y Tlalnepantla.*

Con base en los registros hidrométricos de gasto y escala – tirante de agua- de tres estaciones de la Comisión Nacional del Agua, se realizó un análisis de identificación de frecuencia y magnitud con el fin de describir las características de transporte, inundación y sequías registradas en un periodo de 60 años (periodo máximo de registro de estos datos). Primeramente serán descritos los datos de gasto y escala, para después correlacionar los datos e identificar la magnitud y periodos de recurrencia – frecuencia. El análisis que se realiza para los ríos Cuautitlán y Tlalnepantla.

a) Río Cuautitlán: Estación Huehuetoca

Con base en la información derivada de la estación Huehuetoca, perteneciente a la cuenca hidrológica del río Cuautitlán, se elaboró la Figura 48, donde se muestra el gasto máximo del mes por año, el nivel máximo de la escala – tirante de agua- del mes por año y la correlación potencial entre el gasto y la escala.

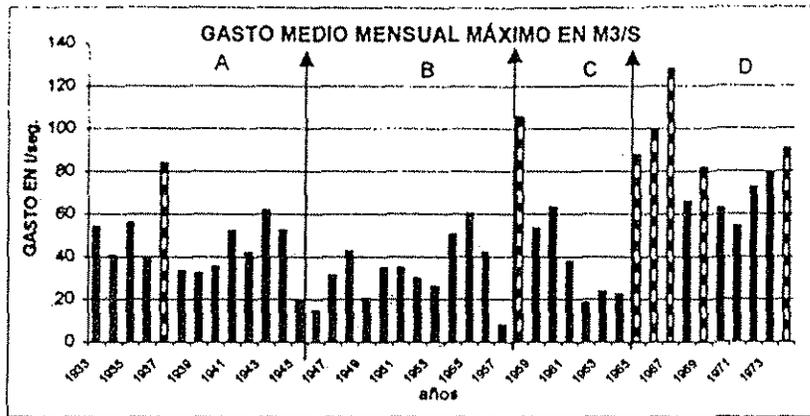
Se identificaron cinco periodos de gasto en función de su tendencia: de 1933 a 1946 con periodos constantes de gasto superior a  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  y con dos máximas superiores a  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ , las cuales se relacionan a las inundaciones de 1938 y 1947. El segundo periodo se ubica de 1947 a 1959, etapa donde el gasto máximo fue menor a los  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ , llegando a  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sin embargo, en este periodo destaca el año de 1956 que se presenta como una anomalía puesto que supero el máximo registrado en ese periodo. De 1960 a 1965 se registra el tercer periodo, el cual destaca por gastos extremos de hasta  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  (año de 1960) y menores a  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ . El cuarto periodo se registra de 1966 a 1984, y éste se distingue por su tendencia constante en el gasto (superior a  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y disminuir a menos de  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ . Finalmente, el quinto periodo se registra entre 1985 y 1990, el cual presenta una tendencia similar a la del primer periodo.

La variación extrema de los registros pone de manifiesto el carácter torrencial del flujo, su influencia en el transporte - depósito de materiales y en la erosión, lo cual se reconoce en los depósitos proluviales de los conos de eyecciones y abanicos proluviales de la sierra de Monte Alto – Monte Bajo y Guadalupe.

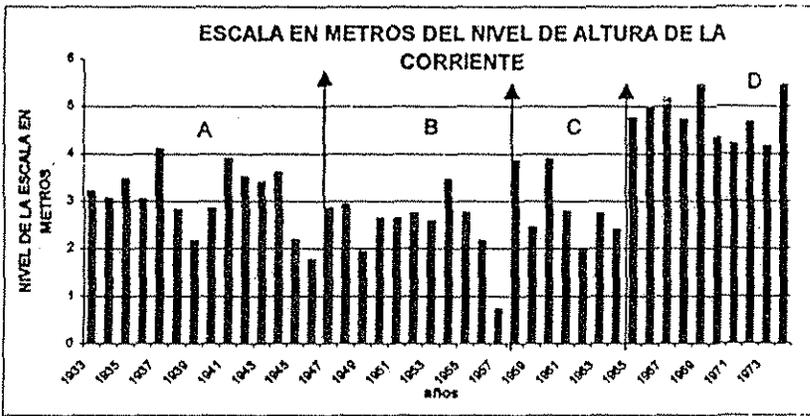
Considerando el registro máximo mensual del gasto es posible identificar la frecuencia y la intensidad de las inundaciones de un río. En la Figura 49 se muestra la frecuencia y magnitud del gasto en la estación Huehuetoca, se elabora con los datos del gasto del mes máximo por año, en un intervalo de 57 años, por lo que la frecuencia es resultado del número de eventos sobre el periodo de años de observación o total de eventos y se representa en porcentaje, en tanto que la magnitud se expresa con base en el gasto y en forma cualitativa (I, II, III, IV, V y VI). Finalmente, las características describen los eventos de sequía extraordinaria o inundaciones extraordinarias, lo cual es determinado por el gasto y la magnitud.

Figura 48. Estación Huehuetoca. a) Correlación potencial entre gasto y escala; b) Gasto máximo del mes por año, y c) Escala máxima del mes por año.

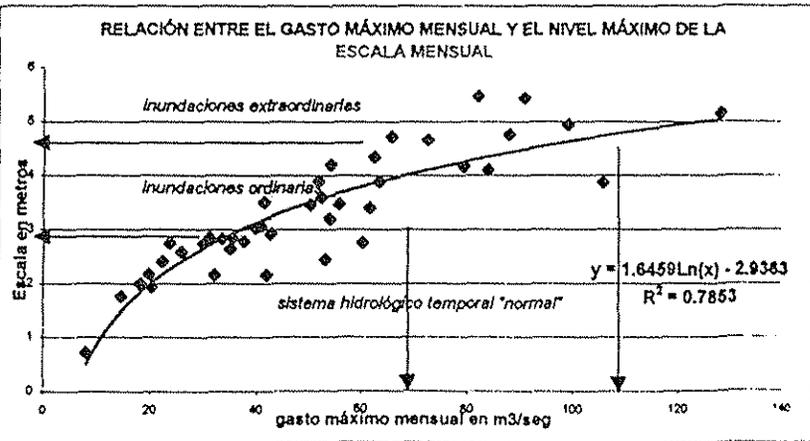
a



b



c



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 49. Gasto<sup>1</sup>, número de eventos, frecuencia, magnitud y características de los eventos en la estación Huehuetoca de la Cuenca del Río Cuautitlán.

Gasto en M <sup>3</sup> /s	N° de eventos y año	Frecuencia con respecto al total de eventos	Magnitud	Características
< 20	6 (1945, 46, 57, 62, 83, 88)	15%	I	Sequía extraordinarias y extremas, con periodos de recurrencia de 6 a 10 años)
20 – 40	18 (1936, 38, 39, 40, 47, 49, 50, 51 – 52, 53, 61, 63, 64, 81, 82, 87,90)	31.5%	II	Sequías ordinarias e inundaciones a nivel de cauce, sin desbordes con recurrencia de 7 años y periodos de duración de 2 a 5 años.
40 – 60	14 (1933, 34, 35, 41, 42, 44, 48, 54, 56, 59, 71, 79, 84, 86)	24.5%	III	Inundaciones ordinarias de verano, sin desborde del cauce. Recurrencia de 8 años y periodos de duración de 2 a 4 años.
60 – 80	8 (1943, 55, 68, 70, 72, 73, 80, 89)	14.03%	IV	Inundaciones torrenciales con desborde de cauce. Recurrencia de 9 a 12 y periodos de duración de 1 a 2 años.
80 – 100	7 (1937, 65, 66, 69, 74, 75, 85)	12.25%	V	Inundaciones Extraordinarias. Desborde del cauce, inundación de la llanura de inundación, la escala supera los 5 metros de altura. Recurrencia de 20 – 35 años y periodos de duración de 1 a 2 años).
> 100	1 (1958)	1.7%	VI	Desastre total. Recurrencia mayor a 30 años.

1. La base de datos de la estación Huehuetoca se presenta al fina de la tesis como un anexo estadístico.

Tanto los eventos de sequía e inundación coinciden con la apreciación de García E. y Hernández E. (1982), quienes identifican al año de 1958 como el más lluvioso que afecto a gran parte de la Cuenca de México. El gasto supera en más del 50% la tendencia media. Asimismo, los años de 1945 y 1946 son los más secos registrados en la Cuenca de México, y el extremo seco (1957), aquí el gasto es menor a 9 m<sup>3</sup>/s. Finalmente, cabe destacar que en los años 1976, 1977 y 1978 no se tomaron registros hidrométricos, sin embargo, con base en la información de otras estaciones se estimo que los datos no alteran significativamente esta tendencia.

La escala – tirante de agua- es el segundo factor considerado en el análisis de los datos hidrológicos. El nivel de la escala vertical es el elemento principal para determinar inundaciones, mide la altura del agua a partir del nivel del Talweg y se registra en

metros. La Figura 48-B muestra la tendencia en el periodo de observación (1933 – 1990), se registraron cinco periodos, los cuales, en su mayoría, corresponden a los del gasto. El nivel de la escala máxima se registra en el año de 1985 con 5.84 m, en tanto que el mínimo es de 0.72 m en 1958. Cabe destacar que en función de la escala se registraron 5 inundaciones en el periodo 1966 – 1990, las cuales desbordaron el cauce principal. Estos desbordes se reconocen por las terrazas ubicadas a dos o tres metros de altura del talweg.

Finalmente, con el fin de establecer una relación entre el gasto y la escala se realizó un análisis de correlación, obteniéndose un valor de 0.6287 que se interpreta se interpreta como una relación positiva y confiable (Spigel, 1997). Se puede inferir que: a mayor gasto es posible tener una mayor escala. Por lo menos esta relación se presenta en 7 de 10 casos.

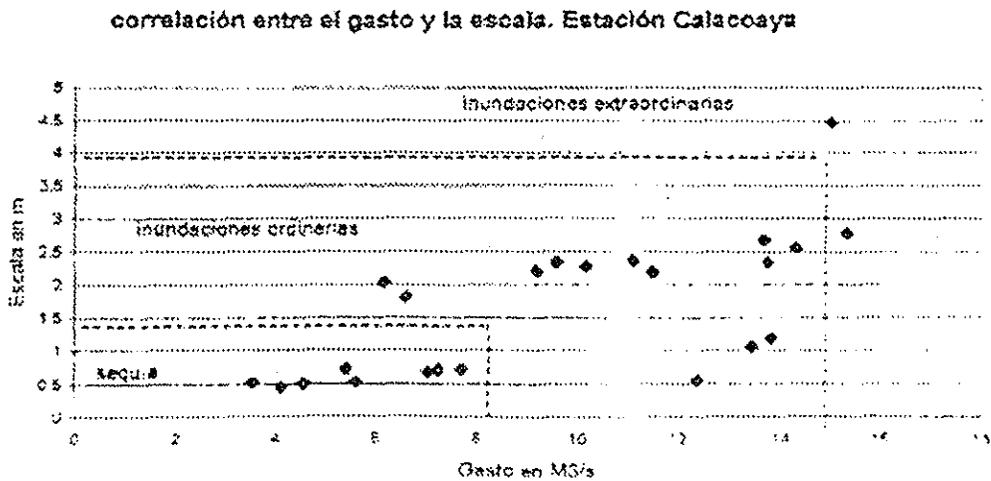
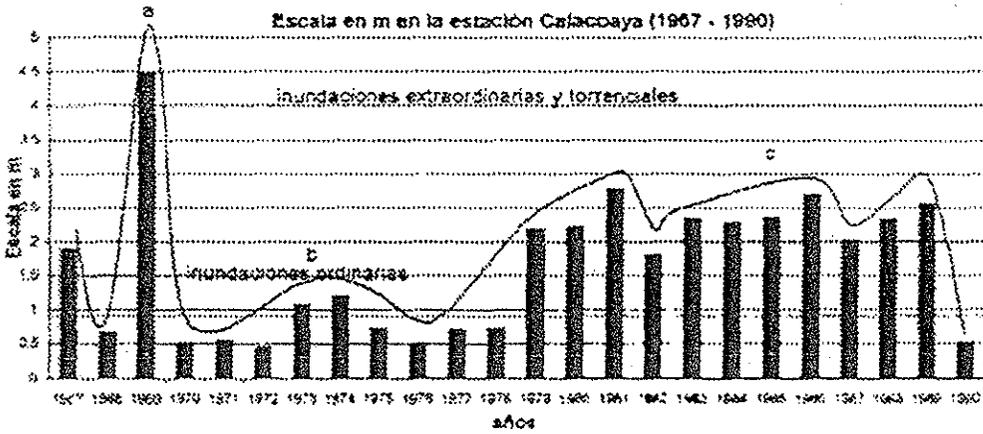
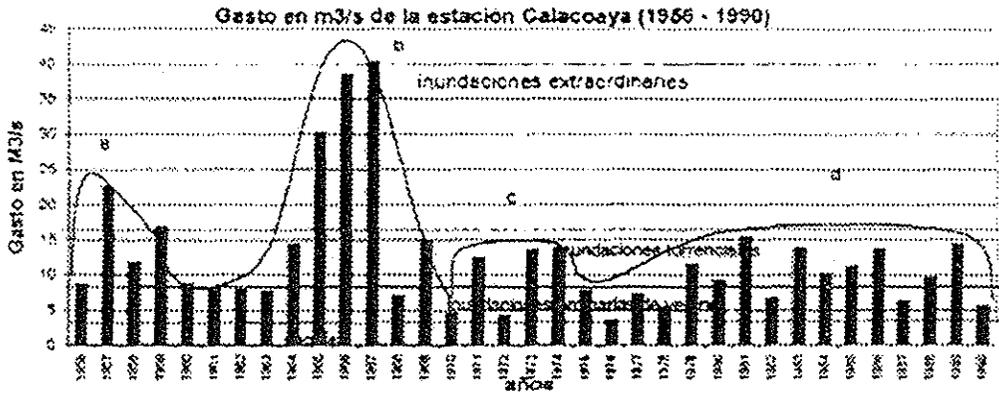
#### b) Río Tlalnepantla: Estaciones de Calacoaya y Tlalnepantla

Existen dos estaciones hidrológicas que permiten enriquecer las características de estos ríos. La estación Calacoaya, que representa el sistema fluvial de Tlalnepantla – San Javier, y la estación Tlalnepantla, que representa al río con el mismo nombre (cabe destacar que la estación Tlalnepantla sólo presenta datos de gasto).

La Figura 50 muestra la distribución del gasto de la estación Calacoaya en el periodo 1956 – 1990, o sea 35 años. Según su tendencia temporal, se registran 4 intervalos. El primer periodo abarca de 1956 a 1964 y se caracteriza por no superar los 25 m<sup>3</sup>/s; el segundo periodo muestra una tendencia en aumento y corresponde a los años 1962 – 1967, en el cual se registra el máximo para esta estación, 40 m<sup>3</sup>/s. Los periodos tres y cuatro no superan los 15 m<sup>3</sup>/s y corresponden a los años 1968 – 1976 y 1977 – 1990.

Conjuntamente, en la Figura 51 se identifica el número de eventos en función del gasto, frecuencia, magnitud y características de cada evento. Se identifican 5 magnitudes, los eventos son de carácter torrencial con desborde de cauce, y representan el 80% de los eventos con una recurrencia de cuatro años con duración de 2 años aproximadamente. Por otra parte, los valores extremos representan sólo el 2% del total, lo cual se manifiesta en su recurrencia (de 6 a 4 años en registros mínimos y de 20 a 25 años con duración de 2 años en registros máximos).

Figura 50. Estación Calacoayaca. A) Gasto máximo del mes por año; B) Escala máxima del mes por año, y C) Correlación potencial entre el gasto y la escala para el periodo 1967 - 1990.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 51. Gasto<sup>2</sup>, número de eventos, frecuencia, magnitud y características de los eventos en la estación Calacoaya de la Cuenca del Río Tlalnepantla.

Gasto en M <sup>3</sup> /s	N° de eventos y año	Frecuencia con respecto al total de eventos	Magnitud	Características
< 5	3 (1970, 72, 76)	8%	I	Sequía, con periodos de recurrencia de 6 a 4 años
5 – 10	16 (1956, 60, 61, 62, 63, 68, 70, 72, 75, 77, 78, 80, 82, 87, 88, 90)	43.24%	II	Inundaciones ordinarias de verano, sin desborde del cauce. Recurrencia de 4 años y periodos de duración de 2 años.
10 – 20	14 (1958, 59, 64, 69, 71, 73, 74, 79, 81, 83, 84, 85, 86, 89)	37.83%	III	Inundaciones torrenciales con desborde de cauce. Recurrencia de 4 a 5 años y periodos de duración de 2 a 5 años.
20 – 30	2 (1957, 1965)	5%	IV	Inundaciones torrenciales con desborde de cauce. Recurrencia de 6 y periodos de duración de 1 a 2 años.
> 30	2 (1966, 67)	5%	V	Inundaciones Extraordinarias. Desborde del cauce, inundación de la llanura de inundación, la escala supera los 5 metros de altura. Recurrencia de 20 – 25 años y periodos de duración de 2 años.

2. La base de datos correspondientes al Gasto del Río Cuautitlan en la estación Calacoaya se presenta al final de la tesis como anexo estadístico.

Por otra parte, la información de la escala - tirante de agua- sólo presenta datos en el periodo 1967 – 1990; se identificaron tres grupos principales en la Figura 52: 1968 a 1970, 1971 a 1977 y 1977 a 1990; estos grupos presentan un comportamiento similar a la tendencia del gasto, cuya correlación es positiva. Así, esta estación muestra la mejor tendencia de relación entre gasto y escala en el periodo 1967 – 1990. Se deducen tres patrones generales:

- Cuando el gasto supera 15 m<sup>3</sup>/s se presenta una escala (tirante de agua) que supera los 2.50 m y se correlaciona con torrenciales que desbordan el cauce.
- Cuando el gasto supera los 8 m<sup>3</sup>/s y la escala (tirante de agua) no supera los 3 metros corresponde a una tendencia normal del río, por lo que las crecidas son de carácter ordinario y no se desborda el cauce.
- Cuando el gasto es menor a 8 m<sup>3</sup>/s la escala (tirante de agua) no supera los 2 metros se considera que se corresponde a la época de estiaje ordinaria o extrema.

La segunda estación de análisis es la de Tlalnepantla, la información corresponde al gasto en el periodo 1946 – 1957. Los datos son heterogéneos y oscilan de 19.7 m<sup>3</sup>/s a 125 m<sup>3</sup>/s. Según el análisis de recurrencia se tiene torrentes o crecidas que abarcan más del 50% de los casos (Figura 53), lo cual manifiesta que es la zona, según el análisis comparativo entre las estaciones Calacoaya, Huehuetoca y Tlalnepantla, más susceptible a desbordes del cauce, además de que su recurrencia no supera los 6 años. Finalmente, cabe destacar que la diferencia entre la magnitud III y la IV equivale a más del 100% de aumento en el gasto.

Figura 52. Gráfica comparativa de gasto entre 1933 y 1990.

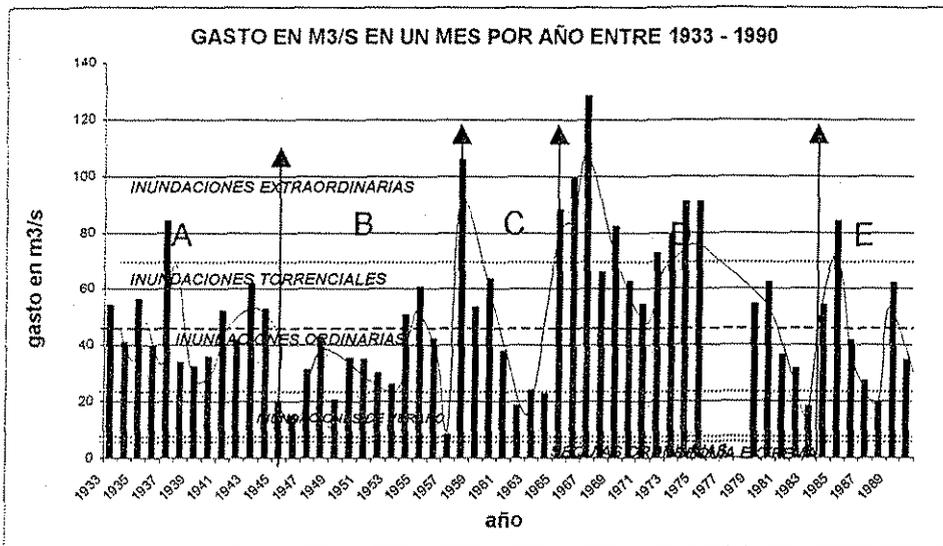


Figura 53. Gasto<sup>3</sup>, número de eventos, frecuencia, magnitud y características de los eventos en la estación Tlalnepantla de la Cuenca del Río Tlalnepantla.

Gasto en M <sup>3</sup> /s	N° de eventos y año	Frecuencia con respecto al total de eventos	Magnitud	Características
< 20	1 (1953)	9.1%	I	Sequía, con periodos de recurrencia mayor a 11 años
20 - 40	4 (1948, 49, 52, 55)	36.36%	II	Inundaciones ordinarias de verano, sin desborde del cauce. Recurrencia de 3 años y periodos de duración de 2 años.
40 - 60	4 (1946, 47, 50, 54)	36.36%	III	Inundaciones torrenciales con desborde de cauce. Recurrencia de 3 a 4 años y periodos de duración de 2 años.
> 60 y < 125	2 (1951 y 1957)	18.2%	IV	Inundaciones desastrosas con desborde de cauce. Recurrencia de 6 años.

3. La base de datos correspondientes al Gasto del Río Tlalnepantla en la estación homónima se presenta al final de la tesis como anexo estadístico.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## - Cuerpos lacustres

A nivel regional, el área de estudio forma parte de la Cuenca del Valle de México, la cual es de tipo endorreica de aproximadamente 9600 km<sup>2</sup>. La transformación de las características naturales del sistema lacustre se ha logrado mediante la canalización, el desagüe y la sobre explotación de los mantos acuíferos mediante bombeo (para una revisión detallada de las transformaciones de los lagos y ríos véase: AIC 1995; Arroyo de Anda A. 1962; Birkle P. et. al. 1998; Durazo J. y Farvolden R. 1989; Herrera I. et. al., 1994; Lesser J. et. al. 1990; Murillo R. 1990).

Se ha recurrido a tres mapas históricos para identificar la rivera lacustre y los principales ríos que generaban el lago, diferenciando la planicie fluvial y lacustre. A su vez, se muestra el retroceso del lago a lo largo de diferentes periodos, hasta llegar a su límite actual en el vaso regulador "Cola de Pato". En la planicie fluvial, los canales Río San Javier, Tlalnepantla, Los Remedios y El Gran Canal son utilizados no sólo para drenar las aguas negras de la zona industrial y habitacional del Noroeste de México, sino también para contener las grandes avenidas durante el periodo de lluvias.

En el estudio comparativo de los tres mapas históricos se identifica la extensión del cuerpo lacustre en el año 1535 (León Portilla, 1975). En la Figura 54, se reconoce la ubicación de Tlalnepantla, Tenayuca, Atzacualco, Atzacapotzalco, Ecatepec y Tulpetlac a orillas del lago, en algunos casos, el cuerpo lacustre se extiende de forma irregular hasta la curva de nivel de los 2250 metros, siendo ésta la primera referencia de mismo. La extensión del lago dependía, en gran medida, de la intensidad y duración de la temporada de lluvias (Ramírez F. 1976), sin embargo, Herrera I. (1995) señala una extensión máxima de 1200 km<sup>2</sup>, aproximadamente. Este mapa es una reconstrucción derivada de relatos y descripciones precolombinas.

La Figura 55, del año 1630 (UNAM, 1965), permite identificar la planicie de origen lacustre en las inmediaciones de los cerros del Tepeyac y Tenayo. Asimismo, se observa la extensión del lago al este de la sierra de Guadalupe y los sistemas fluviales que lo alimentan, corresponde a un registro de las inundaciones de 1630, señalando la extensión máxima del cuerpo lacustre. Los poblados de Atzacapotzalco, Tenayuca y Ecatepec se ubican a la rivera del lago, su extensión queda confinada por el sistema de diques.

A raíz del poblamiento y crecimiento de la Ciudad de México y de las inundaciones periódicas que se registraban durante la época de lluvias, se tomaron medidas de control, principalmente la construcción de diques y el desagüe del lago (O'Gorman Edts. 1971). Así, la construcción de la "albarrada de los indios" en 1510, Calzada de Chapultepec y San Cristóbal en 1605, El Tajo de Tequisquiac (1767), El gran canal (1900) y, finalmente, el desarrollo del Drenaje Profundo de la Ciudad de México (1975) tienen por objeto el control de inundaciones y desagüe del lago.

Previo a estas modificaciones, México – Tenochtitlan era rodeado por el lago de México y el lago de Texcoco. Las transformaciones en el sistema lacustre continuaron repercutiendo en la desecación total del lago de México y parcial del lago de Texcoco (Figura 56). Para 1995, la extensión del lago queda confinada al Vaso de Texcoco, con un área inferior a los 2 km<sup>2</sup>. Sin embargo, en época de lluvias se extiende hasta 4 – 6 km<sup>2</sup>.



Figura 54. Extensión del cuerpo lacustre a principios del siglo XVI. Se identifica la ubicación de los poblados de Tizayuca, Tepeyac y Cuatitlán. Todos ellos en la rívera lacustre. (Tomado de León Portilla, 1975)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA



Figura 56. Extensión del cuerpo de agua lacustre y ubicación de los poblados de Ecatepec, Tenayuca y Atzacapotzalco, a centena de metros de la rívera lacustre en 1630. (Tomado de Mapas antiguos de México, Lámina 12. UNAM, 1965).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

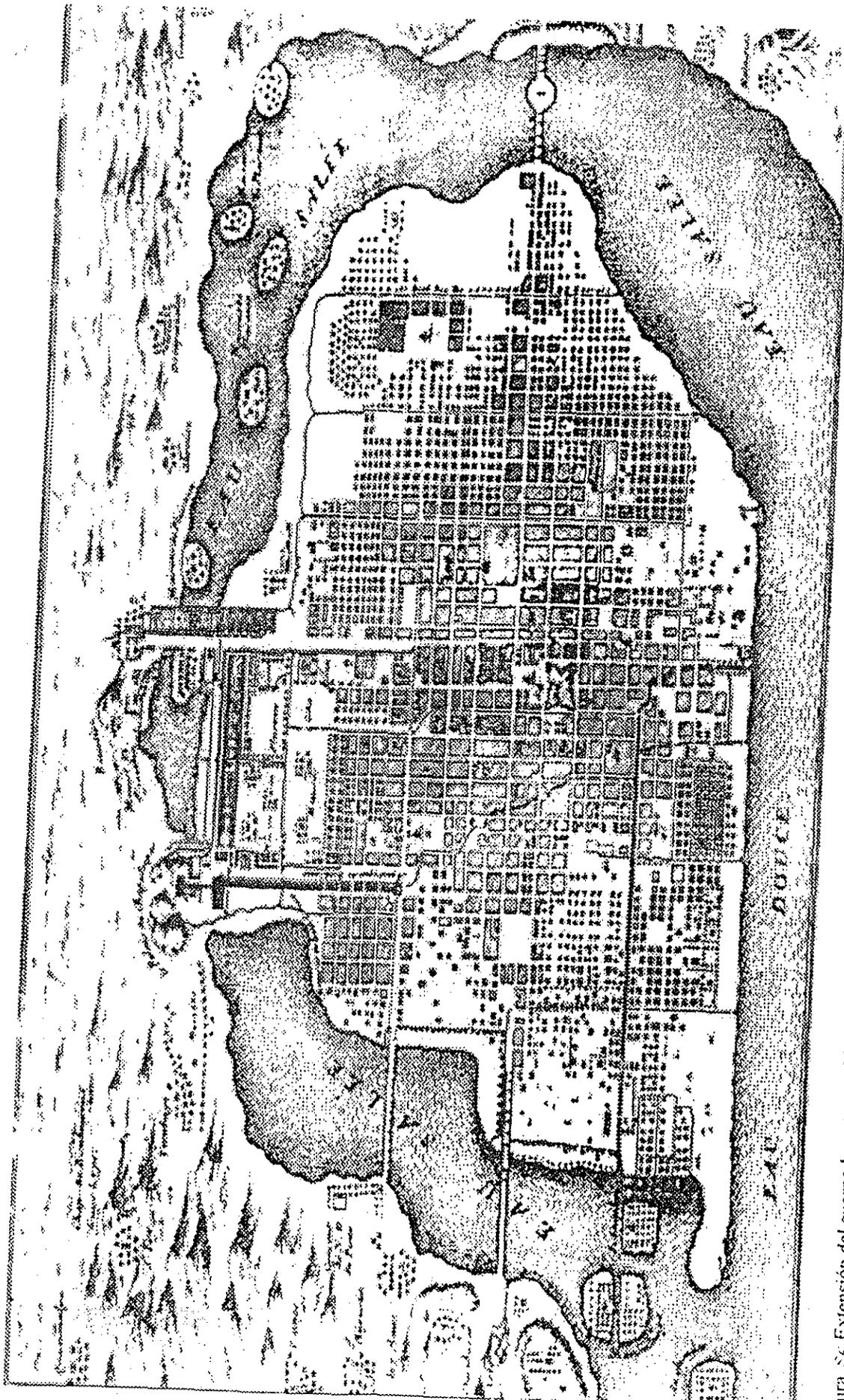


Figura 55. Extensión del cuerpo lacustre y ubicación de la Ciudad de México en 1915. Se aprecia, en el sector derecho, la ubicación del cerro del Chiquihuite así como los pobladores de Cuautitlan, San Cristóbal, y Atzacapotzalco. (Tomado de: Mapas Antiguos de México, Lámina 20, UNAM, 1965).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Así, cabe considerar que la planicie lacustre es actualmente una forma heredada, en ella predomina actualmente procesos de acumulación y erosión fluvial y eólica. Se han identificado pequeños barrancos que disecan los depósitos lacustres (de hasta 2 metros de profundidad), así como cubiertas proluviales que progradan en función del retroceso de la rivera lacustre, el límite entre ambas es ambiguo y, la mayoría de las veces, es de manera transicional. La planicie lacustre no es una región homogénea y simple, esta diferenciada por los materiales que la constituyen, por su proximidad con la región de montaña y el piedemonte, por la relación entre los ríos que depositan sus materiales.

#### *- Consideraciones finales*

El análisis de los aspectos hidrológicos relacionados con los procesos y formas del relieve se basa en dos elementos centrales. Primero, por sus atributos morfológicos, aquí, se describe el patrón fluvial y el orden de los ríos. Ambos elementos brindan información sobre los procesos fluviales. Se ha destacado la configuración en la sierra de Guadalupe, Monte Alto – Monte Bajo y Barrientos, las tres muestran particularidades que auxilian en la explicación de la dinámica fluvial.

Conjuntamente, con base en la información hidrológica, es posible cuantificar la intensidad y magnitud de los procesos fluviales, se tomó en consideración el gasto y la escala (tirante de agua), donde no existen estaciones hidrométricas se levantaron columnas estratigráficas con el fin de caracterizar los procesos de acumulación proluvial y delimitar la influencia fluvial en la planicie lacustre. Se han identificado áreas de mayor recurrencia de crecidas (río Tlalnepantla y San Andrés) y periodos de recurrencia en el nivel del gasto y la escala (de 6 a 30 años).

La utilidad de mapas históricos como herramienta para identificar los límites máximos y mínimos de la superficie lacustre, su evolución asociada a la desecación, desagüe y transformaciones antrópicas que se han realizado, son algunos elementos utilizados en la caracterización de un relieve tan complejo como lo es la planicie.

### 3.2 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

El análisis geomorfológico tiene por objeto definir las relaciones espaciales y temporales que existen entre las formas del relieve en un terreno determinado. El punto de partida es la morfogénesis, fundamentada en la clasificación de las formas terrestres de acuerdo con su génesis, morfología, edad relativa y procesos (pueden ser de tipo endógeno y exógeno), que modelan y transforman la superficie terrestre.

Cabe considerar que el análisis del relieve y su clasificación es una tarea compleja en donde se conjugan métodos y técnicas de las ciencias de la Tierra. Los criterios que se han considerado en la elaboración, análisis y cartografía geomorfológica de la zona de estudio, se han tomado de Lugo (1984), Bashenina, *et al.* (1975) y de Tricart (1970).

La identificación de las unidades geomorfológicas mayores fue establecida a partir de similitudes litológicas, de edad (de la roca y del relieve) y del arreglo tectónico. En esta categoría se enmarcan: a) Sierra de Monte Alto–Monte Bajo (SMA-MB); b) Piedemonte asociado a la SMA–MB; c) Complejo volcánico de la sierra de Guadalupe; y d) Planicie fluvio-lacustre. Los rasgos distintivos más sobresalientes en cada unidad son:

- a) *Sierra de Monte Alto–Monte Bajo.* Se ubica en el sector occidental del área en estudio está constituida por rocas volcánicas dacíticas y riolitas del Oligoceno–Mioceno. El arreglo estructural es de fallas normales escalonadas cuyos escarpes se orientan hacia el NE. La falla de Chapultepec y la de Monte Alto – Monte Bajo son los rasgos tectónicos más importantes de este territorio. Como un elemento tectónico-volcánico a resaltar es la caldera El Tigre la cual tuvo una dinámica explosiva violenta que generó grandes volúmenes de piroclastos y en la actualidad forman una cubierta potente en la misma sierra y en los relieves adyacentes.
- b) *Piedemonte (de la SMA–MB).* Esta constituida de tobas, brechas, pómez y coladas de lava del Plioceno–Cuaternario. También se reconocen depósitos proluviales y aluviales del Cuaternario que se interdigitan a manera de grandes abanicos coalescentes en las estribaciones de piedemonte con la planicie; a partir de las estructuras principales se desarrollan valles profundos que disecan esta rampa acumulativa.
- c) *Complejo volcánico de la sierra de Guadalupe.* Basalto, andesitas, riolitas y dacitas del Mioceno al Cuaternario constituyen el “basamento”, el cual se encuentra afectado por fallas que desmembran la estructura semicircular de la sierra. Entre éstas se encuentran las fallas de Cuauhtepac E y W, que delimitan el *graben* con el mismo nombre, y Texcoco Occidental, la cual define escalonamientos al E; conjuntamente, la estructura volcánica se refleja en domos, edificios volcánicos y coladas de lava que en la mayoría de los casos han perdido su morfología original como resultado de los procesos modeladores intensos que están presentes en esta región .
- d) *Planicie fluvio-lacustre.* Los materiales que la integran consisten en secuencias de aluvión, lentes de piroclastos (tobas y cenizas) y sedimentos

lacustres. Los aluviones se ubican en las proximidades de las elevaciones que bordean la planicie y en algunos casos adoptan morfología de abanico. La estructura tectónica no se refleja en la superficie, debido a que se encuentran sepultadas. Entre los procesos notables en esta región se pueden citar las inundaciones, flujos de lodo, subsidencia y agrietamiento.

A partir de las cuatro unidades mayores del relieve se realizó una subdivisión en la cual se tomaron en cuenta la similitud morfológica y los procesos de modelado existentes, resultado de esto se obtuvieron las siguientes 5 subunidades:

- a) **Montañas.** Se definen como elevaciones naturales de la superficie terrestre que sobresalen de las porciones contiguas. Hay que mencionar que las unidades que integran este apartado, en la mayoría de los casos no representan estructuras aisladas, son parte de una unidad montañosa mayor. Se reconocen las siguientes: 1. Sierra de Guadalupe; 2. S. de Barrientos - El Tigre, y 3. Sector Cuautitlán, al norte, y sector San Mateo, al sur, unidades que en conjunto integran la SMA-MB.
- b) **Elevaciones aisladas.** Corresponden a estructuras volcánicas (edificios o domos) o bien a estribaciones de montaña que han quedado separadas de un conjunto. Es el caso de los *cerros* Guerrero, Gordo, Gachupines, Tepeyac, Zacatenco y El Kilo.
- c) **Lomeríos.** Se localizan en las márgenes de los sistemas orográficos principales, son de carácter denudativo y su morfología se atribuye a una disección poco desarrollada de planicies levantadas de piedemonte. En este rubro quedaron incluidos los lomeríos de Cartagena, Boulevares, De La Palma y Vista Hermosa.
- d) **Piedemonte.** Adopta una morfología de rampa y es marginal a los conjuntos montañosos, la fuente de su origen. En la zona de estudio se reconocen como formas del relieve acumulativas, en general, el más desarrollado se asocia a la SMA-MB. Esta amplia superficie de acumulación, si se observa en su conjunto, se puede subdividir en dos porciones: superior e inferior. En el primer caso existe un predominio de los procesos erosivos sobre los acumulativos; en el inferior se invierte. El piedemonte que se dispone en la sierra de Guadalupe es poco reconocible, y en algunos sectores se presenta discontinuo estas características se pueden explicar a partir de dos hipótesis. La primera, tomando en cuenta las dimensiones de la rampa acumulativa (área, altura relativa, pendiente), la morfología está en relación con la fuente de origen. Bajo esta apreciación la sierra de Guadalupe es un conjunto montañoso aislado y de dimensiones menores en comparación con las cadenas montañosas que definen la cuenca de México. La segunda hipótesis: si se toma en cuenta que las formas del relieve que integran la sierra ya han perdido su morfología original, como repuesta a una intensa actividad de los procesos modeladores, es común que haya desarrollado una rampa de acumulación mayor a la observada y que

esté cubierta (o interdigitada) con los sedimentos que definen la unidad inmediata, la planicie fluvio-lacustre

- e) **Planicie fluvio-lacustre.** Representa la porción más deprimida de la zona de estudio, aunque se considera una sola unidad se ha dividido en tres sectores: Cuautitlán-Tultitlán, al norte, Texcoco, al este, y Tlalnepantla-Ciudad de México, al sur. La morfología de esta unidad es de dos tipos: ligeramente ondulada y horizontal.

En la primera aproximación a la interpretación y explicación del relieve se tomaron en cuenta aspectos litológicos, de edad (de la roca y del relieve) y del arreglo tectónico. Estos criterios permitieron definir unidades mayores. Por otro lado, la morfología y procesos nos auxiliaron en el entendimiento evolutivo de los rasgos terrestres.

El análisis de los procesos, destacando sus formas y elementos del relieve, nos permite profundizar en la explicación de la evolución y dinámica geomorfológica, por un lado para distinguir aquellas porciones del territorio donde dominan procesos específicos, o se conjugan uno o más de ellos; y por otro, conocer y explicar la intensidad y magnitud de los mismos.

Los procesos son analizados de acuerdo con su génesis, endógena o exógena, los primeros son aquellos que se derivan de las fuerzas internas de la Tierra (tectonismo y vulcanismo); los exógenos están condicionados por la radiación solar, la gravedad y la actividad de los organismos (Lugo 1989). Si bien, la interpretación y elaboración de mapas temáticos (geológicos y morfométricos) nos auxiliaron en una primera identificación de los procesos, fue necesario realizar trabajo de campo con el objeto de completar y detallar información que sólo es posible obtener por esta vía, asimismo confirmar o corregir las hipótesis del trabajo de gabinete.

Por otro lado, el establecimiento de las subunidades del relieve permitió el análisis objetivo y claro de los aspectos geológicos y morfométricos que se analizaron en el capítulo segundo y tercero, respectivamente. El estudio geomorfológico detallado de cada subunidad de relieve, se presenta en una cartografía escala 1:40 000 y la interpretación de este documento es el tema central de este capítulo, mismo que se presenta a continuación.

## **- LEYENDA DEL MAPA MORFOGENÉTICO DE LA SIERRA DE GUADALUPE Y ÁREAS ADYACENTES (Fig. 57).**

### **RELIEVE ENDÓGENO**

#### ***VOLCÁNICO ACUMULATIVO.***

- 1. Edificio volcánico (andesitas).*
- 2. Laderas de lava andesítica, con inclinaciones mayores a 30°.*
- 3. Laderas de lava andesítica cubiertas de piroclastos, con inclinaciones mayores a 30°.*
- 4. Laderas constituidas de tobas, lahares y pómez.*

## **VOLCÁNICO MODELADO.**

5. Domos volcánicos de dacita.
6. Domos volcánicos de riolita.
7. Coladas de lava ácidas.
8. Coladas de lava cubiertas de pómez.
9. Laderas de lava basáltica.
10. Caldera (El Tigre).
11. Afloramientos rocosos constituidos de lava, con morfología de crestas y / o cuerdas interfluviales.

### **Formas y elementos complementarios**

12. Fallas.
13. Cráter de caldera.

## **RELIEVE EXÓGENO**

### **Erosivo – Fluvial**

14. Talwegs.
15. Barrancos.
16. Laderas superiores de valle.
17. Cauces distributarios.
18. Circos erosivos.
19. Superficies interfluviales de geometría convexa.

### **Erosivo – gravitacional.**

20. Circos de desprendimiento.
21. Corredores de escombros y depósitos coluviales asociados.

### **Acumulativo – Fluvial.**

22. Terrazas.
23. Abanicos proluviales.
24. Depósitos "colgados" de origen proluvial – gravitacional.
25. Planicie ligeramente inclinada constituida de depósitos aluviales.
26. Planicie ligeramente inclinada, de transición: proluvial distal – lacustre.
27. Planicie compleja de morfología tabular.

### **Acumulativo – Lacustre.**

28. Planicie lacustre ligeramente ondulada.
29. Planicie lacustre.

### **Acumulativo – Gravitacional.**

30. Depósitos coluviales, próximos a la fuente de origen.
31. Depósitos coluviales, distales a la fuente de origen.
32. Depósitos gravitacionales antiguos.
33. Corrientes de lodo o flujos.

MAPA MORFOGENETICO DE LA SIERRA DE GUADALUPE Y ZONAS ADYACENTES

RELIEVE ENÓGENO

VOLCÁNICO ACUMULATIVO

Edificios volcánicos (ambustias)



Laderas de lava andalítica, con inclinaciones mayores a 30°.



Laderas de lava andalítica cubiertas de piroclastos, con inclinaciones mayores a 30°.



Laderas de constituidas de: andes, labares y pómez.



VOLCÁNICO MODELADO

Dunas volcánicas de dacito



Dunas volcánicas de riolita



Conchas de lava helada.



Calderas de lava cubiertas de pómez.



Laderas de lava basáltica.



Caldera de explosión (El Tigre).



Morfismos resecos constituidos de lava, con morfología de crestas y/o cerros incipientes.



Simbolos complementarios del relieve orogénico

Fallas.



Cráter de caldera.



RELIEVE EXÓGENO EROSIVO

- Fluvial



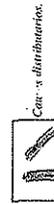
Thalweg



Barrancos.



Laderas superiores de volta.



Cerros distribuidos.



Cirrus

Superficies inclinadas de geometría convexa.



-Gravitacional.

Crestas o coronas de desprendimiento.



Corredores de erosión y depósitos coluviales asociados.



ACUMULATIVO

- Fluvial.



Ferretes



Ahorros prehistóricos.



Depósitos "colgados" de origen prehistórico - gravitacional.



Planicie ligeramente inclinada constituida de depósitos aluviales.



Planicie ligeramente inclinada, de transición: prehistórica - lacustre.



Planicie compuesta de morfología tabular



- Lacustre

Planicie lacustre, ligeramente embaldada.



Planicie lacustre.



- Gravitacional.

Depósitos coluviales, próximos a la fuente de origen.



Depósitos coluviales, distales a la fuente de origen.



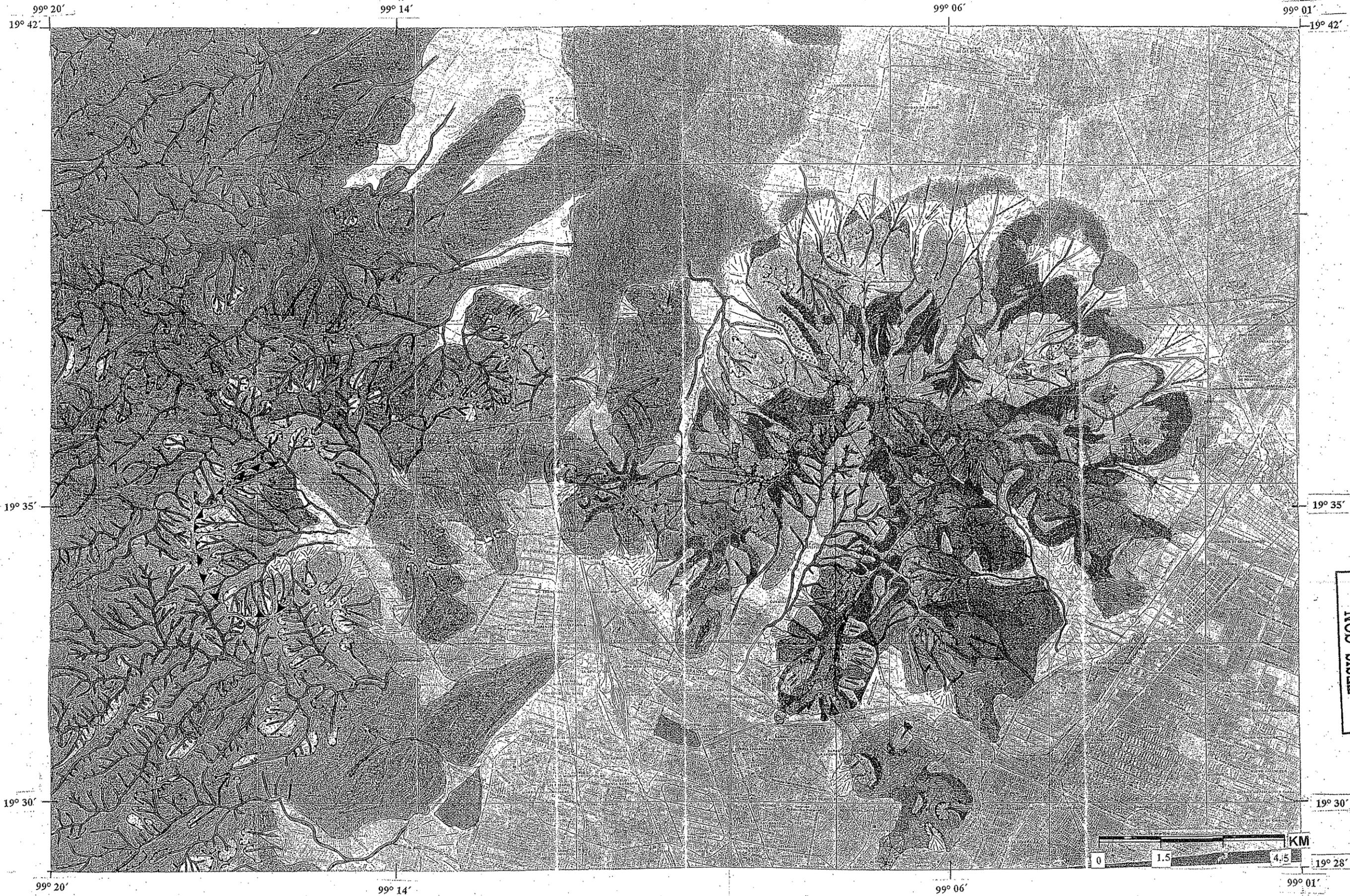
Depósitos gravitacionales antiguos.



Corrientes de lodo o flujos.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

87-A

## - RELIEVE ENDÓGENO

Las formas de relieve endógeno que se identificaron en el área de estudio (Figura 57), están representadas por edificios volcánicos, calderas de explosión, domos, laderas de lava, cubiertas piroclásticas, coladas de lava y afloramientos de lava (aparentemente) aislados. En este mismo rubro quedan incluidas las estructuras disyuntivas que de forma particular explican los movimientos relativos y su expresión morfológica. El relieve endógeno se formó a partir de procesos tectónicos y volcánicos que ocurrieron en el Oligoceno y continuaron hasta el Cuaternario. El análisis que se presenta se hace a partir de una clasificación del relieve en formas de acumulación y modelados por la erosión.

### - Volcánico Acumulativo

1. *Edificio volcánico (andesitas)*. Representa una estructura semicircular de 300 metros de altura sobre el nivel de la planicie; su diámetro es de 400 metros aproximado, en la base, la inclinación de sus ladeas no es superior a los 40° de inclinación y presenta un ligero pero notable eje mayor que se orienta al NW-SE; esta estructura volcánica se encuentra en el sector occidental de la sierra de Guadalupe, y está constituida de rocas andesíticas del Mioceno (Fig. 58).

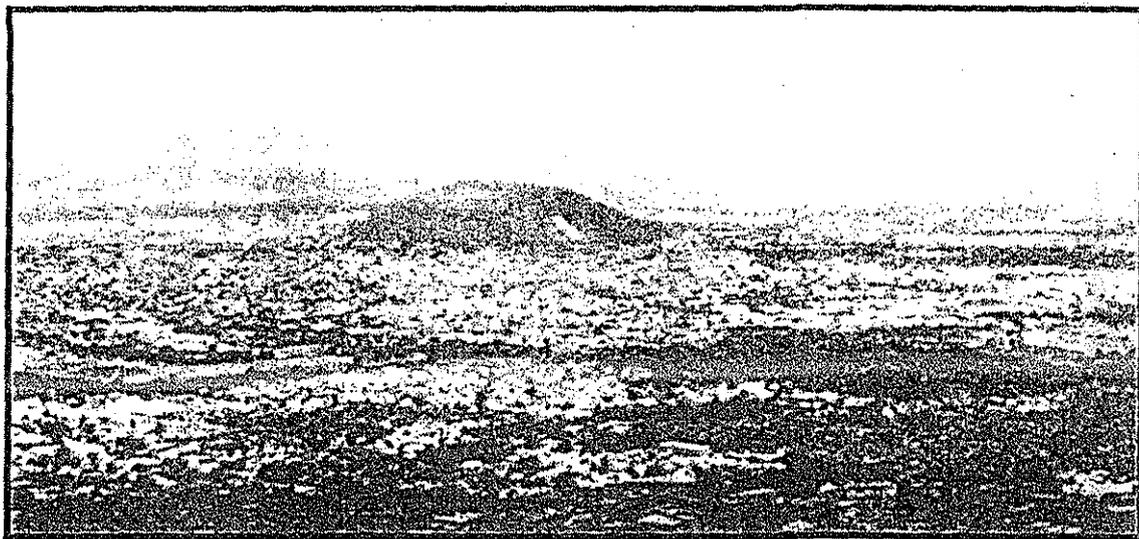


Figura 58. Edificio volcánico de andesitas: cerro Guerrero, localizado al sureste del área en estudio.

2. *Laderas de lava andesítica, con inclinación mayor a 30°*. Se localizan en el sector sur y sureste de la sierra de Guadalupe, corresponde a la región montañosa de la misma y su altitud no sobrepasa los 3100 msnm. Las andesitas, corresponden a las fases intermedias de la Formación Guadalupe. Predomina la geometría recta-paralela y recta-convergente (Fig. 59). Los procesos que las modelan son de tipo fluvial y gravitacional, los primeros están representados por barrancos con profundidad de hasta 12 metros; en la cabecera de cada uno de ellos hay un circo erosivo activo. La presencia de escarpes de hasta 40 metros de

desnivel, denotan la presencia de los procesos gravitacionales. Por otro lado, la presencia de asentamientos humanos ha transformado significativamente el relieve original, con terrazas, canales y rampas, sin embargo, en conjunto, se reconoce la morfología primaria de las laderas.

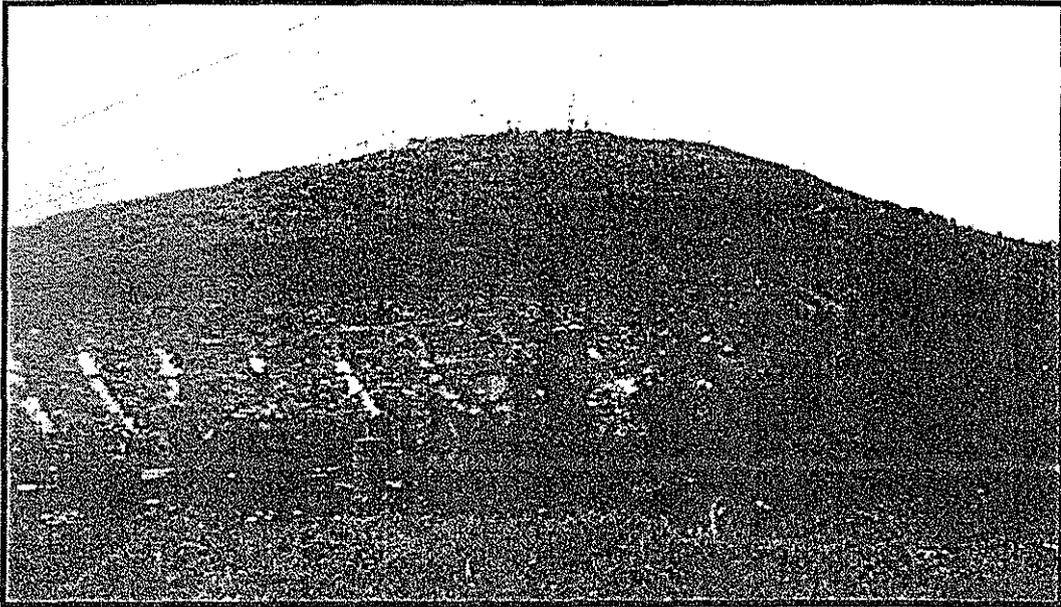


Figura 59. Laderas de lava andesítica con inclinaciones mayores a  $30^\circ$ , se muestra el sector oriente del cerro El Chiquihuite.

3. *Laderas de lava andesítica cubiertas de piroclastos, con inclinaciones mayores a  $30^\circ$ .* Se ubican en el sector norte de la Sierra de Guadalupe y forman parte de la porción montañosa. Las laderas son de tipo recto-paralelo y recto-divergente; son más suaves que las anteriores, lo cual es resultado de la presencia de una capa de hasta 8 metros de piroclastos (Fig. 60). La presencia de barrancos es favorecida por la susceptibilidad de los materiales a la erosión.

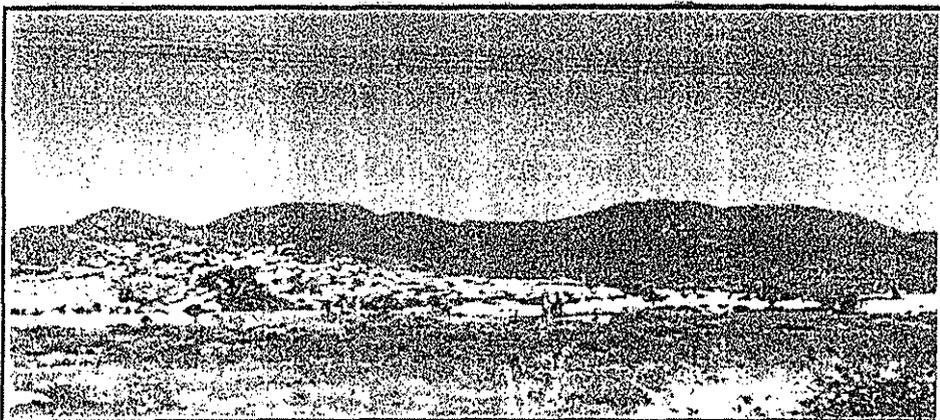


Figura 60. Ladera de lava andesítica cubierta de piroclastos, con inclinaciones mayores a  $30^\circ$ . Sector norte de la sierra de Guadalupe.

4. *Laderas de tobas, lahares y pómez.* Corresponden al sector montañosos de la sierra de Monte Alto–Monte Bajo; están formadas por una secuencia de materiales de edad plioceno-cuaternaria que se conoce como Formación Tarango. Son depósitos susceptibles a la erosión y se presentan barrancos profundos, hasta de 120 metros. Las laderas que definen los valles son de fuerte inclinación y los cauces llevan a cabo intensos procesos fluviales. Los patrones de drenaje que se reconocen son de tipo de dendrítico y paralelo, ambos con una densidad considerable de cauces; el perfil de los valles es en “V” y se orientan en direcciones preferenciales NE–SW y NW–SE. Los depósitos cuaternarios sobreyacen a las rocas del Oligoceno y Mioceno; los ejemplos más representativos se pueden observar en las sierras de El Tigre y Barrientos.

- Volcánico Modelado.

Este apartado incluye formas del relieve de origen volcánico que han perdido su configuración original como consecuencia de la actividad de los procesos exógenos. En el caso de la zona de estudio, son de tipo fluvial y gravitacional, principalmente.

5. *Domos volcánicos constituidos de dacita.* Se ubican en el sector central y norte de la sierra de Guadalupe, son estructuras semicirculares que presentan coladas de lava de poca extensión y están delimitadas por barrancos. Mooser *et al.* (1977) y Lozano (1968), sugieren una migración en el emplazamiento de los domos del centro de la sierra hacia su porción norte-noreste. Estas estructuras alcanzan los 3000 metros de altitud y la geometría de sus laderas es de tipo convexa-divergente (Fig. 61). Los domos presentan una modificación significativa en su morfología original; se observan alvéolos de erosión laminar como uno de los procesos más jóvenes y poco agresivos en comparación con los circos de erosión activos, barrancos y procesos gravitacionales, representados por desprendimientos o caídas, en el resto de las laderas.

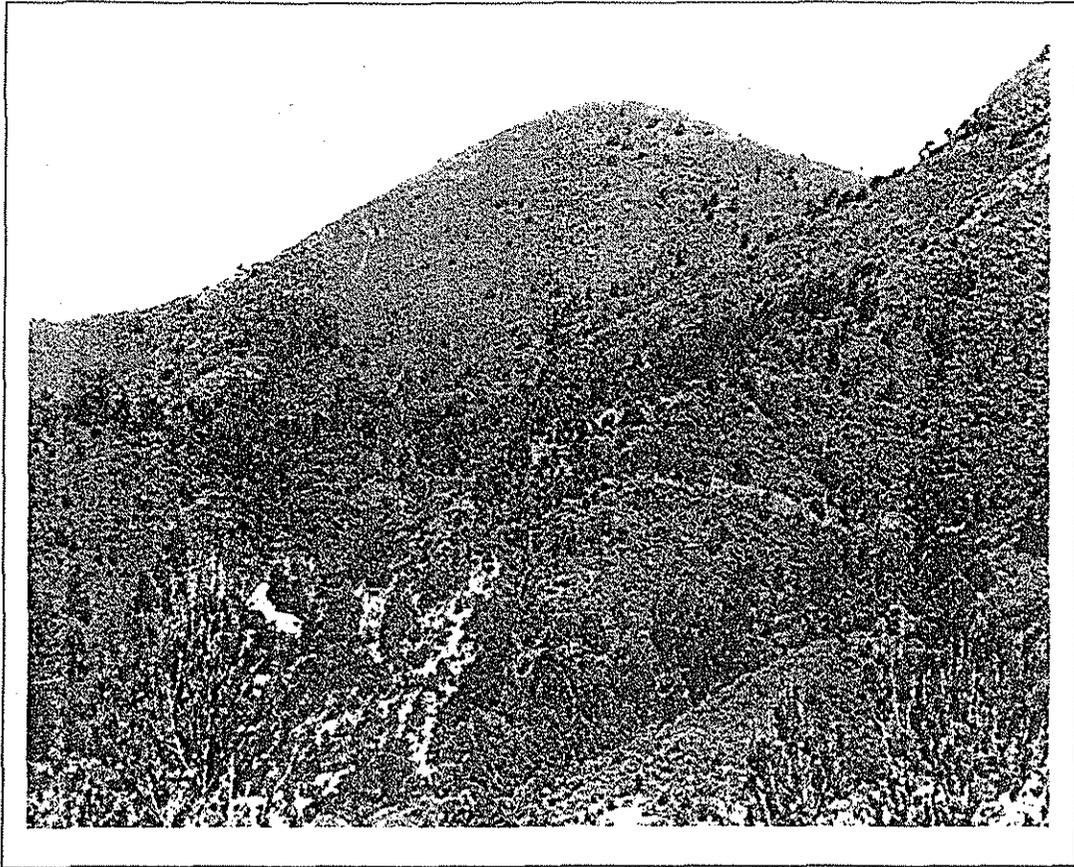


Figura 61. Domos volcánicos constituidos de dacita: Cerro Tres Padres.

6. *Domos volcánicos de riolita*. Se ubican en el sector sur de la sierra de Guadalupe y se alinean en una dirección preferencial SE-NW. Estas formas del relieve concentran una densidad importante de fallas, que favorece laderas escalonadas y geometrías cóncava-convexa y cóncava-paralela (Fig. 62). Mooser *op. cit.*, Lozano *op. cit.*, Lugo *et. al.* (1996), y Salinas *op. cit.*, resaltan el grado de modelado de estas estructuras con respecto a las formas anteriores. La densidad de barrancos es notable y presentan morfología en "V" con profundidad de hasta 15 metros. Las formas del relieve que se asocian al modelado de los domos son variadas; entre ellas las más importantes son: saltos de cabecera, circos de erosión fluvial activos y alvéolos de lavado laminar; todas ellas ponen en evidencia la susceptibilidad de los materiales a la erosión. Asimismo, están presentes procesos de ladera a lo largo de zonas de debilidad regional, representadas por los escarpes de Cuatepec y Texcoco.

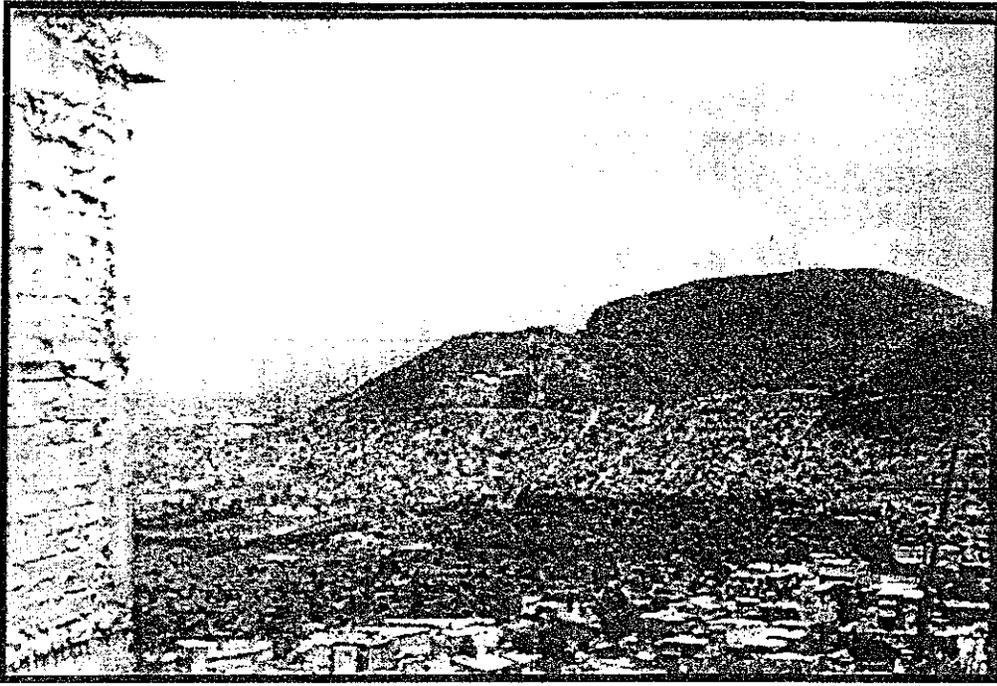


Figura 62. Domos volcánicas de riolita. Se observa el grado de modelado derivado de la acción de los procesos fluviales y gravitacionales (domos del sector occidental de la fosa de Cuauhtepic).

7. *Coladas de lava ácida.* Se ubican en el sector norte y noreste de la sierra de Guadalupe, son derrames de lava cortos de potente espesor que circundan domos y volcanes. Las laderas son de pendiente fuerte (de hasta  $30^\circ$ ); de geometría convexa – divergente (Fig. 63). Barrancos de hasta 8 metros de profundidad y circos activos son los principales agentes de modelado.

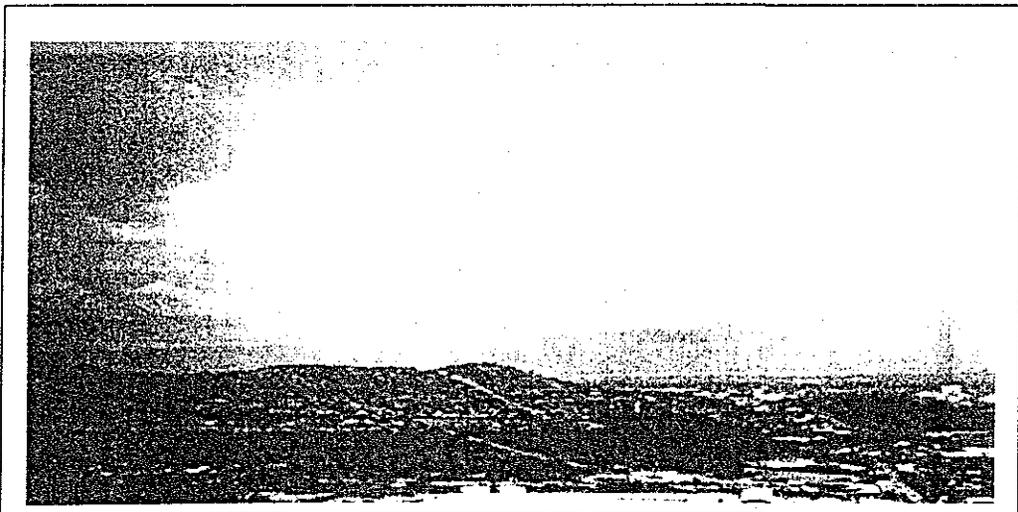


Figura 63 Coladas de lava ácida del sector norte y noreste de la sierra de Guadalupe

8. *Coladas de lava cubiertas de pómez.* Se ubican en el sector norte de la sierra de Guadalupe y se distinguen de las anteriores por su menor altitud (de hasta 2600 msnm); la pendiente está suavizada por la cubierta de piroclastos (la inclinación del terreno es menor a los 20°, Fig. 64). La presencia de barrancos con profundidad de hasta 20 metros, circos activos y la densidad de barrancos de primero y segundo orden ponen de manifiesto la susceptibilidad de los materiales a la erosión.

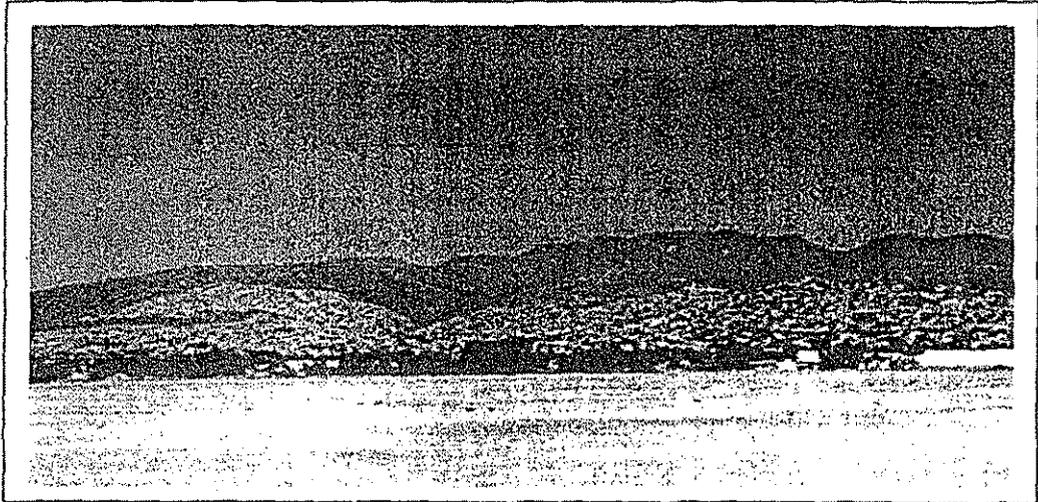


Figura 64. Coladas de lava cubiertas de pómez del sector norte de la sierra de Guadalupe y sierra de Barrientos; se observan el sistema de barrancos que disecan las laderas.

9. *Laderas de lava basáltica.* Se ubican en el sector sur y centro de la sierra de Guadalupe. Se encuentran falladas significativamente, mostrando laderas escalonadas de tipo cóncavo-convexa y rectas-paralelas. Los barrancos con profundidad de hasta 30 metros con morfología de valle en "V", saltos de cabecera, circos activos y zonas de lavado laminar evidencian la susceptibilidad de los materiales a la erosión, asimismo, la densidad de procesos de ladera a lo largo de zonas de debilidad regional (Figura 65).

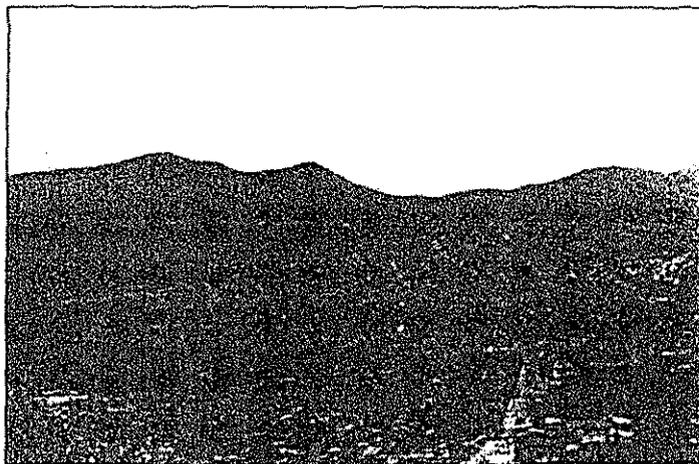


Figura 65. Sector sur de la sierra de Guadalupe, laderas de lava basáltica.

10. *Caldera de explosión (El Tigre)*. Las calderas son grandes depresiones volcánicas, de más de 1 km de diámetro y paredes casi verticales, con una altura entre 100 m y 1 km (Scarth, 1994). De acuerdo con el mecanismo de origen se clasifican en calderas de erosión, explosión y hundimiento; estas últimas son las más características. No obstante, los tres mecanismos intervienen de manera conjunta en su formación (Araña, 1974).

En el caso de la caldera El Tigre es difícil determinar una génesis precisa, no obstante, la interpretación morfológica en campo y a través de fotografías aéreas nos permite deducir que dicha estructura tuvo su origen en el vaciado de la cámara magmática poco profunda, donde subsidencias (desplome lento) y colapsos (desplome brusco) generados por la descompresión y explosión, originaron la aparición de fracturas radiales en torno al reservorio magmático y al relieve asociado. Estos eventos están ligados a erupciones riolíticas y a la expulsión de grandes cantidades de material piroclástico del Oligoceno y del Mioceno temprano (Mooser, 1986).

La caldera es una estructura semicircular con 1.8 km de diámetro; se ubica en una zona de transición entre las sierras de Guadalupe y Monte Alto-Monte Bajo, y su altitud no supera los 2700 msnm. Las fallas normales regionales, Chapultepec y MA-MB, y un sistema local radial de fracturas desmembran la caldera. El modelado es significativo, la presencia de barrancos de hasta 25 metros de profundidad y un sistema fluvial bien desarrollado e integrado, ponen de manifiesto la intensidad de la erosión fluvial, misma controlada por la dirección de los valles con diseño anular y radial centrífugo.

11. *Afloramientos rocosos constituidos por lava, con morfología de crestas o cuerdas interfluviales*. Estas formas se ubican próximas a las cimas, donde la inclinación es mayor a 45°; los procesos gravitacionales activos (desprendimientos) dominan en el modelado del terreno. La Figura 66 se muestra un sector de la ladera NE del cerro El Chiquihuite, donde los materiales, la inclinación de la vertiente y las transformaciones del relieve debido a los asentamientos humanos, favorece los desprendimientos o caídas de detritos. Este fenómeno representa una amenaza constante para los habitantes de este sector.

#### - Símbolos complementarios al relieve endógeno

12. *Fallas*. Las estructuras disyuntivas presentes en la sierra de Guadalupe se asocian al sistema regional de la cuenca de México. En esta categoría se encuentran las fallas de Cuauhtepac, Norte - Este y Oeste que definen la fosa homónima. Esta depresión tectónica presenta una longitud de más de 4.5 km y una anchura de 2.1 km y se orienta NE - SW.

En la sierra de Barrientos, las fallas normales se disponen de E-W y tienen una longitud de 6 km, dislocan domos y coladas de lava; de esta manera, interrumpe la continuidad y la morfología del conjunto de la sierra. Por otra parte, las fallas de Monte Alto-Monte Bajo y Chapultepec seccionan la sierra de MA-MB y la caldera El Tigre. En ésta última se evidencia la influencia del sistema estructural, controlando ríos con profundidad de disección de hasta 100 metros y escarpas de fuerte pendiente con 80 metros de altura. Finalmente, cabe destacar

el reconocimiento de fallas inversas en la sierra de MA-MB que desplazan hasta 2 metros en la vertical unidades de palosuelos, tobas y pómez.

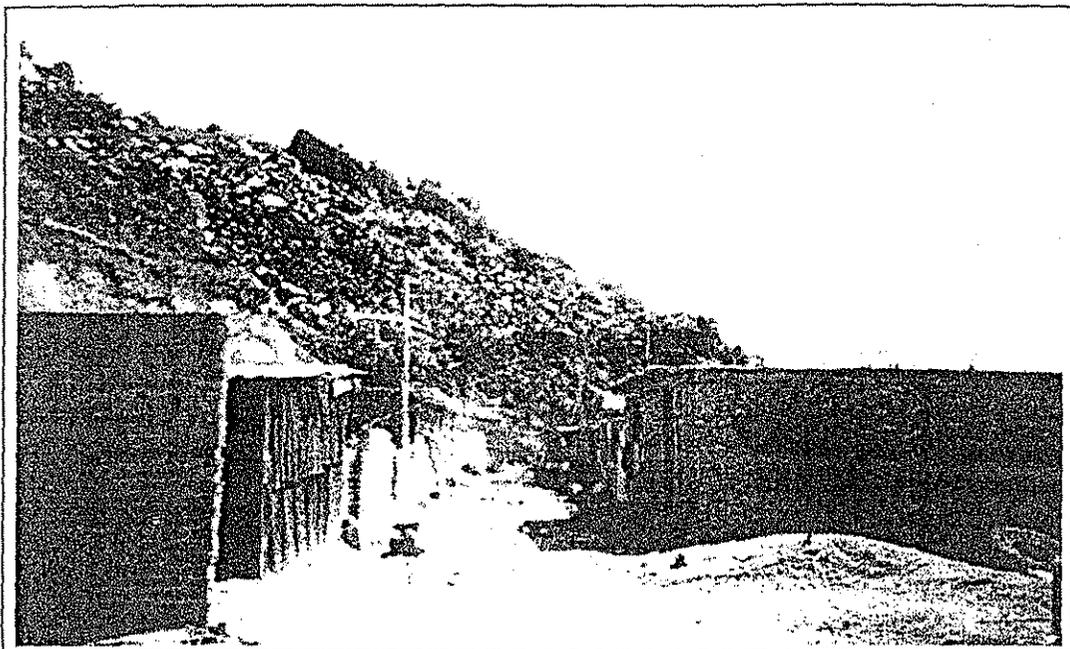


Figura 66. Afloramiento rocoso parcialmente transformado por los asentamientos humanos.

13. *Cráter de caldera*. Depresión en forma de herradura originada por una erupción magmática explosiva y/o de hundimiento, es el caso del la caldera El Tigre originada en el Oligoceno-Mioceno Inferior. Presenta un diámetro de 1.2 km y una profundidad de 250 metros, la influencia de las fallas Chapultepec y MA-MB, así como las fracturas y fallas originadas durante o posterior a la actividad explosiva han favorecido la disección del sector oriental, el cual se encuentra sepultado por lavas del Mioceno Superior y Plioceno - Cuaternario de la Formación Tarango, lo cual pone de manifiesto la edad de este elemento.

## RELIEVE EXÓGENO

Está representado por formas de origen fluvial, gravitacional y lacustre, para su análisis se ha dividido en dos categorías; la primera engloba formas negativas de origen fluvial. El segundo grupo representa formas acumulativas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## - Erosivo - Fluvial

14. *Talwegs*. Representa la porción más profunda del cauce, debido a las características de escurrimiento del área de estudio, de carácter estacional, es de importancia su identificación, sobre todo en los sectores de piedemonte-planicie, debido a que su existencia pone de manifiesto la extensión y los límites de los mantos de acumulación que definen las formas mencionadas. Bajo esta perspectiva, la sierra de MA – MB presenta una densidad mayor de talwegs comparada con la sierra de Barrientos y Guadalupe. Esta última desarrolla una gran densidad en sus sectores N y S.

15. *Barrancos*. Son formas erosivas de configuración rectilínea que representan un relieve negativo asociado a la dinámica fluvial; definen laderas estrechas y abruptas, con frecuencia ramificados hacia la cabecera y, en la mayoría de los casos, carentes de vegetación. En longitud llegan a alcanzar algunos kilómetros y en profundidad algunas decenas metros (hasta 100 metros en el área de estudio). La densidad y profundidad de estas formas depende del tipo de roca, estructura geológica, fallas, pendiente, vegetación y clima (De Pedraza, *Op. Cit.*). La combinación de dos o más factores, definen los aspectos zonales de influencia en el desarrollo de estos relieves que dan como resultado configuraciones de drenaje dendrítico, subdendrítico, paralelo y radial centrífugo.

Los diseños dendrítico y subdendrítico se localizan en el sector sur y este de la S. de Guadalupe, la profundidad de la disección alcanza los 20 m; el mismo sistema de drenaje se desarrolla en la sierra de MA – MB con influencia de patrones subparalelos; sin embargo, la profundidad de la disección es mayor: 100 metros. Esta diferencia la determina el tipo de roca y la presencia de zonas de debilidad (fracturas y fallas).

En las sierras de Guadalupe (sector norte) y El Tigre es evidente la configuración radial, sin embargo, en la primera es centrífugo y en la segunda es centrípeto, con una clara influencia estructural, determinada por fallas y fracturas que se formaron en el momento de la creación de la caldera. En la sierra de Barrientos, la densidad y profundidad de barrancos es mínima, siendo una posible explicación la energía del relieve (menor a 100 metros) y la suave inclinación del terreno (menor a 12°).

El perfil transversal de los barrancos es de dos tipos: por un lado, los de morfología en "V" y, por otro, los de "caja" o de fondo plano. Los primeros presentan una incisión vertical bien definida, que se desarrolla en materiales deleznable y más susceptibles a la erosión. En tanto los segundos se presentan en áreas de materiales heterogéneos. El mejor ejemplo se puede observar en las laderas de lava cubiertas de piroclastos; aquí, cuando el río alcanza los materiales más resistentes (lava), la erosión lateral del cauce se hace manifiesta y se desarrollan cauces de fondo plano (Fig. 67). Este tipo de barrancos se ubica en el sector norte de la sierra de Guadalupe, principalmente.

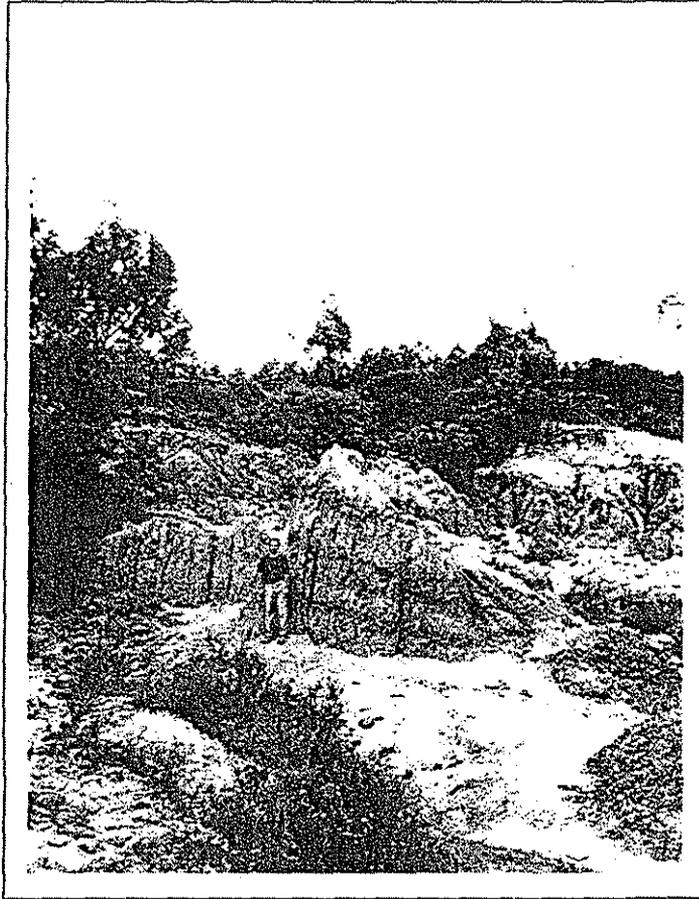


Figura 67. Desarrollo de barrancos sobre laderas de lava cubiertas de piroclastos, se observa el fondo plano del cauce.

*16. Laderas superiores de valle.* Corresponden a superficies abruptas que tienen una inclinación mayor a  $30^\circ$ , en estas áreas hay una gran densidad de corrientes fluviales dispuestas en densas redes de cárcavas y surcos; algunos de ellos definen circos de erosión fluvial activos. La geometría de estas vertientes son rectas-paralelas y cóncavas-convergentes si se analizan de manera individual, en conjunto, todas ellas definen cuencas de captación muy amplias y de poco desarrollo en la vertical, es en estos territorios donde se concentran los escurrimientos de todos los cauces presentes en sus márgenes.

En el sector norte de la S. de Guadalupe, estas superficies de concentración fluvial, algunas de ellas presentan longitudes de hasta 1.2 km. A su vez, forman parte de sistemas fluviales de mayor desarrollo como: Candías, La Mora y Tres Barrancos. La Figura 68, muestra un ejemplo representativo de estas formas del relieve que están presentes en el sector sur de la sierra de Guadalupe. En la sierra de MA – MB y El Tigre, las formas descritas se presentan aisladas, no son continuas y se localizan muy cerca de circos erosivos activos.



Figura 68. Laderas superiores de valle en el sector sur de la sierra de Guadalupe. Se observa la geometría cóncava que caracteriza cuencas de captación amplias.

17. *Cauces distributarios.* Se ubican sobre superficies acumulativas de morfología convexa-divergente (conos proluviales), las corrientes cortan depósitos fluviales con cauces de hasta 3 m. Las longitudes son variables, pero no superan los 1.4 kilómetros. Una característica particular que se observa en el lecho es la presencia de bloques con ejes mayores que varían de 20 a 30 cm; de alguna manera estos depósitos dan una idea del carácter torrencial presente en la época húmeda del año.

18. *Circos erosivos.* En el área de estudio se ubican en las cabeceras de barrancos, en todo tipo de roca, aunque se presentan en mayor número y tamaño en laderas de lava cubiertas de tobas y pómez del sector norte de la S. de Guadalupe y en la sierra de MA-MB. La mayoría de los circos son activos y algunos han llegado a seccionar la superficie interfluvial.

19. *Superficies interfluviales de geometría convexa.* Estas superficies representan las porciones más elevadas de la región de montaña y comprenden sectores del parteaguas regional y local. Presentan una morfología con diversos grados de convexidad, a manera "dorso de ballena", las inclinaciones varían de 3° a 12° y debido a las características dispersoras de estas superficies, el proceso que las modela es de tipo laminar. La longitud de estas formas varía entre 600 m y 3.2 km; su amplitud llega a alcanzar 200 m.

- Erosivo – gravitacional

20. *Circos o coronas de desprendimiento*. Se definen como zonas de ruptura, de geometría cóncava, curva, en forma de "cuchara" o "herradura"; se asocian a deslizamientos que pueden involucrar suelos, detritos o roca masiva. Representa el límite superior del proceso gravitacional, generalmente se localiza en las cimas, muy cerca de ellas o en laderas de fuerte inclinación, mayor a  $30^\circ$  para la zona de estudio. En el *graben* de Cuauhtepac estas formas del relieve son comunes (un total de 36), su presencia y actividad guarda una estrecha relación con la actividad tectónica presente (Figura 69). Un rasgo característico que fundamenta lo anterior es la alineación de los circos de desprendimiento con la dirección preferencial de las fallas E– W y N.

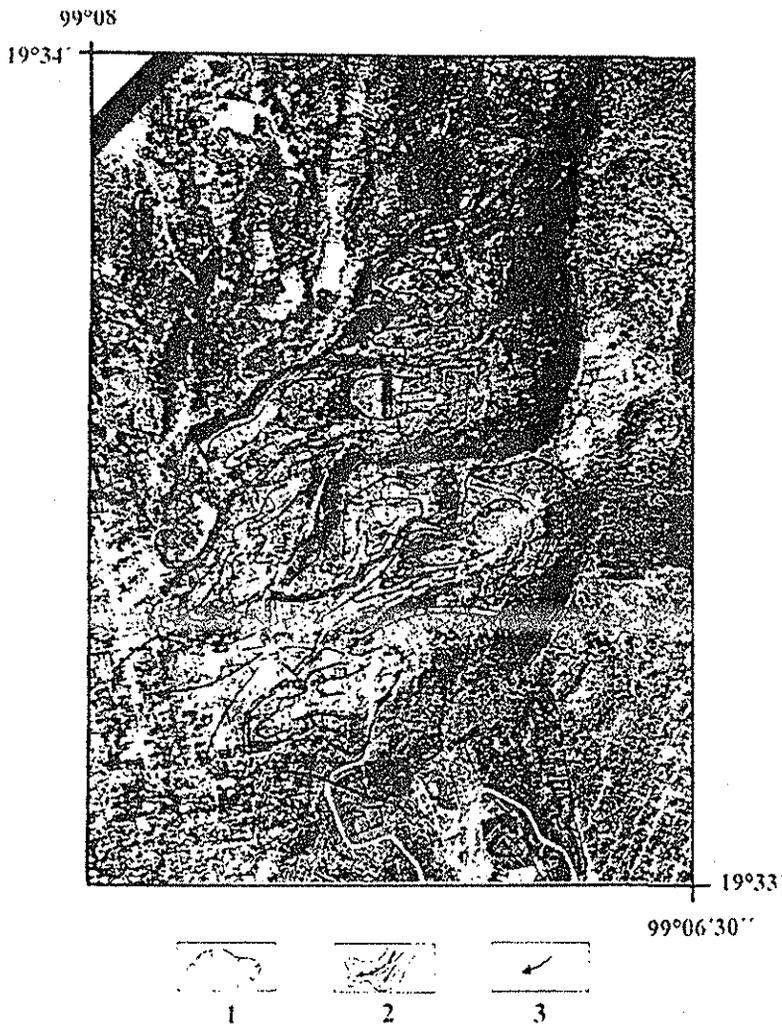


Figura 69. Elementos del relieve asociados a los procesos gravitacionales: 1. Circo de desprendimiento; 2. Depósitos mostrando la dirección de movimiento; 3. Posición altitudinal relativa entre los depósitos.

21. *Corredores de escombros y depósitos coluviales asociados.* Estas formas del relieve presentan dos fases en su origen y dinámica. La primera tiene relación con canales y surcos de origen fluvial de régimen estacional, es decir, encauzan las aguas de lluvia en la estación húmeda; el resto del año funcionan como corredores de escombros por efecto de la gravedad. Son relieves complejos que involucran la dinámica fluvial y gravitacional. El sector noreste de la sierra de Guadalupe es la región donde se tienen los ejemplos más representativos de los corredores de escombros, de igual manera están presentes en laderas que constituyen domos andesíticos, como es el caso del Pico Los Díaz e Itzacalli-Ecatepec. Los materiales que se desplazan por estos canales presentan una gradación: los más gruesos se ubican en las porciones distales del depósito (bloques de 30-40 cm de eje mayor) y los finos (arenas gruesas, gravillas y cantos) en las zonas próximas a la fuente de origen. Los depósitos constituyen mantos con capas delgadas de detritos que aumentan en espesor al pie de la montaña y no forman conos.

- Acumulativo - fluvial

22. *Terrazas.* Son una superficie plana o débilmente inclinada, por lo general estrecha y alargada, se reconocen por el cambio abrupto de pendiente y son vestigios de antiguos niveles de disección. En la zona de estudio se reconocen terrazas asociadas a los abanicos proluviales, sobre todo los que se localizan en el sector norte de la sierra de Guadalupe; en las llanuras de inundación de los ríos San Andrés y La Mora. El origen de estas terrazas se asocia a cambios bruscos del régimen hidrológico (Lugo, 1989), que generalmente es de tipo torrencial. Las terrazas que tienen mayor desarrollo son las del río San Andrés, su origen puede explicarse al cambio en el nivel de base lacustre (originado por la desecación del mismo); en los cortes de estas terrazas, se observó que no están constituidas sólo de acarreo aluvial; también existen materiales interdigitados de origen proluvial y lacustre.

23. *Abanicos proluviales.* Son una forma acumulativa con morfología de medio cono recostado con el ápice hacia arriba, se origina en la desembocadura de una corriente montañosa. El cambio brusco de pendiente provoca que la corriente deposite su carga hacia el frente, expandiéndose (Fig. 70). Los depósitos que los constituyen son heterométricos y mal clasificados; los ejes mayores alcanzan los 2.5 metros (esto se observó en los abanicos de San Andrés, Candías y Tres Barrancos). Existen de dos tipos: a) activos y b) inactivos; los primeros presentan canales distributarios que definen la forma típica de abanico, los segundos se reconocen por la morfología o por la presencia de los depósitos. La densidad de abanicos proluviales es mayor en el sector norte de la sierra de Guadalupe, forman coalescencias y definen mantos que no superan los 2.1 km<sup>2</sup>. La longitud de estas estructuras es inferior a 1.3 km (del ápice a la porción distal o punto de fusión con la planicie fluvio-lacustre). El abanico del río San Andrés es el de mayor dimensión y presenta una longitud entre el ápice y su porción distal de 2.5 km. Cabe destacar que, en la mayoría de los casos, los canales distributarios y el canal principal del abanico se encuentran canalizados y urbanizados (Figura 71).

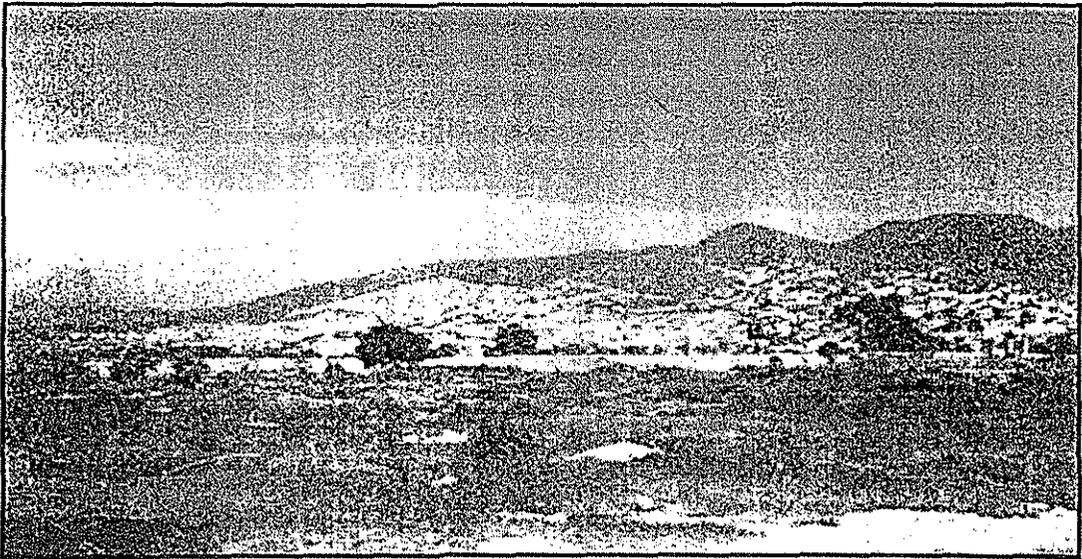


Figura 70. Sector NE de la sierra de Guadalupe, se muestra la transición entre la planicie, el piedemonte y la montaña, los abanicos proluviales forman un pequeño piedemonte.

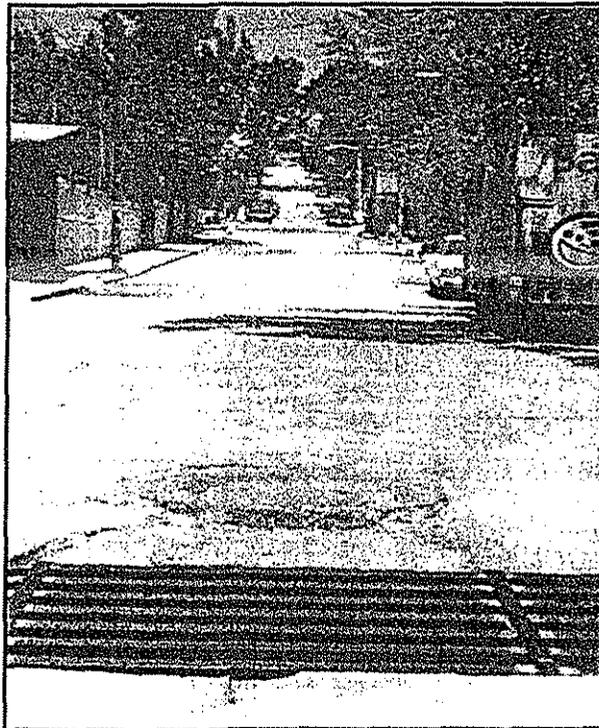


Figura 71. Canalización del sistema de distributarios de los abanicos proluviales.

Se reconocen pequeños abanicos en la sierra de Barrientos y El Tigre, en esta última forman pequeñas coalescencias, de hasta cinco estructuras. Finalmente, al pie de la sierra de MA-MB se desarrollan depósitos pluviales a manera de llanuras y domina el depósito de materiales finos (Figura 72). Es el caso del río Cuautitlan y Tlalnepantla-Los Remedios.

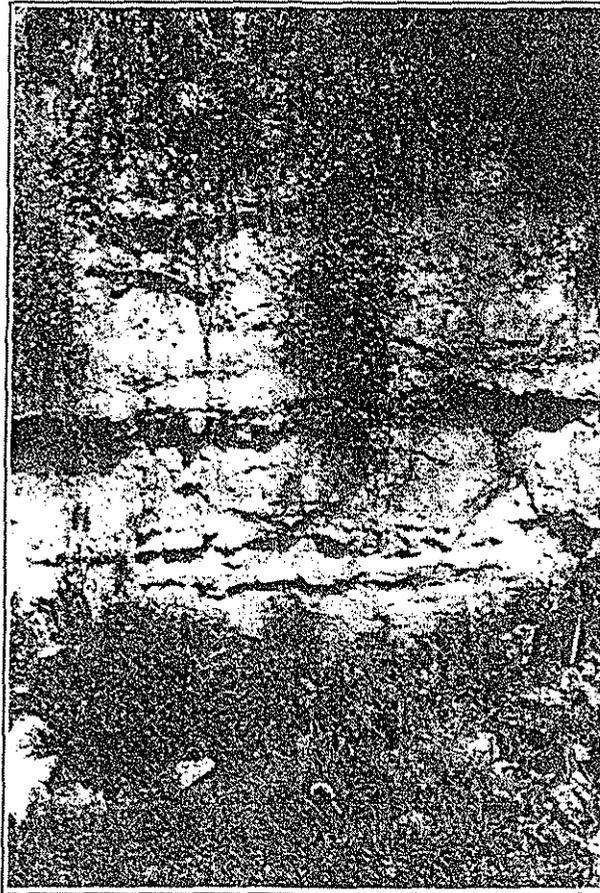


Figura 72. Secuencia de depósitos proluviales de los ríos Tlalnepantla – San Andrés, el espesor de los estratos no supera los 15 cm, la secuencia es de más de 3 metros.

24. *Depósitos "colgados" de origen proluvial – gravitacional.* Muestran una morfología similar a los abanicos proluviales, sin embargo, en la mayoría de los casos, se desarrollan en la región de montaña, al pie de laderas de fuerte inclinación ( $30^{\circ} - 45^{\circ}$ ). Son formas muy inestables, pues dos factores las desencadenan, la gravedad y las fuertes precipitaciones pluviales. No presentan matriz limosa y se constituye principalmente de bloques mal clasificados (Figura 73), se reconoce la fuente de origen y, en algunos casos, es posible reconocer corredores de escombros. Estas formas se ubican en el sector sureste de la sierra de Guadalupe, en el cerro del Chiquihuite y Cuanahuatpec, los cuales se encuentran densamente fracturados y se constituyen por rocas volcánicas ácidas. La dimensión de estos conos no supera los  $200 \text{ m}^2$ , lo cual delimita claramente su distribución y extensión espacial.



Figura 73. Depósitos coluviales "colgados" sobre laderas de riolita en el cerro Cuanahuatepec. En algunos casos los bloques llegan a tener 100 cm de eje mayor, se reconoce la fuente del material.

25. *Planicie ligeramente inclinada constituida de depósitos aluviales.* Superficie plana de origen aluvial que se orienta al N – SW, tomando como referencia la población de Cuautitlán. Se considera una zona de transición hacia la planicie lacustre, donde desembocan los ríos Cuautitlán y Jarilla. Esta planicie tiene un área de 12 km<sup>2</sup>, aproximados. Si bien en toda esa área no existen desniveles significativos, su reconocimiento lo determina la textura y las facies de los materiales que la constituyen (Figura 74). Se presenta una gradación de materiales en la siguiente secuencia: depósitos aluviales, aluviales de canal o cauce y aluvial de terraza.



Figura 74. Depósitos aluviales de matriz arenosa con bloques ligeramente redondeados e imbricados que constituyen la planicie aluvial del río Cuautitlán.

26. *Planicie ligeramente inclinada, de transición, proluvial distal – lacustre.* Estas superficies representan la porción más distal de los depósitos de abanico, la textura es limo arcillosa y se interdigita con los depósitos lacustres (Figura 75). Sobre su superficie es posible reconocer evidencias que ponen de manifiesto antiguos cauces a lo largo de toda esta estructura; su inclinación es similar a la unidad anterior. Se localizan en el sector norte y el noroeste de la sierra de Guadalupe, principalmente donde existen abanicos aluviales extensos, como es el caso de Las Candías, Tres Barrancos y San Andrés. Cabe destacar que sobre estos terrenos planos se desarrolla una serie de grietas de expansión (desección) que alcanzan hasta 500 metros de longitud (Figura 76). El origen de estas estructuras sin duda, tiene relación con la extracción de agua que se realiza a través de un sistema de pozos, los poblados más afectados por este proceso son Viveros de Xalostoc, Boulevares y Ecatepec.



Figura 75. Secuencia de depósitos proluviales distales que descansan sobre la secuencia lacustre, el espesor es de 1.86 metros y se presenta a manera de laminas de 10 a 18 cm de espesor.

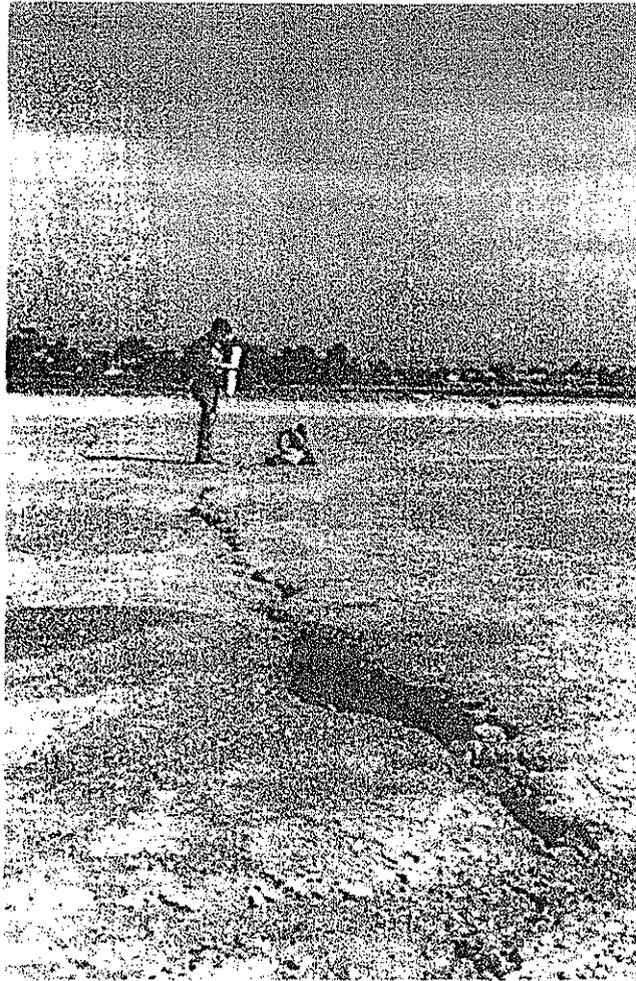


Figura 76. Desarrollo de grietas sobre la planicie de transición proluvial distal - lacustre .

En el sector suroriental de la sierra de Guadalupe y Barrientos, se reconoce esta forma, siñ embargo, presenta una inclinación menor a la anterior, y se caracteriza por su ubicación entre pequeños lomeríos. Así, las planicies de Valle Hermoso, El Dorado y Cuautepec se reconocen fácilmente y presentan una inclinación hacia el sur y son colmatadas por los ríos La Mora y Tlalnepantla; son continuas y tienen una área de 8.3 km<sup>2</sup>.

27. *Planicie compleja de morfología tabular.* Se ubica en el sector norte del área en estudio y corresponde a una pequeña colada de lava cubierta de depósitos lacustres (86 cm de espesor). Esta característica hace que la estructura adopte una morfología tabular que sobresale del contexto de las planicies que la rodean; su altura relativa varía entre los 30 y 50 cm; el área que ocupa es de 14 km<sup>2</sup> aproximados. El objetivo de diferenciar esta forma del relieve tan efímera, es que representa un contacto bien definido entre las planicies de origen fluvial y lacustre.

- Acumulativo-lacustre

28. *Planicie lacustre ligeramente ondulada.* Se distribuye en los sectores noreste, este y sur del área en estudio y representa la antigua extensión del lago de Texcoco. Esta unidad se encuentra totalmente transformada por la urbanización, sobre todo en los sectores sur y este. En el primero, hay que mencionar que todavía existen superficies que no han sido habitadas y que están siendo cultivadas. Estas pequeñas áreas alternan con fraccionamientos habitacionales de nueva creación, por lo que, en un futuro cercano desaparecerán los campos de cultivo para dar paso a un uso del suelo distinto. Dos procesos geomorfológicos, están presentes en la planicie lacustre: las inundaciones extraordinarias y la subsidencia o hundimiento diferencial del terreno. Las zonas más afectadas por estos fenómenos son las colonias Emiliano Zapata, Barrio La Purísima, Ticoman y Francisco I. Madero. Un factor que no es de índole natural, pero que tiene un efecto contraproducente para la habitación de las zonas mencionadas, es la presencia de basura abundante en canales o lechos fluviales que se ubican en esta región (Fig. 77 - 78).



Figura 77. Residuos sólidos en canales cercanos a la Colonia La Purísima .

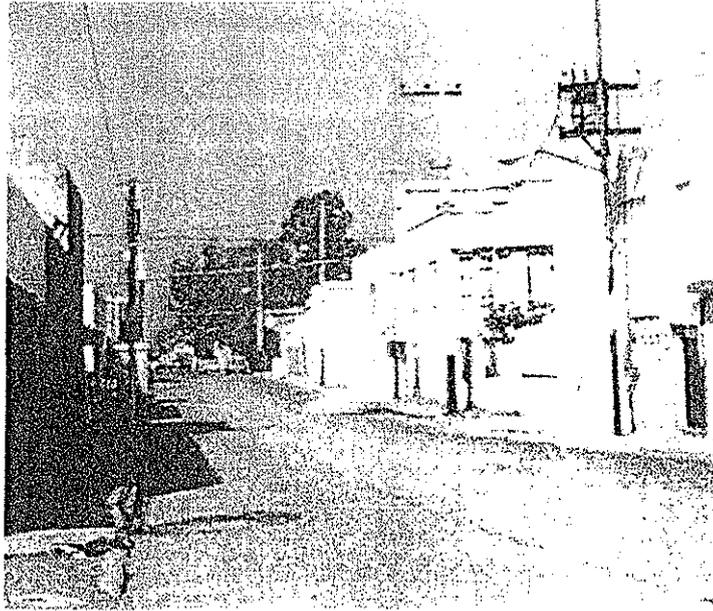


Figura 78. Hundimientos diferenciales del terreno en la Colonia Emiliano Zapata.

29. *Planicie lacustre*. Superficie lacustre activa en la temporada de lluvias, que representa la porción más deprimida de la zona de estudio y define los límites del lago que existía en 1980. Tres áreas están bien diferenciadas en esta unidad: a) Norte, en las cercanías del Conjunto Habitacional Gustavo Baz; b) Este, ubicado en la colonia Jardines de Morelos, y c) Sureste, en la colonia Iztcalli - Santa Clara - Nezahualcoyotl. En todos los casos el tirante de agua del cuerpo lacustre es muy efímero ( 67 cm), y no existe una carpeta de agua continua, en la actualidad se presentan a manera de encharcamientos, ésta situación puede deberse a las modificaciones causadas por la urbanización y la subsidencia del terreno. La secuencia sedimentaria de la Figura 79 permite identificar tres estratos lacustres divididos por depósitos proluviales: el espesor de los primeros varía de 7 a 15 cm, en tanto que los segundos no superan los 5 cm. El hundimiento diferencial del terreno se refleja en el basculamiento de las casas habitación y el agrietamiento del terreno.

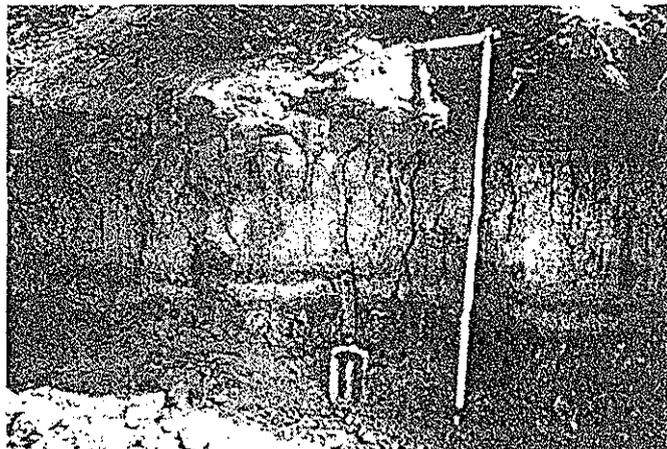


Figura 79. Depósitos lacustres y laminas de material proluvial.

- Acumulativo – Gravitacional

30. *Depósitos coluviales: próximos a la fuente de origen.* Son detritos rocosos desplazados ladera abajo por la acción de la fuerza de gravedad (desprendimientos o caídas). Se depositan al pie de las laderas, formando pequeños mantos acumulativos; constituidos de pseudocapas de espesor variable (15 a 40 cm de espesor). Por las características de ocurrencia los materiales que los constituyen están mal clasificados y presentan una nula madurez textural (Figura 80). La fuente de origen de estos depósitos se asocia a laderas de fuerte pendiente, descubiertas de vegetación, muy intemperizadas y muy fracturadas. Extensos depósitos de coluviones se desarrollan sobre los cerros Chiquihuite, Tenayo, El Guerrero, Las Canteras y Pico Los Díaz.

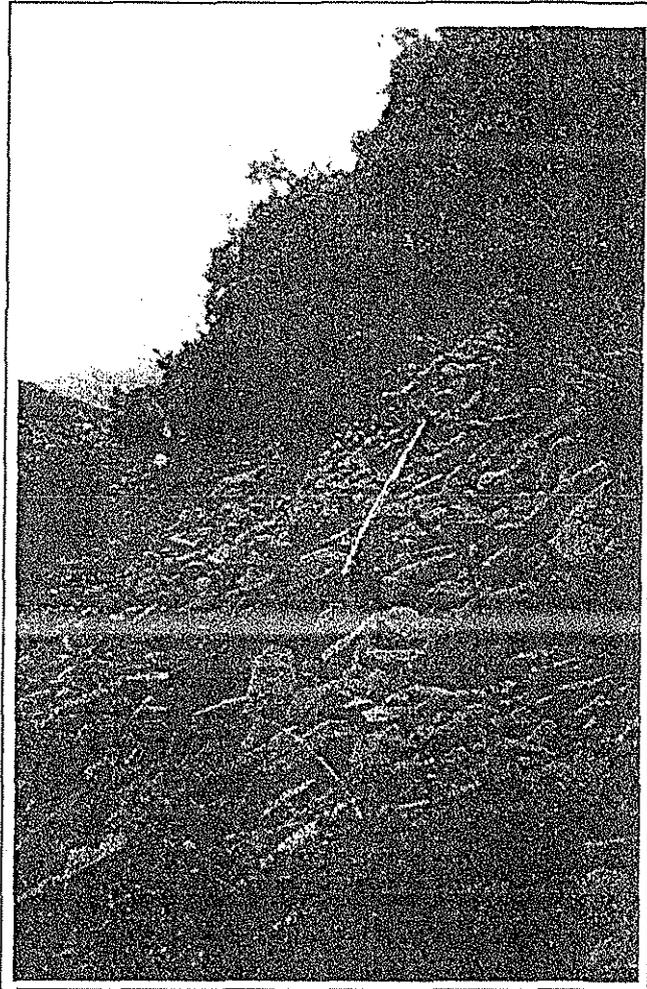


Figura 80. Depósitos coluviales proximales en el cerro Chuquihuite.

31. *Depósitos coluviales distales* a la fuente de origen. Estos depósitos presentan un origen similar al anterior, sin embargo, su extensión y área de influencia es mayor. Los ejemplos más representativos se localizan en los cerros Chiquihuite y Las Canteras. El rasgo característico que permitió clasificarlos como un grupo aparte, fue el tamaño de los materiales: los ejes mayores de los bloques varía de 70 cm hasta 3 metros; esto favorece su transporte ladera a bajo. En algunos casos grandes bloques han recorrido distancias considerables afectando las zonas urbanas que se localizan en el piedemonte o incluso en la planicie (Fig. 81).

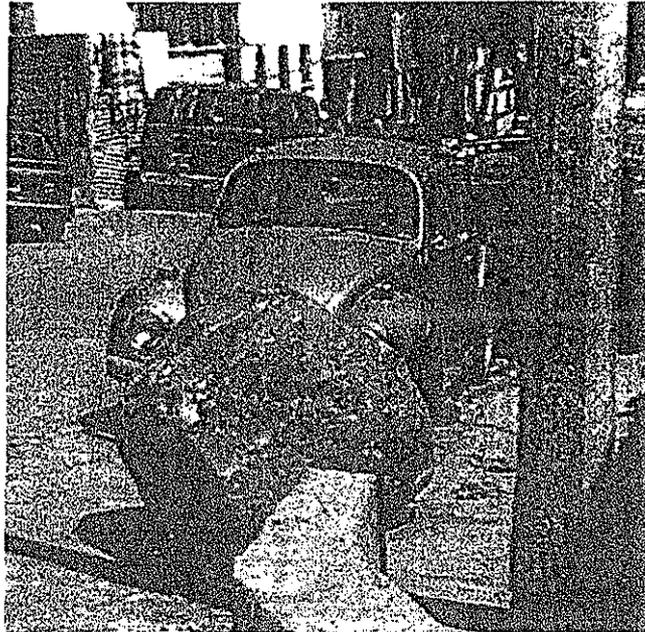


Figura 81. Depósito coluvial distal, en el cerro Chiquihuite.

32. *Depósitos gravitacionales antiguos*. Esos materiales se originaron por el desplazamiento de masas completas (suelos, detritos y rocas) a costa de la gravedad. Al no ser recientes estos depósitos, su ocurrencia es difícil de determinar, por tal motivo, se presentan las siguientes consideraciones:

1. La superficie de los depósitos es ondulada (en planta definen crestas de compresión), en algunos casos se definen montículos aislados. Esta característica pone de manifiesto distintas velocidades en el movimiento de la masa al momento de deslizarse-depositarse. La inclinación de las laderas que están involucradas en estos procesos de gran magnitud presentan una inclinación superior a los  $60^\circ$ . Con respecto al tamaño de los materiales que constituyen estas grandes masas, en promedio presentan ejes mayores que varían de 10 a 17 metros; no obstante, existen bloques con 20 y 30 metros de eje mayor. Estas características dan una idea de las dimensiones del proceso gravitacional.

2. Una vez ocurrido el movimiento de la masa es posible que de manera simultánea continúen procesos gravitacionales de menor magnitud; sobre todo en

la superficie cóncava-recta que define la corona de desprendimiento. Para este sector, se reconocen vuelcos o desplomes (Fig. 82).

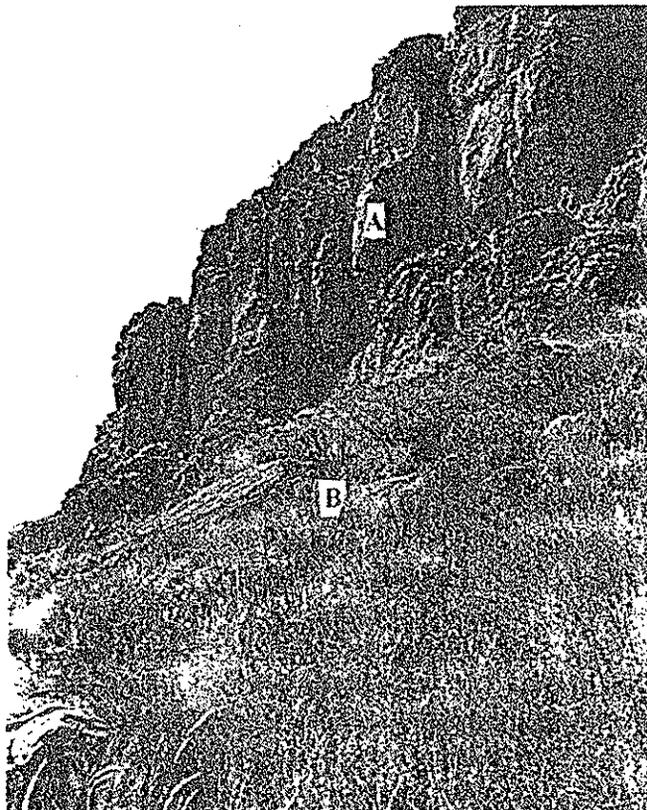


Figura 82. Escarpa de desprendimiento: A) Vuelco o desplome, y B) depósito coluvial (bloques).

3. Una característica que no fue posible reconocer en campo, pero que se asocia a este tipo de eventos es la siguiente: una vez emplazado el depósito, y si las condiciones de humedad (lluvias extraordinarias) existen, es posible que se generen flujos de lodo. Como ya se mencionó, este hecho no se reconoció en la zona de estudio, y la explicación de la ausencia de estos depósitos es a partir de la susceptibilidad que presenta el material para ser erosionado. Con seguridad, la erosión es la responsable del desmantelamiento de los materiales que llegaron a constituir flujos de lodo antiguos.

Los depósitos más representativos se localizan en los flancos del graben de Cuautepec (Fig. 83), hay que mencionar que un análisis detallado de los mismos se presenta en el último capítulo de este trabajo.



Figura 83. Depósito de un deslizamiento antiguo en el graben de Cuauhtepac.

*33. Corrientes de lodo o flujos.* Se definen como movimientos espacialmente continuos en donde las superficies de cizalla son muy próximas, son de poca duración, y por consiguiente, difíciles de observar (Alcántara – Ayala, 2000). En la zona de estudio su origen está relacionado con precipitaciones extraordinarias y son frecuentes en el piedemonte y en la zona de montaña. Los más representativos están localizados en las laderas de los cerros Chiquihuite y Las Canteras, y su desarrollo tiene una relación muy estrecha con los depósitos coluviales “colgados”; los cuales representan su fuente. Hay que mencionar que los flujos de lodo que se localizan en el cerro Chiquihuite se generaron por las lluvias extraordinarias que ocurrieron en 1996 y 1998. En esta última fecha los flujos de lodo formaron lóbulos de 460 metros de longitud, sepultaron 4 casa y murieron 3 personas (Figuras 84 - 85).

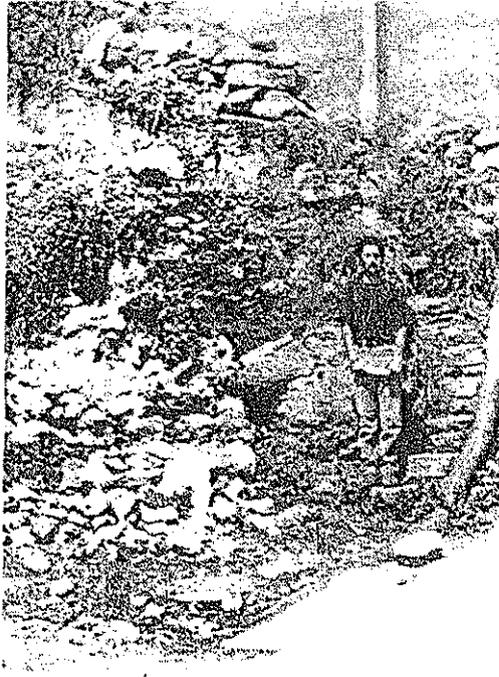


Figura 84. Corriente de lodo en las laderas del cerro Chiquihuite, el espesor varía de 2 a 3.5 metros, se observa la matriz limo-arcillosa del depósito y los bloques de hasta 1.5 m de eje mayor.

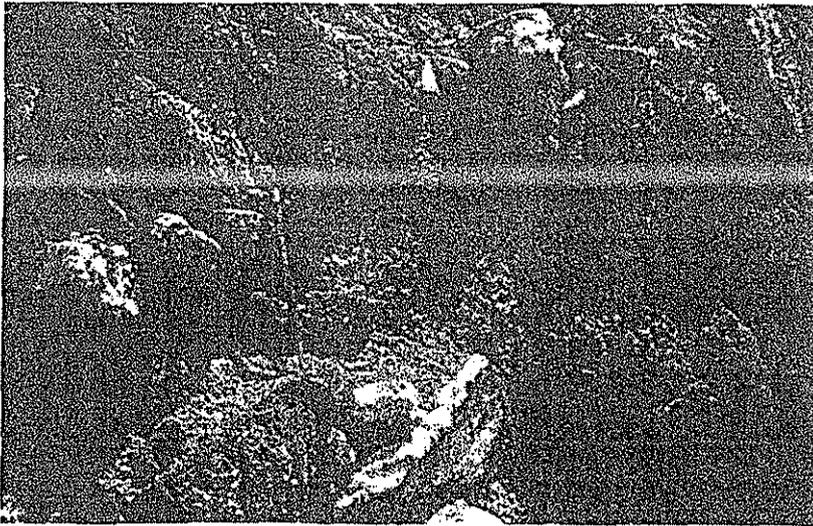


Figura 85. Detalle de depósito de corriente de lodo (de la figura 83): el material se encuentra mal clasificado, con matriz areno limosa, los bloques no muestran imbricación y son angulosos.

### 3.3 Consideraciones finales del capítulo III

La identificación y caracterización de las formas y unidades del relieve tuvo como punto de partida un análisis morfométrico a detalle, representado por cuatro mapas temáticos (pendientes, lineamientos, geometría de laderas y red hidrológica), además de un análisis de las condiciones hidrológicas de la región (gasto y escala – nivel de agua). De manera conjunta, se tomaron en cuenta los aspectos geológicos que integran el capítulo II; de esta manera se pudieron establecer relaciones entre las características morfométricas, litológicas, estructurales y la temporalidad de las rocas y de las formas del relieve.

Así, se reconocieron cuatro unidades geomorfológicas (montañas, elevaciones aisladas, piedemonte y planicie), las cuales se dividieron en subunidades de acuerdo con las condiciones genéticas y morfométricas; finalmente se identificaron formas del relieve por medio de una interpretación de fotografías aéreas y trabajo de campo. Estas se clasificaron en función de su génesis y de sus procesos modeladores. Todas estas características mencionadas se integran en un mapa geomorfológico. El análisis y la leyenda (clasificación genética) de este documento representa un diagnóstico de las condiciones del relieve que prevalecen en la sierra de Guadalupe y sus zonas adyacentes. Al mismo tiempo ponen en evidencia procesos modeladores que pueden representar una amenaza geomorfológica.

## CAPÍTULO IV

### DERRUMBES, DESLIZAMIENTOS Y EXPANSIÓN LATERAL DEL SUELO PROVOCADOS POR LA SISMICIDAD EN EL GRABEN DE CUAUTEPEC: REGIÓN SUR DE LA SIERRA DE GUADALUPE.

El objetivo central de este capítulo es identificar y caracterizar los derrumbes, deslizamientos y la expansión lateral del suelo provocados por la sismicidad en la fosa de Cuauhtepac, asimismo, proponer una secuencia evolutiva de los mismos. Representa en sí la aplicación del análisis geomorfológico realizado en la sierra de Guadalupe.

#### 4.1 Generalidades sobre los derrumbes, deslizamientos y la expansión lateral del suelo.

Los derrumbes, deslizamientos y la expansión lateral del suelo son fenómenos gravitacionales (Krauter 1998; Keefer 1984; Terzaghi 1950) y se los clasifica como procesos en masa (Ortiz *et al.* 1994; Goudie 1990; Crozier 1973; Carson y Kirkby 1972). Este tipo de fenómenos son efectos secundarios provocados por una manifestación extraordinaria: sismos, erupciones volcánicas, nevadas o lluvias intensas (Davis 1992; Yates *et al.*, 1996).

Las clasificaciones de los movimientos en masa de acuerdo al agente que los provoca (agua, viento, gravedad) son múltiples (véase Terzaghi 1950, Dalrymple 1968, Varnes 1978, Sharpe 1983, Krauter 1998), y consideran para la diferenciación de cada tipo los siguientes criterios: velocidad de emplazamiento, carácter del movimiento y material donde se desarrollan. Específicamente, Las clasificaciones de Terzaghi 1950, Crozier 1973, Varnes 1978 y Koukis 1997 consideran como agente desencadenador a los sismos, siendo un efecto secundario de éstos los movimientos del terreno.

#### 4.2 Los procesos gravitacionales en la fosa de Cuauhtepac, sierra de Guadalupe.

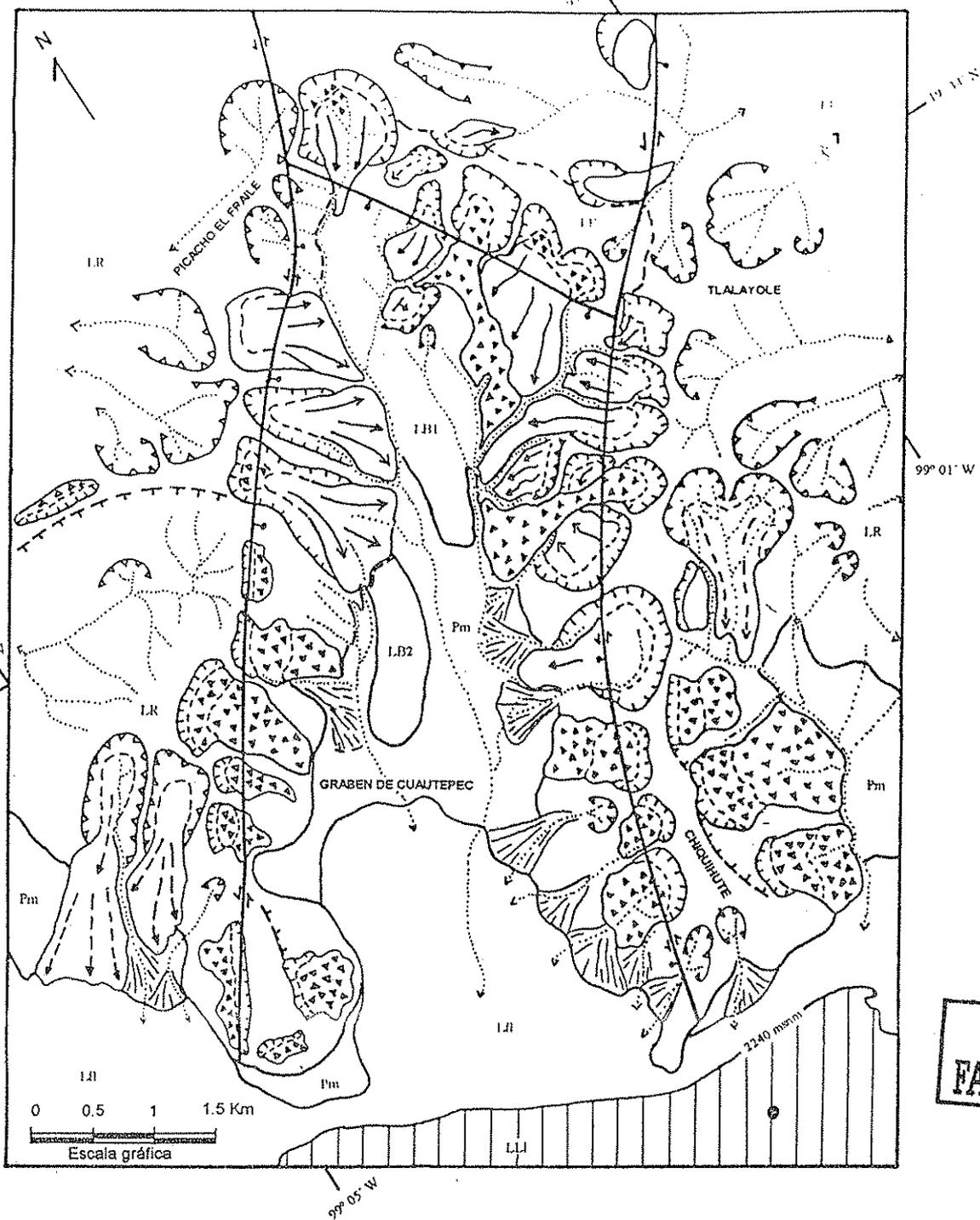
La sierra de Guadalupe es un complejo vulcano – tectónico de edad Mioceno – Cuaternario, ubicada en el sector central de la cuenca de México. La sierra se encuentra seccionada por una serie de fallas normales, algunas de componente lateral izquierdo (Mooser *et al.* 1996), que forman estructuras de pilar y fosa, de las cuales destaca la de Cuauhtepac que data del Plioceno temprano (Salinas, 1994 y Lugo *et al.*, 1996). Sumado a lo anterior, una secuencia fluvio - lacustre y volcánica se forma en la depresión de la misma cuenca, cuyos relictos lacustres son, hoy en día, todavía visibles.

Resultado de la actividad sísmica regional, de la Trinchera Mesoamericana, se han presentado en la región de estudio 43 sismos históricos de carácter catastrófico, el último de ellos el 19 de septiembre de 1985, que provocó, aparte de daños materiales, más de 20 000 muertos (Nava, 1987). La recurrencia de este fenómeno (de 30 a 70 años y periodos anómalos mayores a 100 años han sido identificados por Sánchez y

Singh, 1986) y la descripción existente de los mismos (Figueroa, 1971; Rojas, *et al.*, *Op. Cit.*; Yates J. *et al.*, 1989 y Frausto y Zamorano O. 1997) ha permitido detectar una serie de procesos geomorfológicos superficiales como derrumbes, deslizamientos y la expansión lateral del suelo directamente relacionados con la sismicidad, los mismos son la expresión más espectacular de los movimientos telúricos, provocando pérdidas materiales y humanas; de ahí su importancia.

Con base en el trabajo de gabinete y de campo, se reconocieron y diferenciaron los procesos gravitacionales de la fosa de Cuauhtepac (Figura 86). Se parte de la propuesta de Keefer (1984) que consiste en la diferenciación y clasificación de los derrumbes, deslizamientos y la expansión lateral del suelo de acuerdo al tipo de material donde se desarrollan (roca o suelo "material no consolidado"), carácter del movimiento, sea éste rotacional, en flujo, deslizamiento, desplome o "bamboleo" (lateral). Considera, asimismo, el grado de distribución interna de los materiales, existiendo disposición gradual o no gradual en el tamaño y forma de los mismos; la velocidad de emplazamiento se presenta en forma cualitativa, siguiendo para ello la propuesta de Varnes 1978, Crozier (*Op. Cit.*), y Yates *et al.* (*Op. Cit.*). Finalmente, la profundidad del depósito se determina con el análisis de los perfiles topográficos y la información sedimentológica y estratigráfica (Figura 86).

La Identificación y diferenciación de los procesos gravitacionales de la fosa de Cuauhtepac constituye la primera parte del análisis geomorfológico. A continuación se describen los métodos aplicados para diferenciar los estadios de evolución de las formas mencionadas.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

- a
- 1 3 4 5 7 8 9
- b
- 10 11 12 13 14 15 16 17 18

Figura 86. Mapa geomorfológico del área de estudio: LR, Laderas montañas, fuertemente fracturadas y falladas; LB1, Laderas de montaña, basálticas (Basalto Cuauhtepc), densamente fracturadas y falladas, caolinizadas; LB2, Laderas de montaña, basálticas, moderadamente fracturadas; Pm, Piedemonte acumulativo; LI, Llanura fluvio-lacustre; LLI, Llanura lacustre (Nivel de base de la Cuenca de México). Efectos secundarios de la sismicidad: a) derrumbes y deslizamientos en material consolidado, 1. Caída de rocas, 2. Desplome de rocas, 3. Deslizamiento de rocas, y 4. Deslizamiento de bloques de roca; b) Derrumbes y deslizamientos en material no consolidado, 5. Caída de suelo, 6. Deslizamiento rotacional de suelo, 7. Deslizamiento de bloques de suelo; c) Expansión y flujos laterales de suelo, 8. Sitio donde se identificó la secuencia lacustre deformada por la expansión lateral del suelo (licuefacción), 9. Área posible o susceptible a ser deformada por licuefacción, 10. Flujos rápidos de suelo; d) formas y elementos complementarios, 11. Derrumbes no diferenciados, 12. Escarpas, 13. Circos de erosión fluvial, 14. Corrientes fluviales intermitentes, 15. Conos de eyección, 16. Falla normal o transcurrente mostrando la dirección relativa de desplazamiento de los bloques, 17. Límite de las unidades geomorfológicas, y 18. Límite de los contactos geológicos.

FIGURA 87. Tipología de los procesos gravitacionales de la fosa de Cuauhtepac.

Nombre y frecuencia	Tipo de movimiento	Distribución interna de los materiales	Velocidad	Profundidad (en metros)	Magnitud (área)
<b>DERRUMBES EN ROCA</b>					
<i>Caída y deslizamientos</i>					
Caída de rocas	Caída libre, arrastre o rodamiento	Alta a muy alta (se mezclan los materiales llegando a perder su estructura original)	Extremadamente rápida	Superficial, de metros a decenas de metros	Escarpas de hasta 200 m de desnivel y áreas de depósito de 27 000 m <sup>2</sup>
Derrumbe o desplome de rocas	Desplome traslacional o sobre superficie de fricción basal (plano de falla, fractura o diaclasas)	Alta (mezcla de materiales llegando a perder su estructura original)	Rápido a extremadamente rápido	Superficial, de centímetros a metros	Escarpas de hasta 300 m y afloramientos rocosos de 37000 m <sup>2</sup> y depósitos de 150 000 m <sup>2</sup>
<i>Deslizamientos cohesivos</i>					
Deslizamiento de rocas	Resbalamiento sobre planos predispuestos, algunos elementos de rotación	Baja a moderada. Se reconoce la estructura primaria de algunos elementos	Bajo a rápido	Profundo. De metros a centena de metros	Afloramientos rocosos de 50 m <sup>2</sup> y depósitos de 160 000 m <sup>2</sup> a 200 000 m <sup>2</sup>
Deslizamiento de bloques de roca	Resbalamiento sobre planos o superficies de fricción basal	Baja a moderada	Bajo a rápido	Profundo. De metros a centena de metros	Afloramientos rocosos de 400 m <sup>2</sup> y depósitos de 200 000 m <sup>2</sup>
<b>DERRUMBES EN SUELO (material no consolidado)</b>					
<i>Caída y deslizamiento</i>					
Caída de suelo	Caída libre, arrastre o rodamiento (hundimiento)	Baja a muy alta	Extremadamente muy rápido	Superficial de milímetros a metros	Escarpas de 5 m y depósitos de 36 000 m <sup>2</sup>
Deslizamiento del suelo	Deslizamiento traslación sobre una superficie	Alta (se pierde la estructura primaria)	Moderado a rápido	Superficial, de centímetros a metros	Escarpas de 20 m y depósitos de 300 000 m <sup>2</sup>
<i>Deslizamientos cohesivos</i>					
Deslizamiento rotacional del suelo	Deslizamiento sobre una superficie rotacional	Baja a moderada, se reconoce la estructura primaria del suelo	Baja a muy rápida	Profunda. De metros a centena de metros	Escarpas de 100 m y depósitos de 42 000 m <sup>2</sup>
Deslizamiento de bloques de suelo	Deslizamiento sobre una superficie de resbalamiento, de carácter rotacional	Baja a moderada, se reconocen capas de suelo y estructuras primarias	Baja a muy rápida	Superficial a moderada, de centímetros a decena de metros	Escarpas de desprendimiento de 50 m, escalones de 3 a 5 metros y depósitos de 20 000 m <sup>2</sup>
<i>Expansión y flujos laterales del suelo</i>					
Expansión lateral del suelo	Traslación en una zona de licuefacción en gravas, arenas o sedimentos	Moderada a alta, se reconocen con dificultad las estructuras primarias de sedimentación	Muy rápida	Variable, de cm a metros, superficial	Deformación superficial del suelo en áreas de hasta 50 000 m <sup>2</sup>
Flujos rápidos de suelo	Flujo	Muy alta, se pierde la estructura del suelo	Rápido a extremadamente rápido	Superficial, de cm a metros	Escarpas de 20 m, deformación superficial del suelo y depósitos de 200 000 m <sup>2</sup>

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### 4.3 Aspectos metodológicos aplicados al estudio de los procesos gravitacionales en la fosa de Cuauhtepac

Los métodos que se aplicaron para el análisis de los procesos gravitacionales en el área de estudio son los siguientes:

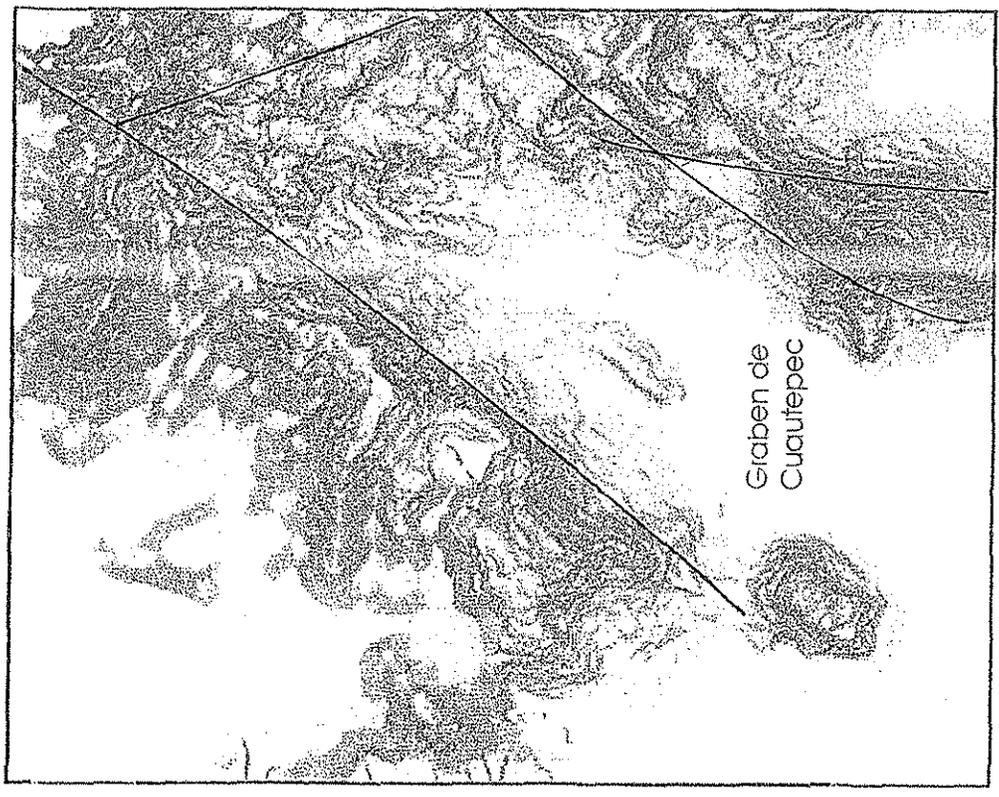
1. La inclinación del terreno, analizada a partir de intervalos o rangos, permitió realizar una evaluación de patrones de ocurrencia de procesos gravitacionales. La metodología utilizada es la propuesta por Keefer (1984), en donde establece seis rangos de inclinación del terreno: a)  $< 1^\circ$ , b)  $1^\circ$  a  $3^\circ$ , c)  $3^\circ$  a  $12^\circ$ , d)  $12^\circ$  a  $18^\circ$ , e)  $18^\circ$  a  $30^\circ$ , y f)  $> 30^\circ$ . Estos se relacionan con procesos gravitacionales (de manera indirecta). Estos intervalos fueron relacionados con las características tectónicas y sísmicas de la región (SMG), de la misma forma como lo propone el autor. Por otro lado hay que mencionar, que la razón de utilizarlos en este estudio fue la aplicabilidad y los buenos resultados que ha tenido esta metodología al ser aplicada y desarrollada en distintos territorios del planeta; así lo demuestran los artículos publicados y las citas que tiene el trabajo realizado por Keefer. Los resultados obtenidos permitieron definir áreas susceptibles a procesos de ladera en función de las características litológicas, tectónicas y de inclinación del terreno. El documento resultado de este análisis fue un mapa de pendientes donde se identifican los rangos extremos de inclinación del terreno (Figura 88), el rango de pendiente que señala inclinaciones mayores a  $30^\circ$  se asocia a procesos de derrumbes y deslizamientos; en tanto que rangos con inclinación del terreno menor a  $1^\circ$  de pendiente corresponden a expansión lateral del suelo.

2. El *índice de degradación de las formas* es resultado de un estudio integrado de dos métodos morfométricos: densidad y profundidad de la disección. Esta relación fue propuesta Crozier, J. (1992), y se utilizó en el Graben de Cuauhtepac con el fin de determinar la edad relativa de los procesos gravitacionales, tomando en cuenta valores de densidad y profundidad de los cauces que están presentes en los circos de desprendimiento y en los depósitos. Se tomaron las observaciones que propone el autor para poder aplicar dicho índice: a) caracterización del tipo de material: consolidado o roca; no consolidado o suelos y/o detritos (véase mapa geomorfológico); b) identificación de superficies homogéneas en cuanto a la litología; estructura y naturaleza tectónica; unidad de relieve: laderas montañosas, laderas de valles profundos y escarpas; y c) Condiciones naturales semejantes en cuanto a clima, suelo y vegetación. Todos estos requerimientos existen en el *graben* de Cuauhtepac. Para el estudio del índice de degradación de las formas fue necesario:

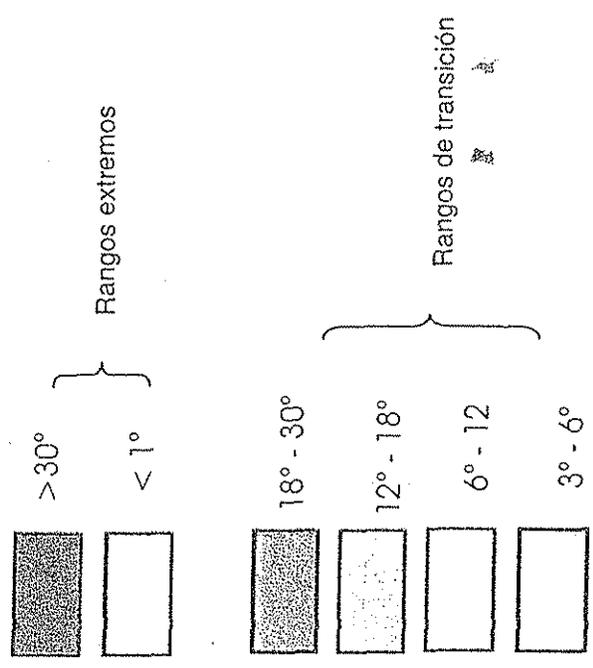
- Identificar y caracterizar la red fluvial (densidad y profundidad) en las distintas porciones que definen los deslizamientos: en la superficie de desprendimiento o escarpe principal y en toda el área acumulativa o depósito. Cada uno de los eventos gravitacionales que está presente en el *graben* de Cuauhtepac son distintos en cuanto a dimensión, por tal motivo, no era representativo tener un área de captura homogénea, por esta razón se decidió modificar la metodología original en cuanto al tamaño de las superficies de muestreo. De esta manera se elaboraron unidades de medición de acuerdo a las características morfológicas de cada evento gravitacional. A partir de éstas, fue posible obtener los valores de densidad y profundidad de la disección en unidades de muestreo que varían de  $650$  a  $1250 \text{ m}^2$  para las superficies que definen los circos de desprendimiento. En cuanto a los depósitos éstas definían superficies entre  $560$  a  $4200 \text{ m}^2$  (Figura 89).

99° 10'

19° 36'



Inclinación del terreno  
(Keefer, 1984)



19° 32'

99° 06'

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 87 (SW de la Sierra de Guadalupe; en rojo y amarillo se muestran los rangos extremos que manifiestan zonas susceptibles a procesos gravitacionales, en rangos mayores a 30° de inclinación, y a subsidencias, agrietamientos y lucuefacción en rangos menores a 1° de inclinación. Asimismo, se muestra la relación que guardan con el sistema de fallas.

Figura 89. Valores de densidad y profundidad de la disección en la fosa de Cuauhtepac.

letra	Longitud de cauces en m		Profundidad en m		área en m <sup>2</sup>		Densidad de la disección	
	circo	Depósito	Circo	Depósito	circo	Depósito	en el circo	en el depósito
A	1600	1210	0,45	1,33	183989,4	502234,9	0,00869615	0,002409231
B	600	1200	0	1,56	66626,93	204252,3	0,00900537	0,005875087
C	480	1652	2,52	1,37	79092,57	365759,7	0,00606884	0,004516627
D	370	1000	1,53	1,66	37603,27	150271,1	0,00983957	0,00665464
E	400	180	1	0,78	36078,82	36078,88	0,01108684	0,004989068
F	430	170	1	0,57	63320,52	76990,63	0,00679085	0,002208061
G	160	500	2,31	3,51	12701,52	47406,54	0,01259692	0,010547068
H	80	120	0,46	0,83	47406,54	27679,89	0,00168753	0,004335277
I	550	1600	2,15	3,17	60854,23	310777,3	0,00903799	0,005148381
J	380	1420	1	2,04	69116,84	250510,8	0,00549794	0,005668418
K	1400	1800	4,52	6,57	126502	310237,3	0,01106702	0,00580201
L	1000	1100	5,29	8,39	101531,5	161894,8	0,00984916	0,006794536
M	450	1240	3,13	5,82	75692,21	197522	0,00594513	0,006277782
N	1900	1400	8,56	6,16	158585	240440	0,01198096	0,005822658
O	650	500	7,52	5,09	50107,97	122879,9	0,01297199	0,004069014
P	950	1400	5,29	8,62	81820,89	187475,6	0,01161073	0,007467638
Q	700	400	6,35	9,06	67178,23	39527,77	0,01042004	0,010119468
R	220	500	8,52	5,07	42658,16	42282,47	0,00515728	0,011825232
S	580	300	3,51	0,55	39490,94	50328,13	0,01468691	0,005960881
T	2200	2400	9,43	10,26	225433	474395,2	0,009759	0,005059073
U	1200	2200	10,62	8,69	138716,4	344338,6	0,00865074	0,00638906
V	1950	600	8,41	5,25	183856,3	185246	0,01060611	0,003238936
W	780	1300	5,05	3,82	80098,7	194878,3	0,00973799	0,00667083
X	900	1250	8,33	5,07	131414,1	382481,1	0,00684858	0,003268135
Y	300	800	2,17	2,96	62588,73	200148,5	0,0047932	0,003997032
Z	800	1400	5,86	3,19	134519,4	502807,4	0,0059471	0,002784366
A	900	1300	6,51	8,83	126782,78	147326,4	0,00709876	0,008823945
B	400	1250	2,68	3,36	71829,73	385833	0,00556872	0,003239744
C	100	300	1,84	3,85	92284,93	22360,92	0,0010836	0,013416264
D	300	1200	0	2,07	68147,84	189110,8	0,00440219	0,006345486
E	50	500	0,54	1,34	34883,27	132581	0,00143335	0,003771279
F	800	1000	0,63	1,27	58384,65	194132,7	0,01370223	0,005151116
G	2350	1700	8,85	10,24	297413,7	245723,7	0,00790145	0,00691834

- Con el fin de enriquecer y detallar la información obtenida de forma indirecta, se realizó en campo un total de 33 perfiles geomorfológicos transversales a la dirección de los depósitos gravitacionales.

- El análisis de los datos obtenidos se realizó a partir de comparaciones estadísticas (correlaciones simples y gráficas), donde se relacionaron variables independientes de densidad y profundidad de la disección.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 4.4 Resultados

A continuación, se analiza la profundidad y la densidad de la disección de acuerdo a los métodos ya mencionados.

### 4.4.1 Densidad de la disección

- *En las superficies de desprendimiento.* Los valores de densidad varían de 0.001 a 0.014; el valor medio es de 0.0086. A partir de estos valores se determinaron los siguientes rangos (un total de cuatro), su distribución espacial esta representada en la Figura 90 y su análisis es el siguiente.
  - a) Menor a 0.0043. Este rango es característico del cerro El Chiquihuite, se presentan a lo largo de la porción E de la escarpa de falla Cuauhtepac; se componen de material consolidado (roca), y la longitud de cauces es menor a 150 metros lineales sobre un área total de 250 m<sup>2</sup>. Las superficies de desprendimiento que se agrupan en esta categoría son: H, c y e.
  - b) De 0.0044 a 0.0086: Se distribuyen a lo largo de las escarpas de falla que definen la fosa Cuauhtepac (al oeste: Picacho El Jaral y Tenayo; al este: cerro El Chiquihuite). Todos ellos están constituidos de material consolidado (roca); la longitud de cauces que llegan a alcanzar es de 1600 metros lineales y cubren superficies que varía de 250 m<sup>2</sup> a 700 m<sup>2</sup>; cabe destacar que los valores de la disección que aumentan de SW a NE. Las superficies que presentan estos valores son: C, F, J, M, X, Z, a, b, d y g.
  - c) De 0.0087 a 0.012: El sector oeste y norte de la fosa de Cuauhtepac, es el más representativo de este rango. En el primer caso, se las superficies de movimiento se encuentran más alejadas a las líneas de falla y son más próximas en el sector norte. Los depósitos están constituidos de material consolidado (roca) y detritos, sin embargo, los valores mayores se registran en estos últimos. La longitud de cauces varía de 400 a 1000 metros lineales y ocupan superficies menores a 625 m<sup>2</sup>. Las siguientes superficies que se encuentran en esta categoría: A, B, D, E, I, K, L, N, P, G, R, T, U, y W.
  - d) Mayor a 0.012. Presente en los tres sectores que constituyen el graben de Cuauhtepac, sin embargo, se concentran en su sector norte, donde existe una mayor densidad de disyunciones y donde la energía del relieve es mayor. Dos territorios forman parte de este rubro: G y O. Ambos constituidos de material consolidado (roca). Un tercero (S) de materiales no consolidados (detritos o suelo). La longitud de cauces no supera los 1000 metros lineales sobre superficies menores a 122 m<sup>2</sup>.

# Valores de la disección

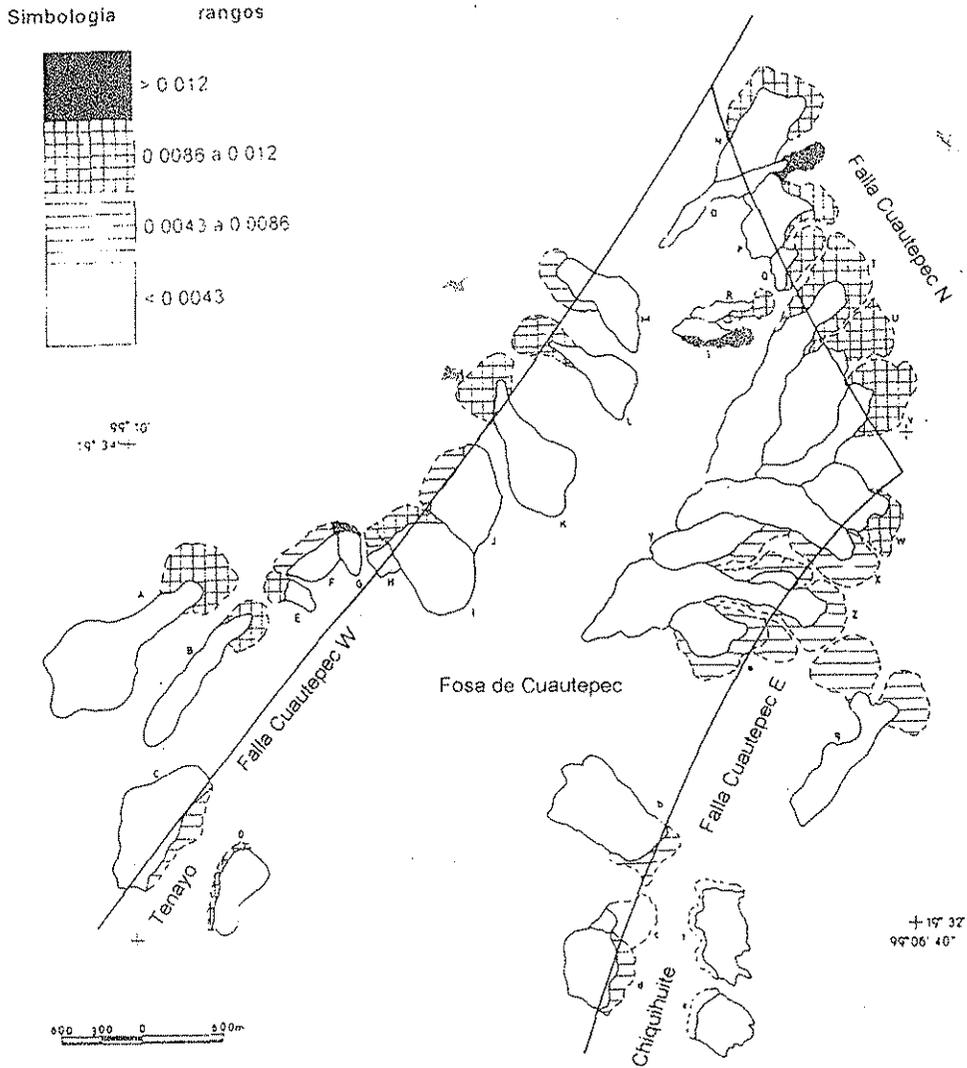


Figura 90. Distribución de los valores de la densidad de la disección en las superficies de desprendimiento.

La densidad de la disección sobre la superficie de desprendimiento muestra los siguientes patrones:

1. Los dos primeros rangos son característicos del pilar tectónico del sector oeste de la fosa de Cuatepec, y están divididos en dos grupos: septentrional oeste y meridional oeste. En el primer caso, los materiales donde se desarrollan las superficies de desplazamiento de la porción meridional, puede decirse que no existe una relación específica, ya que involucran material consolidado (rocas) y detritos. No obstante existe una homogeneidad en cuanto a los valores de densidad de la disección; ocupan una posición intermedia entre los extremos (Ver figura 90), y puede interpretarse como un grupo contemporáneo en cuanto a su ocurrencia. El sector meridional, denominado Tenayo, presenta características similares en cuanto a valores, no así en su patrón de distribución. En esta porción se puede observar (Fig. 90), que los circos de desprendimiento no se alinean con la dirección preferencial de los elementos tectónicos que definen el graben. No obstante, también define una temporalidad común, como lo demuestran los valores de densidad de la disección.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2. Pilar tectónico este, forma parte de la fosa de Cuauhtepc. Este sector, también se divide en dos porciones: septentrional este y meridional este. En la primera, la mayoría de los circos de desprendimiento se localizan sobre las estructuras tectónicas que definen el *graben*; también se observa una mayor densidad o agrupamiento de estas estructuras. Los valores de densidad de la disección indican que todas las estructuras presentan un tiempo de ocurrencia contemporáneo, excepto, la denominada con la clave *W*, misma que se localiza en la transición a un nuevo grupo de ocurrencia. El sector meridional este, presenta valores muy similares en cuanto a densidad y distribución a su equivalente oeste. No obstante, define valores ligeramente menores (Fig. 90).
3. Sector Noroeste, representa el "cierre" de la fosa de Cuauhtepc, los circos de desprendimiento se localizan alineados con las estructuras tectónicas existentes; el conjunto registra valores de la disección ligeramente mayores a los dos pilares antes mencionados (*W* y *E*). Sin embargo, cabe destacar que los valores máximos de disección se registran sobre superficies de desprendimiento que se desarrollan sobre materiales no consolidados (suelo y/o detritos), como es el caso de los denominados con las letras *O* y *S*. Lo anterior se interpreta como las estructuras más antiguas; un análisis más elaborado y la discusión de los resultados forma parte de la segunda parte de este capítulo.

- *Densidad de la disección en los depósitos asociados a los procesos de laderas.* El índice varía de 0.0012 a 0.13, siendo la media registrada de 0.0058, con base en estos valores se establecieron cuatro rangos en función de la moda (figura 91), con el fin de distinguir patrones de distribución específicos.
- a) Menor a 0.0027: Se distribuyen en la porción sureste de la fosa de Cuauhtepc; son acumulaciones constituidas de material consolidado (roca); sobre las cuales se desarrollan cauces que presentan un valor de longitud hasta 1400 m, en áreas variables; la mayor de éstas fue de 800 m<sup>2</sup>. Los ejemplos representativos de este caso corresponden con las siguientes claves: *A, Z, F y d*.
- b) De 0.0028 a 0.0058: Los depósitos clasificados en este intervalo tienen una distribución heterogénea y forman grupos sin un arreglo aparente, pero con una tendencia de incremento de los valores hacia el norte. Se localizan en las proximidades de los cerros Chiquihuite, Tenayo y Picacho El Jaral. Este rango define acumulaciones constituidas exclusivamente de material no consolidado; esta característica favorece el desarrollo de cauces; los valores densidad de disección es del orden de 1200 y 2200 m lineales, mismos que se emplazan en áreas que varían de 300 a 1200m<sup>2</sup>. Los depósitos representativos son: *C, E, H, I, J, O, T, V, X, b, e y f*.
- c) De 0.0059 a 0.010: este intervalo se visualiza en el sector oeste y norte, presentan un incremento en sus valores muy marcada de sur hacia el norte, tomando como referencia el *graben* de Cuauhtepc. Con respecto a los depósitos, existen los dos tipos. Los que se constituyen de material no consolidado (suelo y/o detritos) registran una longitud lineal de cauces de hasta 1700 m sobre áreas de acumulación de 200 a 250 m<sup>2</sup>; lo anterior es favorecido por la susceptibilidad de los materiales a la erosión. En material consolidado (roca), la longitud de cauces es de 2200 m y las áreas están cercanas a los 310 m<sup>2</sup>. Los valores anteriores, ponen de manifiesto

una ligera resistencia al procesos de degradación de los materiales. Los depósitos representativos son: *B, D, K, L, M, N, P, S, U, W, a y g.*

- d) Mayor a 0.010: Localizados principalmente en el sector norte de la fosa, de igual manera en la porción W y E de los pilares tectónicos que definen esta región; en estos sectores no son representativos, en cada uno de ellos sólo existe un ejemplo (*G y c*) y están constituidos de material consolidado, los valores de densidad son de 300 a 500 m lineales sobre áreas 200 a 470 m<sup>2</sup>. En contra parte, las acumulaciones que están constituidas de material no consolidado presentan valores que varían de 400 a 1200 m lineales sobre áreas de depósito de 300 a 550 m<sup>2</sup>, es el caso de los depósitos *Q y R.*

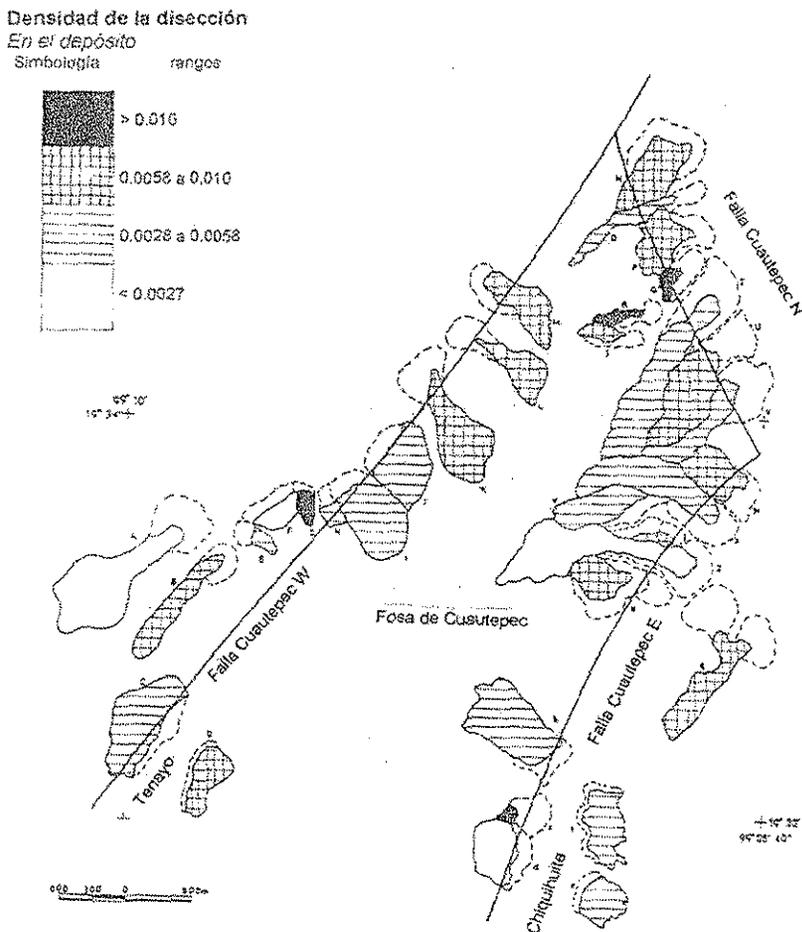


Figura 91. Distribución de los valores de la densidad de la disección en los depósitos de gravitacionales.

La densidad de la disección sobre los depósitos asociados a procesos gravitacionales muestra los siguientes patrones:

Aunque los cuatro intervalos de disección están presentes en todos los sectores de la fosa de Cuauhtepic, los que se localizan en toda la porción este presentan índices que no superan los 0.010, todos ellos desarrollados sobre material consolidado (roca). El sector norte concentra índices mayores de 0.009 hasta 0.012; esto tiene relación con el desarrollo de una red fluvial más integrada. Finalmente, los depósitos ubicados al oeste de la fosa muestran índices heterogéneos; sin embargo, se reconoce una tendencia en el aumento de los valores de disección de SW-NE sobre acumulaciones que se constituyen de material no consolidado (suelo o detritos).

Los datos de densidad de la disección en las superficies de desprendimiento y en sus depósitos no establecen una relación directa entre los valores obtenidos (Figura 92); esto puede explicarse a la diversidad de los materiales que constituyen los depósitos, a la morfología de las superficies de desprendimiento, a la existencia de distintas coberturas vegetales, así como a la presencia o ausencia de la carpeta edáfica y, por último, a una actividad de procesos gravitacionales reciente; posteriores al evento principal.

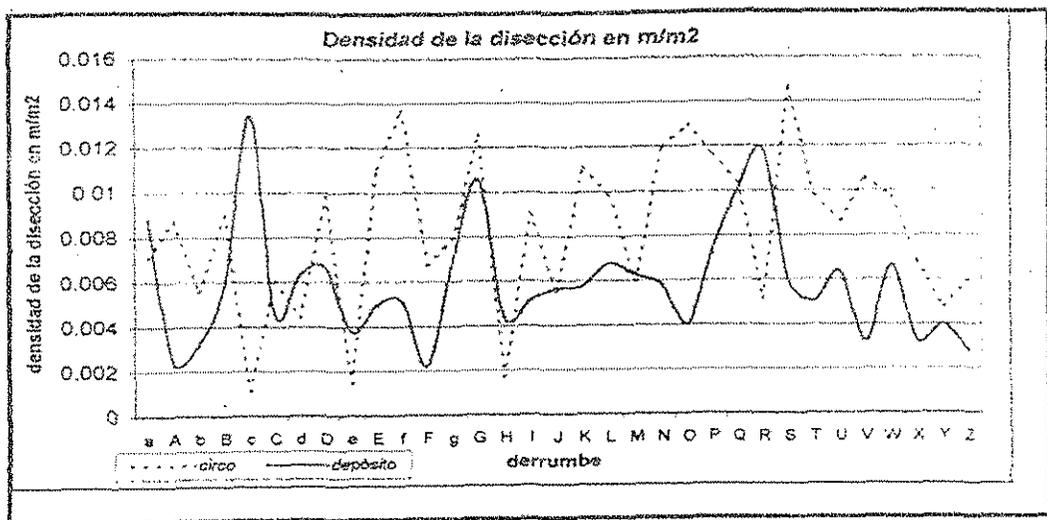


Figura 92. Relación gráfica de la densidad de la disección en la superficie y en los depósitos de desprendimiento.

#### 4.4.2 Profundidad de la disección

- *En la superficie de desprendimiento.* El máximo nivel de la profundidad de la disección que se registró en campo fue de 10.62 metros y el valor medio es 5.12 m. A partir de estos valores se definieron cinco rangos (Figura 93); el análisis que se presenta a continuación tiene el mismo formato del apartado anterior, es decir: ubicación y el tipo de materiales:
- menor a 1 m. Se distribuyen al este de la fosa, en las proximidades del cerro Chiquihuite, y al oriente del cerro Tenayo. En el primero, las superficies se constituyen de material consolidado (roca) en tanto que, en el segundo, las superficies se constituyen de materiales no consolidados (suelos y/o detritos). La diferencia de profundidad es mínima (20 - 30 cm), sin embargo es mayor en la de materiales consolidados. La razón puede ser el tiempo de exposición de los materiales al efecto erosivo; incluso se observó en campo el desarrollo de pequeños circos de erosión, que sin duda son posteriores a la dinámica principal. Este hecho pone de manifiesto un proceso de tiempo considerable, en el cual se pudieron desarrollar las formas del relieve mencionadas. Las superficies que se ubican en este rango son: *A, B, d, e y f.*
  - De 1 a 3 m. Su distribución es heterogénea dentro del territorio que define la fosa de Cuauhtepac, son más evidentes los que se localizan en las laderas de los cerros de Tenayo y El Chiquihuite. Hay que mencionar que los materiales involucrados en este caso se constituyen exclusivamente de material consolidado (roca). Las inclinaciones de las laderas de estas superficies son superiores a 45°, donde existen, además pequeños anfiteatros a manera de circos de erosión con radios aproximados de hasta 5 m y 3 m de profundidad. Los ejemplos representativos presentan las siguientes claves: *C, D, E, F, G, I, J, K, Y, b y c.*
  - De 3 a 5 m: Es típico del sector noreste y en las inmediaciones del Pico El Jaral; se desarrollan sobre materiales no consolidados (suelo y/o detritos). Cabe destacar que estas superficies se encuentran próximas a los afluentes principales del río La Mora, este hecho condiciona la profundidad de la disección. Dos superficies se ubican en este rango: *K y S.*
  - De 5 a 7 m: Se ubican en el sector norte y noreste de la misma zona y presentan un patrón homogéneo en cuanto al tipo de material que esta presente: consolidado (roca). La importancia de este rango radica en que concentra el 30% de todas las superficies de desprendimiento que se localizan en el graben de Cuauhtepac, todos ellos en la región montañosa. Los ejemplos de estos casos tienen las siguientes claves: *L, M, O, P, Q, R, W, Z y a.*
  - Mayor a 7 m: Tienen una distribución similar a los de la categoría anterior, con la diferencia de que se desarrollan tanto en material no consolidados (suelo y/o detritos), como en material consolidados (roca); de esta manera existen distintas condiciones para el desarrollo de la profundidad de la disección. Cabe destacar que casi el 40% de las superficies analizadas presentan un corte erosivo superior a los 7 metros de profundidad; además de la existencia de las superficies de desprendimiento de circos de erosión fluvial activos. Éstos "interrumpen" la continuidad de las superficies principales. En esta categoría se tienen los siguientes ejemplos: *N, T, U, V, X y g.*

**Profundidad de la disección (en Metros)**

*En el circo o escarpa de desprendimiento*

simbología rangos

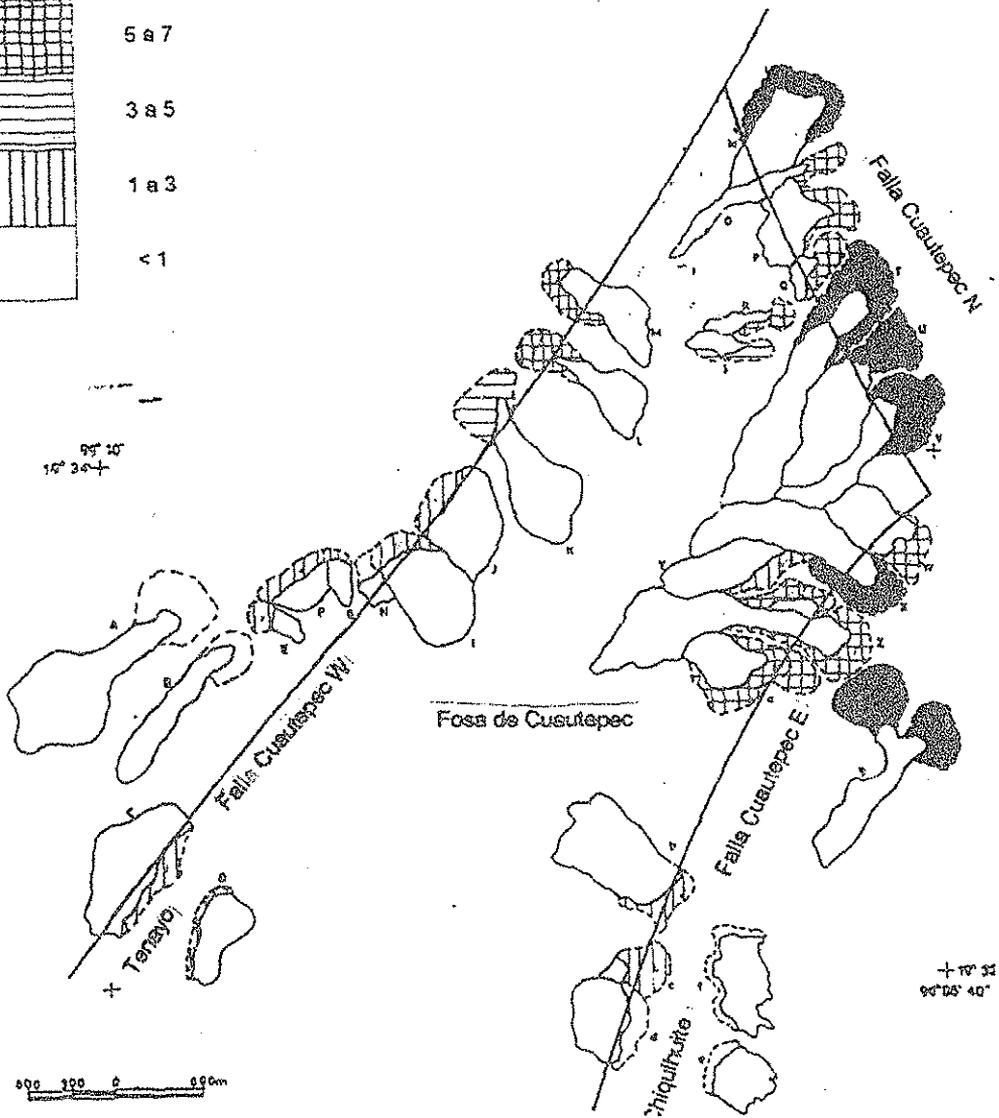
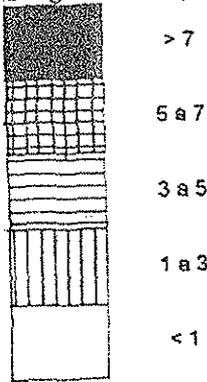
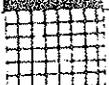
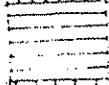


Figura 93. Distribución de la profundidad de la disección en la superficie de desprendimiento en el graben de Cuauteppec.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

- *Profundidad de la disección en los depósitos asociados a procesos gravitacionales.*  
Los valores registrados sobre las acumulaciones varían de 0.50 m a 10.26 m, la media es de 4.30 m; con base en estos valores se establecieron 5 rangos (Fig. 94), que a continuación se analizan.
- a) Menor a 1 m: Se localizan en la porción media superior del sector oeste de la fosa de Cuauhtepac y ocupan la ladera inferior inmediata a la fuente que les dio origen. Los depósitos se constituyen de los dos tipos de material característico. No obstante en los constituidos de detritos y/o suelos, los cortes erosivos son más profundos. Los ejemplos representativos son: *E, F, H y S.*
  - b) De 1 a 3 m: Se presentan en el sur de la fosa, en la porción meridional de los dos pilares tectónicos que definen la misma, ejemplos representativos se desarrollan en las laderas de los cerros de Tenayo y El Chiquihuite. los materiales que constituyen estas acumulaciones son de los dos tipos, sin embargo, se presenta la misma dinámica que en el caso anterior. Hay que destacar que los aloes de profundidad aumenta en dirección noreste. Los ejemplos representativos son: *A, B, C, D, J, Y, c y f.*
  - c) De 3 a 5 m. La distribución es similar a la del inciso anterior, sólo que, en este caso, son más frecuentes en la porción septentrional de los dos pilares tectónicos. La tendencia de aumento en los valores de profundidad continúa constante en índices y dirección. Los ejemplos representativos son: *G, I, Z, b y c.*
  - d) De 5 a 7 m: Tienen una distribución homogénea en el sector noreste, aunque también existen en la porción septentrional del pilar tectónico W, en este punto, no son representativos, solo se tienen tres casos. Los materiales que constituyen estas acumulaciones son de los dos tipos característicos. En conjunto, se presenta una morfología a manera de manto escalonado que se pierde en dirección de la fuente. Los siguientes depósitos son los característicos.: *K, M, N, O, R, V y X.*
  - e) Mayor a 7 m: El sector norte de la fosa destaca por su homogeneidad de valores de profundidad de la disección, asimismo por ubicarse en ella los máximos niveles de profundidad. Por otro lado, hay que destacar que estos valores se desarrollan sobre materiales no consolidados. Los ejemplos son: *L, P, Q, T, U y a.*

Profundidad de la disección (en Metros)  
En el depósito

simbología	rangos
	> 7
	5 a 7
	3 a 5
	1 a 3
	< 1

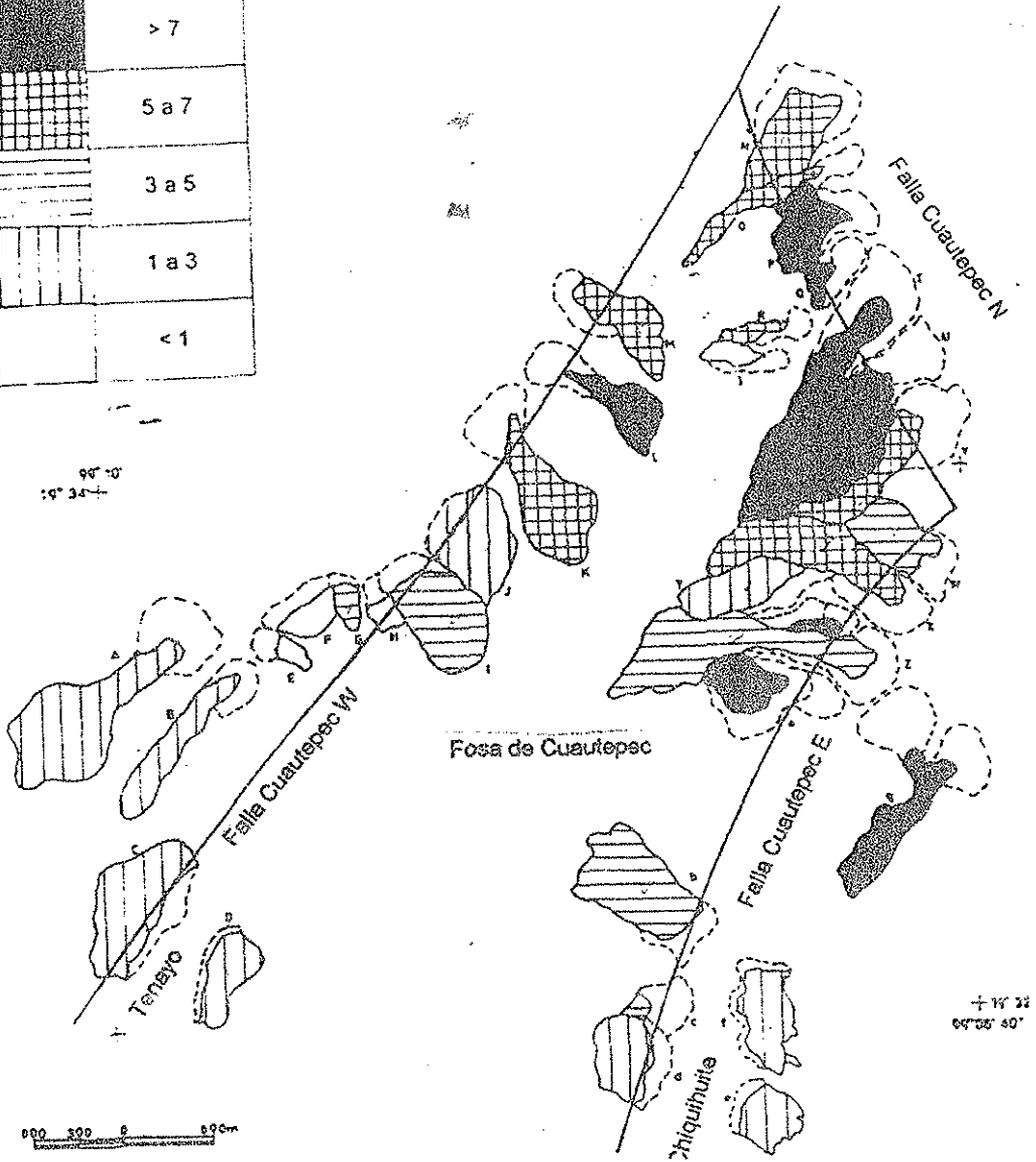


Figura 94. Distribución de la profundidad de la disección en los depósitos asociados a procesos gravitacionales.

Los patrones de la profundidad de la disección tienen una distribución muy bien definida en el territorio que comprende la fosa de Cuauhteppec. Profundidades menores a 1 metro son los característicos de la porción sur; el sector norte concentra las mayores profundidades (> a 7 metros). En este mismo marco, se observa una tendencia en el aumento de los valores de sureste a noreste. Asimismo, en la Figura 95, se observa la constante entre los valores registrados de profundidad de la disección en la superficie de desprendimiento y en los depósitos asociados a procesos gravitacionales.

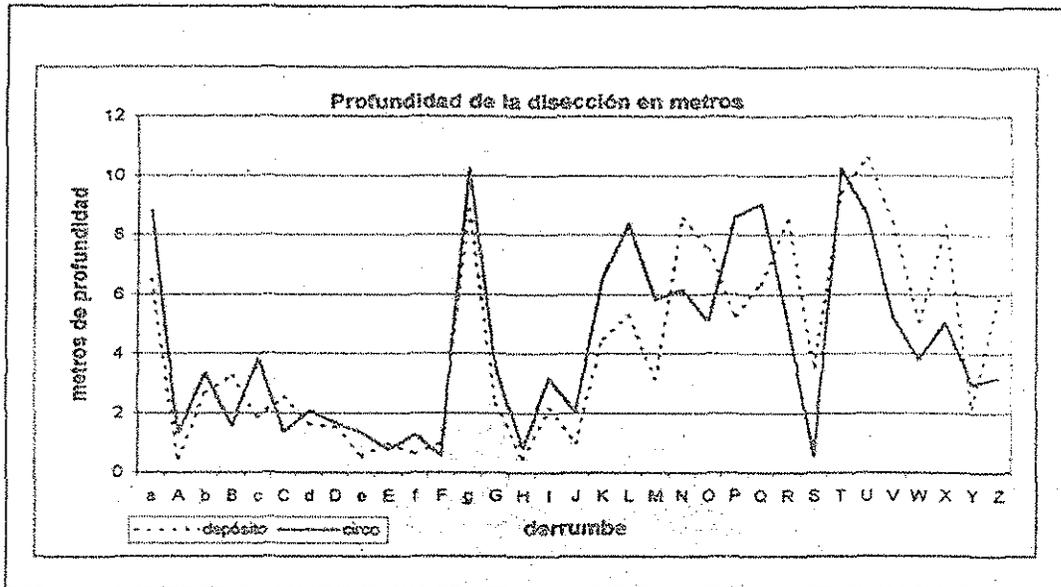


Figura 95. Relación gráfica de la profundidad de la disección en la superficie y en los depósitos de desprendimiento.

Al correlacionar los valores tanto de densidad como de profundidad presentes en las áreas de desprendimiento como en de la disección en el circo los depósitos (Fig. 96), se observa que los índices de profundidad tienen un grado de representatividad muy aceptable; el valor de correlación es 0.0742. En tanto que el de la densidad es estadísticamente poco representativo (0.1231).

La densidad de disección fluvial y la profundidad de la disección en la escarpa de desprendimiento resultaron ser coherentes, pues los valores de densidad mayores (> 0.00900 m/m<sup>2</sup>) corresponden a los derrumbes que se presume son más antiguos (ubicados en el sector norte de la fosa), en tanto que los valores mínimos (< 0.00500 m/m<sup>2</sup>) corresponden a sectores presumiblemente más jóvenes (sector este de la fosa). Sin embargo, cabe destacar que los valores difieren de acuerdo con el tipo de material que se trate, roca o suelo.

a) Secuencia estratigráfica. La posición estratigráfica de los derrumbes permite definir una edad relativa de las formas. La sierra de Guadalupe es una estructura de edad Mioceno – Reciente. Manifestaciones volcánicas y tectónicas influyeron en la formación de las formas, siendo algunas de ellas heredadas. Derrames de lava, flujos piroclásticos, tobas y cenizas forman el basamento geológico. La manifestación reciente del vulcanismo, en el sector sur de la Sierra de Guadalupe, son los depósitos de toba y lavas presumiblemente del Holoceno (Lozano, 1968 y Mooser *et. al.*, 1996). Las tobas tienen un espesor de 2.6 a 8 metros y descansan sobre 7 derrumbes (M, N, P,T, U, V, g,) en la parte norte y occidente de la fosa de Cuauhtepac, los cuales se han definido como "serie I" (Figura 97). La posición topográfica y estratigráfica ayudo a definir que la serie II (O, Q, R, S, W, X, a) descansa sobre los depósitos que forman la serie I; La serie III (A, B, C, F, J, I, K, L, Z , Y, b) se determinó por los depósitos superficiales de diluviones; proluviones y fluvio - lacustres, asimismo de estructuras primarias de suelo y cobertura vegetal. Finalmente, la serie IV (D, E, G, H, c, d, e, f) se diferenció en función de los eventos históricos del periodo 1455 – 1995.

SERIE EVOLUTIVA, SEGÚN LA SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA Y POSICIÓN TOPOGRÁFICA

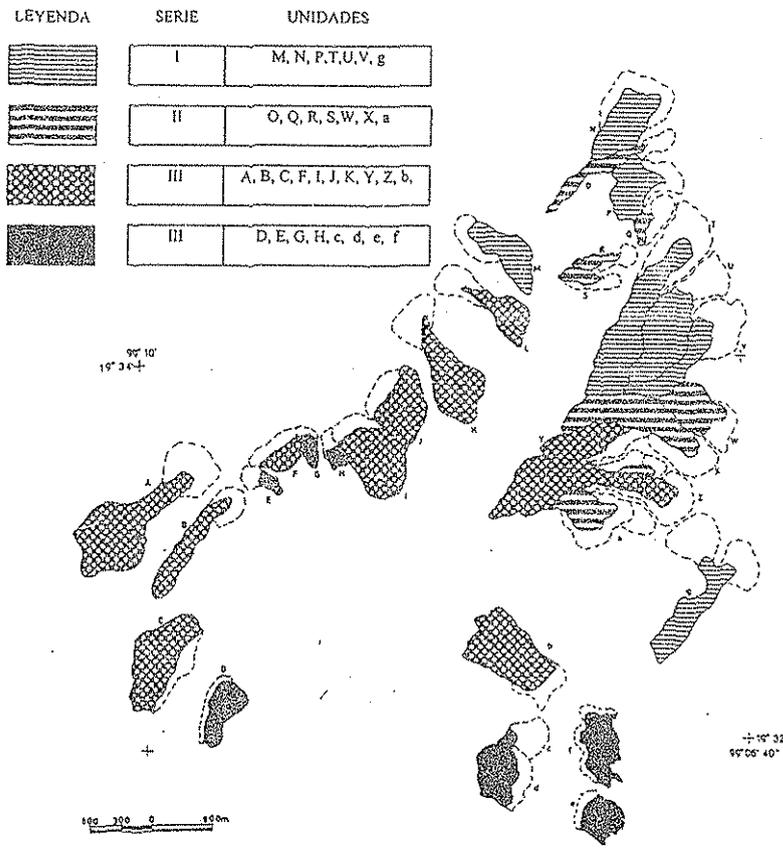


Figura 97. Generación de derrumbes y deslizamientos según la secuencia estratigráfica y topográfica.

b) Densidad y profundidad de la disección. Los valores de la densidad y profundidad de la disección fluvial permite suponer una edad relativa de las formas, a mayor densidad y profundidad de la disección fluvial, mayor tiempo de degradación, o sea, mayor edad; además, la presencia de elementos y formas erosivo – acumulativas en las escarpas y en los depósitos de derrumbe o deslizamiento soporta lo anterior. Se agruparon los efectos secundarios de acuerdo con el tipo de movimiento y material con el fin de plantear edades relativas según el análisis comparativo de los valores de la densidad y profundidad de disección (Figura 98 y Figura 99 ).

Se midió densidad y profundidad de la disección tanto al depósito como a la escarpa de desprendimiento. En la primera, se registraron valores anómalos debido a que la mayor parte de los depósitos se encuentran cubiertos por tobas, coluviones u otros depósitos de derrumbe, y no se logro establecer una relación directa entre los valores comparativos de la densidad y profundidad de la disección en los depósitos.

La densidad de disección fluvial y la profundidad de la disección en la escarpa de desprendimiento resultaron ser coherentes con la propuesta de Keefer, pues los valores de densidad mayores ( $> 0.00900 \text{ m/m}^2$ ) corresponden a los derrumbes y deslizamientos más antiguos, en tanto que los valores mínimos ( $< 0.00500 \text{ m/m}^2$ ) corresponden a los derrumbes y deslizamientos contemporáneos. Sin embargo, cabe destacar que los valores difieren de acuerdo con el tipo de material que se trate, roca o suelo.

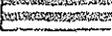
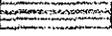
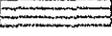
Con base en el índice de densidad de la disección fluvial y la profundidad de la disección, se proponen cinco estadios de la evolución en los derrumbes y deslizamientos desarrollados en material consolidado (roca) y tres estadios de evolución en derrumbes y deslizamientos presentes en suelo (material no consolidado); conjuntamente, la cobertura superficial y la estructura interna del suelo soportan la serie evolutiva (véase Figura 98, en el apartado formas y elementos del relieve asociados). Se tiene que el sector más antiguo, según los valores de densidad y profundidad, se ubica en el sector norte del graben de Cuautepec lo anterior concuerda con la secuencia estratigráfica y topográfica descrita anteriormente. En tanto que el sector oriental y occidental del graben presentan los derrumbes más recientes, siendo contemporáneos en las inmediaciones de los Cerros Tenayo y Chiquihuite.

Figura 98. Secuencia evolutiva de los derrumbes y deslizamientos según la Densidad y profundidad de la disección fluvial, y formas y elementos del relieve asociados

LETRA DE RECONOCIMIENTO	SECUENCIA EVOLUTIVA (series)	DENSIDAD DE LA DISECCIÓN FLUVIAL (En m/m <sup>2</sup> )		FORMAS Y ELEMENTOS DEL RELIEVE ASOCIADOS	PROFUNDIDAD DE LA DISECCIÓN (en metros)	
		A (En la escarpa de desprendimiento)	B (En el depósito de derrumbe)		A	B
<b>CAIDA Y DESLIZAMIENTO EN ROCA (MATERIAL CONSOLIDADO)</b>						
N, P, V, Q, T, U	I	0.0119809 - 0.0086507	0.0032389 - 0.0101194	Depósito de derrumbe sepultado por tobas, circos de erosión activos, saltos de cabecera, cobertura de diluvios, barrancos superiores a 10 m, concentraciones de arcilla y presencia de óxidos en subhorizontes del suelo y exhumación del basamento geológico.	5.25 - 12.52	6.17 - 10.22
D, L, W, I	II	0.098395 - 0.0090380	0.0066546 - 0.0051483	Depósitos de derrumbe que descansan sobre la toba, discontinuidad de la escarpa de desprendimiento por barrancos activos, depósitos diluviales que cubren el depósito de derrumbe, cobertura vegetal arbórea y disección fluvial subsecuente.	1.50 - 5.28	1.60 - 8.33
A, X, F, C	III	0.0070987 - 0.0060688	0.0088235 - 0.002208	Depósitos sepultados por una nueva generación de derrumbes, posición topográfica más alta, circos erosivos que cortan la escarpa de desprendimiento, aunque es todavía reconocible su morfología, cobertura de diluvios y presencia de concentración de arcillas y lentes de lavado en los subhorizontes del suelo.	1.00 - 2.54	0.52 - 4.83
Z, B, J, R, Y.	IV	0.005947 - 0.0047931	0.0027843 - 0.0116252	Depósito de derrumbe que descansa sobre los antiguos depósitos de derrumbe, morfología fácilmente reconocible. Presencia de barrancos sobre la escarpa y circos erosivos activos, poco desarrollados, sin interrumpir la cicatriz de desprendimiento.	1.13 - 2.86	2.18 - 3.12
D, H, E, F, G, K, c, e,	V	0.0044021	0.0063454	Escarpa de desprendimiento activo, presencia de bloques de depósito y nichos de desprendimiento (histórico)	0.62 - 1.62	0.73 - 2.00
<b>CAIDA Y DESLIZAMIENTO EN SUELO</b>						
G, M, O	I	0.0079014 - 0.0129722	0.0069183 - 0.0040690	Depósito cubierto por tobas. Escarpas de derrumbe disecadas por circos erosivos y barrancos. Disección fluvial subsecuente, presencia de concentración de arcillas, carbonatos y lavado en los subhorizontes del suelo.	8.84 - 3.12	10.22 - 5.06
A, B	II	0.0090054 - 0.0086961	0.0058750 - 0.0024092	Escarpa de desprendimiento disecada por circos y barrancos, aunque se reconocen en la misma escarpa nichos de desprendimiento y afloramientos rocosos. El depósito descansa sobre la secuencia fluvio lacustre de la planicie.	0.45 - 1.20	1.30 - 1.54
S	III	0.00146872	0.0059608	Escarpa de desprendimiento sin cobertura de vegetación y suelo, depósito de deslizamiento de bloques de suelo, donde se reconocen los bloques independientes del mismo.	3.52	0.54

# ÍNDICE DE DEGRADACIÓN DE LAS FORMAS

EN ROCA (material consolidado)

Leyenda	Serie	Índice	Unidades
	I	>0.0110	N, P, Q, T, U, V
	II	0.0090-0.0109	D, I, L, W
	III	0.0060-0.0089	C, F, X, a
	IV	0.0030-0.0059	J, R, Y, Z, b
	V	0.0010-0.0029	E, G, H, K, c, d, e, f

EN SUELO (material no consolidado)

Serie	Índice	Unidades
i	0.0059-0.0079	M, g
ii	0.0089-0.0090	A, B, O
iii	0.00146872	S

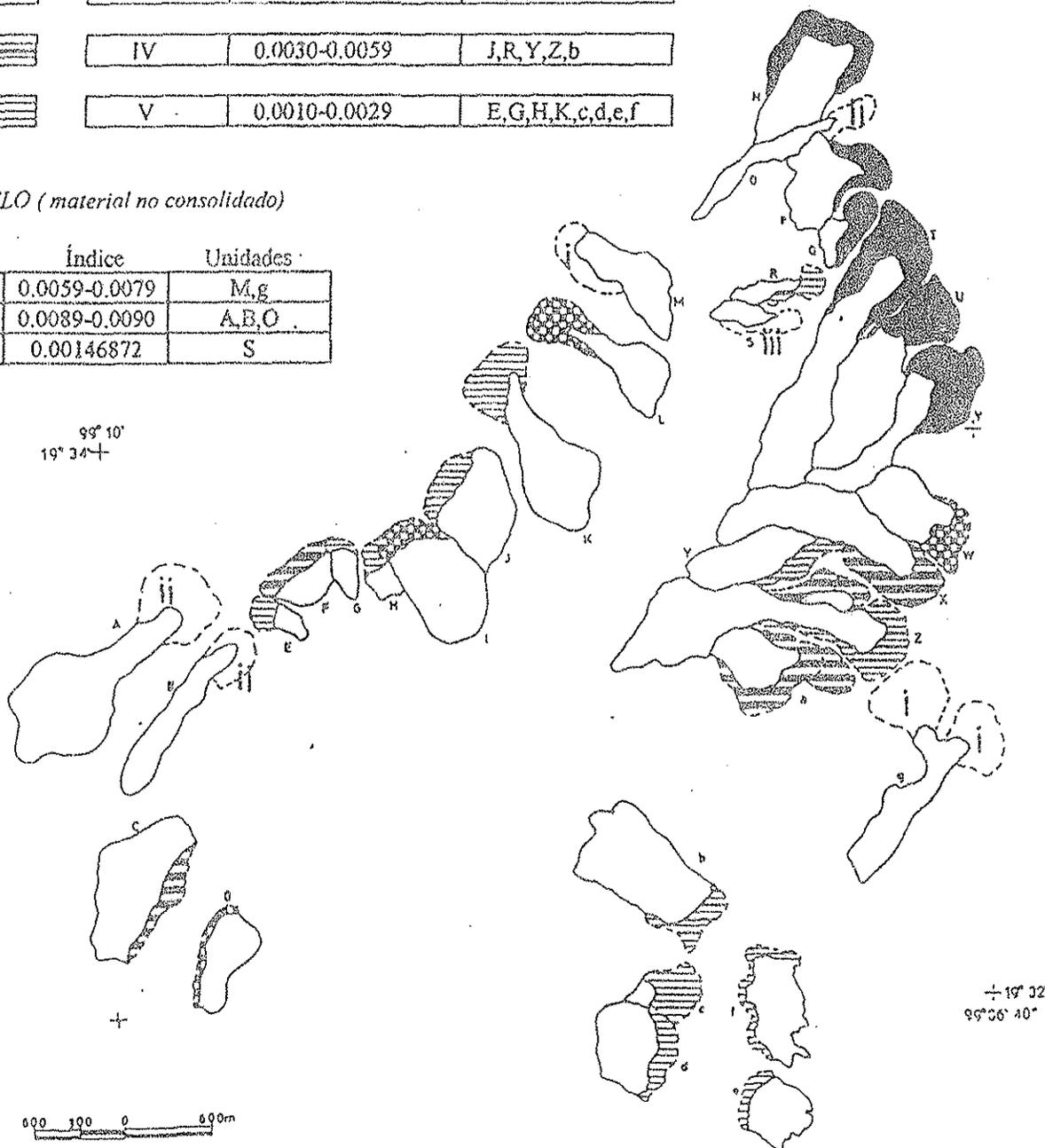


Figura 99. Generación de derrumbes y deslizamientos según el índice de degradación de las formas (profundidad y densidad de la disección fluvial) y las formas y elementos del relieve asociados.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

c) La cobertura superficial (suelo, diluviones, proluviones y vegetación) permite una diferenciación de la edad de las formas. En los perfiles estratigráficos se identifican estructuras internas que presumen una evolución de temporalidad del suelo. Estructuras como estratos lixiviados, concentración de arcillas, cutanes, motas de óxidos y concreciones de carbonatos fueron considerados. Cualitativamente, se tomó el espesor de la cobertura de diluviones y proluviones, además de la cobertura vegetal. La información obtenida se adjunta en la Fig. 98 (densidad y profundidad de la disección), en el apartado "formas y elementos del relieve asociados".

d) Finalmente, la secuencia de eventos históricos permitió identificar aquellos eventos secundarios ocasionados por los terremotos entre 1455 y 1995. Los efectos secundarios que se han identificado son: caída de rocas, derrumbe o desplome de rocas y deslizamiento de rocas; son los predominantes, y dependen del tipo de sismo, basamento geológico (tipo de roca, densidad de fracturas y diaclasas) y relieve (abruptas pendientes, intensidad del relieve y región geomorfológica), coincidiendo con los resultados de Keefer (1984) y King (1989). Menos abundantes son la caída del suelo, licuefacción, deslizamiento de suelo y flujos rápidos de suelo.

#### 4.6 Consideraciones finales del capítulo IV

- Se identificaron y tipificaron los derrumbes, deslizamientos y la expansión lateral del suelo en el *graben* de Cuauteppec, sector sur de la sierra de Guadalupe, reconociendo los siguientes tipos:

- a) Derrumbes y deslizamientos en roca (material consolidado): caída de rocas, derrumbe o desplome de rocas, deslizamiento de rocas y deslizamiento de bloques de roca.
- b) Derrumbe y deslizamiento en suelo (material no consolidado): caída de suelo, derrumbe de suelo, deslizamiento rotacional de suelo y deslizamiento de suelo.
- c) Expansión lateral del suelo y flujos de suelo: licuefacción y flujos de suelo.

- La caracterización de cada uno de los efectos secundarios de la sismicidad toma en consideración en el tipo de movimiento, distribución interna de los materiales, velocidad de emplazamiento, profundidad del depósito y magnitud (extensión espacial).

- Con base en la secuencia estratigráfica y posición altitudinal de los depósitos se presenta una secuencia evolutiva de cuatro generaciones de derrumbes; conjuntamente, la densidad y profundidad de la disección fluvial permitió diferenciar cinco generaciones de derrumbes y deslizamientos, ésta última se complementa con la descripción de la expresión geomorfológica de la escarpa de desprendimiento y el depósito de derrumbe, cobertura superficial del suelo y el estudio de la sismicidad histórica.

- La presencia de derrumbes y deslizamientos en el sector del *graben* de Cuauteppec permite suponer su actividad sísmica y tectónica reciente de la sierra de Guadalupe, lo anterior se sustenta la densidad sísmica y la expresión geomorfológica de las escarpas de falla que limitan el *graben*.

## CONCLUSIÓN

Los resultados de la tesis se enlistan a continuación:

1. Los aportes que se obtuvieron en el análisis geológico son los siguientes: a) se definieron los límites de la caldera conocida como El Tigre, asimismo se establecieron dos hipótesis sobre su génesis y dinámica eruptiva, b) se pudieron identificar cuatro fallas inversas localizadas en la zona de contacto entre la caldera El Tigre y los depósitos que definen la Formación Tarango, c) se definieron a partir de una cartografía detallada las áreas que ocupa y el relieve asociado de los depósitos de Lahar, tobas y pómez; de la misma manera se estableció la relación temporal con las sierras de Guadalupe, Barrientos y El Tigre, d) se establece, a partir del mapa geomorfológico, la relación que existe entre la estructura geológica y los procesos modeladores del relieve, e) se establece la asociación entre el patrón tectónico y la sismicidad; en este punto se logró identificar el periodo de recurrencia sísmica, tomando en cuenta datos históricos. Del mismo modo se determinan las zonas sismogeneradoras en el graben de Cuauhtepic, principalmente; f) se asocian procesos geomorfológicos específicos a unidades homogéneas del relieve (montaña, piedemonte, planicie), tomando en cuenta características sísmicas, tectónicas, litológicas y morfológicas. De esta manera los procesos de ladera, los agrietamiento del terreno, así como hundimiento diferencial y la licuefacción quedan caracterizados.
2. El análisis morfométrico permite destacar los elementos morfológicos y su cartografía; de esta manera se obtuvieron las siguientes mapas:
  - a) *inclinaciones del terreno*; este documento cubrió los siguientes objetivos de carácter regional: identificación de regiones geomorfológicas susceptibles; magnitud de los procesos gravitacionales.. Del mismo modo, se hace un análisis detallado en las laderas que forman el graben de Cuauhtepic. El mapa de inclinación del terreno se obtiene por métodos muy simples, incluso su elaboración gráfica es sencilla; estas características no desmerecen de ningún modo la importancia que tiene este elemento de análisis para estudiar un proceso tan específico y complejo como es el gravitacional.
  - b) *Geometría de laderas*. El aporte principal de este mapa es el reconocimiento de las configuraciones tridimensionales del relieve, así como la relación entre la geometría y la dinámica de los procesos fluviales. Este elemento de análisis fue determinante para explicar los patrones de escurrimiento; los cortes verticales y su relación con movimientos del terreno en especial con los flujos de lodo. En este punto, es necesario mencionar que no se logró un análisis completo, faltó incorporar la presencia de la cobertura vegetal, la orientación de las vertientes y la influencia del clima. Si bien, se presenta una aproximación, ésta es muy superficial y al no tener los elementos y la información necesaria no se pudo llegar a más. Se puede concluir que este aspecto no se ha agotado y representa un posible tema a desarrollar.
  - c) *lineamientos*, Su elaboración es significativa en el entendimiento de la influencia de la tectónica sobre la litología; debido a que estos dos factores condicionan la morfología y sus procesos. De esta manera se pudieron diferenciar, caracterizar y clasificar formas del relieve con influencia estructural, es el caso de las fosas de Cuauhtepic, Barrientos y Valle Hermoso; las escarpas de falla de Texcoco, El Tigre y las que definen la fosa de Cuauhtepic; del mismo modo los cambios de dirección en los cursos de los ríos,

San Andrés, La Mora y Tlalnepantla. Por último, se establece la relación que existe entre las direcciones regionales de las fallas y los principales elementos del relieve: edificios volcánicos, domos y calderas.

- d) Las conclusiones referentes a los aspectos fluviales son las siguientes:
- Se establece la relación entre los patrones de drenaje y el sustrato geológico, de esta manera se obtiene la primera aproximación a la caracterización de la susceptibilidad del territorio a los procesos erosivos fluviales y su relación con los procesos de ladera. La jerarquía fluvial (órdenes de corriente) fue utilizada para establecer la relación entre la longitud del cauce y su orden, de esta manera, se identificaron, aunque de manera indirecta, áreas de mayor intensidad de erosión, del mismo modo se aprovecho esta diferenciación en la identificación de estructuras disyuntivas que no tenían expresión en el relieve.
  - A partir del análisis hidrométricos de los ríos Tlalnepantla, San Andrés y Cuautitlan, se cuantificó la intensidad y magnitud de las inundaciones y desbordes en la temporada de lluvias. Esta es una contribución relevante de este trabajo de tesis.
  - La ocupación de zonas planas por cuerpos lacustres se estableció a partir de cartografía histórica. Con este punto de partida se ponen de manifiesto los procesos geomorfológicos que existen en estos territorios.
3. Tomando en cuenta la génesis, la litología, los procesos, el arreglo estructural, la edad de la roca y el relieve, se identificaron 48 unidades; éstas se clasificaron para su análisis en dos grandes grupos: endógenos y exógenos, y sus respectivas combinaciones. El mapa geomorfológico muestra las condiciones morfológicas que prevalecen en este territorio, así como la caracterización de los procesos que las modelan. La cartografía en sí es uno de los aportes más relevantes de este trabajo, que junto con su análisis integran una contribución al conocimiento de la cuenca de México, el detalle y características que contiene la información de este mapa representa el punto de partida para una cartografía de amenazas geomorfológicas a nivel regional.
4. En el área en estudio se han reconocido procesos de ladera de diversos tipos, los cuales se han diferenciado de acuerdo al proceso que los genera. Se identificó la región donde la densidad y actividad de este tipo de procesos es de mayor relevancia (la fosa de Cuauhtepac, en la sierra de Guadalupe); sin embargo, cabe destacar que no es la única; por ejemplo, a lo largo de las laderas de valle del río San Andrés y Tlalnepantla, o en el sector occidental de la pequeña sierra de Barrientos. El estudio de detalle de la fosa de Cuauhtepac permite conocer los mecanismos de desarrollo y el análisis de un proceso complejo (de ladera) aplicando métodos y técnicas propias del análisis geomorfológico.
5. Se establece una secuencia temporal para los procesos gravitacionales que se localizan en el graben de Cuauhtepac. En este territorio se logra relacionar la densidad y profundidad de la disección como un elemento de análisis determinante para establecer la secuencia de evolución. De alguna manera este capítulo representa la síntesis de esta tesis.

## BIBLIOGRAFÍA

- AIC. (1995). Estudio sobre el abastecimiento del agua en la Ciudad de México. Académica de Ingenieros Civiles, México. 436 p.
- ALCÁNTARA AYALA, I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificación y terminología. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Num. 41, México. 7 – 25 p.
- ATLAS NACIONAL DE MEXICO (1992). Principales fenómenos naturales que provocan desastres en la cuenca de México. T. II, Hoja V.2.10, Instituto de Geografía – UNAM, México.
- ARAÑA, S. Y LÓPEZ RUÍZ. (1974). Vulcanismo. Ed. Istmo – Col. Universitario. Madrid – España. 478p.
- ARAÑA, S. Y ORTÍZ, R. (1984). Vulcanología. Ed. Rueda. Madrid. 510 p.
- ARROYO DE ANDA, AULEYRA. (1962). Antigüedades del hombre en México y Centroamérica: Catalogo razonado de localidades y bibliografía selecta. 1867 – 1961. UNAM – México. 72 p.
- BASHENINA, N., PIOTROVSKY, M., SIMONOV, Y., LEONTIEV, O., TALSKAIA, L. RUBINA, E., ARISTARARJOVA, L., ORLOVA, N., IGONA, S. (1977). Cartografía geomorfológica. Bishaya Schola, Moscú. 375 p.
- BATISTA Y SÁNCHEZ (1995). Clasificación de desastres naturales en Latinoamérica. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba. (Inédito).
- BEDIENT P., HUBERT W. (1993). Hidrology and floodplain analysis. Addison Wesley Publishing Company. 455 p.
- BEJAR R., CASANOVA A. (1970). Historia de la industrialización del Estado de México. Biblioteca enciclopédica del Estado de México. 309 p.
- BEVEN, K., CARLIN, P. (1989). Floods: hidrological, sedimentological and geomorphological implications. John Wiley and Sons. UK. 289 p.
- BURTON I. (1978). The environment as hazards. Oxford Univ. Press. New York. 240 p.
- BURTON I., KATES R. (1962). The perception of natural hazards in resource management. Natural Resources Journal. Núm. 3 (3). 412 – 441 p.
- BURTON I., KATES R. SNEAD R. (1969). The human ecology of coastal flood hazard in megalopolis. University of Chicago. USA. 196 p.
- CAMPA, C. (1967). Breve análisis petrográfico de la sierra de Guadalupe. IPN. Tesis profesional. 61p.
- CAMPOS E., HERNÁNDEZ, Q. ET AL. (1994). A preliminary assesment of IGRF – 1990 for Mexico. Physics of Earth and Planetary Interiors. V 82 (2), 103 – 109 p.
- CARZON, M. Y KIRKBY, M. (1972): Hillslope and process. Cambridge University Press. London. 475 p.
- CNA. (S/F). Datos hidrográficos de gasto y escala de las estaciones hidrométricas de la cuenca de México. Comisión Nacional de Aguas.
- COOKE, R; DOORNKAMP (1974). Geomorphology in environmental management. Oxford, UK.
- CORDERO, M. (1992). El origen y evolución del relieve en la Delegación Alvaro Obregon. Tesis de Licenciatura, FFyL – UNAM, México. (Inédito).
- CORRALES C., ROSELL J., SANCHEZ L., VERA A., VILAS L. (1977). Estratigrafía. Ed. Rueda. Madrid, España. 719 p.
- CROZIER, M. (1973). Thecniques for the morphometrical analisis of Landslides. Zeit Fur Geomorphol. 17, 78-101 p.
- CROZIER, M. (1992): *Determination of paleoseismicity from landslides*. Landslides 2. USA. 1173 – 1180 p.
- DALRYMPLE, J., BLONG; R.; Y CONACHER; A. (1968): An hypotetical nine unit landsurface model. Z. Geomorphol., 12 (1); 60 - 70 p.
- DAVIS, L. (1992): Enciclopedia of natural disasters. Headline Book Publishing Pl., Great Britain. 433 p.
- DE CSERNA Z., DE LA FUENTE, M., PALACIOS, M., TRIAY, L., MITRE, L., MOTA, R. (1988-1989). Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México. Instituto de Geología – UNAM. Boletín 104, 71 p.
- DE PEDRAZA J. (1993). Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones. Ed. Rueda. Madrid. 414 p.
- DEMECK, J. Y EMBLETON, C. Eds. (1978): *Guide to medium scale geomorphological mapping: International Geographical Union, Commission on Geomorphological Survey and Mapping*. E. Schwizerbartische Verlangsbuchhandlung, Sttuttgart, 348 p.
- DEMEK, J. (1976). Handbuch der geomorphologischen detailkartierung. Verlag Ferdinand. Germany.
- ERFFA, A., HILGER, W., KNOLWICH, K., WEYL, R. (1976 - 77). Geología de la cuenca alta de Puebla – Tlaxcala y sus contornos. Comunicaciones N. 13, Proyecto Puebla – Tlaxcala de la FAIC, México.

- FIGUEROA, M. (1971): *Sismicidad de la cuenca del valle de México*. UNAM, Instituto de Ingeniería, Núm. 289. México. P. 237 –248.
- FISCHER R., SCHMINCKE, M. (1984). *Piroclastic rocks*. Springer – Verlag, Berlin, 471 p.
- FRAMPTON., ET AL. (1997). *Hazards Classification*. John and Wiley Sons. U.K., 275 p.
- FRAUSTO, M. O. Y ZAMORANO, O. J. (1997): *Amenaza sísmica por efectos secundarios en la sierra de Guadalupe y áreas adyacentes: región norte de la Ciudad de México*. Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana. Nov. 1997. 222 p.
- FRIES, J. (1956). Bosquejo geológico de la región entre México D. F., y Taxco Guerrero. XX Congreso Geológico Internacional, Excursiones A - 4 y C – 2. México.
- GARCÍA A. M. T. (1995). Origen y evolución de un deslizamiento de tierras en la Vega de Metztilan – Hidalgo. Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. 138 p.
- GARCIA, A., SUEREZ, G. (1996). Los sismos en la historia de México. Tomo I. UNAM – CIESAS-FCE. México. 718 p.
- GARCIA, E. Y HERNÁNDEZ, E. (1988). Modificaciones al sistema clasificativo de Koeppen. Instituto de Geografía – UNAM.
- GARCÍA, R. (1993). Análisis geomorfológico de la distribución de riesgos naturales en la delegación Cuajimalpa de Morelos, D. F. Tesis de Licenciatura, FFyL – UNAM, México. 163 p.
- GIESE, S. (1996). Geología del sector de la delegación Alvaro Obregon, México. Universidad Técnica de Berlín, Instituto de Geociencias Aplicadas. Diplom. Arbeit. Alemania, 86 p.
- GOUDIE, A. (Eds). (1990): *Geomorphological techniques*. Edit for The British Geomorphological Research Grup. Routledge- London. 570 p.
- HERNÁNDEZ, S. et al. (1990). Evidencias morfoestructu-geodinámicas del desplazamiento lateral siniestro de la zona de sutura interplacas de Barlett. Ed. Academia. La Habana-Cuaba. 28 p.
- HERNÁNDEZ, S., GONZÁLEZ R., Y ARTEAGA, F. (1987). Diferenciación estructuro- geomorfológica de la zona de sutura de la microplaca cubana con la placa Caribe. Editorial Academia, La Habana. 48 p.
- HERVEY, J. (1978): *Geología para ingenieros geotécnicos*. Limusa. México. 158 p.
- HEWITT K. (1997). *Geographical study of disasters*. Allen and Unwing. New York. USA. 506 p.
- ILWIS (PALACIO, J., LUNA, L.) (1993). *Sistemas de Información Geográfica: Introducción al sistema del Integrated Land and Water Management Information System (ILWIS)*. Instituto de Geografía – UNAM. 30 p.
- INEGI (1995). Mapa topográfico de las hojas Cuautitlan (E14 A58) y Ciudad de México (E14 A 68), a escala 1:50 000; Instituto Nacional de Estadística, geografía e Informática. México.
- JUANJUN, H., MUKANG, H., OLLIER, C. (1997). A morphometric method to determine neotectonic activity of the Weine basin in northwestern China. *Episodes*, Vol. 20 – N. 2, Germany. 95 –99 p.
- KATES R. (1971). Natural hazards in human ecological perspectives: hipotesis model. *Econ. Geog.* 47, 438 – 451.
- KEEFER D. (1984). Landslides caused by earthquakes. *Geol. Soc, Am. Bull.* 95, 406 – 421 p.
- KING, A. (1989): *Geografía Física*. Oikos Tau, Barcelona, España. 528 p.
- KIRKBY M., MORGAN R. (1984). Erosión de suelos. Limusa. México. 373 p.
- KOUKIS, G. (Edt.) (1997): *Rutschungstypen*. Symp. IAEG. Balkena- Rotterdam, Brookfield. 7 - 8 p.
- KRAUTER, E. (1998): *Rutschungen unter kontrolle? Monitoring und Stabilisierung von Massenbewegungen*. *Geospektrum*. 4/98, Deutschland, S. 20-24.
- LEÓN PORTILLA, M. (1975). Los antiguos mexicanos. FCE – México.
- LEÓN PORTILLA, M. (1978). México Tenochtitlan: su espacio y su tiempo sagrados. INAH. México. 79 p.
- LOZANO, J. (1968). Geología de la Sierra de Guadalupe. Tesis profesional. Ingeniero geólogo. ESIA, IPN. México. 78 p.
- LUGO H. J. (1987). Los métodos geomorfológicos. *Revista de Geografía, Serie Varia*, V. 1., Núm 1, 13 – 26.
- LUGO, H. (1988 -1989): *Diccionario gfeomorfológico*. Instituto de Geografía, UNAM - Mexico. 337 p.
- LUGO, H. J. Y SALINAS, M. A. (1996): *Geomorfología de la sierra de Guadalupe (al norte de la ciudad de México) y su relación con peligros naturales*. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. UNAM. Instituto de Geología. P. 240 – 251.
- LUGO, H. Y ORTÍZ, P. M. (1980). Análisis geomorfológico estructural del conjunto montañoso de Cabo Corrientes – Jalisco. *Bol. Soc. Geol. Mex.* 12, 1 – 13 p.

- MARSAL, R., MAZARI (1959). El Subsuelo de la Ciudad de México. Tomo I. Facultad de Ingeniería, UNAM – México.
- MOOSER F., MONTIEL, A., ZUÑIGA A. (1996). Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla: Estratigrafía, tectónica y aspectos geotérmicos. Comisión Federal de Electricidad. México. Texto explicativo y mapas. 70 p.
- MOOSER, F. (1968). Geología de la Cuenca de México. Atlas de la Ciudad de México. DDF – México.
- MOOSER, F. (1975). Historia geológica de la Ciudad de México. Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo. DDF, México.
- MOOSER, F., TAMEZ., SANTOYO, E. ET AL. (1985 -1986). Características geológicas y geotectónicas del Valle de México. Comisión de vialidad y transporte urbano, México.
- MOTA P. (1988). Catalogo de sismos de la cuenca de México. Instituto de Geología- UNAM. México. 7 p.
- MOTA, P., ORTÍZ, P., ZAMORANO, O. Y FRAUSTO, M. O. (1992): *Principales fenómenos naturales que provocan desastres en la cuenca de México*. Atlas Nacional de México, T. II, Hoja V.2.10, Instituto de Geografía. UNAM.
- NAVA, A. (1987): *Terremotos*. FCE. La ciencia desde México. Núm. 34, México. 158 p.
- ORLOVA (1985). El Mosaico móvil de la planeta. Ed. Nedra- Moscú. URSS.
- ORTIZ P. ET AL. (1992 a). Fenómenos peligrosos que provocan desastres en México. Atlas Nacional de México, Hoja V.2.9. Instituto de Geografía-UNAM. México.
- ORTIZ P. ET AL. (1992 b). Susceptibilidad a corrimiento de tierras la cuenca de México. Atlas Nacional de México, Hoja V.2.10. Instituto de Geografía-UNAM. México.
- PANIZZA M. (1978). En: Demek J. et al. Guide to Medium scale geomorphological mapping. IGU. Stuttgart. Germany. 350 p.
- PANIZZA M. (1993). Riesgo geomorfológico y vulnerabilidad ambiental. En: Simposium Internacional sobre riesgos naturales e inducidos en grandes centros urbanos de América Latina. Serie Scienza 6. CENAPRED, México. 320 p.
- PANIZZA M. (1995). La cartografía del riesgo como un instrumento de planeación territorial. En: Simposium Internacional sobre riesgos naturales e inducidos en grandes centros urbanos de América Latina. Serie Scienza 6. CENAPRED, México. 320 p.
- PEÑA MONE, J. (1997). Cartografía geomorfológica básica y aplicada. Geofoma editorial. Logroño – España. 227 p.
- RAMÍREZ, J. (1976). Memoria acerca de las obras e inundaciones en la Ciudad de México. INAH – México. 76 p.
- RICHTER, S. (1962). En: Allgemeine Geologie, Geomorphologie und bodengeographie. Studienbuecherei Geographie. SCHWAB, M., KUGLER, H., BILLWITZ, K. (1982). VEB Hermann Haack. Germany. 216 p.
- ROJAS, E. T., PÉREZ, Z. Y GARCÍA ACOSTA V. (1987): *"Y volvió a temblar": Cronología de los sismos en México (de 1 pedernal a 1821)*. Cuadernos de la Casa Chata, Núm. 135, SEP. México. 201 p.
- SALAS, O. (1995). Estudio de riesgos naturales en la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo: un enfoque geomorfológico. Tesis de Licenciatura. FFyL, UNAM, México. 110p.
- SALINAS, A. (1994): *Geomorfología de la Sierra de Guadalupe y riesgos naturales*. Tesis de licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. 102 p.
- SÁNCHEZ, S. Y SINGH, S. (1986): *Grandes temblores y sus efectos en el valle de México: observaciones y teoría*. Memoria del simposio "Los sismos de 1985: casos de mecánica de suelos". Sep. De 1986. SMMS. México. P. 55-63.
- SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL (SSN). Archivo digital de epicentros, profundidad y magnitud de la sismicidad en México. SSN – México. 1900 – 1995.
- SIEBE C., REINHOLD J., STAHR K. (1995). Manual para la descripción y evaluación ecológica de los suelos en el campo. Instituto de Geología. UNAM. 26 p.
- SIERRA, C. J. (1977). Breve historia de la navegación en la Ciudad de México. DDF – México. 76 p.
- SIGSA. (1992). Mapas topográficos de las hojas México Norte y Centro, escala 1:40000; Sistemas de Información Geográfica, Sociedad Anónima. México.
- SIM. (1994). Mapa base del Municipio de Tlalnepantla a escala 1:20000. Sistema de Información de Tlalnepantla. México.
- SING, S., PONCE, L., NISCHENKO, S. (1985). The great Jalisco, Mexico earthquake of 1932: subduction of the Rivera Plate. Bull. Seism. Soc. Amer. Vol 75, 1301 – 1313 p.
- SINGH, S., YAMAMOTO, J., HAVSKOV, M. (1980). Seismic gap of Michoacán, México. Geoph. Res. Lett. Vol. 7, 69-72 p.

- SPIEGEL, M. (1997). Estadística Descriptiva e inferencial. LIMUSA – México. 568 p.
- SPIRIDONOV, A. Phisionomic Landscape features as indicators of origin and development of landscape. Bureau Cons. N. Y. – USA.
- SSN. (1995). Servicio Sismológico Nacional 1890 – 1995, base de datos. Servicio Sismologico Nacional. México.
- TRICART, J. (1972). La Tierra, planeta viviente. Akal – Universidad. España. 171 p.
- TERZAGHI, K. (1950): Mechanism of landslides, application of Geology to Engineerin Practice. Geol. Soc. Am. Berkeley. Vol. 83, 122 p.
- UNAM. (1965). Mapas antiguos de la Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México. 76 p.
- UNIKEL, L. (1978). El desarrollo urbano de México. El colegio e México, México. 256 p.
- VARNES, S. (1978): *Landslides types and processes*. Geomorphology 3, p. 71-56.
- WHITTOW, J. (1976). Natural Hazards adjustment and mitigation. In: Horizons in physical Geography. McMillan Education. Hong Kong. 307 – 321 p.
- WHYTE G. (1945). Human adjustment to floods: a Geographical approach to the flood problem in the USA. Research paper N. 29. University of Chicago. USA.
- WILCHES – CHAUX G. (1993). La vulnerabilidad global. En: Los desastres no son naturales. La RED. Colombia. PP. 9 – 50.
- WISE, D., FINICIELLO, R., POROTTO, M. SALVINI, F. (1985). Featuren and lineament orientations in Italy. Geol. Soc. Am. 96.
- YATES, R. , ALLEN, C. Y SIEH, K. (1996): *Earthquake geology*. Oxford Univ. Press. New York. USA. 368 p.
- YOUNG, A. (1972): *Slopes*. Oliver & Boyd. London. England. 288 p.
- ZAMORANO O. (1990). Análisis geomorfológico de la Cuenca de México. Tesis doctoral. Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov. URSS.
- ZAMORANO O. et al. (1992). Susceptibilidad a inundaciones en la cuenca de México. Atlas Nacional de México, Hoja V.2.10. Instituto de Geograffa-UNAM. México.
- ZANKOVA, T. (1959). Estudio del relieve con fines prácticos. Ed. Imprenta Estatal de Literatura geográfica. Moscú – 304 p.

## BIBLIOAFÍA CONSULADA

- ADAMS, J.E. (1979). Sediment loads of North Island rivers, New Zealand – a reconnaissance, Journal of Hydrology (New Zealand), 18 (1), 36-48.
- ALEXANDER D. (1993). Natural disasters. Univ. College. London, U. K. 621 p.
- ALLAN L. T. (1992). Ciencias sociales y desastres naturales en América Latina: un encuentro inconcluso. Desastres Naturales, Sociedad y Protección Civil. COMECSO/UNAM. México. 92 p.
- BADILLO, S. (1990). Desastres por inundaciones y sus daños potenciales en Guanacaste, Costa Rica. Revista Geográfica, IPGH; Costa Rica. 6 – 40 p.
- BARCELO D. J. (1993). Apuntes de sedimentología. Facultad de Ingeniería. UNAM- México. 268 p.
- BAUCHAIN R. (1997). Siete regiones en México; indicadores sobre los niveles de bienestar y su distribución. Momento Económico. Instituto de investigaciones Económicas- UNAM. 23 – 23
- BELOUSOV, V. (1979). Geología estructural. Ed. MIR- Moscú.
- BLANCO J. LOPEZ A., RIVERA M. (1997). Calidad de vida. En: Eibenschutz H. R. (Coord.). Bases para la planeación del desarrollo urbano de la ciudad de México. Tomo I. Economía y sociedad en la Metrópoli. UAM.303 p
- BOLTVINIK J. (1990). Pobreza y necesidades básicas. Conceptos y métodos de medición. Caracas. S. Ed. 30 p.
- BUSTAMANTE L. C. (1997). La pobreza en la Ciudad de México. Momento Económico. Instituto de Investigaciones Económicas. Enero – Febrero. 17 – 23 pp.
- CARDONA A. O. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo: elementos para el ordenamiento y planeación del desarrollo. En: Maskrey A. (Compilador). La Red: Red de estudios sociales en prevención de desastres en Latino américa. La Red. Colombia. 230 p.
- CLARKE J. (1972). Geograffa de la Población. Instituto de Geografía. UNAM – México. 255 p.

- CONESA G. C. (1995). Torrential flow frequency and morphological adjustments of ephemeral channels in South-East Spain. In: Hickin H. (Ed.). River geomorphology. Wiley. England. 169 – 162.
- CORDOBA O. y GARCÍA A. (1989). Geografía de la población y la desigualdad. Síntesis. Madrid, España. 345 p.
- CROZIER, M. (1973): Techniques for the morphometrical analysis of Landslides. Zeit. fuer Geomorphol., 17, 78 - 101 p.
- CROZIER, M.(1984): Field assessment of slope instability. In : D. Brunsten and D.B. Prior (eds), Slope Instability: 103-142. Chichester : John Wiley & Sons.
- CROZIER, M.(1986). Landslides : Causes, consequences & Environment. Croom Helm. London.
- CROZIER, M.J., DEIMEL, M.S. AND SIMON, J.S. (1995) Investigation of earthquake triggering for deep-seated landslides, Taranaki, New-Zealand, Quaternary International, 25, 65-73.
- CUNY F. (1983). Disasters and development. Oxford Univ. Press. New York. USA. 202 p.
- CHORLEY Y DOORNKAMP (1974). Geomorphology in environmental management: an introduction. Oxford – Clarendon, USA. 413 p.
- DAVIS (1980). Shelter after disasters. Oxford Polytechnic. Press. Oxford. U. K., 323 p.
- EIBENSCHUTZ H. R. (1997). Bases para la planeación del desarrollo urbano de la ciudad de México. Tomo I. Economía y sociedad en la Metrópoli. UAM.303 p.
- GEIPFEL, R. (1992). Naturrisiken: Katastrophenbewaeltigung in Soziale Umfeld. John E. Edts, Germany. 425 p.
- GERRARD, J. (1992). Soil Geomorphology: an integration of pedology and geomorphology. CHAPMAN HALL – UK. 265 p.
- GLADE, T. (1998). Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm event in New Zeland. Environmental Geology 35 (2-3), Germany- 160
- HANCE ET B., CHESS, C. , SANDMAN, P. (1990). Industry risk communication manual: improving dialogue with communities. Library of Congress Cataloging – in – publication Data. USA. 151 p.
- HERNÁNDEZ, S. (1989). Geomorfología estructural del sistema montañoso de la sierra Maestra y de las depresiones graben adyacentes. Editorial Acaemia. La Habana – Cuba. 31 p.
- HERNÁNDEZ, S. et al. (1990). Evidencias morfoestructu-geodinámicas del desplazamiento lateral siniestro de la zona de sutura interplacas de Barlett. Ed. Academia. La Habana-Cuba. 28 p.
- HEWITT K. (1983). The idea of calamity in the technocracy age. Allen and Unwin, London. 3 – 32 p.
- HEWITT K. (1997). Geographical study of disasters. Allen and Unwin. New York. USA. 506 p.
- KEEFER D., Wilson, R., Mark., et. al. (1987). Real-time landslides warning during heavy rainfall. Science 238: 921-925.
- KEEFER, D. (1984): *Landslides caused by earthquakes*. Geol. Soc. Am. Bull. 95, USA, 406 – 421 p.
- KEEFER, D. Wiczorek, E.L Harp & D.H. Tuel. (1978). Preliminary assessment of seismically induced landslide susceptibility. Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Microzonation, San Francisco, 1: 279-290.
- KEEFER, D.K. (1984) Landslides caused by earthquakes, Geological Society American Bulletin, 95, 406-421.
- KEEFER, D.K. (1999) Earthquake-induced landslides and their effects on alluvial fans, Journal of Sedimentary Research, 69 (1), 84-104.
- KEEFER, D.K., R.C Wilson, R.K. Mark, E.E. Brabb, W.M. Brown III, S.d. Ellen, E.L. HARP, G.F. WIECZORECK, C.S. ALGER & R.S. ZATKIN. (1987). Real-time landslide warning during heavy rainfall, P.F 1902. A system of glacier-lakes in the Cleveland Hills. Q.J. Geol. Soc. Lond., 58: 471-571.
- KELLER, D. (1990). Great disasters. Camelot World. UK. 132 p.
- KEYNOTE P. (1995): Landslide Hazard assessment. In Landslides, Bell. Ed: Balkema London, P. 1805-1841.
- LUGO, H., VAZQUEZ, C., MALGAREJO, G., GARCÍA, F., MATÍAZ, G. (2001). Procesos gravitacionales en las montañas de Puebla. Ciencia y desarrollo-XXZII – 157, marzo – abril, México. 25 – 30 p.
- MASKREY A. (1989). El manejo popular de los desastres naturales. Estudios de vulnerabilidad y mitigación. ITDG, Lima – Perú. 156 p.
- MCCULLAGH P. (1985). Modern concepts in Geomorphology. Oxford univ. Press. U. K. 308 p.
- MIKAILOV, A. (1987). Structural Geology and geological mapping. MIR – Moscú, 535 p.
- MITCHEL, J. (1988). Confronting natural disaster: an international decade for natural hazards reduction. Environmental, 30 (2), 1988. 25 – 29 p.
- MITCHEL J. CLARK (1989). Horizons in Physical Geography: Natural Hazards – adjustment and mitigation. John Whittow. MacMillan Education. Hong Kong. 1988. 307 – 321 p.

- MITCHEL J., DEVINE N., JAGGER K. (1989). A conceptual model in natural hazards. *Geographical Rev.* 79 (4), 371 – 409.
- NAVARRO B. y MOCTEZUMA P. (1990). La urbanización popular de la Ciudad de México. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. 246 p.
- ORTIZ P. (1990). Perfiles geomorfológicos complejos. Serie Varia. Instituto de Geografía-UNAM. México. 75 p.
- ORTIZ, P., ZAMORANO, O., LUGO, H., FRAUSTO, O. (1994): *Principales fenómenos naturales que provocan desastres en la cuenca de México*. Atlas Nacional de México, T. II, Hoja V.2.10, Instituto de Geografía. UNAM.
- PALACIO A. G. (1995). Ensayo metodológico geosistémico para el estudio de los riesgos naturales. tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM – México. 185 p.
- PALM R. (1990). Natural hazards: an interactive framework for research and planning. John Hopkins Press. Baltimore, USA. 324 p.
- PALM R., HODGSON M. (1993). Natural hazards in Puerto Rico. *Geography Rev.* 10, 19 – 25 p.
- PANIZZA M. (1978). En: Demek J. et al. Guide to Medium scale geomorphological mapping. IGU. Stuttgart. Germany. 350 p.
- PANIZZA M. (1990). Geomorphology and seismic risk. En: *Earth – science Reviews*, 31. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam. 11 – 20 p.
- PANIZZA M. (1993). La cartografía del riesgo como un instrumento de planeación territorial. En: Simposium Internacional sobre riesgos naturales e inducidos en grandes centros urbanos de América Latina. Serie Scienza 6. CENAPRED, México. 320 p.
- PARSON, A. (1988). Hillslope Form. Routledge, London, 212 p.
- PEARCE, A.J. AND WATSON, A.J. (1986) Effects of earthquake-induced landslides on sediment budget and transport over a 50-yr period, *Geology*, 14, 52-55.
- PRECIADO L., RODRIGUEZ D. y GARZA M. (1997). Vulnerabilidad de la ciudad. En: Eibenschutz R. (Coord.). Bases para la planeación del desarrollo urbano en la Ciudad de México. Tomo I. *Economía y Sociedad en la Metrópoli: UAM*. México. 303 p.
- RAMIREZ, S. (1976). Memoria acerca de las obras e inundaciones en la Ciudad de México. INAH, México. 254 p.
- RITTER, D., CRAIG, K., MILLER, J. (1995). Process geomorphology. Brown P. USA. 546 p.
- ROJAS E. (1987). Y volvió a temblar. Cronología de los sismos en México. Cuadernos de la Casa Chata. SEP. 129 p.
- SÁNCHEZ, E. (1982). Lista cronológica de sismos históricos mexicanos. Com. Tecnic. IIMAS – UNAM. Inv. 305.
- SCARTH, A. (1994). *Vulcanoes*. Texas A&M University Press. USA. 273 p.
- SCHEIDEGGER A. (1994). Singularities in geomorphology systems. *Geomorphology*, 10, 19 – 25 p.
- SCHNEIDER, G. (1980). *Naturkatastrophen*. Enke – Germany. 364 p.
- SCHWAB, M., KUGLER, H., BILLWITZ, K. (1982). *Allgemeine Geologie, Geomorphologie und bodengeographie*. Studienbuecherei Geographie. VEB Hermann Haack. Germany. 216 p.
- SING, S., MENA, E., CASTRO, R., CARMONA, C. (1987). Empirical prediction of ground motion in Mexico City from coastal earthquakes. *Bull. Seism. Am.* 77, 1862 – 1867 p.
- SMALL R. (1982). *Slopes and Weathering*. Cambridge University Press, U. K.
- SUMMAN P., KEEFE O., WINSER B. (1983). *Global disasters a radical interpretation*. Allen and Edwin, London. 263 – 284 p.
- TIBALDI, A., FERRARI, L. AND PASQUARÈ, G. (1995) Landslides triggered by earthquakes and their relations with faults and mountain slope geometry: an example from Ecuador, *Geomorphology*, 11, 215-226.
- VARNES, D. (1984). Landslides hazard zonation: a review of principles and practice. CL of IAEG Natural Hazards 3, UNESCO, Paris.
- VARNES, S. (1978): *Slope Movement Types and Processes*. In : R.L Schuster & R.J. Krizek (eds) *Landslides-Analysis and Control*: 11-33. Washington, D.C. : Nat. Acad. Sciences. (Transportation Res. Board Spec. Rept 176).
- VARNES, S. (1983): Time-deformation relations in creep to failure of earth materials. Proc. 7<sup>th</sup> Southeast Asian Geotech. Conf., Hong Kong, 2 : 107-130.
- VARNES, S. and the International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes. (1984): *Landslide Hazard zonation : a review of principles and practice*. Paris : UNESCO.

- VAZQUEZ, E., JAIMES, R. (1988). Geología de la cuenca de México. Geofísica Internacional, Vol 28 – 1, num. 2, Instituto de Geofísica, UNAM, México.
- VERSTAPPEN H. (1983). Applied Geomorphology. ITC. Enschede, Holanda. 345 p.
- VOSS F. (1991). Teoretical and applied geomorphology. Springer Ed. Berlin – Germany. 478 p.
- WHITTOW J. (1988). Natural hazards. Horizons in Physical Geography. Caps. 3,4. London Great Britain.
- WHYTE G. (1960). The choise of use in resource manegament. Natural Hazards Journal. 1. 23 – 40 p.
- WHYTE G., BURTON I. (1990). Environment risk assessment. Scope report. 15. Willey, New York. 189 p.
- WHYTE, G. (1974). Natural hazards research: concepts, methods and policy. In: Whyte G. (Ed). Natural Hazards: local, national, global. Oxford Univ. Press. New York. 3 – 16 p.
- WILKMANN A. y TIMBERLAKE L. (1995). Desastres naturales: ¿fuerza mayor u obra del hombre? Eartscan. USA. 20-45 p.

# ANEXOS

## INDICE DE ANEXOS

1. Base de datos de orden y longitud de corrientes fluviales en la sierra de Guadalupe.
2. Base de datos de orden y longitud de corrientes fluviales en la sierra de Monte Alto – Monte Bajo.
3. Base de datos de gasto y escurrimiento del río Cuautitlán, estación Huehuetoca
4. Base de datos de gasto y escurrimiento de las estaciones San Juan, Gran Canal, Calacoaya y Huahuetoca.
5. Orientación de laderas: Rectas convergentes
6. Orientación de laderas: cóncavas – convergentes
7. Orientación de laderas: Convexo – paralelas
8. MDT del área de estudio con fuente de Luz: a) Norte, b) Sur
9. MDT del área de estudio con fuente de Luz: a) Noroeste, b) Sureste
10. MDT del área de estudio con fuente de Luz: a) Noreste, b) Suroeste
11. Derrumbes, deslizamientos y expansión lateral del suelo provocados por la sismicidad en el graben de Cuauhtepc: región sur de la Sierra de Guadalupe, en la Ciudad de México. Portada de la revista y primera página.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

INVESTIGACIONES

*Geográficas* 38



BOLETÍN DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO DE LA UNAM 1999

# Derrumbes, deslizamientos y expansión lateral del suelo provocados por la sismicidad en el graben de Cuauhtepc: región sur de la Sierra de Guadalupe, en la Ciudad de México

Oscar Fraustro Martínez\*

Recibido: abril, 20 de 1998

Aceptado en versión final: diciembre 17, 1998

**Resumen.** El objetivo de este trabajo es identificar y caracterizar los derrumbes, deslizamientos y la expansión lateral del suelo provocados por la sismicidad en las inmediaciones del graben de Cuauhtepc, región norte de la Ciudad de México. Asimismo, con base en criterios estratigráficos, topográficos, geomorfológicos (densidad y profundidad de la disección fluvial), cobertura superficial de los depósitos (suelo, diluviones, coluviones y vegetación) y eventos sísmicos históricos en el período 1455-1995, se presenta una secuencia evolutiva de los efectos secundarios, distinguiendo cinco generaciones de derrumbes y deslizamientos.

**Palabras clave:** Derrumbes, deslizamientos y licuefacción, Sierra de Guadalupe, peligro sísmico.

**Abstract.** The aim of this paper is the identification of the landslides derived from earthquake in the Cuauhtepc graben. Five generations of landslides are identified in this region. Relative ages are assigned based on: a) the topographic and geological position; b) degree of the stream dissection and the depth of the stream dissection; c) geomorphic expression of the exposed rupture surface and landslide deposit, and d) evidence of historic earthquakes (period 1455-1995).

**Key words:** Landslide, seismic risk and Sierra de Guadalupe.

## INTRODUCCIÓN

Los derrumbes, deslizamientos y la expansión lateral del suelo son fenómenos gravitacionales (Krauter, 1998; Keefer, 1984; Terzaghi, 1950) y se les clasifica como procesos en masa (Ortiz, *et al.*, 1994; Goudie, 1990; Crozier, 1973; Carson y Kirkby, 1972). Este tipo de fenómenos son efectos secundarios provocados por una manifestación extraordinaria: sismos, erupciones volcánicas, nevadas o lluvias intensas (Davis, 1992; Yates *et al.*, 1996).

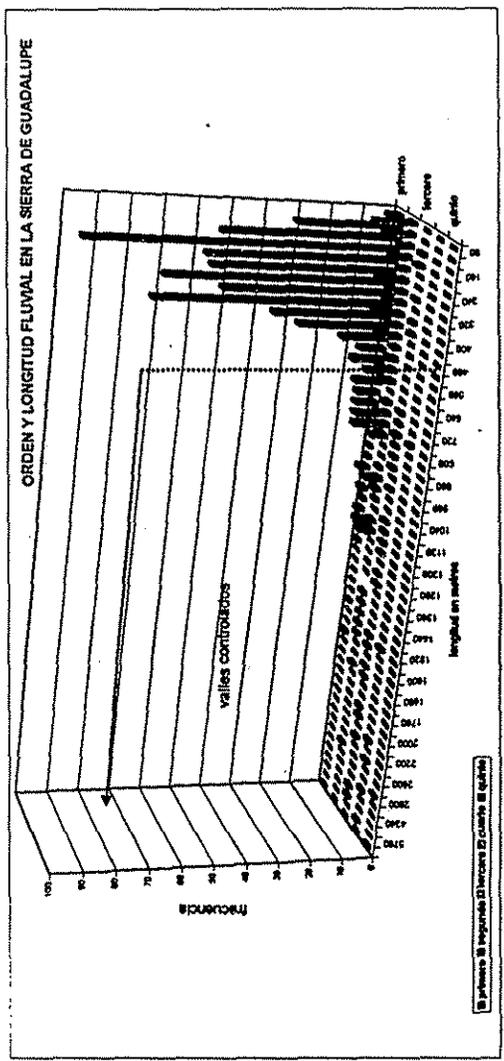
Las clasificaciones de los movimientos en masa de acuerdo con el agente que los provoca (agua, viento y gravedad) son múltiples (Terzaghi, 1950; Dalrymple, 1968; Varnes, 1978; Sharpe, 1983; Krauter, 1998), y consideran para la diferenciación de cada tipo los siguientes criterios: velocidad de emplazamiento, carácter del movimiento y material donde se desarrollan. Específicamente, las clasifi-

caciones de Terzaghi (1950), Crozier (1973), Varnes (1978) y Koukis (1997) consideran como agente desencadenador a los sismos, siendo un efecto secundario de éstos los movimientos en masa.

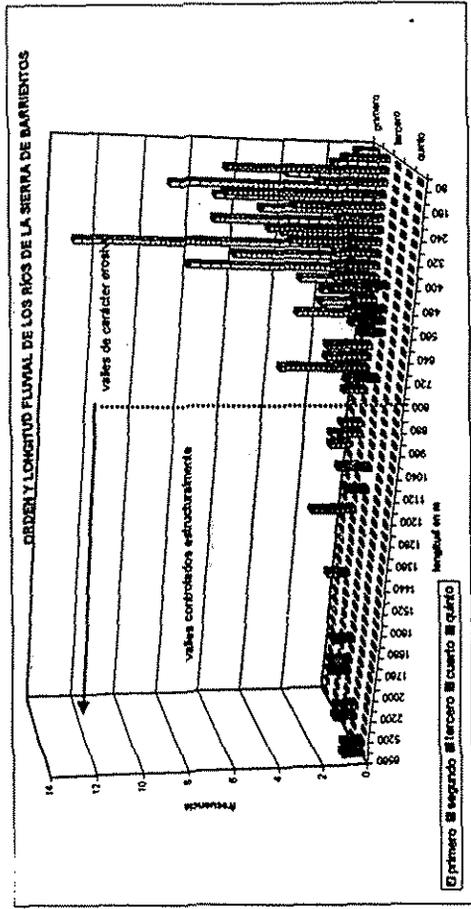
Los derrumbes y deslizamientos provocados por la sismicidad no son desconocidos, al contrario, existen eventos históricos ocurridos en este siglo, de los cuales destacan los siguientes: 9 de octubre de 1963 en Belluno, Italia: 3 700 muertos por un flujo de tierras; 18 de julio de 1964 en Nigata, Japón: 108 muertos y 50 mil damnificados; 19 de marzo de 1971 en Chungar, Perú: 600 muertos por un deslizamiento de rocas. En México, el terremoto del 2 de octubre de 1959 provocó derrumbes de roca, deslizamientos y flujos de tierra en las localidades de Minatitlán, Oaxaca (800 muertos) y en Zacoalpa, Colima (1 000 muertos) (para una descripción detallada de estos eventos véanse Davis (1992) y Rojas *et al.* (1987).

\* Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D. F. (becario de Posgrado).

orden 1	orden 2	orden 3	orden 4	orden 5
80	4	12	0	0
120	32	6	0	0
160	54	4	0	0
200	65	4	1	0
240	65	3	0	0
280	56	3	0	0
320	70	5	0	0
360	52	6	1	0
400	73	9	0	0
440	38	4	0	0
480	28	7	0	0
520	570	2	0	0
560	14	3	0	0
600	8	0	0	0
640	10	5	0	0
680	640	4	0	0
720	8	0	0	0
760	7	2	0	0
800	7	4	1	0
840	11	2	0	0
880	3	0	0	0
920	1	0	0	0
960	1	0	0	0
1000	3	5	1	0
1040	1	2	0	0
1080	2	1	0	0
1120	1	0	0	0
1160	2	3	1	0
1200	2	3	1	0
1240	1	1	0	0
1280	1	0	0	0
1320	0	0	0	0
1360	0	0	0	0
1400	0	1	0	0
1440	0	0	0	0
1480	0	1	0	0
1520	1	1	0	0
1560	0	1	1	0
1600	0	1	0	0
1640	1	0	0	0
1680	0	1	0	0
1720	0	1	0	0
1760	0	0	0	0
1800	0	0	0	0
2000	0	0	0	0
2160	0	1	0	0
2200	0	0	1	0
2320	0	0	0	0
2400	0	0	1	0
2640	0	1	0	0
2800	0	0	0	1
3600	0	0	0	0
4160	0	0	1	0
4240	0	0	1	0
4520	0	0	0	0
5760	0	0	0	0
8080	0	0	1	1



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



orden 1	orden 2	orden 3	orden 4	orden 5
83	1	0	0	0
120	2	0	0	0
160	4	0	0	0
200	7	0	0	0
240	3	0	0	0
280	7	0	0	0
320	4	0	0	0
360	5	0	0	0
400	7	0	0	0
440	4	0	0	0
480	2	0	0	0
520	2	0	0	0
560	3	1	0	0
600	2	1	0	0
640	3	1	0	0
680	0	0	0	0
720	0	0	0	0
760	0	2	0	0
800	1	4	0	0
840	0	1	0	0
880	0	0	0	0
920	0	0	0	0
960	0	1	0	0
1000	0	0	0	0
1040	0	0	0	0
1080	1	0	0	0
1120	1	0	1	0
1160	0	0	0	0
1200	0	0	1	0
1240	0	0	0	0
1280	0	0	0	0
1320	0	2	0	0
1360	0	0	0	0
1400	0	0	0	0
1440	0	0	0	0
1480	0	0	0	0
1520	0	0	0	0
1560	0	1	0	0
1600	0	0	0	0
1640	0	0	0	0
1680	0	0	0	0
1720	0	0	0	0
1760	0	0	1	0
1800	0	0	0	0
2000	0	0	1	0
2180	0	0	0	0
2200	0	0	0	1
2300	0	0	0	1
4000	0	0	0	0
5200	0	0	0	1
5520	0	0	0	1
6590	0	0	0	1

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

RIO CUAUHTILAN, ESTACION HUEHUETOCA.

año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	total max	maxima	media
1933	0.28	0	0	0	0	1.66	1.3	1.84	2.08	3.2	3.2	0.08	12.59	3.2	3.2
1934	0	0	0	0	0	1.16	3.3	3.21	3.34	3.47	1.97	0.42	16.86	3.47	1.04918667
1935	0.18	0	0.03	0	0.01	0.68	0.85	2.85	3.03	2.72	1.54	0.78	14	3.03	1.40206667
1936	0.02	0	0.52	0.71	0.01	1.26	3.22	4.1	2.77	3.34	2.56	1.16	18.2	4.1	1.16096667
1937	0	0	0	0	0.41	1.54	0.88	2.82	1.81	1.27	0.87	0.4	10.15	2.82	0.84463333
1938	0.02	0.02	0	0.02	1.8	2.04	1.13	1.78	1.96	1.96	2.16	0.31	12.96	2.16	1.06
1939	0.01	0.01	0.01	0.06	0.9	2.34	2.84	2.12	1.64	1.64	0.28	0.04	10.35	2.84	0.8625
1940	0	0	0	0.06	0.34	2.47	2.97	2.63	2.63	3	3.89	0.84	19.18	3.89	1.56833333
1941	0	0	0	0.16	1.95	2.44	3	2.98	3.51	3.51	1.33	0.03	16.1	3.51	1.34186667
1942	0.34	0	0	1.36	0.16	2.32	2.44	2.78	3.4	3.4	0.86	0.27	14.11	3.4	1.17583333
1943	0	0	0	0	0.37	1.17	1.17	2.24	2.38	3.6	0.24	0.2	14.57	3.6	1.21418667
1944	0.15	0	0	1.8	0	0.8	1.92	1.08	2.17	1.5	0.24	0.2	20.23	2.17	1.89583333
1945	9	2.02	0.02	0.2	0.3	1.72	1.2	0.94	1.35	1.83	1.78	0.24	10.74	1.78	0.895
1946	1.06	0.06	0	0.46	1.72	2.4	2.56	0.48	2.85	2.85	1.27	1.2	17.94	2.85	1.465
1947	0.06	0.06	0.91	0.52	3	2.4	2.2	2.92	1.58	2.65	1.6	0.2	11.86	2.65	0.88633333
1948	0.34	0	0	0	0	0	1.22	3	2.82	2.56	1.6	0	3.78	1.53	0.31333333
1949	0	0	0	0	0	0	1.83	0.7	0.68	0.18	0.28	0	6.08	2.84	0.67333333
1950	0	0	0	0	0	1.7	2.84	1.4	0.68	0.79	0.49	0.18	10.39	2.84	0.86583333
1951	0.19	0	0.19	0.19	1.11	1.4	2.4	2.64	0.84	0.73	0.23	0.24	16.12	2.74	1.51
1952	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	2.74	1.7	1.23	2.46	2.57	1.28	17.64	2.57	1.47
1953	1.2	1.2	1.2	1.12	1.02	1.02	1.32	1.88	2.58	2.46	1.36	1.48	16.19	3.46	1.51583333
1954	1.02	1.02	1.02	1.24	1.24	1.22	2.33	1.38	1.5	1.2	3.48	1.78	11.89	2.75	0.99818667
1955	1.02	1.02	0	0	0.4	0.03	1.32	1.66	2.71	2.75	1.62	0.39	7.87	2.16	0.53918667
1956	0	0	0	0	0.03	0.16	1.57	2.18	1.58	1.74	0.43	0	2.47	0.72	0.20583333
1957	0	0	0	0	0.42	0	0.72	0.54	0.24	0.14	0.33	0.08	12.81	3.86	1.0675
1958	0	0	0	0	0	0.53	1.98	2.68	1.86	3.88	0.84	0.62	8.62	2.44	0.71833333
1959	0.31	0	0.16	0	0.06	0	1.04	2.18	1.77	0.54	2.44	0	9.44	3.88	0.78986667
1960	0	0	0	0	0.04	0.07	0.05	2.4	2.56	3.88	0.44	0	10.84	2.78	0.81166667
1961	0.22	0	0	0	0	0.8	2.48	2.78	2.58	1.5	0.68	0.02	7.85	2	0.65418667
1962	0.38	0.38	0.05	0.46	0.64	0.17	1.19	1.26	0.7	2	0.76	0	15.13	2.74	1.26063333
1963	0	0	0	0	0.67	0.58	2.2	2.74	1.92	2.2	2.24	2.04	8.74	2.4	0.81166667
1964	0	0	0	0	0.87	1.49	2.4	1.38	1.84	1.34	0.5	0	16.82	4.78	1.385
1965	0.06	0.06	0.09	0.09	0.56	1.06	1.71	1.96	2.8	4.78	1.94	1.63	18.74	4.84	1.56166667
1966	0.48	0.48	0.24	1.14	0.18	0.48	1.09	2.1	2.35	4.94	3.44	1.3	21.87	5.18	1.80583333
1967	1.12	1.12	1.23	0.89	0.1	1.83	0.8	0.81	3.86	5.18	3.46	1.82	28.08	4.72	2.34
1968	0.97	0.97	0.86	1.39	1.68	2.12	4.72	3.46	3.75	3.75	2.28	1.48	27.9	5.48	2.325
1969	1.48	1.48	1.43	1.42	1.73	1.65	2.14	2.48	5.27	5.46	1.86	1.5	30.58	4.34	2.42063333
1970	1.48	1.48	1.57	1.48	1.49	1.64	3.11	3.8	3.64	4.34	3.45	1.52	32.83	4.2	2.54633333
1971	1.51	1.51	1.53	1.56	1.54	1.82	2.98	2.98	3.86	3.78	4.2	2.02	34.8	4.86	2.73583333
1972	1.61	1.61	1.63	1.59	1.79	2.67	4.44	4.66	3.47	3.66	2.8	2.45	34.8	4.16	2.88333333
1973	1.87	1.87	1.81	2.44	2.93	2.04	2.79	3.03	4.8	4.16	3.16	3.12	40.19	5.43	3.34818667
1974	2.66	2.66	2.75	2.49	2.94	2.98	4.32	5.43	3.42	4.88	3.2	2.53			

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

RO CUAUTITLAN, ESTACION HURFETOCA, GASTO MÁXIMO MENSUAL EN MJS/EG

año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	total max.	maxima	prom anual
1933	0	0	0	0	11.98	6	14.30	54.04	45.9	45.9	0.76	0.1	111.06	54.04	54.04
1934	0.84	0	0	0	11.98	49.6	46.37	17.88	40.72	18.18	1.32	0	111.06	40.72	0.25000997
1935	0	0	0	0	6.82	49.6	46.37	51.06	55.90	10.54	3.48	0.15	223.63	55.90	16.636333
1936	0.95	0.05	0	0.01	2.78	2.71	34.22	39.80	30.72	28.78	6.81	0.28	144.32	30.72	12.0209997
1937	0.03	1.92	3.08	0.01	7.8	46.68	63.75	32.92	51.1	14.92	1.08	0	242.37	63.75	20.100333
1938	0	0	0	1.28	10.54	4.28	33.38	15.34	7.7	4.12	1.2	0.08	77.68	33.38	2.82
1939	0.03	0.03	0.03	13.8	17.24	6.34	13.2	16.32	32.1	0.94	0.22	0	111.79	32.1	0.3353333
1940	0.06	0.06	0.17	19.40	4.04	23.54	35.4	21.74	14.3	0.88	0.09	0.05	9.25000997	35.4	0.7713333
1941	0	0	0	3.54	1.19	26.42	35.78	37.1	61.88	28.98	28.98	0.24	190.26333	61.88	15.0271391
1942	1.19	0	0	0	20.24	26.84	37.1	36.44	41.56	11.05	0.12	0.08	178.58	41.56	14.8891667
1943	0	0	0	11.43	10.29	27.06	14.40	47.72	61.7	3.00	0.49	0	178.652	61.7	14.7210417
1944	0	0	0	18.8	0	10.15	25.03	27.15	52.5	27.90	0	0.47	178.586	52.5	14.8329197
1945	0	0	0	8.15	3.85	18.82	6.96	19.81	11.56	0.78	0	0	168.4673	19.81	14.1371528
1946	0.95	0	0	2.7	14.19	6.2	5.56	9.88	13.11	14.67	0	0	168.4673	14.67	14.0396653
1947	0.98	0	0	2.24	22.8	24.82	2	12.52	28.85	10.7	8.25	7.28	175.000997	31	14.5913069
1948	0	0	0	0	0	8.08	42.0	40.82	33.78	10.7	0.43	0	173.76333	42.0	14.4820111
1949	0	0	0	0	0	20.53	2.4	1.82	0.29	0.37	0	0	164.534167	20.53	13.7111830
1950	0	0	0	0	15.8	34.97	10.1	2.28	3.08	0.94	0.4	0.04	188.010583	34.97	14.0000208
1951	0.04	0.04	0.04	6.12	10.1	29.84	34.04	3.49	2.02	0	1.78	0	169.895	34.04	14.545853
1952	0	0	0	0	0	29.84	7.41	1.28	23.32	28.46	4.12	0	169.895	29.84	14.1742691
1953	0	0	0	0.43	0	2.18	10.18	25.72	22.84	2.62	1.78	0	168.424167	25.72	14.0559472
1954	0	0	0	1.37	1.19	19.78	2.85	4.39	1.01	90.36	8.78	0	170.51	90.36	14.1025
1955	0	0	0	3.34	0.1	20.06	27.22	58.93	80.25	27.22	3.22	0.37	178.6425	80.25	14.9700063
1956	0	0	0	0.1	0.80	25.98	41.84	28.22	30.34	3.73	0	0	173.764167	41.84	14.4805472
1957	0	0	0	0	0	8.07	5.24	1.97	0.7	2.93	0.32	0	164.816333	6.07	13.7431944
1958	0	0	0	0	5.38	28.53	81.22	30.36	108.89	12.7	8.82	5.24	195.3025	105.09	15.4490417
1959	2.41	0.93	0	0.36	0	14.78	44.86	32.88	5.55	53.18	4.9	0	178.57	53.18	14.7141667
1960	0.4	0	0	0	0.23	0.15	13.2	23.1	63.32	1.04	0	0	171.80333	63.32	14.3168444
1961	0.4	0	0	0	4.1	25.3	37.54	31.98	9.3	0	0	1.2	172.66333	37.54	14.3909444
1962	0.84	0.05	1.14	1.8	0.24	5.90	6.86	13.14	16.9	19.34	16.14	0	169.735	18.2	13.93372
1963	0	0	0	1.33	1.16	16.8	23.82	13.42	19.34	1.1	0	0.02	172.66333	23.82	14.4328172
1964	0	0	0	1.04	7.48	6.86	6.86	13.42	7.27	1.1	0	0	168.6075	22.3	14.0500025
1965	0	0	0	0.02	1.5	12.55	18.4	31.4	87.88	19.28	11.38	0	178.690997	87.88	14.9139099
1966	0.67	1.13	0.21	0.21	1.13	4.30	21.29	24.6	128	52.08	7.33	1.02	182.141987	98	18.1784772
1967	5.16	6.31	3.32	0.19	15.16	2.78	2.84	14.6	126	39.75	4.26	0.04	183.275633	128	18.7229961
1968	0.11	0.06	0.13	0.26	6.82	65.80	43.04	34.55	42.7	8.99	0.43	0.36	180.8975	65.80	15.078125
1969	0.35	0.18	0.17	3.09	2.35	7.26	12.28	81.41	61.89	3.83	0.53	0.46	180.24333	81.89	15.0202778
1970	0.45	1.06	0.45	0.5	1.69	23.21	45.85	49.4	31.02	62.4	0.77	0.63	181.51333	62.4	15.1201111
1971	0.78	0.84	1.08	0.83	3.31	21.5	20.5	45.37	39.52	54.23	5.02	14.87	181.58633	54.23	15.1321528
1972	1.4	1.96	1.24	2.83	16.38	56.5	72.5	52.14	34.06	13.4	8.4	2.65	184.82	72.5	15.385
1973	2.85	2.15	1.44	1.11	12.82	17.87	79.11	49.67	21.24	19.58	7.59	0	184.3025	79.11	18.358417
1974	10.98	11.3	7.94	14.1	16.18	53.06	90.61	27.78	61.04	21.07	7.95	9.18	192.02833	90.61	19.0228111
1975															90.613
1976															54.23
1977															82
1978															30.288
1979															31.1
1980															17.75
1981															3.1
1982															54
1983															83.8
1984															41.4
1985															28.771
1986															19.097
1987															61.59
1988															49.4
1989															34.47
1990															4.99
1991															5.1
1992															3.06
1993															3.9
1994															3.1
1995															4.82
1996															5.84
1997															4.24
1998															3.71
1999															61.59
2000															49.4
2001															34.47

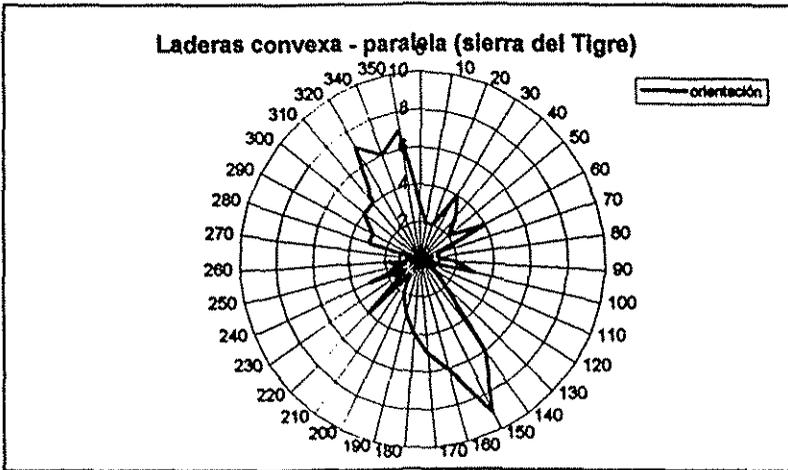
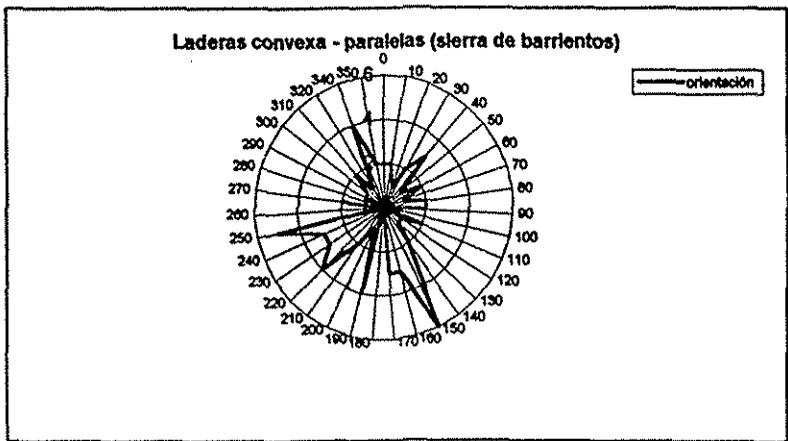
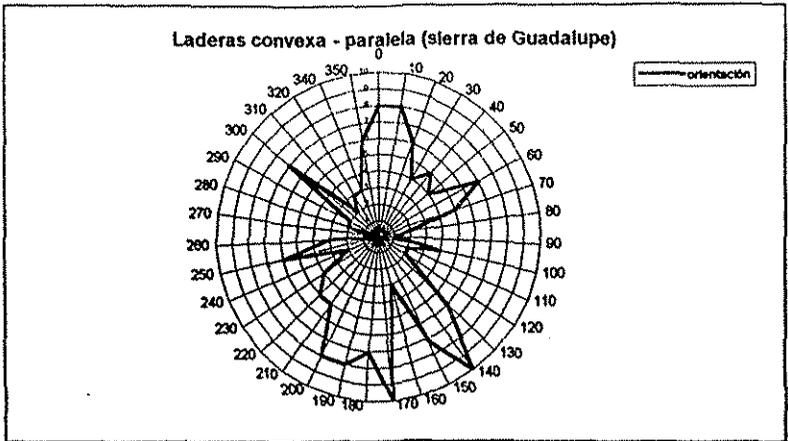
gasto

resaca

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

AÑO	IRIBERRICOA		CALZADAYA		SAN JUAN BARRIAZPE DE EL BALTIRE		GRAN CANAL		LAUREPANTICA		BANCIO DE C	
	GASTO	ESCALA	GASTO	ESCALA	GASTO	ESCALA	GASTO	ESCALA	GASTO	ESCALA	GASTO	ESCALA
1933	54,04	3,2										
1934	40,72	3,05										
1935	55,89	3,47										
1936	32,99	3,03										
1937	53,75	4,1										
1938	35,29	2,62										
1939	32,1	2,16										
1940	35,4	2,94										
1941	31,89	3,89										
1942	41,26	3,71										
1943	61,7	3,4										
1944	19,32	2,19										
1945	14,67	1,76										
1946	31	2,45										
1947	42,8	2,82										
1948	20,33	1,82										
1949	34,97	2,64										
1950	34,94	2,64										
1951	29,64	2,74										
1952	29,64	2,59										
1953	25,72	3,46										
1954	60,25	2,75										
1955	41,94	2,16										
1956	8,07	0,72										
1957	105,68	3,86										
1958	53,18	2,44										
1959	63,32	3,68										
1960	37,54	2,76										
1961	18,2	?										
1962	23,82	2,74										
1963	72,3	2,4										
1964	67,88	4,76										
1965	89	4,94										
1966	128	5,95										
1967	81,89	3,49										
1968	62,4	4,24										
1969	52,4	4,24										
1970	34,22	4,2										
1971	72,3	4,08										
1972	71,1	4,16										
1973	69,81	3,45										
1974	80,913	3,443										
1975												
1976												
1977												
1978												
1979												
1980												
1981												
1982												
1983												
1984												
1985												
1986												
1987												
1988												
1989												
1990												

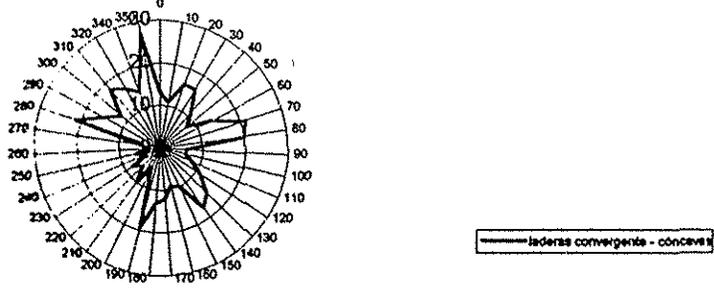
TESIS CON FALLA DE ORIGEN



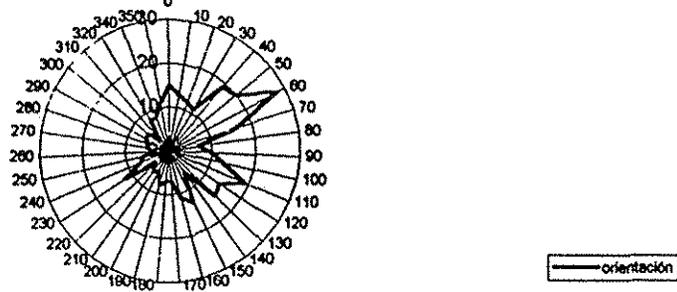
Orientación de Laderas convexo – paralelas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

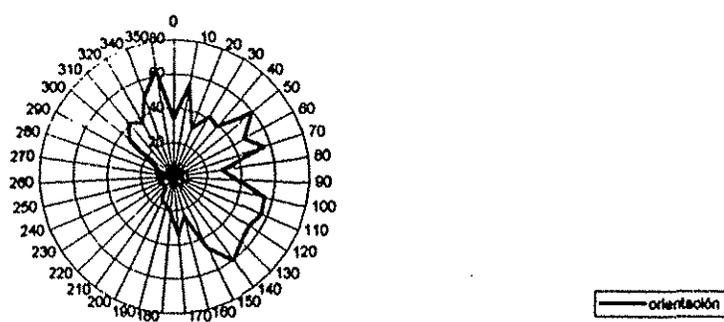
Laderas convergente - cóncavas (sierra de Guadalupe)



Laderas convergentes - cóncavas (sierra de Barrientos)

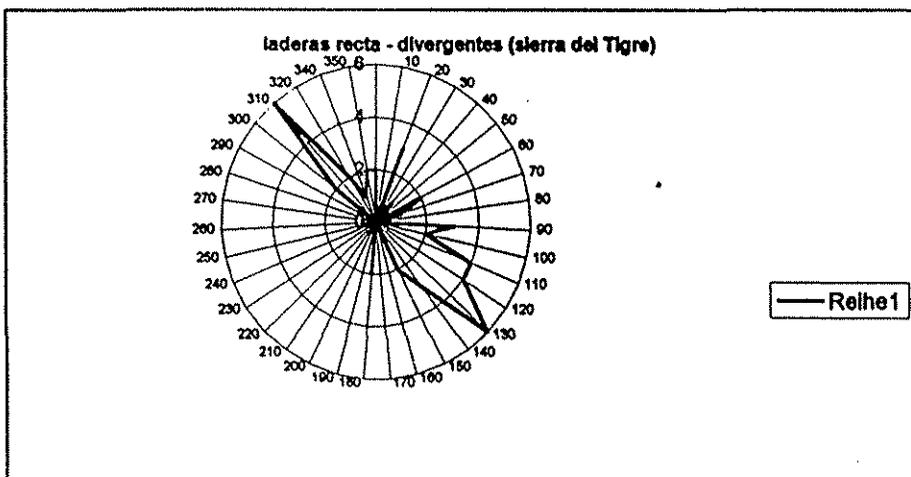
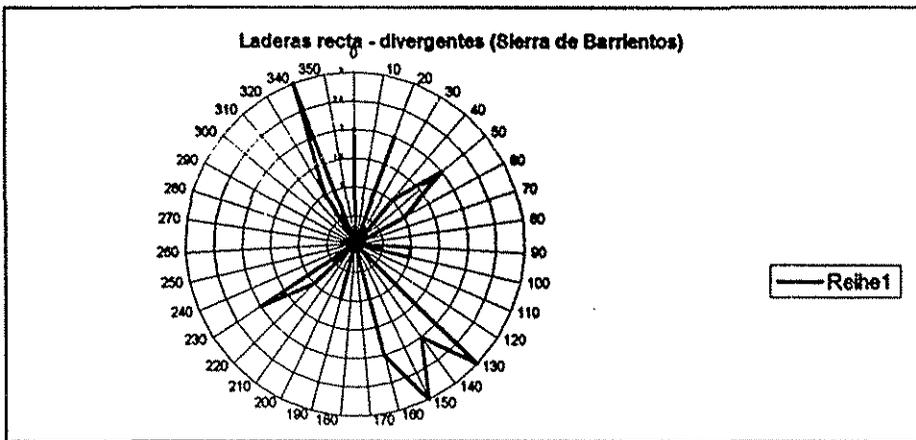
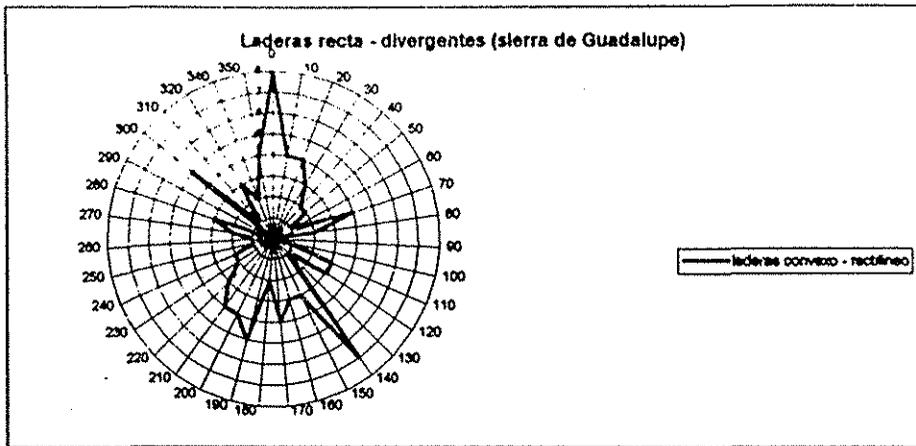


Laderas convergente - cóncavas



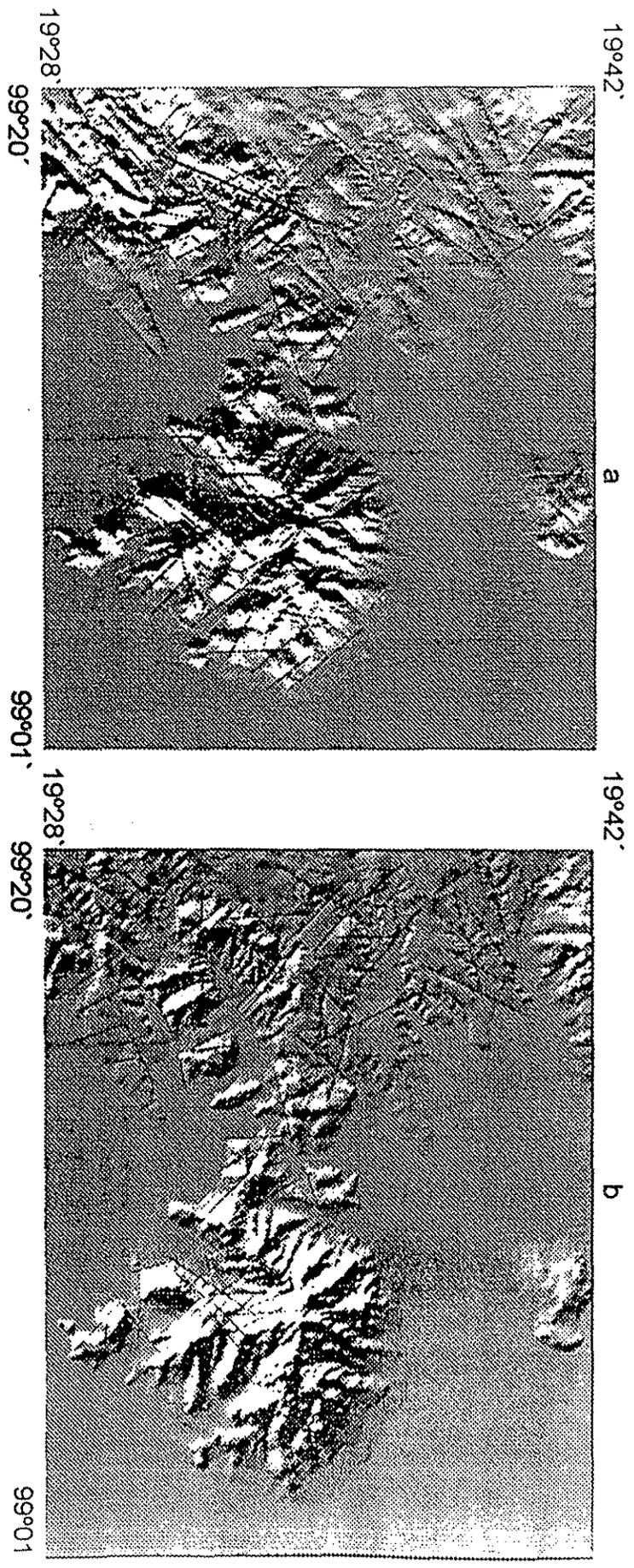
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

. Orientación de las laderas Cóncavas- convergentes.

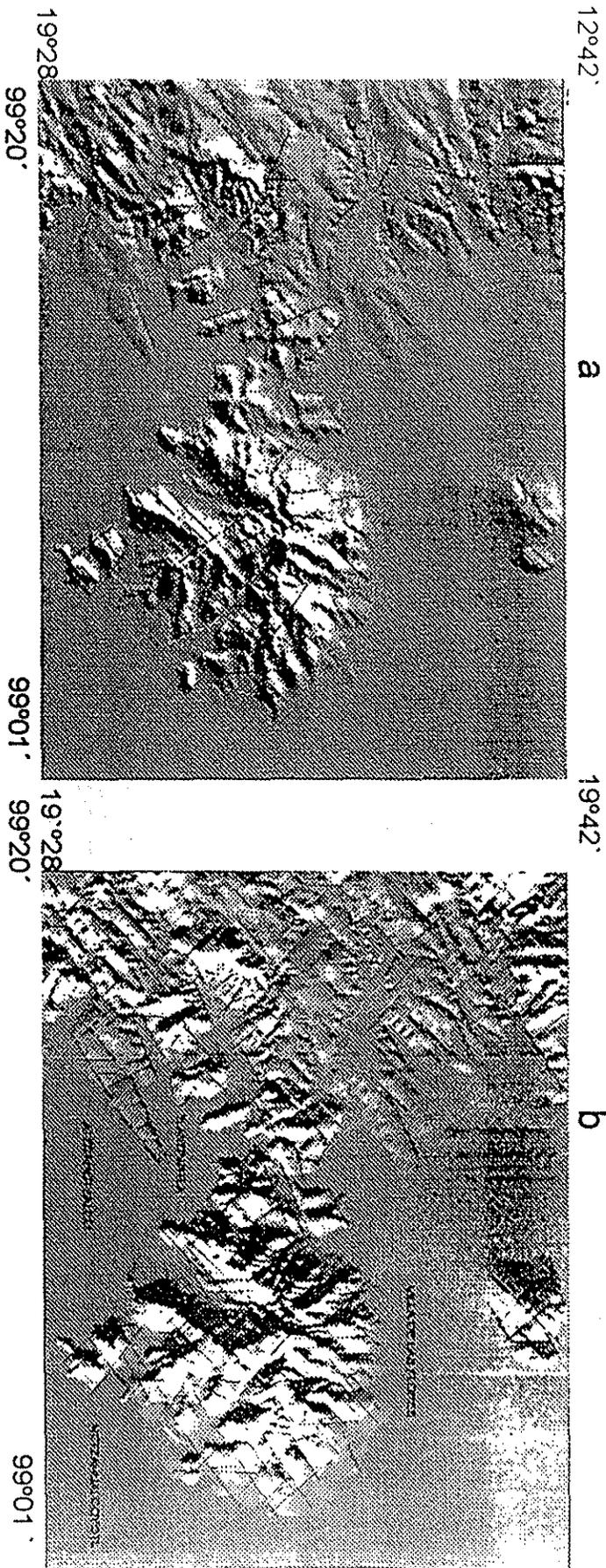


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Orientación de laderas rectas - convergentes.



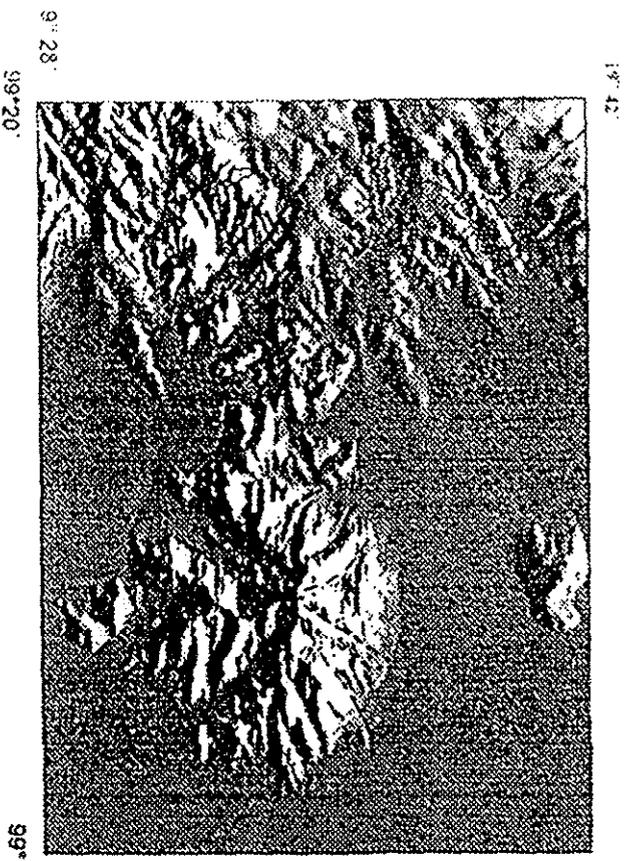
d. MDT del área en estudio con fuente de luz : a) Surroeste; b) Noreste. Se muestran los lineamientos inferidos por interpretación visual.



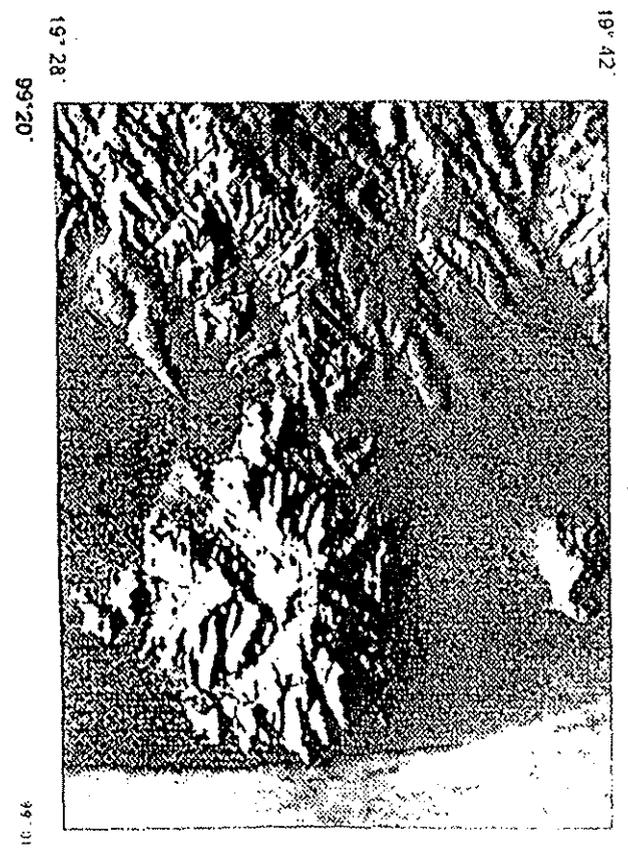
MDT del área en estudio con fuente de luz: a) Noreste; b) Sureste. Se muestran los lineamientos inferidos por interpretación visual.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

a



b



MDT del área en estudio con fuente de luz: a) Norte o b) Sur. Se muestran los lineamientos por interpretación visual.