



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS**

**PROCESOS DE LADERA EN LA REGIÓN DE  
CUETZALAN: UN ENFOQUE GEOMORFOLÓGICO.**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA  
P R E S E N T A  
NAYELLI ZARAGOZA ZÚÑIGA**



**ASESOR: DR. JOSÉ JUAN  
ZAMORANO OROZCO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D. F.**

**2006**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

Dedicada a mis padres, Tere y Luis, quienes con su amor y apoyo me han motivado en todo lo que hago.

A Iván por su compañía y cariño incondicional.

A mi familia y amigos.

**G R A C I A S**

## Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento al **Dr. José Juan Zamorano**, quien, además de ser el asesor de esta tesis, me brindó su amistad, apoyo y conocimiento.

Al **Dr. José Lugo** por su amistad, apoyo y asesoría en todo momento, agradezco sus comentarios y sugerencias.

Asimismo, al **Maestro Alberto Pérez R.**, quien me brindó su amistad y quien también fue partícipe en el conocimiento obtenido para este trabajo.

A la **Dra. Lucía Capra** y al **Dr. José Ramón Hernández**, por sus observaciones y sugerencias para enriquecer esta investigación.

Al **Instituto de Geografía** por el uso de equipo e instalaciones, así como al proyecto **PAPIIT IN-110905** "Procesos de remoción en masa en terrenos volcánicos".

Extiendo mi agradecimiento a mis compañeros de equipo, quienes de diversas maneras me apoyaron en la realización de este trabajo: Raúl Alvarado, Miguel Santos, Osvaldo Franco, Eliseo Cerecedo, Ana Rosales, Ana Fernández, Christian, Alejandro Flores, Carlo Mendoza, Jacobo Bautista, Omar Vega, Raúl Hernández, Mauricio, Raúl Gutiérrez, Luis Galván, Milagros Campos, Carlos Uribe, Alejandro Ramírez y Guillermo Rodríguez. Gracias por su apoyo.

A mis profesores que participaron en mi formación académica.

*La gota de agua que da la nube  
Como regalo para la flor,  
En vapor se desvanece  
Cuando se levanta el Sol.*

*Y nuevamente al cielo sube  
Hasta la nube que la soltó*

Francisco Gabilondo Soler

<b>Introducción</b>	1
<b>I. Fenómeno natural, amenaza (peligro), vulnerabilidad, riesgo y desastre.</b>	3
1.1 Análisis conceptual.	4
1.2 Mecanismo detonador: Cuetzalan, octubre de 1999.	8
<b>II. Aspectos geográficos de Cuetzalan y zonas adyacentes</b>	10
2.1 Localización.	10
2.2 Características fisiográficas.	12
2.3 Clima e Hidrología.	15
2.4 Suelos.	17
2.5 Vegetación.	19
2.6 Uso de suelo.	20
<b>III. Geología</b>	24
3.1 Columna Geológica.	33
3.2 Historia geológica regional.	36
3.3 La geología y su relación con los procesos de ladera	37
<b>IV. Análisis Morfométrico</b>	40
4.1 Mapa altimétrico.	41
4.2 Mapa de pendientes.	44
4.3 Mapa de densidad de la disección.	47
4.4 Mapa de profundidad de la disección.	50
4.5 Mapa energía del relieve.	52
4.6 Mapa de zonificación de procesos de ladera e inundaciones, con base en valores morfométricos.	54
<b>V. Geomorfología y Susceptibilidad del territorio a procesos geomorfológicos peligrosos: procesos de ladera e inundaciones</b>	59
5.1 Análisis Geomorfológico.	59
I. Relieve endógeno modelado.	62
II. Relieve exógeno.	69
5.2 Susceptibilidad a procesos peligrosos en el territorio de Cuetzalan.	89
I. Terrenos susceptibles a procesos de ladera.	90
II. Terrenos bajos susceptibles a inundaciones.	91
<b>Conclusiones</b>	94
<b>Bibliografía</b>	96

## **Introducción.**

En septiembre y octubre de 1999, se registraron lluvias extraordinarias en la Sierra Norte de Puebla, como consecuencia de las depresiones tropicales 11; 12; 13 y 14, así como la estacionalidad de un frente frío; estas lluvias fueron el detonante, por un lado, de procesos de ladera y por otro, debido al crecimiento y desborde de diversos ríos, de inundaciones. Ambos procesos dejaron daños y pérdidas materiales.

En el momento en que estos procesos naturales afectan el desarrollo de las actividades humanas, representan una amenaza; por lo tanto, dentro de la dinámica geomorfológica del territorio de Cuetzalan, es importante caracterizar y jerarquizar a los procesos de ladera e inundaciones.

Existen diversos métodos para el estudio de las amenazas, el empleado en este trabajo fue a partir del análisis geomorfológico, el cual permite identificar sus formas, origen, evolución, distribución y dinámica. Con esto se determinaron áreas con distintos niveles de susceptibilidad a procesos que puedan causar peligro, esto último representa el objetivo principal de este trabajo, así mismo, el resultado de estudio se resume en un mapa de susceptibilidad a procesos de ladera e inundaciones.

Para el desarrollo del objetivo principal, fue necesario realizar distintas etapas de investigación y análisis, mismas que corresponden a cada uno de los capítulos que integran a este trabajo.

El primero de ellos hace referencia a los conceptos de amenaza o peligro geomorfológico, desastre, vulnerabilidad y susceptibilidad, con el fin de integrarlos y contextualizarlos con lo ocurrido en octubre de 1999.

En el capítulo dos se describen los aspectos geográficos de Cuetzalan, como localización y ubicación dentro de la zona climática intertropical, condición que favorece la presencia de lluvias en la mayor parte del año. Así como el hecho de que

en este territorio hacen frontera la Sierra Madre Oriental, Cinturón Volcánico Transmexicano y la Llanura Costera del Golfo Norte, esto conlleva a una heterogeneidad en cuanto al sustrato geológico, suelo, clima, vegetación, contrastes altitudinales y morfología, condiciones que favorecen o incrementan los procesos geomorfológicos presentes en la zona de estudio.

En el capítulo tres, se analiza la geología; asimismo se relaciona con los procesos de remoción en masa, ya que la litología y su estructura, bajo condiciones de humedad, condicionan el tipo y dinámica de dichos procesos.

En el capítulo cuatro, se hace el análisis morfométrico, en el cual se caracteriza al relieve de Cuetzalan, de acuerdo con sus propiedades métricas. Para este estudio se elaboraron un mapa altimétrico, de pendientes, densidad de la disección, profundidad de disección y energía del relieve. A partir de la interpretación de estos mapas se elaboró una zonificación de procesos; éste junto al geomorfológico fueron la base para realizar el mapa de susceptibilidad.

En el capítulo cinco, se analiza la geomorfología, en donde se clasifican y analizan las formas de relieve identificadas a partir de la interpretación de fotografías aéreas. El resultado de este análisis es el mapa morfogenético de Cuetzalan y territorios adyacentes. Una vez realizado se prosiguió con la elaboración del mapa de susceptibilidad, en donde se conjunta la morfometría, la geomorfología y el trabajo de campo, para establecer niveles de potencialidad a la ocurrencia de procesos de ladera e inundaciones, principales procesos que causan amenaza.

La aplicación y utilidad de este trabajo radica en la prevención, planeación y mitigación de dichas amenazas.



## **CAPÍTULO I. FENÓMENO NATURAL, AMENAZA (PELIGRO), VULNERABILIDAD, RIESGO Y DESASTRE.**

### **Introducción**

En este capítulo se desarrollan las bases teóricas que sirven como punto de partida en la identificación y análisis de superficies susceptibles a presentar procesos de ladera, a través de una cartografía especializada. Sin duda, el estudio de la amenaza geomorfológica es el tema central de este trabajo.

El análisis del relieve terrestre a partir de su génesis, evolución y dinámica, es el objetivo de la Geomorfología. Sus métodos de estudio son diversos, algunos de ellos no son propios, provienen de las ciencias de la Tierra, pero son usados junto a los propios para identificar, explicar, analizar e interpretar los procesos de modelado, que definen la morfología actual de la corteza terrestre.

Referente a los procesos y su dinámica, tienen un particular interés los de ladera o gravitacionales; su estudio se realiza con criterios geomorfológicos. De esta manera se pretende reconocer territorios susceptibles a estos fenómenos (su impacto o afectación, regularidad y evolución) y los factores que condicionan su desarrollo, para elaborar una cartografía especializada.

La importancia de este tipo de trabajos es su carácter aplicado en la evaluación, manejo y planeación del territorio. No obstante, puede considerarse para la mitigación de fenómenos naturales que puedan representar una amenaza para la población.

En este marco, las lluvias extraordinarias ocurridas el mes de octubre de 1999 desencadenaron en la Sierra Norte de Puebla numerosos procesos de ladera;

transformaron las condiciones naturales del lugar, en particular del relieve de Cuetzalan, a tal grado que llegaron a repercutir de manera negativa en el bienestar social y económico de los habitantes de la región. De esta problemática surge el interés y la importancia de estudiar los procesos gravitacionales, tan comunes pero poco abordados en estudios de caso.

El objetivo de este trabajo es llegar a realizar un mapa, en el cual se muestre una zonificación de los lugares más propensos a la inestabilidad de laderas, así como su impacto o afectación, regularidad y evolución. Es decir, un mapa de susceptibilidad abocado a la prevención y mitigación de estos fenómenos.

### **1.1 Análisis Conceptual**

Los fenómenos naturales están presentes en la vida diaria del ser humano, algunos de ellos son potencialmente peligrosos (erupciones volcánicas, sismos, huracanes, procesos de ladera e inundaciones) y exponen a la sociedad a situaciones de emergencia, que en ocasiones resultan en desastre.

No son insólitos, sino forman conjuntos que presentan regularidades y están asociados unos con otros (Romero y Maskrey, 1993). Este conocimiento es lo que permite su identificación, análisis, ocurrencia, periodicidad e incluso pronosticar su desarrollo. En este marco son considerados los procesos de remoción en masa desencadenados en 1999 en la zona de Cuetzalan, Estado de Puebla.

El principal agente desencadenante de los movimientos de ladera en la zona de estudio, es la lluvia que se presenta en los meses de verano e invierno. Sin embargo, existen otros factores que influyen en su desarrollo, entre ellos: movimientos tectónicos, estructura geológica, litología, intemperismo, erosión y actividad humana (deforestación, construcción de vías de comunicación y asentamientos humanos en terrenos no aptos para ese uso).

Con base en lo anterior podemos afirmar que para que ocurra un proceso de ladera, debe presentarse el factor detonante (natural o humano). Esta combinación hace de un simple proceso de modelado un peligro o amenaza geomorfológica, que conlleva al riesgo.

Las amenazas o peligros geomorfológicos se entienden como la potencialidad de ocurrencia de un proceso endógeno o exógeno, con cierto grado de severidad, que es determinado por las condiciones del territorio donde se presenta. Se pueden estudiar zonificándolas o evaluándolas; la primera, hace referencia a la representación cartográfica del espacio afectado. La segunda se refiere a la combinación del análisis probabilístico y del comportamiento físico de la fuente generadora y el modelaje, con algún grado de aproximación a los sistemas físicos involucrados. Para poder cuantificar la probabilidad en que se presente un evento de una u otra intensidad, es necesario contar con información, lo más completa posible, acerca del número de eventos que han ocurrido en el pasado y acerca de su intensidad (Cardona, 1993). La geomorfología, a través de sus métodos cartográficos (morfofenético y morfodinámico) puede aportar la información necesaria al respecto.

Desde esta perspectiva, una situación de riesgo es el resultado de la amenaza o peligro que representan ciertos fenómenos naturales sobre una sociedad vulnerable. Puede vincularse una o más decisiones, de manera que todo riesgo presupone decisiones económicas, administrativas, técnicas o industriales y la ponderación de beneficios; al estar los riesgos vinculados a decisiones, surge el problema de la imputación de la responsabilidad, problema interno de la sociedad humana (Beck, 1993).

Con base en lo anterior, se entiende que un desastre se presenta en una comunidad que vive bajo un riesgo, dado por la incidencia de una amenaza sobre un ambiente vulnerable. El desastre se ha definido desde perspectivas físicas y sociales, pero predomina la concepción que encuentra en los fenómenos físicos su causa principal. Como ejemplo de lo anterior se tiene la siguiente definición: “eventos accidentales o incontrolables concentrados en un tiempo y en un espacio y en que una sociedad, o una subdivisión de la misma, relativamente autosuficiente enfrenta un peligro severo y sufre pérdidas de gran magnitud entre los miembros y sus

pertenencias físicas que significan una disrupción de la estructura social y la imposibilidad de que algunas o todas las funciones esenciales de la sociedad puedan satisfacerse” (Fritz, 1961 en: Toscana, 2003).

Dentro de un contexto social está la definición de Cardona (1993): “un desastre es un evento o suceso que ocurre en la mayoría de los casos en forma repentina e inesperada, causando sobre los elementos sometidos a alteraciones intensas, representadas por la pérdida de vida y la salud de la población, destrucción y pérdida de los bienes de una colectividad o daños severos sobre el medio ambiente”.

En el párrafo anterior se afirma que los desastres son *repentinos e inesperados*, de esta manera se manifiesta la importancia de la vulnerabilidad como catalizador de los desastres. Hay que aclarar, que si se aceptan condiciones previas al desastre, resulta que dicha situación no es tan inesperada, puesto que las condiciones físicas del territorio y sociales necesarias para la ocurrencia de un desastre ya están dadas y sólo se espera un detonante.

La vulnerabilidad se entiende como la inseguridad o susceptibilidad, la falta de capacidad de resistencia y de recuperación que presenta una sociedad en un desastre. Incapacidad de evolucionar y adecuarse a su medio. En la actualidad el concepto es más dinámico, asume que la vulnerabilidad es más que el grado de exposición.

Wilches-Chaux (1993) desglosa el concepto de vulnerabilidad y la define desde varios ángulos con diferentes perspectivas. La que tiene relación con nuestro estudio es la vulnerabilidad física, que se refiere especialmente a la localización de asentamientos humanos en zonas amenazadas, a las deficiencias de sus estructuras físicas para absorber los efectos de esas amenazas y la falta de tecnología para controlar los fenómenos naturales.

Hay que mencionar que en la mayoría de los casos, la localización inadecuada de viviendas se relaciona con la falta de opciones que tiene la gente para ocupar

lugares adecuados; utiliza sitios menos condicionados (barrancas, lechos de inundación, laderas con fuerte inclinación, etc.) a través de asentamientos irregulares.

Con respecto a la susceptibilidad del relieve a presentar procesos de ladera, se entiende como “la potencialidad del terreno para producir la rotura de ladera, y los mapas de susceptibilidad representan áreas con diferente predisposición a la formación de futuros deslizamientos” (Santacana *et al.*, 2002). Por tanto, se trata de una cartografía de “procesos activos” (Carrasco, R. M. *et al.*, 2002). En este sentido, se deben considerar dos aspectos, por un lado, los movimientos existentes y por otro, los potenciales. Bajo este criterio, se estudiarán los procesos de ladera; la clasificación, distribución espacial y los factores condicionantes, indicarán las zonas de mayor susceptibilidad.

Muchos desastres podrían evitarse si se conociera más de cerca los mecanismos de ocurrencia de fenómenos naturales peligrosos y, se tomara en cuenta dicho conocimiento al momento de ocupar un espacio con fines de vivienda. En general, los procesos dinámicos responsables de la evolución del relieve no están controlados. Por ello, una manera de deducir la ocurrencia de los desastres es a través del conocimiento de las áreas amenazadas y atacando la vulnerabilidad particular.

En el caso de Cuetzalan, es probable que vuelvan a presentarse las condiciones que propiciaron los hechos de octubre de 1999, por eso es necesario contar con un mapa de amenaza que identifique de forma clara y concreta las zonas susceptibles a procesos gravitacionales e inundaciones. Estos dos aspectos están determinados por el relieve, por eso su estudio desde un enfoque geomorfológico no es sólo de interés académico, sino indispensable para cualquier plan de desarrollo para la región.

## **1.2 Mecanismo detonador: Cuetzalan, octubre de 1999.**

México es afectado por diversos tipos de fenómenos hidrometeorológicos que pueden provocar la pérdida de vidas humanas o daños materiales de importancia. Para este caso sólo se toma en cuenta la lluvia, consecuencia de depresiones tropicales - tormentas tropicales - huracanes, presencia de frentes fríos y producto de la convectividad. Dicho evento puede generar intensas corrientes de agua en ríos; inundaciones; flujos con sedimentos en las laderas de las montañas; movimientos de masa que transportan escombros, suelos, árboles, y otros objetos que pueden destruir casas, tirar puentes y romper tramos de carreteras (CENAPRED, 2001).

A fines de septiembre y principios de octubre de 1999 se produjeron lluvias extraordinarias, generadas por las depresiones tropicales 11-14. Los estados más afectados fueron Puebla, Hidalgo y Veracruz. En particular la depresión tropical No. 11 aunada a un frente frío, generó una serie de inundaciones e inestabilidad en las laderas. Dado que se mantuvo en condiciones casi estacionarias durante esos días, se produjo una precipitación pluvial que reblandeció el sustrato geológico, lo que desencadenó cientos de procesos gravitacionales en la Sierra Norte de Puebla (Lugo *et al.*, 2001 y 2005; SEPROCI, 2000)

Estas lluvias que, según los pobladores, no se habían visto en años, fueron las responsables de los procesos gravitacionales en laderas montañosas y afectaron a un gran número de poblaciones, entre las más importantes: Zacapoaxtla, Cuetzalan del Progreso, Tetela de Ocampo, Zacatlán y Tlatlauquitepec. A estas hay que sumar más de 500 comunidades pequeñas que al desaparecer, prácticamente se tuvieron que construir nuevamente (SEPROCI, 2000). Poblados afectados por las inundaciones fueron los municipios de Ayotoxco de Guerrero, Tuzamapan de Galeana y Cuetzalan del Progreso.

Algunos datos estadísticos nos dan una idea de este impredecible fenómeno; en Huauchinango el promedio anual de lluvia es de 2300 mm, la lluvia que se presentó entre el 4 y 5 de octubre alcanzó los 508 mm. En Teziutlán el valor promedio anual es de 1 610 mm, y en las mismas fechas alcanzó: 665 y 717 mm.

De acuerdo con Protección Civil del Estado de Puebla fueron afectados 96 municipios, murieron 256 personas y desaparecieron 55. Las viviendas afectadas, en distinto grado, fueron 16 511, además de 199 escuelas, 50 inmuebles del patrimonio cultural, 59 edificios públicos federales y 8 centros de salud; aparte de enormes daños a carreteras. Se estimó que el costo de la reconstrucción alcanzaría un total de 1 836 millones de pesos (Lugo *et al.*, 2001). Sin embargo, precipitaciones intensas ya se habían presentado antes, en 1944, 1955, 1966, 1967, 1974, 1990 y 1993 (Lugo *et al.*, 2001 y 2005; SEPROCI, 2000), esto da una idea de su periodicidad de retorno.

Hay que mencionar que el impacto de los eventos meteorológicos se vio magnificado, sin duda, por las características geológicas y morfológicas de la Sierra Norte de Puebla; así como factores de carácter socioeconómico. Todos ellos, hicieron vulnerables a este territorio que sólo esperaba un agente detonador, para generar el desastre; en este caso fue la lluvia.

## CAPÍTULO II. ASPECTOS GEOGRÁFICOS DE CUETZALAN Y ZONAS ADYACENTES.

### 2.1 Localización

El área de estudio está comprendida en la carta topográfica Cuetzalan, escala 1: 50 000 (INEGI, 1993), la cual comprende del paralelo 20°00' al 20°15' de latitud norte y del meridiano 97°20' al 97°40' de longitud oeste (Fig. 1). Por tanto, la carta Cuetzalan no sólo incluye el municipio con dicho nombre, sino también, municipios de Puebla y Veracruz. Para fines prácticos, a lo largo del trabajo se hará referencia con el nombre de Cuetzalan no solo al municipio sino a toda el área que abarca el mapa mencionado.

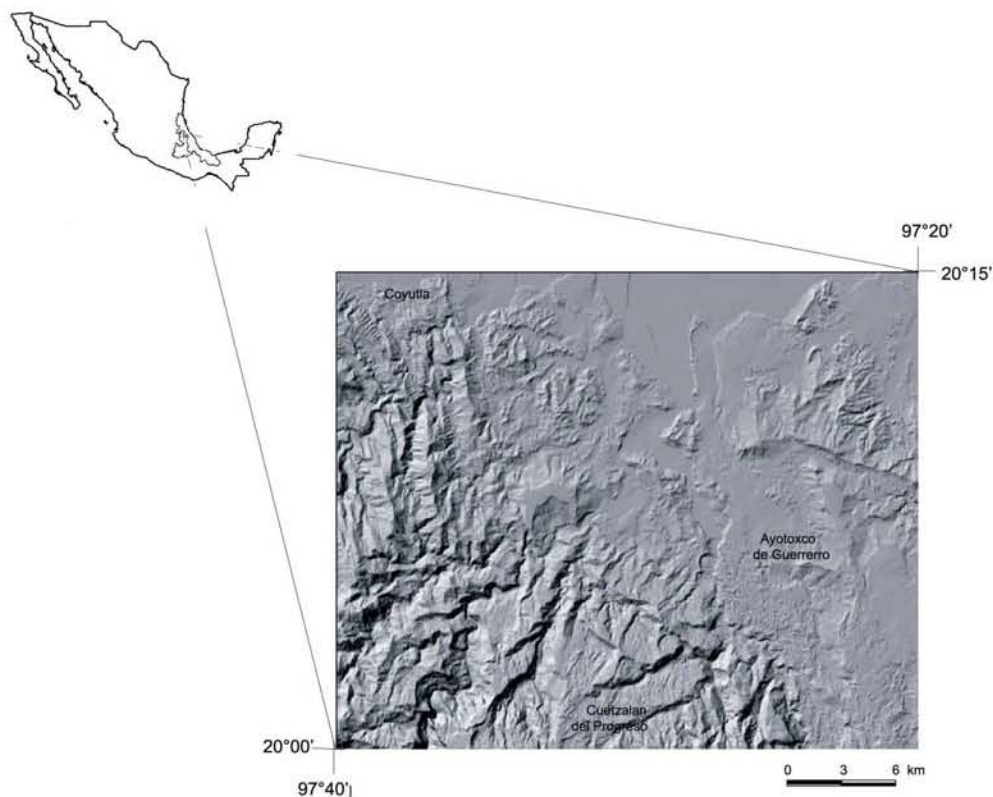


Fig. 1. Localización de la zona de estudio en el contexto nacional. El modelo sombreado del terreno, muestra los rasgos más característicos del relieve de Cuetzalan y su entorno.



Los contrastes altitudinales son notables en este territorio, el mayor es de 1280 msnm, forma parte del relieve accidentado de la Sierra Madre Oriental, se encuentra al oeste del poblado de Ixtepec (SW de la zona de estudio). En las cercanías de San José Espinal en el centro del límite norte, la altitud es de 40 msnm; la más baja; forma parte de las llanuras de inundación de los ríos Apulco, Zempoala y Ajajalpan, todos ellos afluentes del Tecolutla.

Las diferencias de altura en distancias cortas, representan un potencial en la dinámica exógena, que puede aumentar la magnitud de los procesos de modelado (en coincidencia con factores climáticos extraordinarios y un sustrato geológico específico), hasta llegar a generar un peligro para la población.

En el territorio de Cuetzalan hacen frontera tres provincias fisiográficas: la Sierra Madre Oriental, conocida en este sector del país como Sierra Norte de Puebla; la Llanura Costera del Golfo Norte, que comprende a los municipios de Veracruz, y el Cinturón Volcánico Transmexicano. La existencia de tres distintas condiciones fisiográficas en un área de 960 km<sup>2</sup>, determina paisajes variados con condiciones particulares y complejas en cuanto a sustrato geológico, suelo, clima, vegetación, morfología y procesos geomorfológicos (Fig. 2). El conocimiento de estos aspectos, es necesario para entender un proceso geomorfológico tan particular como lo es la remoción en masa.

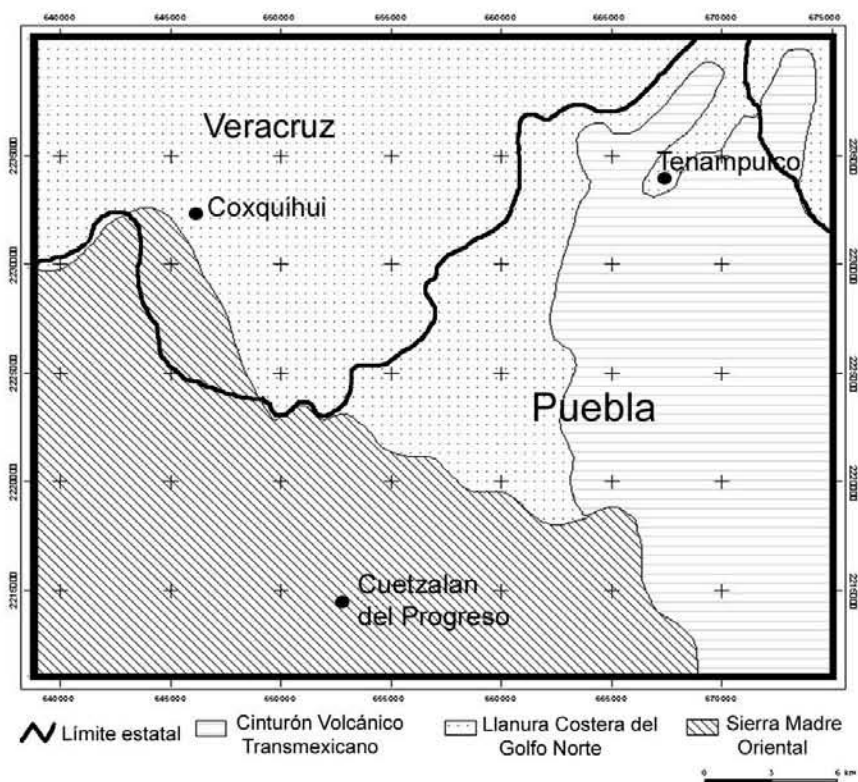


Fig.2 Provincias Fisiográficas en el territorio de Cuetzalan: Sierra Madre Oriental; Cinturón Volcánico Transmexicano; Llanura Costera del Golfo Norte (INEGI, 1998b).

## 2.2 Características Fisiográficas

La mayor parte del territorio que se estudia, se encuentra en las estribaciones del Cinturón Volcánico Transmexicano y la Sierra Madre Oriental. A partir de estas dos unidades, el relieve se dispone a manera de gradería, en donde las elevaciones se suavizan hacia el NE hasta fundirse con la Llanura Costera del Golfo Norte, en el estado de Veracruz.

La localización geográfica de Cuetzalan la hace parte de la zona climática subtropical; la de mayor influencia de humedad marítima procedente del Golfo de México. Sin embargo, no sólo esta humedad es la que impacta directamente sobre

este territorio. En los meses de invierno las masas de aire frío provenientes del norte del continente, también ocasionan lluvias frontales en este territorio.

#### *Sierra Madre Oriental (SMO).*

La Sierra Madre Oriental se distribuye de forma paralela a la Costa del Golfo de México, desde los límites boreales del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), en la inmediación septentrional de los volcanes Los Tuxtlas, hasta la frontera norte del país con orientación NE (Lugo, 1990). En el área de estudio se orienta de NNW a SSE (Fig. 2).

La SMO está constituida principalmente por rocas sedimentarias marinas. En general se considera como un conjunto de sierras plegadas de origen sedimentario que datan del Mesozoico. En superficie predominan las rocas calizas cretácicas; en las cuales se han formado una gran variedad de formas cársticas (subterráneas y superficiales). Esta estructura montañosa, presenta valles con desarrollo importante en la vertical y cañones con perfil transversal en forma de "V". Algunos de ellos presentan sus paredes escalonadas, que se van estrechando hacia la parte más profunda (Lugo, 1990).

#### *Llanura Costera del Golfo Norte.*

La Llanura Costera del Golfo Norte se extiende paralela a la costa del Golfo de México, desde el río Bravo al norte, hasta la zona de Nautla, Veracruz al sur; en donde la fragmenta el CVTM. Sus inmediaciones orientales y occidentales son la Sierra Madre Oriental y el Golfo de México, respectivamente.

En Cuetzalan esta unidad abarca la parte septentrional (Fig. 2); se constituye de materiales sedimentarios marinos no consolidados: arcillas, arenas y conglomerados (INEGI, 1998 b). Estos depósitos son el resultado del intemperismo y la erosión de la Sierra Madre Oriental. Asimismo, las corrientes fluviales son las responsables del

acarreo, transporte y depositación de estos sedimentos, también llamados depósitos aluviales.

Se definen tres cuencas sedimentarias en dicha provincia, la de Burgos al norte, Tampico- Misantla en el centro y Veracruz-Campeche en el sur (Lugo, 1990). La cuenca de interés para el presente trabajo es la cuenca de Tampico-Misantla, la cual se extiende de forma transversal hasta la base de la Sierra Madre Oriental, a los 400 msnm aproximados. Esta cuenca está conformada por lomeríos, ondulaciones y planos ligeramente inclinados al oriente (Lugo, 1990).

Los afloramientos más extensos, en esta porción, son rocas sedimentarias detríticas del Terciario; su edad decrece conforme disminuye la distancia al Golfo de México, lo cual indica una regresión marina al oriente. Algunas de estas áreas se encuentran cubiertas por rocas volcánicas del Cenozoico Superior.

Las rocas más antiguas encontradas en la región son del Jurásico Superior, y las más recientes son depósitos de suelo, formados por materiales detríticos derivados de rocas preexistentes (INEGI, 1998 b).

#### *Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM).*

La formación de esta provincia inicia a fines del Oligoceno y continúa su desarrollo en el Neógeno Cuaternario, consecuencia de la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Norteamericana. El relieve del Cinturón Volcánico Transmexicano consiste en una serie de planicies escalonadas que se extienden desde las costas de Colima-Nayarit, hasta las de Veracruz (Lugo, 1990).

Para el estudio de esta provincia suele dividirse en tres sectores: La parte occidental, central y oriental (Ferrari, 2000). El sector oriental es el de interés, ya que en este sector se encuentra ubicado parte del lugar de estudio. En la zona de Cuetzalan, el CVTM se dispone de sur a norte en el extremo de levante (Fig. 2).

### **2.3 Clima e Hidrología.**

En la zona de Cuetzalan hay una diversidad climática, consecuencia de su ubicación geográfica y de las formas del relieve que lo constituyen. Este territorio se encuentra dentro de la región intertropical, donde dominan los vientos Alisios cargados de humedad. Esta característica es la responsable de que en los meses de verano y otoño la precipitación pluvial se intensifique, debido a la presencia de ciclones tropicales. Un segundo factor es la llegada de masas de aire frío provenientes del norte del continente, que al combinarse con los vientos húmedos del Golfo de México producen lluvias frontales en los meses de invierno.

Cuetzalan presenta un relieve escalonado, con altitud de 1280 msnm en la Sierra Madre Oriental a 40 msnm en la Llanura Costera del Golfo Norte. Esta característica determina pisos climáticos, pasando de una alta temperatura en la Llanura Costera a una baja conforme se sube a la zona de montaña. Además, la Sierra Madre sirve de barrera orográfica que retiene la humedad proveniente del Golfo, por tanto, la dinámica del viento es convectiva, es decir, el ascenso de aire húmedo a las zonas altas.

El tipo de clima que impera en la zona de estudio es el cálido, en sus diversas variantes. Según la fuente de INEGI (2000) basada en las modificaciones de Enriqueta García, los diferentes tipos de climas son los siguientes (de norte a sur: Fig. 3)

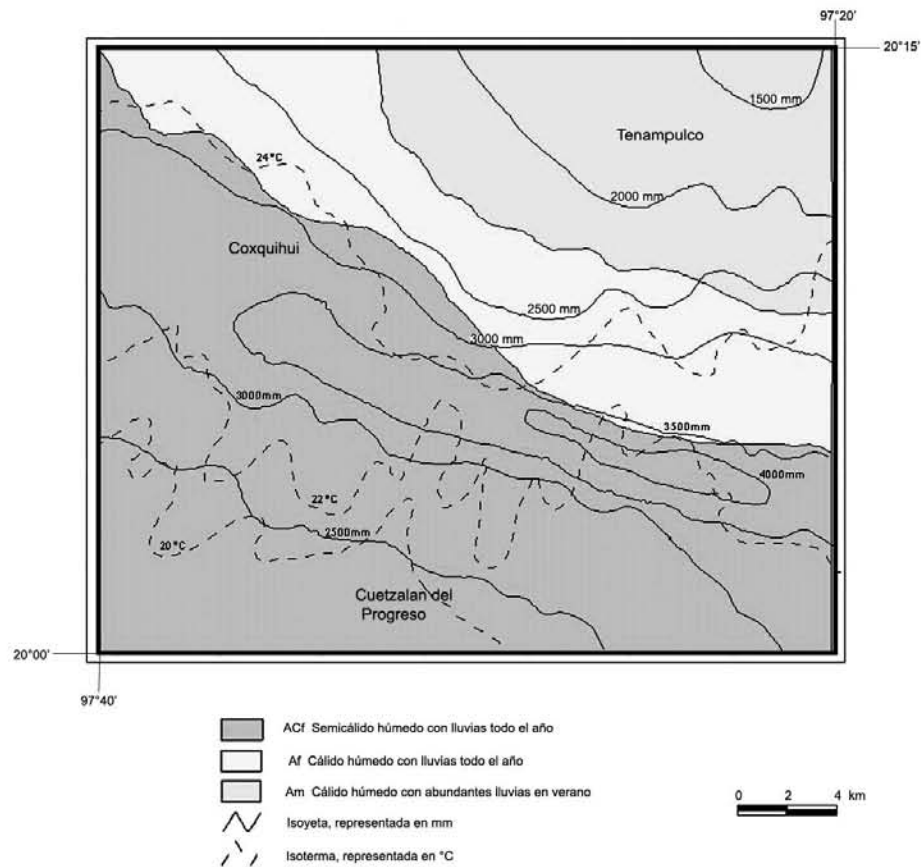


Fig. 3 Tipos de Climas, isotermas e isoyetas en el territorio de Cuetzalan (INEGI, 2000 c).

El clima Am, cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, se presenta en las partes bajas, es decir, cercano a la confluencia de los ríos Apulco, Zempoala y Ajajalpan, afluentes del río Tecolutla. En estos lugares la precipitación total anual varía de 2000 mm a poco más de 3500 mm y la temperatura media anual es de 22°C a 26°C. Referido a la carta se tiene que abarca en su mayoría la parte septentrional.

El clima Af, cálido húmedo con lluvias todo el año, es el clima transicional entre el Am y el ACf. Se presenta de los 600 a los 1000 msnm. En esta zona se registran temperaturas medias anuales de 22°C a 24°C. En la figura tres, este clima ocupa la parte central, con orientación este a nornoroeste.

El clima ACf, semicálido húmedo con lluvias todo el año, se encuentra en la parte austral de la carta, con orientación SSE a NW, por tanto corresponde a las zonas de montaña o de niebla, donde la precipitación media anual es de más de 4000 mm; se han llegado a registrar hasta seis metros de precipitación anual en la zona de Cuetzalan del Progreso (INEGI, 2000 c). La temperatura media anual oscila entre los 14°C.

Con respecto a la hidrología, se tiene que la carta Cuetzalan se ubica dentro de la región hidrológica Tuxpan-Nautla, que a su vez está conformada por las cuencas de los ríos Cazones, Tecolutla y Tuxpan. El rango de escurrimientos en estas cuencas es de 100 a 200 mm, debido a las fuertes pendientes que dominan en la zona, aún cuando exista una cubierta vegetal espesa. En las zonas deforestadas, el rango llega ser más de 300 mm; el gasto medio de sus corrientes es de 101.84 metros cúbicos por segundo (SEPROCI, 2000; INEGI, 2000 c)

#### **2.4 Suelos.**

En cuestión de suelos se tiene la presencia de tres tipos dominantes, así como algunos subtipos: el vertisol (pélico), cambisol (eútrico) y el regosol (eútrico y calcárico) (Fig. 4). El suelo más abundante es el vertisol pélico. Abarca lo que corresponde al Cinturón Volcánico Transmexicano y casi en su totalidad a la Llanura Costera del Golfo Norte. Se caracteriza por su distribución sobre valles, llanuras y algunos lomeríos; se ha originado a partir de aluviones, areniscas, calizas, conglomerados, rocas ígneas básicas y lutitas. Estas rocas, al ser intemperizadas forman materiales de finos a muy finos, lo que da al suelo una textura arcillosa, por lo tanto, tiene un drenaje lento, lo que ocasiona encharcamientos en épocas de lluvia y la presencia de grietas en tiempo de estiaje (INEGI, 1987, 1998 b).

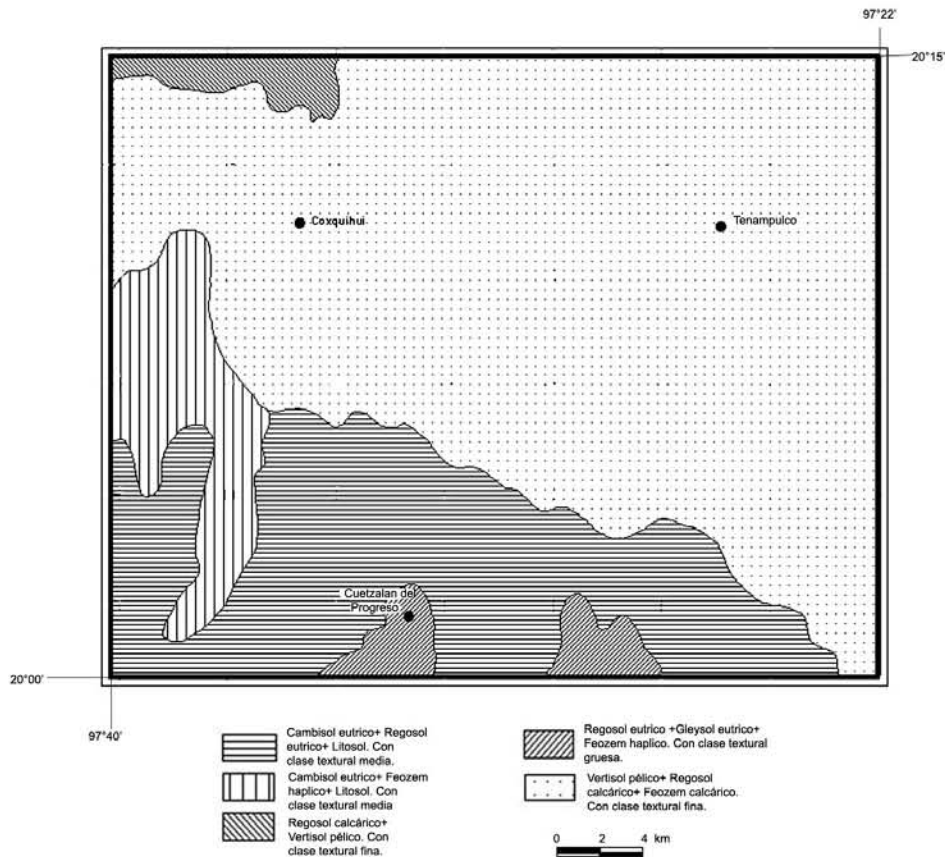


Fig. 4. Distribución de los suelos en el territorio de Cuetzalan (INEGI, 1987; 1998 b)

Otro tipo de suelo abundante, es el cambisol eútrico, en la figura 4 se aprecia que abarca casi en su totalidad a la Sierra Madre Oriental; se localiza en lomeríos de pendientes suaves, en las laderas de la sierra y en algunas zonas de llanura de inundación, y se caracteriza por su desarrollo en climas templados, semicálidos y cálidos, húmedo y subhúmedo. Este suelo se forma a partir de aluviones, calizas, conglomerados y rocas ígneas. Su textura varía de migajón arenoso a arcillo-arenoso (INEGI, 1987, 1998 b).

El siguiente tipo de suelo es el regosol, mismo que se encuentra distribuido en pequeñas áreas aisladas (Fig. 4). Se caracteriza por su parecido al material del que se origina, por lo que constituye la etapa inicial de formación de suelo. Deriva de areniscas, calizas, lutitas y aluvión, coluvión y suelos residuales. Su textura va de la fina a la gruesa, ya que presenta un lecho rocoso a poca profundidad.



Los regosoles calcáricos se localizan en la parte NNW, principalmente en las mesetas de la Llanura Costera del Golfo Norte. Los regosoles eútricos se presentan en el sur, Sierra Madre Oriental (INEGI, 1987, 1998 b).

Una característica de los suelos de Cuetzalan es su poca profundidad, ya que a escasos centímetros se encuentra el lecho rocoso que les dio origen, aproximadamente de 35 cm; sin embargo, no tiene significado alguno si no se relaciona con la vegetación endémica y sobre todo, con la actividad humana, que si bien no propicia un movimiento de ladera, sí lo puede acelerar.

*“La depresión tropical número 11 de octubre de 1999 puso al descubierto que los suelos de la Sierra Norte se encontraban poco firmes debido a la deforestación, desertificación y al uso agrícola inadecuado”*

(SEPROCI, 2000).

## **2.5 Vegetación.**

De acuerdo a las características geográficas del lugar y a la provincia fisiográfica de la que se trate, el crecimiento, desarrollo y tipo de vegetación va a variar, ya que la condicionan el clima, la altitud, el suelo, la geología y la topografía.

En la zona de Cuetzalan, según la carta de uso de suelo de INEGI (1988), existen tres tipos de vegetación: la selva alta perennifolia, bosque de pino y bosque mesófilo de montaña.

La vegetación de selva alta perennifolia tiene predominio. Se desarrolla en condiciones lluviosas, con precipitaciones de 1500 a 4000 mm total anual, y con temperaturas cálidas, de entre 22°C y 26°C. Estas características corresponden a las laderas de la Sierra Madre Oriental, a barlovento del Golfo de México y, en general, a la Llanura Costera del Golfo Norte.

Los suelos, sobre los que se desarrolla esta vegetación tienen que ver con la provincia fisiográfica. Ejemplo, la selva de la Sierra Madre Oriental crece en suelo poco profundo y es pedregoso; en cambio, la selva que crece en la Llanura Costera del Golfo Norte, el suelo es más profundo pero con deficiencia de drenaje (INEGI, 1987, 1988).

La vegetación de bosque de pino se extiende, en menor proporción, sobre las laderas ponientes de la Sierra Madre Oriental y en el Cinturón Volcánico Transmexicano, con mayor altitud respecto a la selva alta perennifolia.

Las características para el desarrollo del bosque son una precipitación total anual de 800 a 2000 mm y temperaturas de 18°C a 22°C. El suelo en el que se desarrolla es poco profundo, pedregoso y con textura de fina a gruesa.

El tipo de vegetación menos abundante, de hecho muy local, es el bosque mesófilo de montaña. Su localización corresponde al municipio de Cuetzalan del Progreso. Esta vegetación se desarrolla en temperaturas de 14°C a 18°C y con un exceso de humedad, en estos sitios llega a llover hasta 4000 mm promedio anuales y la mayor parte del año presenta niebla. Sus suelos son ricos en materia orgánica, tienen un drenaje más estable, pero la topografía es abrupta (INEGI, 2000 c; SEPROCI, 2000).

## **2.6 Uso de suelo**

Por herencia cultural e histórica, la población de Cuetzalan se dedica a la agricultura, principalmente de temporal y nómada. Algunos de sus cultivos de temporal son granos (café, maíz, frijol, entre otros) y frutales (plátano y manzana).

Los cultivos tipo nómada, como el maíz y el frijol, se siembran en laderas con pendiente superior a 50 grados. Estos cultivos se intercalan con la flora natural del lugar, según las cartas de uso de suelo de INEGI, se tienen las siguientes

nomenclaturas (sólo se mencionan algunos ejemplos): selva alta perennifolia con sembradíos de café; agricultura de temporal con selva alta perennifolia secundaria; selva alta perennifolia con cultivo de café y agricultura de tipo nómada, entre otras. El orden en que se mencionan corresponde con el predominio.

El cambio de paisaje, del natural al antrópico, se debe al crecimiento y distribución de la población, a la actividad agrícola y a la apertura de sistemas de comunicación.

La importancia de mencionar el cambio de uso de suelo radica en que al talar o quitar la cubierta vegetal natural, se deja desprotegido el suelo, pues no existen las raíces suficientes para retener los agregados de éste. Asimismo, la vegetación ayuda a infiltrar el exceso de agua ocasionado por la lluvia, la cual, al precipitarse intensamente en un lapso relativamente corto, satura la capa edáfica, y al existir una inclinación abrupta, por efecto de gravedad se tiene un movimiento ladera abajo; cabe recordar que la profundidad del suelo es de más o menos 35 cm.

En la dinámica del deslizamiento de suelo y detritos, el agua no sólo satura la capa edáfica, sino también la regolita: la transición entre la desintegración de la roca madre y el primer horizonte de desarrollo del suelo como tal. Si la capa edáfica es muy delgada y además no hay una cubierta vegetal que la proteja, el exceso de agua satura, tanto al suelo como a la regolita, que al yacer sobre un estrato sólido de roca, resbala y propicia el deslizamiento.

La relevancia de la presencia de vegetación es que le da una mayor estabilidad a la ladera, pues sirve de amortiguador para la pérdida de suelo, además, ayuda a la infiltración del agua y detiene o evita el proceso de deslizamiento.

Sin embargo, debido a las características climáticas, geológicas, tectónicas y topográficas del lugar, los procesos de ladera no sólo son de suelo, sino también masivos, los cuales involucran material tanto superficial como del lecho rocoso sobre el que yacen. Los procesos de ladera tienen un impacto directo sobre la actividad humana pues afectan a los sistemas de comunicación, a los cultivos, a la

infraestructura habitacional y, en ocasiones, producen pérdidas humanas. No obstante, el ser humano también es partícipe en el desencadenamiento de estos procesos.

A continuación se mencionan algunos casos de procesos de ladera ocurridos en octubre de 1999, con la finalidad de mostrar la importancia que tiene conocer los rasgos geográficos característicos de la zona de estudio, en relación con los procesos de remoción en masa.

El recorrido del Presidente en turno, en la Sierra Norte de Puebla, abarcó algunos municipios de la zona de estudio:

*“La región tiene 800 kilómetros de caminos dañados y en las poblaciones es patente la destrucción que causaron las lluvias: cerros desgajados, viviendas arrasadas, una mujer desaparecida y la interrupción de servicios esenciales de agua, energía eléctrica y teléfono.”*

(La Jornada, octubre, 1999)

*“La cooperativa Tosepan Titataniske considera que los agricultores de la región de Cuetzalan tardarán por lo menos ocho años en recuperar los niveles de producción en café y maíz, esto debido a los derrumbes y hundimientos que provocaron la destrucción de 80 hectáreas de cafetales, además los ríos desbordados arrasaron con 100 hectáreas de maíz.”*

(La Jornada de Oriente, octubre, 1999)

*“El Centro Universitario para la Prevención de Desastres Regionales de la UAP (a un año de iniciado el peor desastre que afectó a la Sierra Norte de Puebla) señaló que el*

*desastre de la Sierra Norte debe verse escenificado en dos fenómenos diferenciados. Los derrumbes de los cerros, que afectaron sobre todo a carreteras y contribuyeron a la incomunicación, y las inundaciones de poblados provocados por la crecidas de ríos; varias de éstas corrientes represadas cauce arriba.*

*En cuanto a los derrumbes, se afirmó que aquellos están íntimamente asociados con las carreteras y el trazo y técnicas de construcción empleadas en ellas. En detalle, explicaron que los suelos serranos están constituidos por una variedad de materiales (arcilla, lutitas, calizas, incluso depósitos volcánicos) de estabilidad precaria.*

*Los investigadores indicaron que no tomar en cuenta suficientemente estas características en la proyección de las vías de comunicación, hizo que la construcción de éstas, en algunos puntos, acelerara la dinámica de los suelos, de tal manera que la acción de la lluvia no hizo más que acelerar un procesos de derrumbe en fallas que probablemente estaban ya presentes en los cerros.*

*Respecto a las inundaciones, señaló que los cauces de agua se vieron represados por algunas construcciones mal ubicadas, entre ellas puentes e incluso edificaciones públicas, lo que contribuyó a hacer más violentas las avenidas de agua que cayeron sobre algunas poblaciones.”*

(La Jornada, octubre, 2000).

### **CAPITULO III. GEOLOGIA**

Cuetzalan es un territorio de más o menos 960 km<sup>2</sup>, en este espacio los contrastes morfológicos están determinados por la presencia de tres de las más importantes provincias fisiográficas mexicanas: Cinturón Volcánico Transmexicano, Llanura Costera del Golfo Norte y Sierra Madre Oriental (INEGI, 1990). Por lo que es una conjugación contrastante de relieve, estructura y litología, lo que se relaciona con los procesos exógenos que modelan el relieve. De lo anterior resulta una notable complejidad del paisaje.

La dinámica de los procesos de modelado se explica a partir de la localización geográfica: Cuetzalan se ubica en una zona intertropical, afectada por fenómenos meteorológicos en diversas épocas del año, por un lado la presencia de tormentas tropicales en verano, y por otro, la entrada de frentes fríos en invierno.

En este capítulo, se aborda la geología con la finalidad de entender la dinámica de los procesos exógenos que modelan al relieve; se relaciona la litología y la estructura geológica con los procesos de ladera, ya que las condiciones preexistentes sólo esperan un detonante (fuertes lluvias) para que se generen procesos de remoción.

El territorio de Cuetzalan se encuentra en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, en la transición con la Llanura Costera del Golfo Norte y en contacto con el

Cinturón Volcánico Transmexicano, localmente tiene mayor predominio la geología de la SMO, también conocida como Sierra Norte de Puebla. La cual abarca el sector W y SW de la zona de estudio. Las unidades geológicas que afloran y que la representan son rocas sedimentarias jurásicas y cretácicas.

En el norte, lomeríos transicionales entre la Sierra Madre Oriental y la Llanura Costera, se tienen intercalaciones de rocas del Paleógeno con rocas del Neógeno, hasta aluviones del Cuaternario, y al este el Cinturón Volcánico Transmexicano, rocas jurásicas y cretácicas que subyacen a rocas volcánicas del Neógeno.

La unidad geológica más antigua que aflora en Cuetzalan consiste en dos formaciones, Tamán y Pimienta del Jurásico Superior; representan un ambiente marino de expansión del océano, que tiene continuidad en el Cretácico Temprano y Tardío (Formaciones Tamaulipas Inferior y Superior, Agua Nueva, San Felipe, Méndez y Velasco) (Yáñez *et al.*, 1982; Rueda, 1998, y Lugo *et al.*, 2005).

### **Mesózoico.**

Jurásico Superior.

*Formación Tamán* (Heim, 1940, en Yáñez *et al.*, 1982) está representada por dos facies, una arcillosa y otra calcárea. La facies arcillosa tiene espesores variables, en el área de Cuetzalan del Progreso son de 25 a 50 m, y cubre de manera discordante al granito de la sierra de Chignautla (Tarango Ontiveros, 1967 en Yáñez *et al.*, 1982). Estas rocas se distribuyen desde Jonotla hasta Mazatepec. Según Menes-López, 1965, (en Yáñez *et al.*, 1982) la parte inferior consiste en lutitas negras y lutitas carbonosas, interestratificadas con capas delgadas de caliza negra y gris-azul, y la parte superior está representada por calizas grises de textura uniforme calcarenítica con abundantes nódulos

de pedernal negro ahumado, numerosos amonites y fauna arrecifal. Se trata de una sedimentación marina de plataforma o epicontinental, su edad es del Oxfordiano-Kimmeridgiano (López, 1979).

*Formación Pimienta* (Heim, 1940, en Yáñez *et al.*, 1982). Representados por calizas y dolomías de color gris oscuro a negro, con bandas de pedernal negro y calizas arcillosas compactas de color negro. Su cima está formada por una alternancia de bentonitas amarillas a verdes, con calizas arcillosas y areniscas de color gris que contienen microfauna y amonites del Titoniano; el espesor promedio es de 200 m y yacen indistintamente sobre la Formación Tamán, a su vez están cubiertos por la Formación Tamaulipas (Yáñez *et al.*, 1982). Esta formación es menos resistente que la Tamán y fue depositada en ambientes marinos de facies de borde de plataforma, su datación es del Titoniano Medio-Superior (López, 1979).

Ambas formaciones afloran en la ventana geológica del Río Zempoala, así como en la porción SW de la zona de estudio, todas ellas se agrupan como calizas y lutitas (Fig. 5)

#### Cretácico Inferior.

*Formación Tamaulipas Inferior* (Belt, 1925, en Yáñez *et al.*, 1982) representada por tres miembros, del más antiguo al más reciente son el calcarenítico, el bentonítico y el calcilutítico (Salazar-Mandujano, 1969, en Yáñez *et al.*, 1982).

El miembro calcarenítico presenta colores gris, pardo y crema, con escasos pseudoolitos diseminados, cuyos núcleos son microfósiles y granos de cuarzo, así como intercalaciones de capas delgadas de caliza criptocristalina gris verdosa y crema claro.

El miembro bentonítico está constituido por bentonita verde y gris verdosa, con intercalaciones de caliza criptocristalina de colores gris claro y crema; presenta capas delgadas de caliza parda clara de textura fina, ligeramente arcillosa.



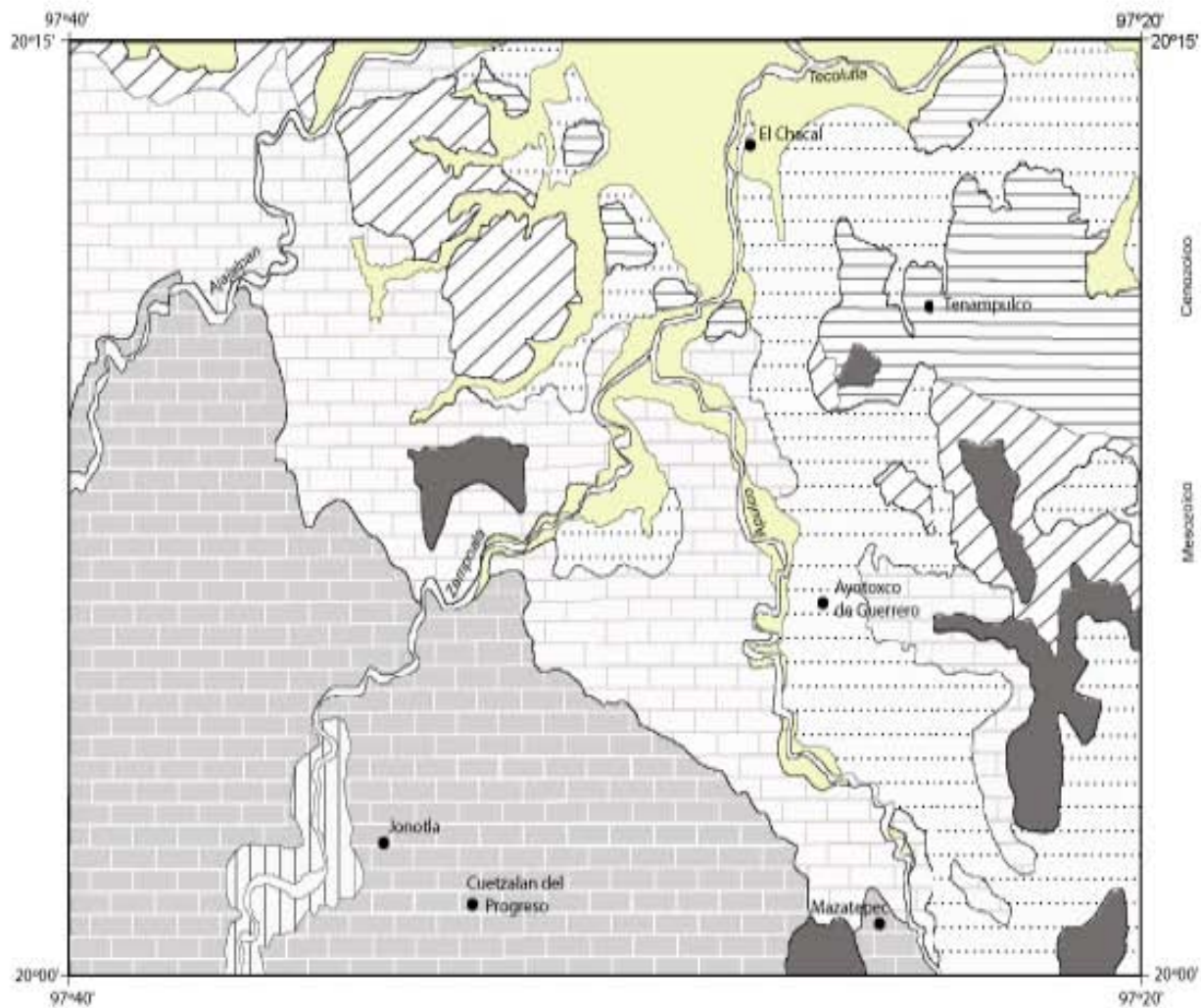


Figura 5. Geología de Cuetzalan

- Cuaternario aluvial
- Neógeno Plioceno (Terciario) volcánico riolítico
- Neógeno Plioceno volcánico básico
- Paleoceno Eoceno (lutitas y areniscas)
- Paleógeno Paleoceno sedimentario (lutitas y areniscas)
- Cretácico Superior (calizas y lutitas)
- Cretácico Inferior (calizas)
- Jurásico Superior (calizas y lutitas)
- Valles fluviales principales

0 5 km

Fuente: INEGI, 1983. Carta Geológica Poza Rica, Esc. 1: 250000 Lugo *et al.*, 2005

Tesis UNAM  
Filosofía y Letras  
Colegio de Geografía  
Nayelli Zaragoza Zúñiga

El tercer miembro consta de caliza o calcilita de tonos claros (crema) y gris claro, y con menor frecuencia por delgadas capas de lutita bituminosa negra laminar, capas de caliza ligeramente arcillosa, nódulos de pedernal pardo y blanco lechoso e intercalaciones de capas de bentonita verde claro y gris.

Los tres miembros cubren una gran extensión y están expuestos en las barrancas y cañadas labradas por el Río Apulco. Los sedimentos de esta formación sobreyacen en las calizas y lutitas de la Formación Pimienta, y a su vez están cubiertos de manera concordante por los sedimentos de la Formación Tamaulipas Superior; su espesor promedio es de 300 m y ha sido datada del Valangiano-Hauteriviano (López, 1979).

*Tamaulipas Superior* (Sellards, 1931, en Yáñez *et al.*, 1982) está representado por calizas ligeramente arcillosas de color pardo claro, gris-azul oscuro y gris. La estratificación es en general delgada a mediana, el espesor de los estratos es de 0.5 a 1.0 m (Fig. 6). Entre los planos de estratificación se encuentran nódulos o bandas irregulares de pedernal que varían de 0.10 a 0.30 m de espesor. La microfauna señala que pertenece al Albiano, se consideran calizas de plataforma, y es concordante a la Formación Tamaulipas Inferior.



Fig. 6. Afloramiento de la Formación Tamaulipas Superior; inmediaciones de Cuetzalan. Los estratos calizos están cubiertos por una corteza de intemperismo (terra rossa) de un metro de espesor, aproximado. Fotografía tomada en noviembre de 2005.

Las formaciones que integran al Cretácico inferior se distribuyen en la porción W y SW de la zona estudiada (Fig. 5).

#### Cretácico Superior.

*Agua Nueva* (Stephenson, 1922, en Yáñez *et al.*, 1982) formada por calizas arcillosas de tonos de gris oscuro a claro y pardo claro; con texturas *mudstone*, *wackestone* y *packstone* en capas de 1 a 40 cm, con abundantes lentes, bandas y nódulos de pedernal de varios tamaños. Frecuentes son también las intercalaciones delgadas de arcillas bentoníticas (gris verdosa y parda-crema-oscuro), así como evidencia de fauna pelágica de cuenca o de mar epicontinental de edad turoniana. Sus relaciones estratigráficas son concordantes, tanto con la Formación Tamaulipas Superior que la subyace, como con la formación San Felipe que la cubre. El espesor promedio en Ayotoxco de Guerrero es de 165 m.

*Formación San Felipe* (Jeffreys, 1910, en Yáñez *et al.*, 1982) está constituida por calizas arcillosas verdes y gris verdosas que, por intemperismo, adquieren un matiz pardo claro y crema; la coloración verdosa se debe a la presencia de horizontes delgados de bentonita (arcillas intemperizadas) y presenta una textura fina de *mudstone* a *wackestone*.

El espesor promedio de esta unidad es de 50 m (López, 1950), medido en las cercanías de Ayotoxco de Guerrero y Gachupinate. En este sector se observa que la Formación Méndez cubre de manera concordante a la San Felipe y esta a su vez, descansa sobre la Formación Agua Nueva, también de manera concordante.

*Formación Méndez* (Dumble, 1911, en Yáñez *et al.*, 1982) concordante con la San Felipe, está formada por una secuencia rítmica de lutitas y margas duras; presenta intercalaciones calcáreas que han derivado a calizas arcillosas, con lo cual pueden confundirse con la Formación San Felipe. Todos estos sedimentos muestran intercalaciones de ceniza volcánica blanca y de bentonita verde, en el área de Ayotoxco de Guerrero y Gachupinate tiene un espesor promedio de 155 m; es susceptible a los agentes de modelado.

Las formaciones que corresponden al Cretácico Superior están representadas por calizas y lutitas (Fig. 5). Corresponden a la zona de transición entre la SMO y la Llanura Costera, esta unidad presenta contactos con materiales volcánicos del Terciario.

## **Cenozoico.**

### Paleógeno Paleoceno

A fines del Cretácico y principios del Terciario tuvieron lugar movimientos regresivos del mar; levantándose una estructura monoclinal de rocas sedimentarias del Paleoceno, marca el fin de la Revolución Laramide, que continuó su proceso hasta finales del Eoceno.

### Paleógeno Eoceno

*Formación Velasco* (Eoceno Inferior). Está compuesta por margas más o menos arenosas de color gris y tonos rojizos o verdosos; presentan contactos con capas ignimbríticas. Su estratificación no es buena y su espesor se estima en más de 100 m en Ayotoxco y Gachupinate (Fig. 7).

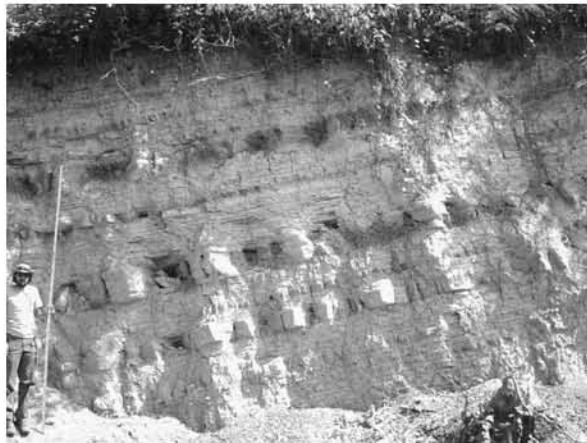


Fig. 7. Vista de la Formación Velasco, es buzamiento de los estratos es norte-sur. El afloramiento se localiza en el trayecto entre Tenampulco y Ayotoxco. Noviembre 2005.

De manera discontinua las formaciones del Cenozoico afloran al N y E del poblado de Cuetzalan (Fig. 5). En esta misma zona, materiales de origen volcánico se presentan a manera de mantos, llegando a estar en contacto con aluviones del cuaternario.

### Neógeno Plioceno

*Formación Teziutlán* (Yáñez y Durán, 1982). Está constituida por andesitas, andesitas-basálticas y basaltos, en menor grado. El primer tipo de rocas, se caracteriza por su contenido de fenocristales de plagioclasa intermedia e hiperstena, con algo de magnetita; acompañada a veces de augita y oxihornoblenda, así como pequeñas cantidades de olivino.

Las andesitas basálticas se distinguen de las anteriores por sus fenocristales de plagioclasa; labradorita y por el predominio de la augita sobre la hiperstena, con aumento de olivino, la magnetita es escasa.

En los basaltos los fenocristales son de olivino, y forman parte de una masa de microlitos de plagioclasa cálcica, rodeados por augita, olivino y magnetita. El Plioceno tardío, es la época que corresponde a la Formación Teziutlán, este dato se obtuvo por radiometría. El emplazamiento de estos materiales sobre el terreno es a manera de mantos irregulares en cuanto a espesor y área, que cubren a sustratos mesozoicos e incluso cenozoicos.

*Formación Ignimbrita Xaltipan* (Yáñez y Durán, 1982). Está representada por derrames ignimbríticos localizados en la periferia norte de la Caldera de los Humeros. Incluye tres estados de piroconsolidación: densa, mediana y sin piroconsolidación. Esta última cubre gran parte del sector W y centro norte de la zona de estudio (Fig. 5).

La Ignimbrita Xaltipan se depositó sobre la Formación Teziutlán, así como en rocas mesozoicas. Se considera que es del Plioceno superior-Pleistoceno inferior. El depósito presenta una matriz con una amplia gama de colores y tonos; los más comunes son el rosa de claro a intenso y gris-azul, también de claro a intenso. En su composición predominan los feldespatos alcalinos y la cristobalita; los fragmento líticos, al igual que la ignimbrita son riolíticos. Las nubes ardientes, consecuentes del colapso

de la parte superior del edificio volcánico de los Humeros, se distribuyeron de acuerdo con la morfología antigua, rellenaron depresiones (cuencas y valles) y modificaron la pendiente regional. De esta manera el relieve preexistente desapareció, para dar paso a una morfología más suavizada, en donde las superficies planas son más frecuentes (Fig.8).



Fig. 8. Ignimbrita Xaltipan sin piroconsolidación. Fotografía tomada en las cercanías del poblado El Chacal, en este sector la potencia de los depósitos varía entre 3 y 6 m. Noviembre 2005

#### Cuaternario.

Esta representado por acarreos fluviales de diverso origen, depositados en las extensas planicies del norte de la zona de estudio. Los aluviones tienen diversas fuentes, las más importantes corresponden a detritos provenientes de cortezas de intemperismo (*terra rossa*), material de caída (piroclastos) y depósitos gravitacionales (coluviones).



Fig. 9. Aluviones de la planicie de inundación intermontana del Río Apulco.

### 3.1 Columna geológica.

La secuencia litoestratigráfica de la Sierra Norte de Puebla abarca del Paleozoico al Cuaternario (Lugo *et al.*, 2005). No afloran todas las formaciones en la zona de estudio; sin embargo, el mencionar su origen, litología y edad, nos lleva a entender la relación de los sustratos con los agentes de modelado, por tanto, la dinámica del relieve.

La información que se presenta en la columna geológica se obtuvo de los pozos de exploración (a) Gachupinate y (b) Ayotoxco (López, 1950; Yáñez *et al.*, 1982) (Fig. 10).

La columna, tiene la finalidad de ubicar en el tiempo geológico las formaciones descritas en el inciso anterior, además de completar la secuencia cronoestratigráfica.

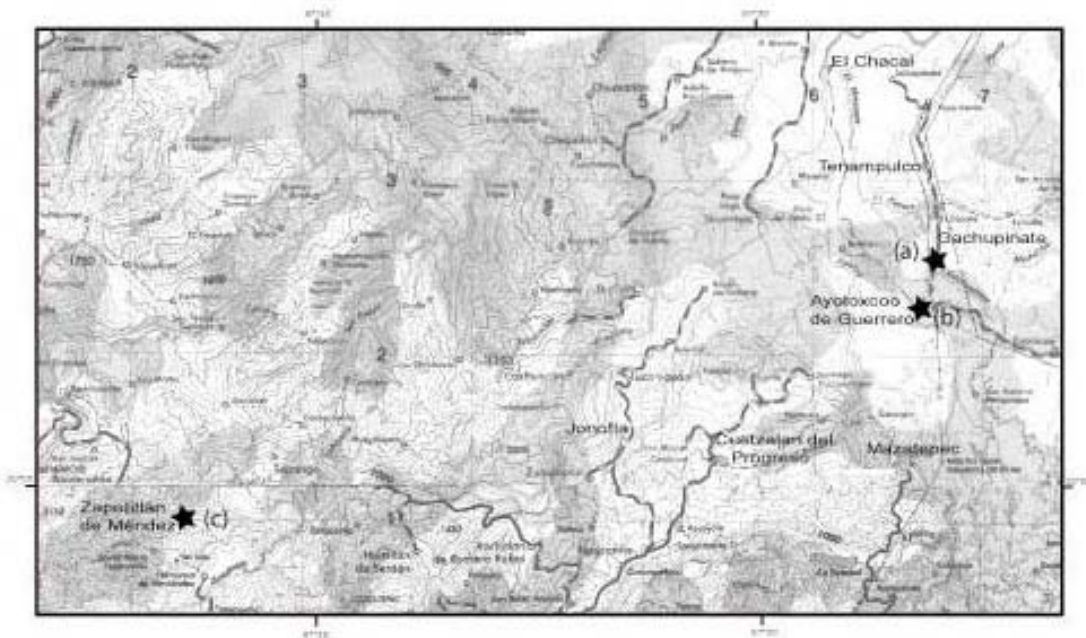


Fig. 10. Localización de los pozos de exploración: (a) Gachupinate; (b) Ayototxco y (c) Zapotitlán.

El complejo basal, sobre el cual descansan los sedimentos del Mesozoico, está constituido por una serie de rocas intrusivas de composición granítica, granodiorítica y esquistosa. Se puede considerar como el núcleo o protoeje orogénico de la Sierra Madre Oriental, llamado Anticlinorio de Teziutlán (INEGI, 1990 y Chavelos, 1991). El contacto entre el basamento Paleozoico y las rocas sedimentarias del Mesozoico es la formación Huizachal, se dispone de manera discordante. Con esta característica, es cubierta por capas sedimentarias terrígenas y de ambiente marino del Jurásico Superior al Cretácico (Tamán, Pimienta y Tamaulipas).

El Cretácico Inferior es de rocas calizas arenosas, el espesor de los estratos varía de delgados a medios; algunos de ellos presentan una textura masiva. A esta formación le sigue un flysch, secuencia terrígeno-carbonatada, que se correlaciona con las Formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez; todas ellas constituidas por capas delgadas y fuerte plegamiento. El Paleógeno se representa por margas y calizas que corresponden a la Formación Velasco (Fig. 11).



Del Neógeno y Cuaternario hay una serie de depósitos volcánicos de distinta composición (CVTM) que cubren en diversos sectores y con distintos espesores a la Sierra Norte de Puebla (Fig. 12) (SECOFI, 1995; Capra *et al.*, 2003 y Lugo *et al.*, 2005).

Los sedimentos aluviales del Cuaternario se remiten a la llanura de inundación del Río Tecolutla.

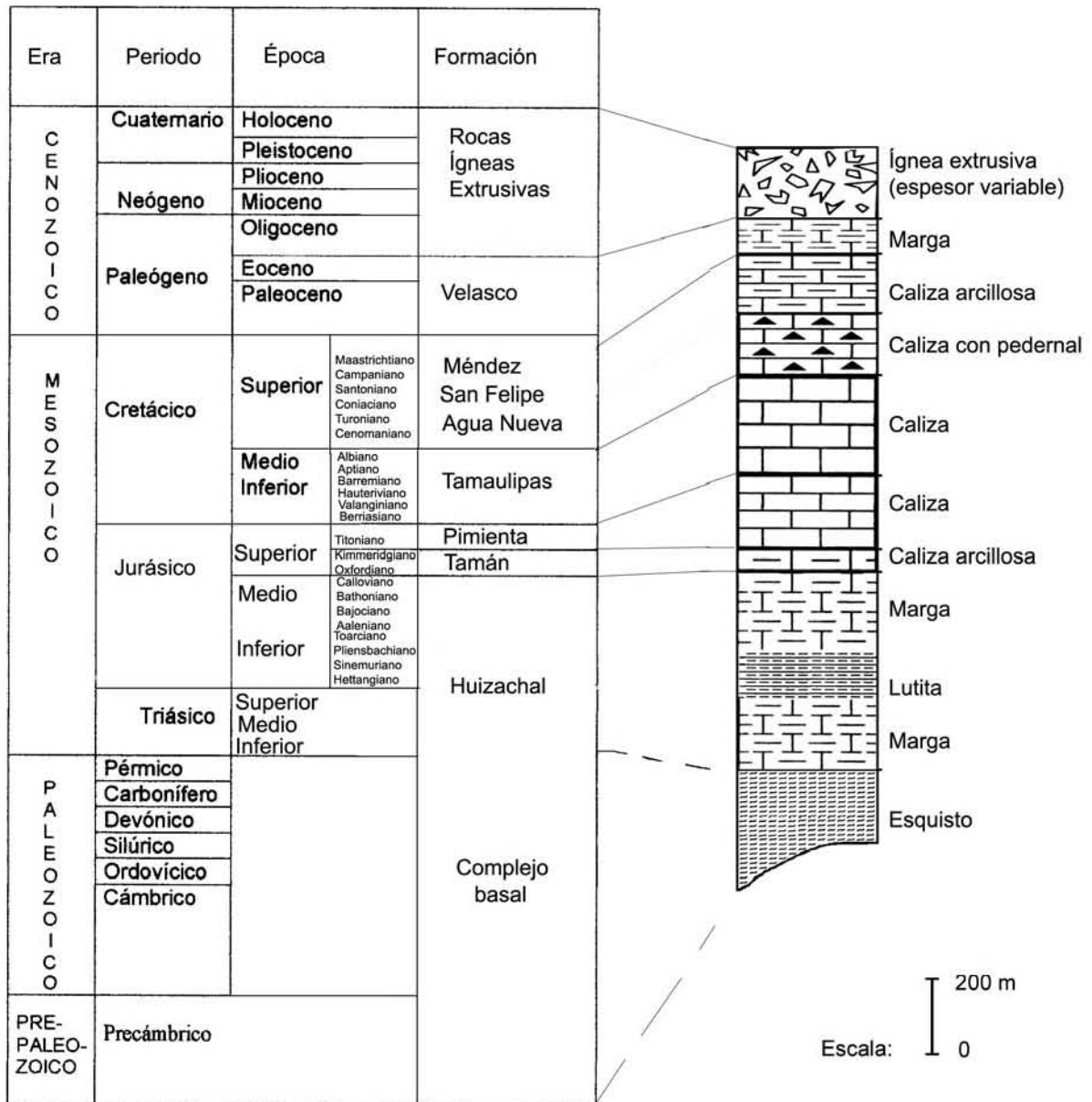


Fig. 11 Columna estratigráfica realizada en Gachupinate y Ayotoxco de Guerrero; Sierra Madre Oriental (López, 1950, Yáñez, *et al.*, 1982).

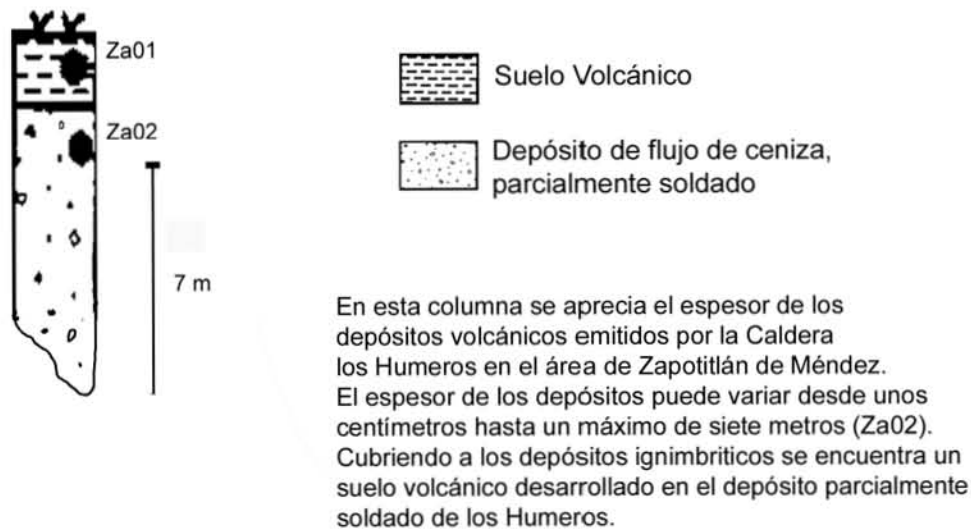


Fig. 12. Columnas estratigráficas de Zapotitlán de Méndez (Capra *et al.*, 2003 b).

### 3.2 Historia Geológica Regional.

La Sierra Madre Oriental es una cadena de montañas, originada por el plegamiento y fallamiento intenso de rocas sedimentarias marinas de edad mesozoica, cubiertas aisladamente con rocas ígneas de edad terciaria.

A finales del Paleoceno y Eoceno temprano se produjo el plegamiento de los estratos marinos con dirección NW-SE, que dio origen a la Sierra Madre Oriental, como causa de los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide, con etapas de deformación discontinua y prolongada durante el Terciario inferior y medio. Los pliegues fueron intensos hacia el norte de la SMO, debido a que las rocas ígneas y metamórficas del complejo basal funcionaron como un núcleo. Los rumbos preferenciales son NE-SW, es decir, perpendiculares a los esfuerzos compresivos laramídicos. Durante la etapa de máximo fracturamiento, se formaron lavas fisurales (2.8 m.a.).

Al terminar la etapa de mayor actividad orogénica siguió un estado de relativa quietud y una intensa erosión que suavizó el relieve. Después, con el colapso de la Caldera de los Humeros, algunos sectores de Cuetzalan fueron cubiertos, con diversos espesores de material piroclástico sin consolidación; parte del relieve fue sepultado o cubierto de manera parcial.

### **3.3 La geología y su relación con los procesos de ladera.**

En este sentido sólo se hace referencia a la Sierra Norte de Puebla, así como al contacto que tienen con el CVTM, ya que en estas zonas son frecuentes los procesos de remoción en masa, todos ellos alineados en dirección NE-SW; es decir, siguen el patrón de plegamientos perpendiculares a la orientación general de la Sierra Madre Oriental.

La Sierra Norte de Puebla (SNP) está representada por las calizas del Cretácico Inferior y las calizas y lutitas del Cretácico Superior. Estas unidades yacen sobre calizas y lutitas del Jurásico Superior, las cuales son observables por la ventana geológica construida por la erosión del río Zempoala (sector SW: Fig. 5). En este contacto y debido a una marcada erosión diferencial entre los sustratos involucrados, se favorecen procesos de ladera de tipo rotacional y de caída. El material es derivado de una potente corteza de intemperismo (terra rossa), suelos, y estratos plegados.

En esta unidad (SNP:SMO), existe una intensa actividad cárstica, consecuencia de rocas carbonatadas bajo la influencia de un clima húmedo, el mayor número de dolinas y de valles ciegos se tienen en la unidad del Cretácico Inferior, la importancia de relacionarlo con los procesos de ladera es que en el retroceso del borde de dolina a manera de saltos de cabecera, llegan a favorecer caídas y en menor medida deslizamientos de tierras.

De acuerdo con el contexto paleogeográfico del Cenozoico, la Llanura Costera del Golfo Norte, corresponde al antepaís o serie de aulacógenos de la orogenia de la Sierra Madre (Formación Méndez y Velasco). Se les conoce como tipo *flysch* y corresponden a la etapa de asolve, llevada a cabo por la erosión de la cadena montañosa de la Sierra Madre Oriental. En este sector, al igual que en el anterior, los procesos de ladera siguen la estructura de plegamiento de la SMO, la diferencia con los anteriores es que en el tipo de material involucrado incluye Ignimbrita, sin consolidar y con distintos espesores.

El Cinturón Volcánico Transmexicano, en la zona de Cuetzalan está representado por material volcánico básico y riolítico del Terciario Superior y cubren a los sedimentos de las Facies Velasco del Eoceno. El comportamiento de los procesos de remoción es distinto. Por un lado, en el contacto entre el material volcánico básico, mesas de lava, y rocas sedimentarias terciarias, se tienen procesos gravitacionales de tipo caída. Por el otro, en las cenizas volcánicas se tienen deslizamientos rotacionales que involucran suelo y detritos.

Los sedimentos más modernos están restringidos a los materiales depositados por el acarreo de ríos y arroyos. Algunos valles con amplias zonas de inundación están constituidos de depósitos aluviales, por lo que la dinámica cambia de procesos de ladera a inundaciones.

Con base en lo anterior, se puede concretizar que la zona de estudio se encuentra en la porción septentrional del territorio poblano, está comprendida dentro de la Llanura Costera del Golfo Norte, Sierra Madre Oriental y Cinturón Volcánico Transmexicano. La columna geológica consta de un núcleo de rocas graníticas y granodioríticas cubiertas por una secuencia sedimentaria marina y continental del Triásico, Jurásico y Cretácico, y algunos sectores sepultados por rocas volcánicas del Cenozoico.

A fines del Cretácico, se da un nuevo régimen geológico con el levantamiento gradual del fondo marino. Se pasó a un ambiente de tierra firme en la extensa franja que constituye la Sierra Madre Oriental.

A lo largo del Paleógeno Paleoceno continuó la sedimentación en el océano, estos sedimentos no se encuentran en el sistema montañoso, sino en la margen (premontaña) del mismo, y continúan en secuencia al oriente; mismos que constituyen el piedemonte estructural de la SMO.

La orogenia de fines del Eoceno se acompañó de levantamiento de la margen continental y de sedimentación, lo que se reconoce en la estructura geológica y el relieve.

En el Plioceno y Cuaternario la Sierra Norte de Puebla debe haber sufrido una reactivación, relacionada con el volcanismo del Cinturón Volcánico, lo que fue notable al formarse la caldera de los Humeros. Una amplia superficie fue cubierta parcial o totalmente por el volcanismo cuaternario, mismo que se presenta también en la planicie costera.

Por lo anterior, las provincias del Cinturón Volcánico y la Planicie Costera se desarrollan en el Plioceno cuaternario, y la zona contigua de la SMO fue afectada en esta época, lo que se refleja en su relieve actual y en los procesos exógenos que la afectan.

La litología y estructura geológica de Cuetzalan, aunados a un clima húmedo, son los responsables de que haya superficies irregulares, con relieves abruptos, fuerte disección y zonas con disolución.

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO**

En este capítulo se cuantifican los elementos puntuales (cimas, profundidades y su diferencia) y lineales (talwegs, inclinaciones) del relieve; con el fin de clasificarlo en función de sus propiedades métricas y establecer patrones de distribución de los procesos endógenos y exógenos. De esta manera, se busca una relación de algunas características morfométricas con la distribución de los procesos de ladera.

La importancia de aplicar parte del método morfométrico es que si son bien empleados, muestran de forma objetiva los cambios que experimenta la morfología del relieve, asimismo dan la pauta de selección, es decir, permiten elegir la forma de presentar los resultados.

Existen diversos mapas, entre ellos el altimétrico, densidad de la disección, profundidad de la disección, energía del relieve, pendientes, entre otros. Para este estudio sólo los citados serán analizados. El criterio para asignar los intervalos de análisis en cada documento, fue el mapa geomorfológico. Este documento fue realizado antes de aplicar cualquiera de los métodos indirectos mencionados. De esta manera fue posible realizar varias pruebas (ensayo-error), en las que se confrontaron los datos morfométricos obtenidos (en cada mapa) y las principales regiones morfológicas (montañas, lomeríos y planicies). Cuando se obtuvo una coincidencia (no siempre total) entre el arreglo espacial de valores y las unidades del relieve mencionadas, fue establecido el rango de análisis. De esta manera aseguramos resultados más cercanos a la realidad, es decir a la dinámica del relieve.

En la elaboración de estos mapas, los sistemas de información geográfica (SIGs) fueron una herramienta que facilitaron el trabajo. Para la presente cartografía fue necesario contar con las curvas de nivel digitalizadas y procesadas en el programa ILWIS (versión 3.0), después se pasaron al programa Arc View (versión 3.2), en el que se procesó y editó un mapa por cada variante, no obstante, los datos obtenidos de manera manual fueron capturados en el programa Excel.

#### **4.1 Mapa altimétrico.**

Muestra de una forma general y sintetizada las grandes unidades del relieve a partir de los contrastes altitudinales existentes. Con este mapa se hace una primera clasificación de las formas del relieve. Su elaboración consistió en realizar una base de datos obtenidos a partir de la carta topográfica de INEGI, escala 1: 50 ,000. El método consiste en medir las alturas absolutas en cada intersección de la UTM, es decir cada kilómetro. Se pasaron a versión digital y después se integraron al programa Arc View, en donde se trató la base de datos de alturas absolutas. Por otro lado, este programa permitió probar varios rangos altitudinales, para elegir el más adecuado en la división del relieve, usando un criterio geomorfológico. El resultado final se muestra en la Figura 13.

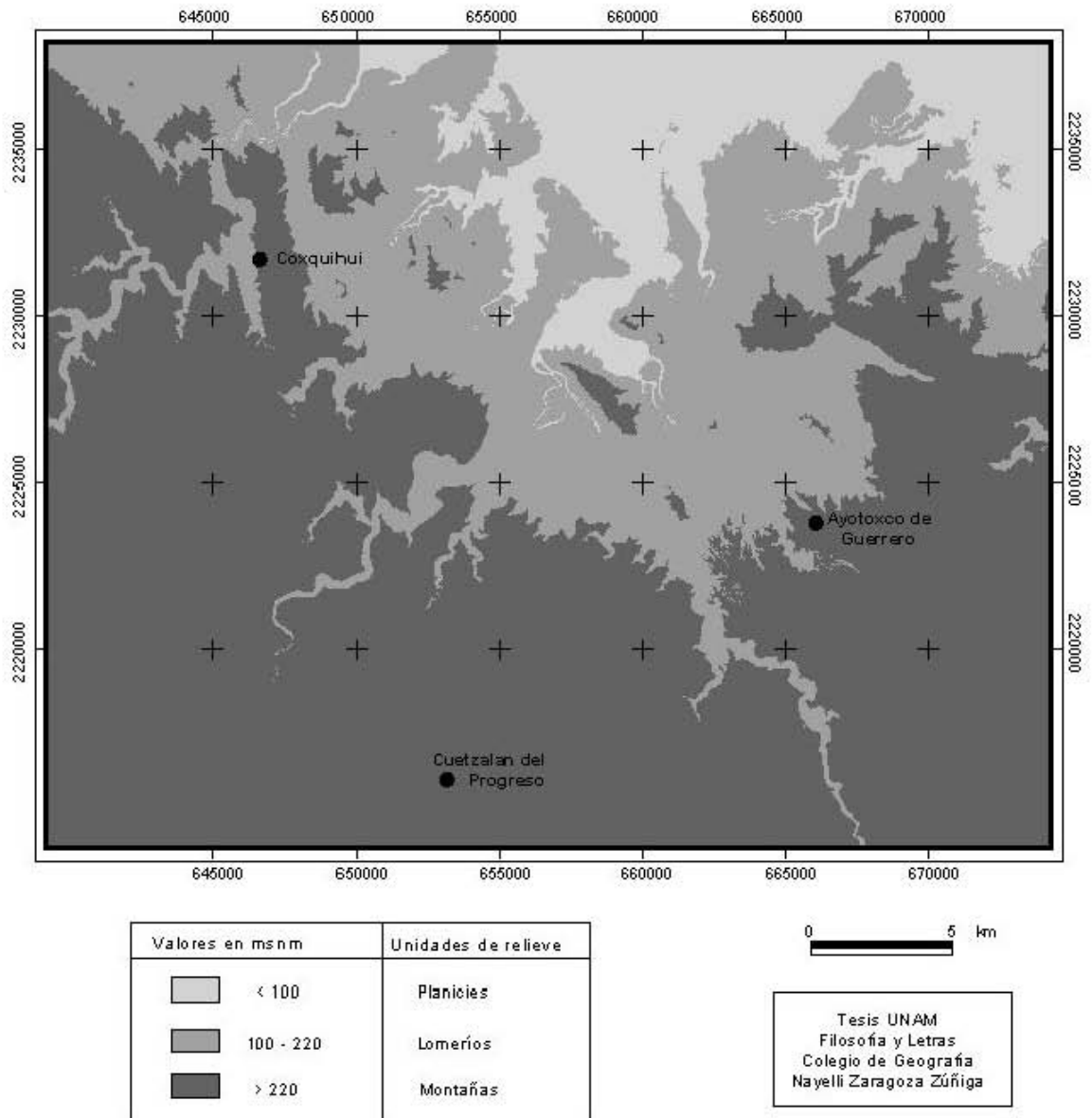


Fig. 13. El mapa altimétrico muestra las principales unidades del relieve: planicies, lomeríos y montañas.

A partir del mapa altimétrico se definen:

**Planicies**, presentan los valores altitudinales más bajos (< 100 m), ocupan la porción norte de la zona de estudio y forman parte de la Llanura Costera del Golfo Norte. Los ríos principales que convergen en este territorio son: Apulco, Zempoala y



Ajalpan, como tributarios del Río Tecolutla. Todos ellos han depositado los aluviones del Cuaternario.

La planicie es una superficie de poca inclinación; puede ser ondulada y presentar terrazas (acumulativas), que por lo general, se relacionan con una dinámica de inundación.

**Lomeríos**, comprenden altitud desde los 100 hasta los 220 msnm, constituyen una banda heterogénea que se localiza al sur de las planicies. La complejidad de este territorio radica en que hacen frontera tres provincias fisiográficas diferentes en origen, composición y edad (Sierra Madre Oriental; Cinturón Volcánico Transmexicano y Llanura Costera del Golfo Norte). Se designa como lomerío al relieve que es resultado de la disección y desmembramiento del piedemonte, y de la premontaña que constituye las elevaciones marginales de la Sierra Madre Oriental.

**Montañas**, representa la porción altitudinal más alta (> 220 m), en ella está comprendida la mayor parte del territorio que se estudia. Representa una porción de la Sierra Madre Oriental (calizas del Jurásico Superior, Cretácico Inferior y del Cretácico Superior) y del Cinturón Volcánico Transmexicano (basaltos y piroclastos del Terciario Superior). La zona de montaña presenta fuertes contrastes altitudinales en distancias cortas, así como una heterogeneidad en la longitud de las vertientes, de su geometría y orientación.

A partir del mapa altimétrico fue posible establecer y caracterizar las planicies, los lomeríos (piedemonte desmembrado) y las montañas. De esta manera, aunque de forma indirecta, quedan acotados los procesos y la dinámica que estos relieves presentan, esto último es el tema que se trata en el último capítulo.

## 4.2 Mapa de pendientes

Consiste en transformar las distancias entre curvas de nivel en valores de pendiente. La función matemática es:

$$m = \text{inv. tang (DV/DH)}.$$

Donde:

m = pendiente

DV = distancia vertical

DH = distancia horizontal

Los valores que se muestran representan la inclinación del terreno en un plano; este mapa permite clasificar a una superficie, de acuerdo con su inclinación; de esta manera, es posible visualizar las dimensiones y las profundidades que llegan a tener determinados relieves. Además de definir formas del relieve específicas (escarpes y cañones), evidencia procesos potenciales que tienen que ver con la evolución del relieve: procesos de ladera, en paredes escarpadas de montaña, y sedimentación, en las planicies fluviales (Fig. 14)

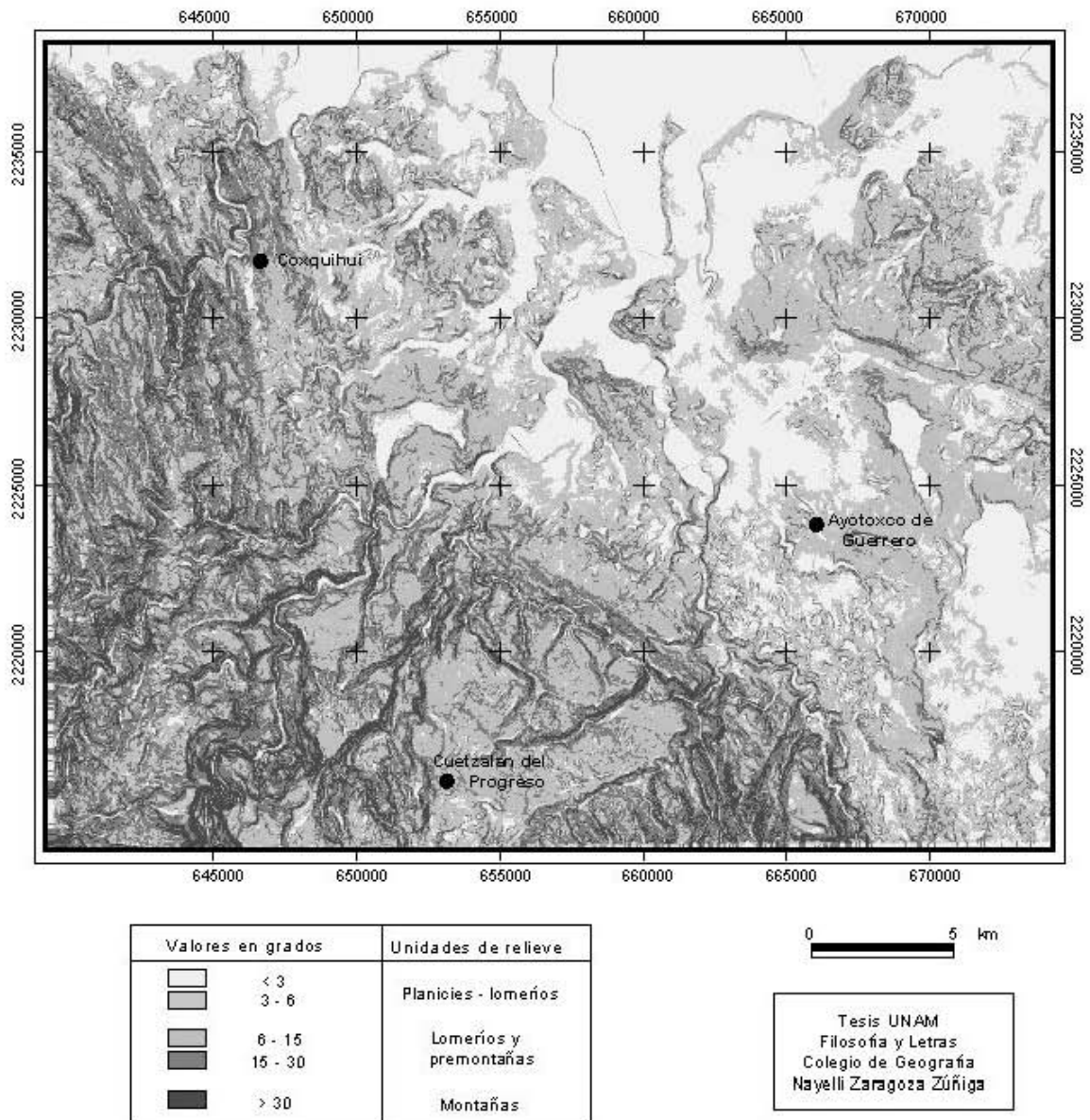


Fig. 14. Mapa de pendientes, evidencia la magnitud y profundidad que presentan los valles fluviales en la zona de montaña; de la misma forma, se observa una disminución gradual de las inclinaciones (en la zona de lomeríos) hacia las planicies.

Para la interpretación de este mapa se han dividido los valores en tres grupos, respetando las unidades del relieve que aparecen en la figura correspondiente:

**Planicies-lomeríos.** Se caracterizan por una inclinación de  $< 3^\circ$  a  $6^\circ$ ; en este rubro se incluye la zona de acumulación fluvial principal, así como bancos de arena y extensas terrazas fluviales. Estas últimas forman parte de la llanura de inundación máxima; esta forma de relieve se interdigita con los lomeríos más distales de la siguiente unidad del relieve (lomeríos y premontañas). La combinación de ambas formas hacen difícil la diferenciación de estos relieves en el mapa, debido a que los lomeríos presentan una inclinación similar a la de las terrazas (no obstante este problema fue resuelto con la fotointerpretación). La falta de inclinación del terreno ha favorecido la existencia de formas de relieve que se asocian con el depósito de detritos fluviales.

**Lomeríos y premontañas.** Las inclinaciones del terreno que se presentan son de  $6^\circ$  a  $30^\circ$ ; desde el punto de vista morfológico la mayor parte de esta área corresponde a un antiguo piedemonte, que perdió su forma original debido a un intenso modelado fluvial, lo que definió una morfología de lomeríos; en otras palabras, la acción fluvial fue la responsable de desmembrar esta antigua superficie de acumulación. Hay que mencionar que las premontañas (SMO) llegan a confundirse con los lomeríos (en este mapa), no obstante, en el campo la diferenciación es evidente; los primeros están constituidos de detritos y los otros por calizas.

**Montañas (SMO)** con inclinaciones mayores a  $30^\circ$ , ocupan un poco menos de la mitad del territorio de estudio. En esta zona se distinguen con claridad numerosos y profundos valles de montaña, con perfil transversal en "V", de los ríos Ajajalpan, Zempoala, Tehuancate, Tozán, Apulco, Zoquita y Cuichat. El desarrollo de estas formas del relieve se ve favorecido por contactos litológicos y por la presencia de estructuras disyuntivas, ambos factores están en estrecha relación con la presencia de procesos gravitacionales.

El mapa de pendientes es esencial en el entendimiento de la génesis y dinámica del relieve, a partir de esta información es posible la zonificación de procesos geomorfológicos, así como la identificación de formas de relieve asociadas con la dinámica fluvial; cambios de litología y presencia de estructuras disyuntivas.

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

Este mapa presenta la intensidad de erosión de las corrientes fluviales sobre un área (Lugo, 1991). De otra forma, muestra la longitud total de los talwegs por kilómetro cuadrado.

El procedimiento consistió en trazar, en el mapa topográfico todas las corrientes fluviales, tanto las expuestas en la carta topográfica como otras que fueron inferidas a partir de un criterio geomorfológico. Posteriormente, con un curvómetro se midió la longitud (en km) de los talwegs, por cada kilómetro cuadrado, se hizo una base de datos con los resultados obtenidos. Finalmente se integraron a un SIG y fueron interpolados en intervalos de 0.5 km/km<sup>2</sup>. La interpretación de estos valores se hizo con base en tres categorías, denominadas valores máximos, medios y mínimos. Esta división tiene correspondencia con las unidades del relieve (planicies, lomeríos y montañas).

En el análisis de este mapa se tomó en cuenta la litología, la pendiente, las estructuras disyuntivas y la geometría del terreno (morfología). También fueron considerados los factores meteorológicos: tipo e intensidad de la precipitación, ya que tiene influencia directa en la densidad de la disección. La figura 15 muestra el mapa en cuestión y se explica a continuación.

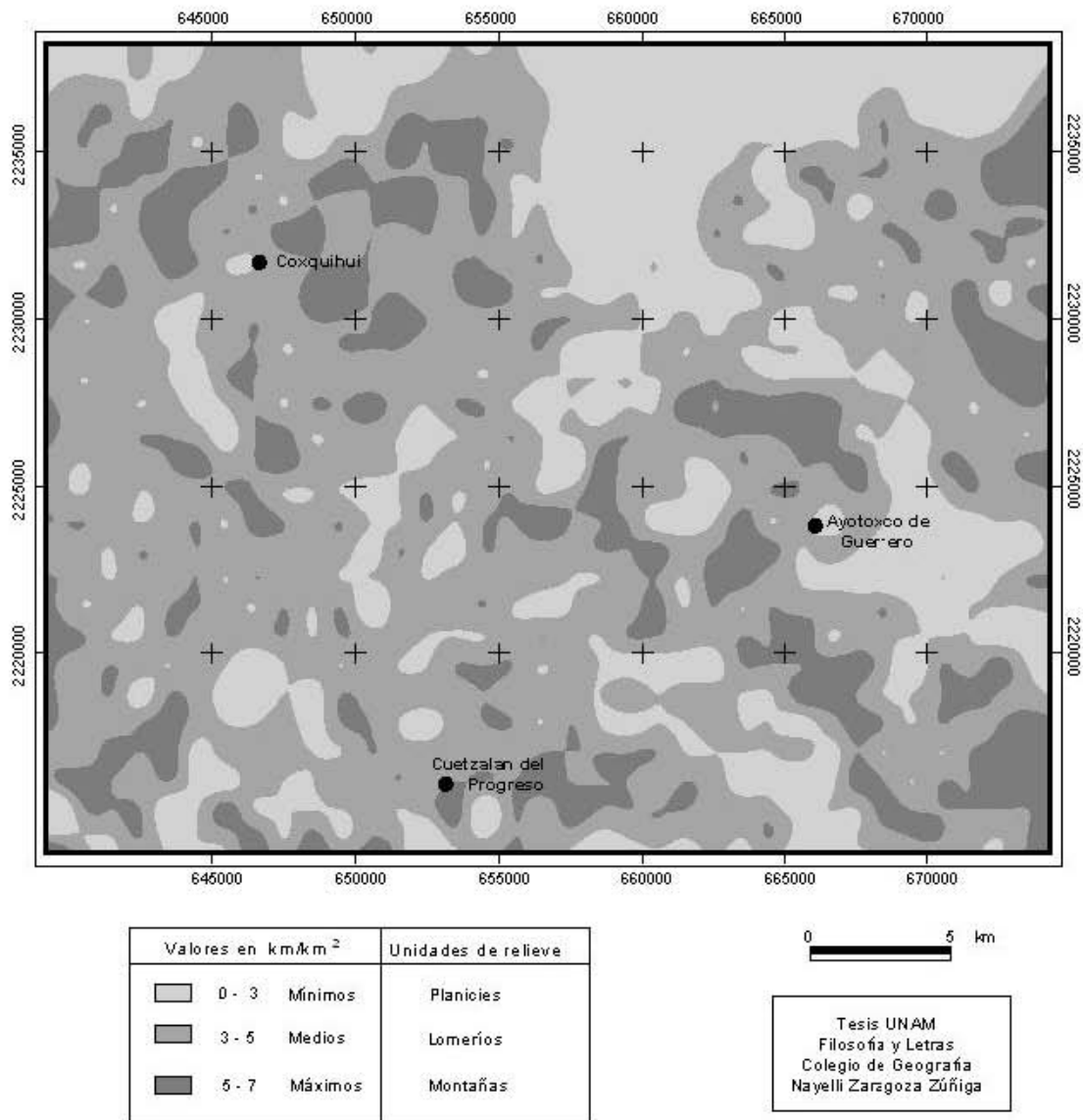


Fig. 15. Densidad de la disección. Muestra la distribución espacial de las distintas concentraciones de cauces en el territorio de Cuetzalan.

**Valores máximos** ( $> 5 \text{ km}/\text{km}^2$ ); se presentan en sustratos de calizas, lutitas y areniscas del Mesozoico, las cuales bajo condiciones de clima cálido y húmedo son más propensas a la erosión. Sin embargo, hay que tomar con precaución estos datos, ya que por tratarse de una zona donde hay calizas, los procesos cársticos juegan un

papel importante en los resultados y en la interpretación, ya que si la caliza no presenta valores altos de densidad, no precisamente es por su resistencia ante la erosión fluvial, sino por su capacidad de filtración y disolución.

Las estructuras disyuntivas también tienen relación con los valores altos de disección, la fractura producto del plegamiento, de la Sierra Madre Oriental, favorece la concentración de cauces. En este marco, las características litológicas (diferencias entre las calizas) denotan grados de erodabilidad distinta.

Con respecto a valores entre 3 y 6 km/km<sup>2</sup> (valores medios) es difícil su caracterización, debido a que su distribución es muy homogénea y no es posible catalogar su distribución espacial con tan sólo esta información. Se puede decir que las características litológicas, altitudinales, morfológicas y estructurales en apariencia no las condicionan.

**Valores mínimos** (< 3 km/km<sup>2</sup>), se relacionan con las zonas planas, es decir, con las planicies aluviales y con valles de lecho amplio, como los que existen en las cercanías de Ayotoxco de Guerrero. Si bien el material característico de estos territorios es susceptible a la erosión, no se presenta una densidad de cauces, debido a la falta de inclinación del terreno y a la cercanía del nivel base. Hay que mencionar, que valores poco importantes también se presentan en la zona de montaña y corresponden a sectores, donde las calizas son permeables y anulan la presencia de escurrimientos superficiales.

El mapa de densidad de la disección muestra la degradación de los procesos fluviales sobre el relieve, en otros términos, expresa la evolución del relieve y de manera indirecta el tiempo en el que han actuado los procesos fluviales; este aspecto se deduce a partir de una mayor densidad e integración del drenaje.

#### 4.4 Mapa de profundidad de la disección

Equivale a la altura vertical en metros, entre el talweg y el borde superior del cauce, de acuerdo con el criterio de Simonov (1985) en Zamorano (1990) (Fig. 16). La profundidad de disección de un río está condicionada no solo por la capacidad erosiva de una corriente de agua (en función de la cantidad de sólidos que acarrea), sino también por contactos litológicos y estructuras disyuntivas.

**Valores máximos** (>60 m) son característicos de la zona de montaña, en particular tienen un mayor desarrollo entre las calizas-lutitas del Jurásico Superior y calizas del Cretácico Inferior. Del mismo modo, son recurrentes en algunos sectores del curso del Río Zempoala, que muestran un control estructural asociado a la presencia de fallas regionales de la Caldera de los Húmeros (Yáñez *et al.*, 1982).

Los contactos litológicos y las fallas, representan zonas favorables para el desarrollo de los cauces en la vertical; este proceso favorece la existencia de pendientes pronunciadas, por lo tanto, esta dinámica fluvial tiene relación con el mapa de pendientes.



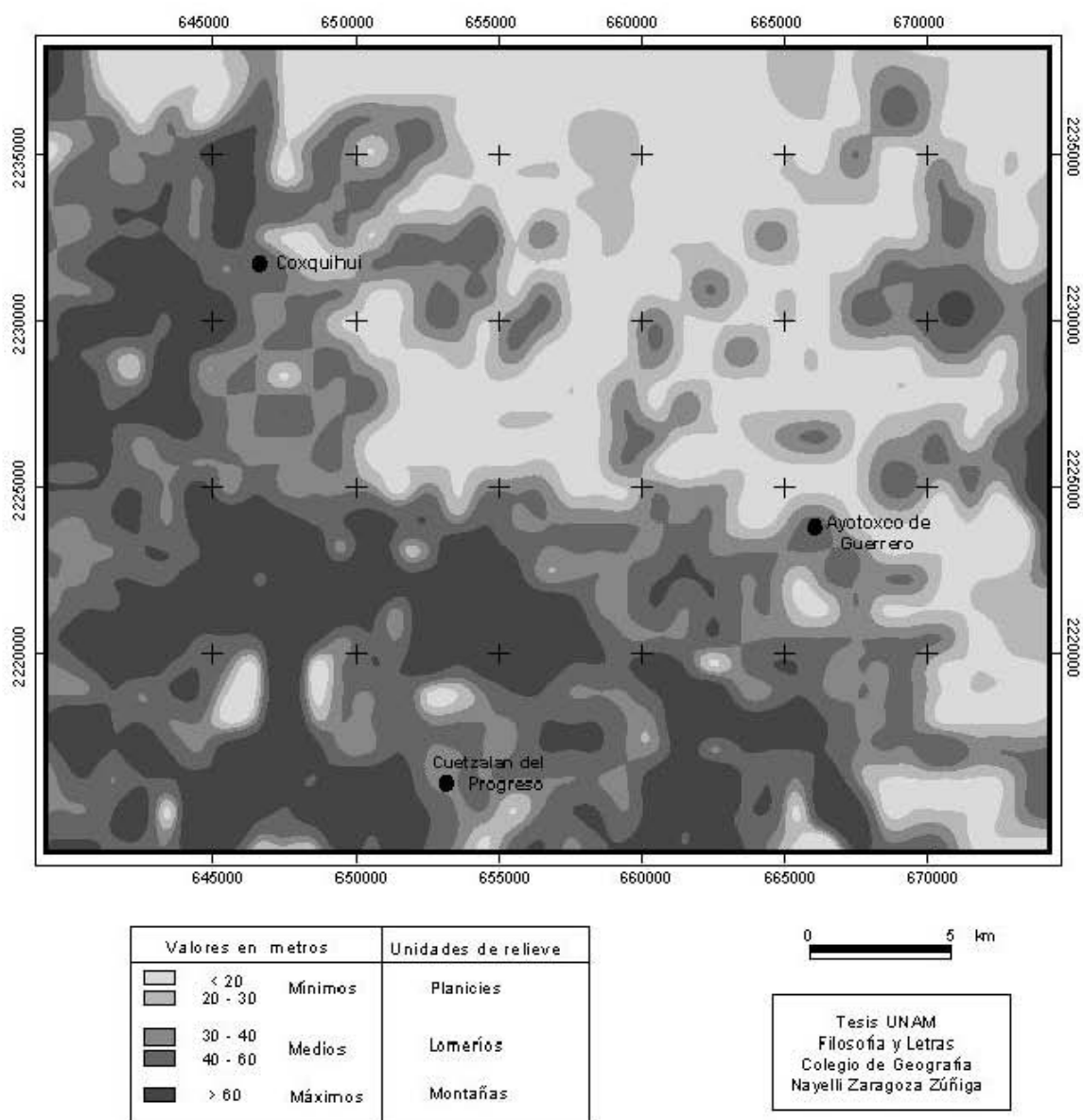


Fig. 16 . Profundidad de la disección. Muestra la distribución del trabajo erosivo de los ríos en la vertical y su relación con las principales unidades del relieve.

**Valores medios** (30 a 60 m) se presentan en las elevaciones marginales a la zona de montaña (premontañas), lomeríos y en las elevaciones aisladas que se localizan al NW, NE y SE de la zona de estudio. Su distribución espacial no presenta un arreglo aparente con la litología, pero sí con la morfología. Cuando valores medios y bajos se alternan o se presentan en forma concéntrica, se trata de formas de relieve específicas, en este caso, las mesas de lava (valores mínimos), y en los flancos de

ellas el aumento de la profundidad (valores medios), se debe a los escarpes que las limitan.

Hay que resaltar la existencia de estos valores en la zona de montaña, la que se interpreta como zonas de filtración del agua de lluvia que no permite los escurrimientos.

**Valores mínimos** (< 30 m) están presentes en las planicies aluviales y en los lomeríos más distales al conjunto montañoso; como ya se mencionó, también son característicos de las mesas de lava.

A partir del mapa de profundidad de la disección, se pudo establecer la influencia de la tectónica y de la litología en la orientación e incisión de los cauces. Por otro lado, la presencia de estos valores en la zona de montaña tiene relación con la existencia de diaclasas, fracturas y fallas, como responsables de la filtración del agua de lluvia y la ausencia de escurrimientos.

#### **4.5 Mapa de energía del relieve**

Muestra la intensidad relativa de la actividad endógena en relación con la exógena. La metodología consistió en obtener la diferencia de altitud, en cada km<sup>2</sup>, entre el punto más alto respecto al bajo. Valores altos o máximos pueden corresponder a zonas de mayor actividad tectónica (Lugo, 1991).

Los factores que condicionan la energía del relieve es la diferencia altitudinal en un área determinada, tipo de roca, estructura geológica, estructuras disyuntivas, pendiente, intensidad de procesos erosivos y geometría del terreno más accidentado (Gómez, 1998). En otras palabras, este mapa manifiesta el potencial erosivo al que puede estar sujeto el relieve. Los valores altos indican la posibilidad de modificaciones en su expresión morfológica por fuerzas exógenas de gran dinamismo; por lo contrario, los valores mínimos representan zonas con aparente estabilidad (Fig. 17)

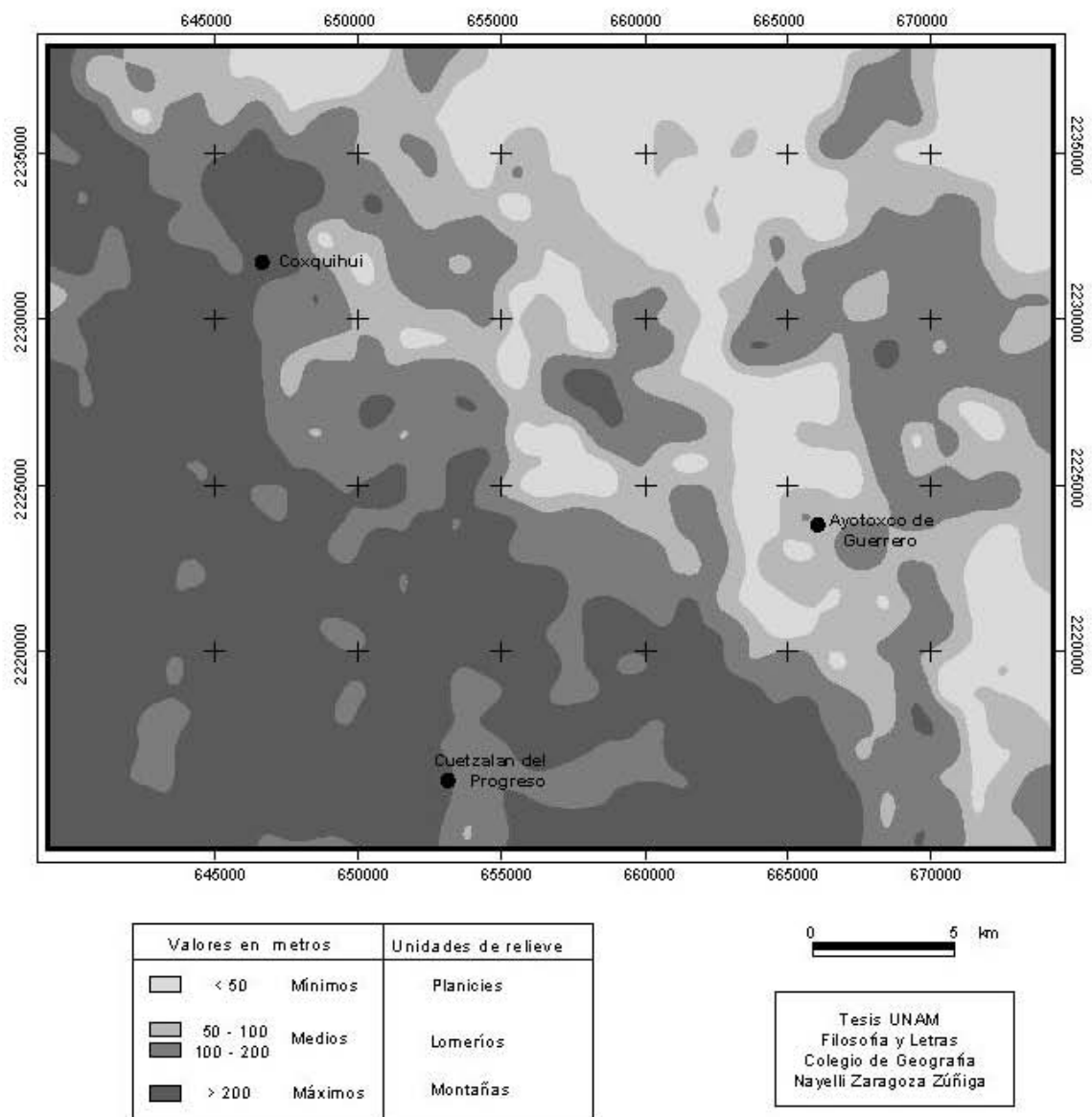


Fig. 17. Mapa de energía del relieve.

**Valores máximos** (>200 m) característicos de la SMO y de las montañas aisladas, localizadas en su gran mayoría en la porción sur del área estudiada. Estos valores representan un promedio altitudinal relativo; de manera indirecta la deformación tectónica que sufrieron estos conjuntos montañosos en su proceso de formación. Esta condición se relaciona con factores que favorecen la inestabilidad de laderas: inclinación del terreno y litología-estructura. Otra posibilidad de interpretación, es la relación de los valores altos con la resistencia del material a los efectos de los

agentes modeladores. Es decir, ponen de manifiesto áreas de resistencia erosiva que pueden estar condicionadas por escasas estructuras disyuntivas y por cambios en la textura de las calizas.

**Valores medios** (50 a 200 m) están presentes en los lomeríos y premontañas, ponen de manifiesto un relieve de transición que presenta una morfología en gradería que termina por fundirse con las planicies. De lo anterior se deduce, que los procesos exógenos han actuado con mayor velocidad que los endógenos, o bien que estos últimos se encuentran estables. Los lomeríos y las premontañas representan las estribaciones de la SMO, y de forma indirecta muestran la degradación del relieve en un tiempo prolongado, de ahí la existencia de estructuras residuales.

**Valores mínimos** (<50 m) corresponden a las planicies, que a pesar de tener una morfología y composición homogénea (aluviones cuaternarios), presentan una dinámica que tiene más relación con el comportamiento de los ríos (en períodos de lluvia extraordinaria) que con la tectónica; en este tipo de relieves, el mapa de energía del relieve no tiene un significado contundente.

La importancia de esta información radica en la comparación con los otros mapas morfométricos que se han analizado en este capítulo. Representa un elemento más en la identificación y zonación de los procesos exógenos que se explican en el siguiente apartado.

#### **4.6 Mapa de zonificación de procesos de ladera e inundaciones, con base en valores morfométricos.**

Este mapa es la primera aproximación en la zonificación de áreas susceptibles a procesos de ladera e inundaciones. Representa el análisis de todos los mapas morfométricos en conjunto. Los resultados obtenidos se cotejaron con las características morfológicas del territorio; en este proceso el mapa geomorfológico

(verificado en campo), fue determinante en la elaboración de la versión definitiva del documento que aparece en la figura 18.

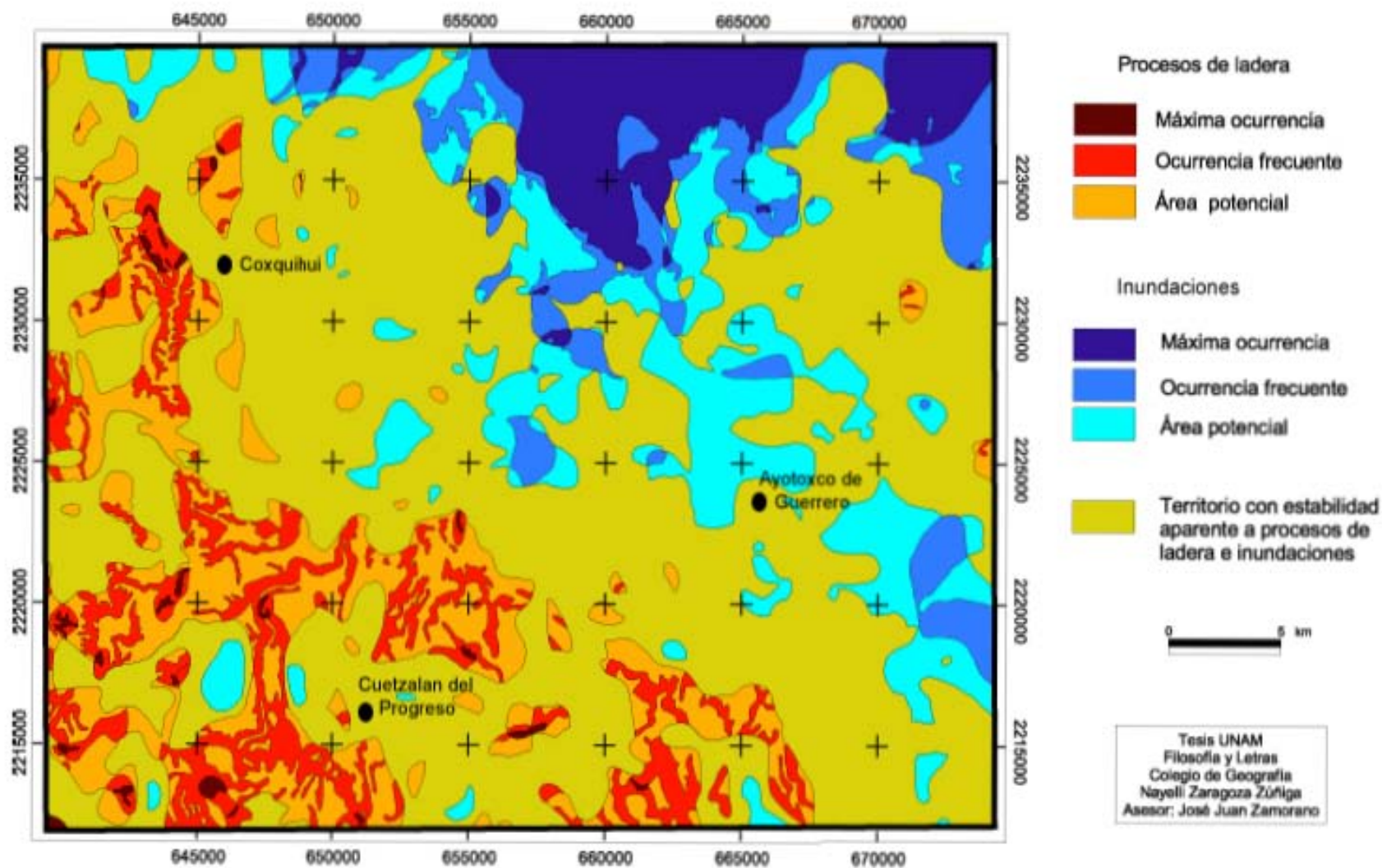
Este documento es el punto de partida para elaborar el mapa de susceptibilidad a procesos de ladera e inundaciones en la zona de estudio. La información de esta carta y su interpretación geomorfológica es el tema central del último capítulo de este trabajo. En este apartado nos limitamos a dar una explicación de los valores morfométricos máximos y sus posibles relaciones con la inestabilidad de las laderas y las inundaciones.

Asociación con los procesos de ladera.

Este tipo de dinámica se encuentra bien zonificada, ocupa el territorio que corresponde a la SMO (SW). Las zonas de **máxima ocurrencia y ocurrencia frecuente**, coinciden con las laderas que constituyen los valles fluviales que han formado los escurrimientos más importantes de este territorio. Estas formas de relieve cuando se localizan en la zona de montaña presentan una morfología de *cañón*; el valle tiene un desarrollo en la vertical importante. Esta característica favorece la presencia de laderas francas en un sustrato calizo con diferente arreglo de los estratos (a favor de la pendiente), y la presencia de un control estructural (que se reconoce en las deflexiones de los escurrimientos), son factores relacionados con la remoción en masa. No hay que olvidar que la lluvia extraordinaria, la actividad sísmica, el uso y manejo indebido del territorio, así como la construcción de obras de infraestructura y vivienda, pueden ser un factor catalizador de la dinámica de las laderas.

El **área potencial** incluye la porción alta de los valles o de los interfluvios contiguos a los cauces principales. Si bien en estos territorios hay condiciones morfológicas y estructurales para la ocurrencia de procesos de ladera, falta un agente detonador que inicie el proceso.

Fig. 18 Zonificación de procesos de ladera e inundaciones, con base en valores morfométricos.



Hay que mencionar que en la zona de montaña, se observan alvéolos aislados que representan valores morfométricos bajos; evidencian zonas de filtración del agua de lluvia, por tanto, los escurrimientos pasan al subsuelo a través de dolinas, uvalas y ventanas cársticas.

Las áreas potenciales que aparecen fuera del territorio que comprende la SMO, se explican a partir de la presencia de montañas aisladas, que tienen laderas con una inclinación potencial a presentar el fenómeno en cuestión.

Asociación con Inundaciones.

Este aspecto fue interpretado con base en los valores morfométricos mínimos, esta clasificación se observa en la porción N y NE de la zona de estudio (Fig. 18). Los relieves involucrados son superficies homogéneas en su morfología, es decir, áreas casi planas o con muy poca variación en su inclinación; en este sector del país se conoce como la Llanura Costera del Golfo Norte (sector proximal de toda la provincia). De manera más precisa, este territorio corresponde a las llanuras de inundación fluvial del Río Tecolutla y sus afluentes principales, al mismo tiempo, es el nivel de base local del área de Cuetzalan y de todos sus territorios adyacentes.

La morfología de este relieve determina su dinámica; en temporada de lluvias extraordinarias, los volúmenes de agua se distribuyen a lo largo de estas superficies, debido a que el relieve no representa ningún obstáculo para que los ríos ocupen toda la porción baja de estos amplios lechos fluviales. Los procesos que predominan en este sector son los que se asocian a la sedimentación de aluvión de edad cuaternaria.

**Área potencial**, se refiere a aquellas propensas a la inundación, desde el punto de vista morfológico, sin embargo, debido a que se encuentran ligeramente más altos en relación con las zonas de máxima ocurrencia, deben existir ciertos factores convergentes para que se inunde, como una lluvia extraordinaria o la obstrucción de alguna corriente fluvial por un proceso de ladera. En la mayoría de los casos, estos

territorios representan pequeñas llanuras fluviales intermontanas que pueden inundarse, debido a que están rodeadas por laderas de montaña y dejan un punto de desfogue estrecho.

Hay alvéolos de ocurrencia frecuente y potencial en las cercanías de Ayotoxco de Guerrero, con orientación NW-SE; los cuales no tienen relación con las llanuras aluviales del Río Tecolutla. En este caso se trata de mantos de lava que conservan una morfología de mesas.

Las áreas que han quedado clasificadas como de **estabilidad aparente** no presentan ningún tipo de relación con los dos procesos que se han estado analizando, esto no quiere decir que estén exentos de presentar algún tipo de proceso modelador. La zona clasificada por este método como de estabilidad aparente es amplia, incluye un sector importante de la zona de montaña (SMO), así como del área de lomeríos y elevaciones aisladas del CVTM y de los sectores más álgidos de la Llanura Costera del Golfo Norte.

La morfometría es una posibilidad de análisis de territorio, los resultados son valiosos pero no hay que olvidar que la fuente es indirecta. Es por eso que sin una interpretación geomorfológica estricta, no pueden tomarse como validos. Tomando en cuenta lo anterior, y con el fin de evitar incongruencias en el mapa que se presenta (Fig.18): su elaboración se sustenta en la interpretación geomorfológica (mapa), verificación en fotos aéreas y de campo. Por último podemos decir, que este mapa permite delimitar zonas susceptibles a procesos ladera e inundaciones, ambas dinámicas en estrecha asociación con el relieve.



## **CAPÍTULO V. GEOMORFOLOGÍA Y SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRITORIO A PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS PELIGROSOS: PROCESOS DE LADERA E INUNDACIONES.**

### **5.1 Análisis Geomorfológico**

La Geomorfología es la ciencia que analiza las formas del relieve, como resultado de la interacción entre los procesos endógenos y exógenos. Su objetivo es establecer el sistema de relaciones o interrelaciones genéticas y evolutivas que puedan plantearse entre los diferentes grupos de formas que articulan el relieve (Pedraza, 1996).

Bajo este enfoque se estudiará la geomorfología de Cuetzalan y de las zonas adyacentes, cabe mencionar que en este proceso está implícita la elaboración cartográfica, herramienta que ayuda a comprender la configuración espacial de las formas que integran al relieve.

La importancia del análisis geomorfológico, así como de su cartografía, radica en su aplicación a situaciones reales, en este caso, será la base para la elaboración de un mapa de susceptibilidad a procesos de ladera e inundaciones del territorio mencionado.

El presente trabajo se realizó con la interpretación de fotografías aéreas (1: 75 000, INEGI, 1995); el relieve identificado se clasificó de acuerdo con su génesis (Simonov, 1985). Con respecto a la representación cartográfica, se tomaron en cuenta los alineamientos de Bashenina (*et al.*, 1975), sin embargo, en algunos casos se hicieron modificaciones, con el fin de adecuar esta metodología, de la mejor manera posible, al territorio de estudio. Por último, hay que mencionar que toda la información se verificó y corrigió en campo.

La clasificación del relieve que se presenta en el mapa geomorfológico, incluye todas las formas de relieve presentes en Cuetzalan y en territorios adyacentes, el análisis de cada una de ellas es el objetivo de este capítulo.

## **I RELIEVE ENDÓGENO MODELADO**

### **Sierra Madre Oriental.**

- 1.1 Laderas de montaña intensamente modeladas; constituidas en su mayor parte de calizas

### **Estribaciones de la Sierra Madre Oriental.**

- 1.2 Sierras menores
- 1.3 Montañas aisladas

### **Estribaciones del Cinturón Volcánico Transmexicano.**

- 1.4 Cubiertas piroclásticas con morfologías:
  - a) Tabular
  - b) Convexa
- 1.5 Mesas de lava

## **II RELIEVE EXÓGENO**

### ***A. Erosivo fluvial***

- 2.1 Valles fluviales:
  - a) Menores a 20 m de profundidad
  - b) Entre 20 y 40 m
  - c) Mayores a 40 m
- 2.2 Río Tecolutla.
  - a) Cauce principal
  - b) Cauces abandonados
  - c) Rastros fluviales

### 2.3 Circo de erosión fluvial

- a) Activo
- b) Inactivo

### 2.4 Salto de cabecera

#### ***B. Acumulativo fluvial***

### 2.5 Llanura aluvial

- a) Inundable
- b) De inundación máxima

### 2.6 Terrazas fluviales

#### ***C. Erosivo cárstico***

### 2.7 Cuencas endorreicas

### 2.8 Dolinas.

#### ***D. Erosivo gravitacional***

### 2.9 Deslizamientos

- a) Corona
- b) Superficie de deslizamiento

### 2.10 Caídas

- a) Escarpe
- b) Ladera susceptible

#### ***E. Acumulativo Gravitacional***

### 2.11 Lóbulos de deslizamiento.

### 2.12 Rampas coluviales.

## **Símbolos complementarios**

1. Contactos reales
2. Contactos inferidos
3. Parteaguas secundarios
4. Dirección del flujo.

## **I . RELIEVE ENDÓGENO MODELADO**

En este apartado se analizan las formas del relieve cuyo origen es endógeno, pero que han perdido sus rasgos primarios por la acción de los procesos exógenos. En este marco, las rocas sedimentarias plegadas que definen a la Sierra Madre Oriental (SMO) son un claro ejemplo, los movimientos tectónicos de ascenso ocurridos a fines del Mesozoico pusieron en superficie un antiguo fondo oceánico, que con la misma intensidad que fue emergiendo, los agentes modeladores fueron definiendo sus rasgos morfológicos.

### *Sierra Madre Oriental*

El sustrato sedimentario mesozoico que constituye la SMO, ha evolucionado sobre un basamento paleozoico y precámbrico. La sierra constituye una secuencia montañosa que tiene una orientación general NE–SE; esta dirección cambia en las cercanías de Monterrey (E - W) y a la altura de Piedras Negras el rumbo es NE-SW, con esta dirección sale del territorio nacional.

La SMO se compone de estrechos pliegues, todos ellos orientados de acuerdo con los tres rumbos descritos. Hay que mencionar que existen cambios litológicos a lo largo de toda la estructura montañosa; como ejemplo puede mencionarse que en las cercanías con Teziutlán, la SMO está manteada por una cubierta piroclástica que suaviza la expresión del relieve y condiciona, en algunos sectores, la intensidad de los

procesos modeladores. Estas características son válidas para todo el sector E de la zona de estudio, mas no para el resto del territorio. En este marco podemos decir que la porción W define una SMO con marcados contrastes altitudinales y un complejo arreglo de formas de relieve, en donde es posible reconocer un fuerte control estructural. La primera de estas asociaciones se ha caracterizado como

### **1.1 Laderas de montaña intensamente modeladas; constituidas en su mayor parte por calizas.**

La altitud de este conjunto montañoso varía de los 400 a 1280 m, este marcado contraste altitudinal define superficies que se inclinan en un rango que varía entre los 15° y 40°. La erosión fluvial es la responsable del modelado de este territorio, proceso que se lleva a cabo a partir de densos arreglos fluviales, entre los que destacan los dendríticos, subdendríticos, pinados, asimétricos y angulares. Los ríos principales fluyen entre laderas escarpadas y escalonadas que definen valles angostos y profundos (cañones).

El modelado y evolución de las laderas que constituyen este inciso es complejo, no obstante, destaca la relación entre el tipo de roca; su estructura, el clima y los procesos modeladores; de esta manera, queda condicionada la morfología o expresión del relieve de este territorio.

En relación con el párrafo anterior se debe hacer mención de otras condicionantes que si bien no están en el nivel jerárquico de las que se mencionaron, definen particularidades de ciertos agentes de modelado (magnitud e impacto). Entre las que se reconocen, está la presencia o ausencia de vegetación (natural); la orientación de las laderas; la susceptibilidad del relieve a la erosión por la practica de *tumba, roza y quema*; el terraceo o nivelación de superficies, debido a la construcción de viviendas o de obras de infraestructura (camino, carreteras, presas, bordos, etc.).

A partir de la interacción de todos los elementos mencionados, se entiende el desarrollo de formas de relieve erosivas y acumulativas. En el primer caso, se puede citar como ejemplo, a los circos de erosión (activos e inactivos), las coronas de

deslizamiento, los escarpes de desprendimiento, saltos de cabecera, el efecto de zapa y el desarrollo de dolinas, entre otros. Dentro de las formas acumulativas más representativas, se identificaron rampas y mantos coluviales, lóbulos asociados a deslizamientos de tierras y el desarrollo de angostas pero largas terrazas y llanuras de inundación; todas las formas mencionadas serán analizadas de manera independiente más adelante.

### *Estribaciones de la Sierra Madre Oriental*

En esta categoría se incluyen estructuras montañosas que no alcanzan gran altitud, ni guardan continuidad en el territorio. Son consideradas como parte de la SMO por presentar una correspondencia en cuanto a la litología, estructura y edad. Por localizarse en la periferia del conjunto montañoso principal (SMO), pueden ser consideradas como premontañas y en este estudio se han clasificado como

## **1.2 Sierras Menores**

Son representativas del sector este; desde El Progreso, localizado en el extremo SE, hasta la población conocida como Tenampulco (cerca del límite N-NE). Están constituidas de lutitas y arenisca, la edad de estos materiales está comprendida desde el Cretácico Superior hasta finales del Plioceno. Se disponen en secuencias alternadas que definen estratos delgados, con distintos estados de deformación (plegamiento), que ponen de manifiesto la magnitud de los esfuerzos tectónicos a los que estuvo sometido este territorio en su proceso de emersión. Hay que mencionar, la existencia de evidencias que se relacionan a eventos de compresión-levantamiento, con fases volcánicas de tipo fisural. Los relieves que se vinculan a dicha actividad corresponden a mesas de lava.

La morfología de las sierras menores, en general es *suavizada* a causa de una abundante acumulación de piroclastos que mantean y, por tanto, disimulan los rasgos

abruptos. El origen de estos materiales volcánicos, es la caldera de los Humeros, que los expulsó a fines del Plioceno Superior e inicio del Pleistoceno (Yáñez, *et. al.*, 1982).

Los depósitos volcánicos condicionan el drenaje dendrítico muy denso; debido a la poca resistencia que presentan a la erosión fluvial. En este sentido, las sierras menores son una región de aporte de sedimentos a las llanuras aluviales de los ríos Colorado, Gachupinate, Mesonate y Tecolutla.

### **1.3 Montañas Aisladas**

Son parte de la SMO, por tanto, las características geológicas y estructurales son similares a la de los dos incisos anteriores. La razón de hacer una explicación aparte consiste en evidenciar la separación o desmembramiento que presentan estas estructuras respecto al sistema montañoso principal (SMO).

La erosión fluvial es responsable, en parte, de la situación mencionada, al igual que la potente cubierta piroclástica que sepulta de manera parcial a un conjunto montañoso menor (lomeríos), en donde sobresalen las porciones de mayor altitud (entre 200 y 260 msnm) a manera de *montañas isla*. Esta situación se puede observar en el borde centro-norte del mapa geomorfológico.

#### *Estribaciones del Cinturón Volcánico Transmexicano*

El Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) cruza la República Mexicana a la altura del paralelo 20°, constituido por rocas volcánicas de distinta composición, que han sido emitidas por numerosos aparatos volcánicos; algunos de ellos forman las principales alturas del país. Se desarrolla sobre la margen suroccidental de la Placa de Norteamérica, como resultado de la subducción de las Placas Rivera y Cocos a lo largo de la Trincheras de Acapulco (Ferrari, 2000).

La región de Libres-Oriental, localizada entre los estados de Puebla y de Veracruz, es una cuenca endorreica que tuvo su origen a partir de la obstrucción de sus sistemas fluviales, debido a la acumulación de distintos tipos de material volcánico. Esto dio como resultado el desarrollo de numerosos cuerpos lacustres durante el Cuaternario.

Una de las principales estructuras volcánicas que integran esta región es la caldera de los Humeros, su formación (colapso) generó la expulsión de numerosos flujos piroclásticos a fines del Plioceno Superior e inicio del Pleistoceno (Yáñez *et al.*, 1982). De esta manera, el relieve preexistente fue manteado con piroclastos de distintos espesores, de acuerdo con la cercanía, lejanía y dirección que tuvieron lugar las explosiones. La orientación general de este proceso explosivo fue hacia el NW, de esta manera la Sierra Madre Oriental (conocida con el nombre local de Sierra Norte de Puebla) y las estribaciones de la Llanura Costera del Golfo, presentan la influencia de este suceso.

#### **1.4 Cubiertas piroclásticas**

En el territorio de Cuetzalan los detritos volcánicos provenientes de la caldera de los Humeros sobreyacen a las premontañas asociadas a la SMO. En el mapa geomorfológico se observan en el sector E, de manera más precisa en los relieves que se han clasificado como sierras menores (1.2) y montañas aisladas (1.3). Estas unidades representan un rango altitudinal intermedio entre la SMO y sus sectores más bajos, los cuales definen las siguientes morfologías:

##### **a) Tabular**

Esta región representa un conjunto de plegamientos sepultados por potentes cubiertas piroclásticas de aproximadamente 2 m de espesor. De esta manera, las crestas anticlinales se presentan como lomeríos continuos que se orientan al SW-NE (Fig. 19), y definen una configuración fluvial de tipo enrejado; se localizan entre el Río Apulco y el poblado Ayotoxco de Guerrero.





Fig. 19 Lomeríos tabulares que semejan *lomos de ballena* con altura de 20 a 40 m; al SW del poblado de Tenampulco.

### **b) Convexa**

Las cuestas de origen sedimentario (monoclinales) son el posible relieve preexistente, que se relaciona con la geometría que se describe. Estas estructuras se encuentran sepultadas por detritos volcánicos de por lo menos 10 m de espesor, que fueron visibles en campo. Sobre estos materiales, susceptibles al transporte fluvial, se ha favorecido el desarrollo de drenaje dendrítico muy denso, y subdendríticos. En otros tiempos, estos sistemas fluviales tuvieron una mayor importancia erosiva que la observada en la actualidad. Los pastizales y pendientes moderadas en esta zona, amortigua el efecto modelador de los escurrimientos, la reptación y la generación de incipientes surcos fluviales, son los procesos presentes en este sector (Fig. 20).

Otra particularidad de este relieve son las orientaciones preferenciales, al NE. Las llanuras aluviales del río Tecolutla son las fronteras naturales de estas secuencias de lomeríos convexos y simétricos; ocupan el extremo NE del mapa geomorfológico.



Fig. 20 Lomeríos convexos que semejan *cúpulas simétricas* en las cercanías del poblado el Chacal. Las micro terrazas que se observan son resultado de un activo proceso de reptación de las cubiertas de piroclastos.

## **1.5 Mesas de lava**

Su origen se vincula a los procesos de compresión-levantamiento que dieron origen a la SMO. Durante este proceso de deformación tectónica, se generaron fallas profundas que soportaron una actividad volcánica fisural (Terciario Tardío); como resultado, se originaron extensas superficies de lava (coladas de lava superpuestas) que fueron coronando distintos sectores de la SMO.

Es posible que el proceso de levantamiento y de actividad volcánica fueran eventos contemporáneos, lo que sugiere que, debido a los movimientos tectónicos diferenciales en el proceso de levantamiento, los mantos de lava se hayan fragmentado, esta situación hipotética aunada con un proceso erosivo continuo (saltos de cabecera), a lo largo del tiempo definió morfologías mesiformes, relictos de ellas son las que se localizan en el centro-este del mapa geomorfológico.

La superficie de las mesas de lava, en todos los casos, se inclina tres grados hacia el norte. De las existentes, destacan por su extensión, la del poblado de Cuaxocotla con seis kilómetros de eje mayor, y otra con cinco km de extensión máxima, en la que se asienta el poblado Las Mesas (Fig. 21).

Los procesos de modelado que actúan sobre estas superficies no son significativos, incluso se puede afirmar que presentan una estabilidad por ahora aparente. Con condiciones similares se presentan los escarpes limítrofes de estas estructuras, en este caso la exuberante cubierta vegetal no favorece el desarrollo de procesos exógenos importantes.



Fig. 21 A) Mesa el Zapote; B) Superficie de lava donde se encuentra localizado el poblado Las Mesas. Ambas estructuras en algún momento eran una superficie continua de lava, su fragmentación se debió a una intensa actividad fluvial remontante ocurrida en el pasado, que terminó por separarlas.

## II . RELIEVE EXÓGENO

El constante modelado de la superficie terrestre lleva a la creación de formas de relieve erosivas y acumulativas. La actividad exógena actúa en estrecha relación con los procesos contrarios, los endógenos.

El intemperismo (destrucción *in situ* de las rocas); la erosión (transporte de partículas) y la acumulación, son factores que están involucrados en la creación del relieve exógeno. En esta secuencia llega a tener más importancia un agente modelador que otro; esta situación es determinante en la identificación, caracterización y clasificación de las formas resultantes en grupos genéticos. De esta manera fue posible identificar en la zona de estudio, conjuntos de origen fluvial, de disolución (cársticas) y de tipo gravitacional; cada uno de ellos está integrado por una variante erosiva y otra acumulativa.

### A *Erosivo fluvial*

En este rubro se analizan las depresiones lineales que tienen su origen por la acción fluvial (destrucción mecánica de las rocas); en este proceso influye la litología (susceptibilidad a la erosión); la presencia de estructuras disyuntivas; la inclinación y morfología del terreno (entre los más importantes). De los factores mencionados depende la distribución e integración de los cauces en patrones definidos. Si bien el principio genético es el mismo, el nombre distintivo o jerarquía depende de las dimensiones que alcanza cada forma de relieve. De esta manera se reconocen barrancos, cañadas y cañones; el análisis de estas formas de relieve se realiza a partir de los siguientes apartados:

## **2.1 Valles Fluviales**

### **a) Menores a 20 m de profundidad**

En este grupo se incluyen corrientes estacionales y permanentes que presentan un flujo encauzado; tienen amplia representación y se trata de cauces de primero y segundo orden. Se disponen muy cerca de los parteaguas, son característicos de la zona montañosa, en donde la inclinación del terreno determina su carácter erosivo. Otro aspecto que favorece su desarrollo es la susceptibilidad del sustrato a ser transportado por los escurrimientos; es el caso del sector E, donde las cubiertas de detritos volcánicos son más potentes y permiten una excavación rápida. En ambos casos, los patrones de drenaje son dendríticos y subdendríticos.

### **b) Entre 20 y 40 m**

Son valles que presentan mayor desarrollo en la vertical y tienen un perfil transversal en "U"; morfología que denota una dinámica fluvial equivalente en la vertical y la horizontal. Estos escurrimientos representan órdenes de corriente entre tercer y quinto orden; definen patrones de drenaje subdendríticos con un control estructural manifiesto en alineamientos y deflexiones fluviales en los cauces; también es común que este tipo de escurrimientos se emplace entre contactos litológicos o geomorfológicos. Estos ríos se identifican con facilidad en el mapa geomorfológico, como los afluentes de los principales escurrimientos de este territorio.

Estos fluvios se definen como colectores naturales de cauces de menor jerarquía, pero con una actividad remontante significativa que tiene desarrollo a partir de numerosos saltos de cabecera (caídas de agua); a lo largo del año siempre tienen agua y su capacidad de carga en temporada de lluvias es elevada. Estas condiciones cambian en la medida que el agua escurre por sustratos calizos expuestos; sin cubierta

piroclástica que sirva de sellador y que evite el paso del agua corriente a niveles freáticos subterráneos, como es el caso de los territorios fluviales endorreicos localizados en la región de Ixtepec-Ozelonacacaxtla; Atlequizayán-Fernando Allende y Cuetzalan del Progreso-Xalpantzingo. Todos ellos localizados en la porción centro y suroeste del mapa geomorfológico.

### **c) Mayores a 40 m**

Valles profundos de laderas abruptas verticales o escalonadas, son las formas de relieve que se caracterizan en este apartado. Cuando las condiciones geológica y tectónicas favorecen que la erosión fluvial tenga un mayor significado en sentido vertical, tienen desarrollo cañones con vertientes estrechas y profundas. Pero, si los procesos de modelado dominan en la horizontal, los valles pueden desarrollar entre sus vertientes anchuras de varias decenas de metros, cuando esto sucede las formas resultantes reciben el nombre de cañadas (Fig. 22).

Cañones y cañadas, por las dimensiones que presentan son las formas de erosión fluvial más significativas. Estas estructuras presentan perfiles en “V” y en “U” ; los fondos planos son frecuentes en la segunda variante y denotan la existencia de llanuras de inundación angostas y alargadas (intermontanas), como las que se localizan en las cercanías del poblado de Mazatepec, asociadas al río Apulco; o a lo largo de curso del Ajajalpan (sector SE y extremo NW del mapa geomorfológico, respectivamente). Los patrones de drenaje característicos son del tipo angular, rectangular y de meandros *encajados*; en todos los casos se refleja la influencia de las estructuras disyuntivas. De esta manera, el conocimiento de la historia geológica de la región se hace necesaria para entender la evolución geomorfológica de esta zona.

En el mapa geomorfológico que se presenta, es posible observar una clara asociación entre los cañones-cañadas y los procesos gravitacionales; en particular con las caídas y los deslizamientos. Si bien ambos tipos serán analizados más adelante, en este apartado hay que mencionar que la densidad y la magnitud de los deslizamientos

que se encuentran diferenciados en el mapa mencionado, se originaron como resultado de una probable inestabilidad tectónica (reactivación de fallas), ocurrida a fines del Pleistoceno y principios del Holoceno.

Con base en lo anterior, se puede afirmar que los deslizamientos de tierras que ocupan las laderas de los principales valles (Zempoala, Tehuacate, Tozán, Apulco y Ajajalpan: W de la zona de estudio), no son actuales. Si bien se reconocen estructuras primarias en todos los casos, en la mayoría de ellos existen sistemas de cárcavas y barrancos que han comenzado a dismantelar el material deslizado (entre más antiguos la red fluvial está más integrada). Los depósitos más grandes han presentado reactivaciones recientes, asociadas a las lluvias extraordinarias de septiembre-octubre de 1999.



Fig. 22 Cañada Quezapa, cercanías del poblado de Mazatepec; el predominio de secuencias de areniscas y lutitas sobre las de calizas, condicionan el desarrollo en la horizontal de este valle. Se observan evidencias de por lo menos cinco deslizamientos en la ladera desprotegida de vegetación.

## 2.2 Río Tecolutla

La llanura aluvial del Río Tecolutla representa el nivel de base local de la zona que se estudia (40 msnm), representa un sector muy pequeño con respecto a toda su

cuenca de captación. Los relieves que se asocian a su dinámica son característicos de la parte septentrional del territorio de Cuetzalan y han sido clasificados de la siguiente manera:

#### **a) Cauce principal**

Es el responsable de los constantes cambios que sufre su llanura de inundación; además de concentrar los escurrimientos y acarreos detríticos de los principales afluentes que tienen su origen en la SMO, su trayectoria describe meandros (libres), que han divagado por toda la extensión de su planicie. A partir de estos, se favorecen morfologías efímeras o de temporada, debido a que se destruyen y se forman otras nuevas en cada crecida, como las que se analizan a continuación.

#### **b) Cauces abandonados**

Son resultado de un cambio de curso del río principal, algunos de ellos se reactivan en tiempo de lluvias o crecidas estacionales. Por lo general, estos cauces se encuentran en un nivel ligeramente superior a la llanura de inundación de aguas estables. En tiempo de lluvias son los conectores entre meandros abandonados de los tipo *haz de buey o de media luna*, de esta manera se integran de nuevo a la dinámica fluvial; también llegan a controlar la morfología de las terrazas.

#### **c) Rastros fluviales**

Ponen en evidencia la constante movilidad del curso del río Tecolutla, por tanto son cambiantes; su aparición, actividad y densidad, dependen de la precipitación. Los rastros fluviales describen morfologías fragmentadas de meandros, así mismo, trayectorias lineales interrumpidas y, en la mayoría de los casos, representan el límite inferior entre terrazas fluviales (cuando se disponen en gradería); algunos de ellos contienen agua inmovilizada.

### **2.3 Circo de erosión fluvial**

Se presentan con morfología de anfiteatro, tienen el borde superior escarpado y suelen coincidir, en algunos casos, con el parteaguas. Su desarrollo se asocia a un proceso constante de erosión remontante a partir de saltos de cabecera y desprendimientos de rocas y detritos. Sin embargo, su competencia a la erosión depende del arreglo de los materiales, composición litológica, orientación, inclinación de las laderas donde se desarrollan y existencia o ausencia de cubierta vegetal. Debido a los factores mencionados varían en morfología y tamaño. De acuerdo con su dinámica se clasificaron en:

#### **a) Activos.**

Con intensa actividad remontante y gravitacional, definen una importante inestabilidad en la cabecera de los escurrimientos. Por lo general, no presentan un buen desarrollo de cubierta vegetal. Durante el trabajo de campo fue posible observar que los cambios de uso del suelo, de forestal a agrícola, favorecían el desarrollo o crecimiento de estas formas.

#### **b) Inactivos.**

Su característica es la estabilidad, tiene que ver un cambio en la inclinación del terreno que inhibe la actividad remontante y la consecuente inestabilidad de las laderas que definen el anfiteatro. La presencia de un sustrato vegetal bien desarrollado es otro factor en contra de la actividad del proceso erosivo (Fig. 23).





Fig. 23 Circo de erosión inactivo, en la cabecera de la cañada Quezapa, la actividad remontante característica de los circos de erosión, se encuentra inhibida por la presencia de una densa cubierta vegetal y una inclinación del terreno que no favorece la presencia de saltos de cabecera activos.

#### **2.4 Salto de cabecera**

Se refiere a una ruptura de pendiente abrupta en el perfil longitudinal de un río, y se relaciona con contactos litológicos (diferente susceptibilidad a la erosión) o escarpes de falla. Los que se identificaron en la zona de estudio. Se deben a contactos geológicos. El primero de ellos se localiza al SW de Coxquihui; hace evidente el contacto entre las calizas del Cretácico Inferior y la secuencia de calizas-lutitas del Cretácico Superior. El segundo, tiene desarrollo entre calizas-lutitas del Cretácico Superior y depósitos de ceniza volcánica del Terciario Superior, este último se observó al NE del poblado de Mazatepec.

#### *B Acumulativo Fluvial*

Formas terrestres que se originan por la sedimentación o acumulación de detritos transportados por las corrientes fluviales. La variedad y dimensiones de las formas resultantes dependen de la intensidad del proceso erosivo y de la capacidad de carga de las corrientes. Los aluviones del Cuaternario son los principales componentes de los relieves que se analizan a continuación:

## 2.5 Llanura aluvial

Es un territorio donde predomina la acumulación o aluvionamiento, representa la zona de influencia actual o funcional del cauce, esta característica es el principal argumento para diferenciarla. El terreno presenta una diferencia altitudinal poco significativa. La morfología de sus depósitos (aluviones) define bancos o bordos de aluvionamiento, así como superficies dispuestas en distintos niveles (terrazas).

### a) Inundable

Es posible distinguir dos tipos de planicies, la primera corresponde a la del Río Tecolutla, con inclinación de 3° hacia el sur, su altitud promedio es de 40 m y sobre esta superficie es posible observar numerosos rastros fluviales, marcas que ponen de manifiesto constantes cambios del curso fluvial (migración de meandros). En la estación húmeda del año, existe una alta probabilidad de inundación de los sectores más próximos al cauce, por un tirante de agua en movimiento menor a un metro (Fig. 24).



Fig. 24 Llanura aluvial del Río Apulco, en época de lluvias el cauce inunda con tirantes de agua en movimiento de menos de un metro en extensas áreas de la planicie aluvial.

El grado de afectación puede ser mayor en presencia de lluvias extraordinarias (asociadas a ciclones), en el recorrido de campo realizado por las planicies fluviales, se observaron rastros de inundación; enramadas atrapadas en las copas de los árboles a una altura de tres metros (Fig. 25).



Fig. 25 Llanura de inundación del Río Apulco, se observa junto al árbol una persona que detiene un estadal de tres metros de altura; nivel máximo que alcanzan las aguas fluviales en lluvias extraordinarias. Es posible distinguir la inclinación de árboles más jóvenes en dirección del flujo que tuvieron las aguas.

El segundo tipo de planicie, de este inciso, son parte del sistema de afluentes principales del Río Apulco. Estas superficies son más pequeñas que las anteriores; su altitud se encuentra en un rango de 60-80 m (entre 20 y 30 m de altura relativa con respecto a las anteriores) y están limitadas por elevaciones de poca altura o conjuntos de lomeríos (Fig. 26).



Fig. 26 Llanura del río Gachupinate, corresponde al segundo grupo de estas estructuras. Al ser más pequeñas se observan con claridad sus límites, en este caso se trata de secuencias de lomeríos.

Por presentar límites precisos, estos terrenos también se conocen como planicies intermontanas. En estos territorios son frecuentes inundaciones *relámpago o flash*; se producen de manera natural cuando algunas tormentas ocasionales vierten grandes cantidades de lluvia sobre pequeñas cuencas de captación. Aunque las inundaciones relámpago son de corta duración, sus efectos son devastadores para los habitantes del entorno; ejemplo de lo anterior son las planicies donde se localizan los poblados de Coyutla y Adolfo Ruiz Cortines (extremo NW del mapa geomorfológico).

## **b) De inundación máxima**

Representa la zona potencial de máxima crecida, este nivel se puede alcanzar cuando se presentan lluvias excepcionales. En otras palabras, se considera el límite máximo de influencia del río cuando este no es capaz de evacuar grandes volúmenes de agua y ocasiona inundaciones en terrenos que incluso, ante la presencia de lluvias excepcionales, se mantienen fuera de la influencia de las aguas; este es su principal rasgo distintivo.

Este tipo de superficies ocupan algunos bordes de la planicie principal del Río Tecolutla; de igual manera se reconocen en las angostas superficies planas asociadas a los afluentes principales que drenan la zona de montaña (SMO). Su morfología es angosta, ligeramente inclinada hacia el cauce y en planta, es alargada; su altitud oscila entre 80 a 100 m.

## **2.6 Terrazas fluviales**

En el paisaje fluvial los sistemas de terrazas son significativos, ya que por un lado manifiestan un proceso acumulativo; y por otro, representan la erosión o incisión del cauce en material aluvial (zapa). Es decir, existe una primera etapa donde se produce un ensanchamiento lateral del cauce (excavación y aluvionamiento), por tanto, crea una llanura aluvial. En una segunda etapa, el río concentra su acción erosiva en la vertical y excava un nuevo cauce, de esta manera abandona o *cuelga* la llanura inicial; este proceso se repite en la formación de cada terraza.

En el origen de las terrazas tienen relación la tectónica y el clima, sin embargo, resulta difícil asociar las terrazas a un proceso en específico. Se observó en campo que algunas de ellas son de temporada o estacionales (Fig. 27). Se forman durante una crecida, cuando la corriente ocupa todo el cauce y hace crecer las barras aluviales; el estiaje las deja confinadas dentro del lecho mayor, en el cual se sobre-excava el lecho menor o canal encajado, formando así la terraza.

Si bien en el mapa geomorfológico las terrazas no están diferenciadas respecto a su posición con el cauce, con el fin de establecer correlaciones genéticas, en campo fue posible identificar al menos tres grupos; las bajas, las medias y las altas.



Fig. 27 Terraza baja o estacional en el Río Apulco; el nivel de la crecida se observa en las enramadas que están atoradas, hasta un metro de altura, a lo largo de los árboles que crecen en las cercanías del cauce. Al fondo, se observa un nivel acumulativo más estable; corresponde a terrazas medias.

Las primeras, al estar influenciadas por la crecida estacional, su permanencia es efímera, sufren cambios constantes o incluso llegan a desaparecer. Las terrazas medias son formas de relieve más estables y representan el nivel de crecida estacional máximo (Fig. 27). Por último, las terrazas altas marcan el límite de influencia fluvial, se consideran como las llanuras de inundación excepcional (Fig. 28). Por ser terrenos libres de la influencia de inundaciones estacionales o de lluvias extraordinarias, se aprovechan como terrenos agrícolas y para asentamientos humanos, como el poblado El Chacal (Fig. 29).



Fig. 28 Terraza alta, representa el nivel de crecida excepcional del Río Apulco; se consideran terrenos estables. Estas superficies se aprovechan para la agricultura, en especial para el cultivo de cítricos, maíz y frijol.



Fig. 29 Terraza alta del Río Apulco, en ella se encuentra asentado el poblado El Chacal; en la imagen de la derecha se observan los materiales que constituyen el zócalo de la misma estructura.

### C. *Erosivo cárstico*

El paisaje cárstico es un conjunto de formas de relieve debido a la disolución diferencial de roca caliza. Es de dos tipos: exocárstico (superficial) y endocárstico (subterráneo). En este apartado se analizan dos estructuras que pertenecen al primer grupo.

#### **2.7 Cuencas endorreicas**

Representan sistemas fluviales *cerrados*, en donde los escurrimientos se concentran en una depresión cárstica (dolina), en este punto el agua pasa a formar parte del sistema fluvial subterráneo de la región; ya que el agua no es retenida, sino que se infiltra por numerosas cavidades de distinto tamaños (ponoras, sumideros o simas), que se localizan en el centro de la dolina o en sus bordes (Fig. 30).



Fig. 30 Ponora: pequeño sumidero por el cual el escurrimiento superficial es succionado a niveles subterráneos. El ejemplo que se muestra se localiza en el borde de una dolina, que forma parte del sistema fluvial endorreico, localizado al sur del poblado de Cuetzalan del Progreso.

En estas cuencas los valles fluviales terminan de forma abrupta para confinarse en una depresión (dolina); por lo que reciben el nombre de valles compuestos fluvio-cársticos (Pedraza, 1996) o valles ciegos (Llopis, 1970). Son formas características del S y SW de la zona de estudio, y una más se encuentra en el centro-este.

## **2.8 Dolinas**

Son depresiones que en perfil tienen forma cónica, troncocónica (invertida) o irregular. En planta son semicirculares, de fondo plano o de embudo, y por lo general, presentan paredes escarpadas. Su significado geomorfológico consiste en que conectan las aguas superficiales y subterráneas.

En su origen se debe a la infiltración y la disolución, especialmente en estructuras disyuntivas. En su evolución hay un continuo retroceso de sus vertientes, lo que aumenta la superficie y volumen (Fig. 31). En el fondo se lleva a cabo un proceso de descalcificación que favorece el hundimiento progresivo.



Fig. 31 Dolina en las cercanías de Mazatepec; presenta un alargamiento debido a la influencia de las estructuras disyuntivas en el proceso de disolución. Se deduce la existencia de un estrato potente de *terra rossa* (eluvión) que es el soporte de la práctica agrícola.

Las dolinas observadas durante el recorrido de campo, presentaban diámetros menores a seis metros. Por esta razón no aparecen todas las de este tipo en el mapa geomorfológico. Es cuestión de escala, lo mismo pasa con numerosas ponoras, sumideros, cavernas y campos de lapiaz (Fig. 32).



Fig. 32. Lapiaz en las afueras de Cuetzalan del Progreso, con morfología de *diente de perro*.

#### *D. Erosivo gravitacional*

Cada año la SMO se ve afectada por fenómenos meteorológicos (huracanes, depresiones tropicales y lluvias frontales). Estas condiciones aunadas a un suelo



efímero (35 cm de espesor), una litología de estratos plegados-fracturados y facies sedimentarias con diferente resistencia a la erosión, no sólo favorecen el desarrollo del paisaje cárstico, sino además los procesos gravitacionales. Los movimientos identificados en la región de Cuetzalan son deslizamientos rotacionales y caídas o desprendimientos.

## 2.9 Deslizamientos

Son movimientos de suelo, detritos y rocas, en una masa compacta que resbala sobre otra, de la misma composición o diferente. Ocurre a partir de una ruptura, a partir de la cual se forma el escarpe principal, perpendicular a la dirección de la pendiente. Un deslizamiento rotacional posee un plano de fricción (la superficie sobre la cual resbala una masa rocosa) de forma cóncava o de cuchara, y los bloques que los constituyen se inclinan hacia atrás (Fig. 33).

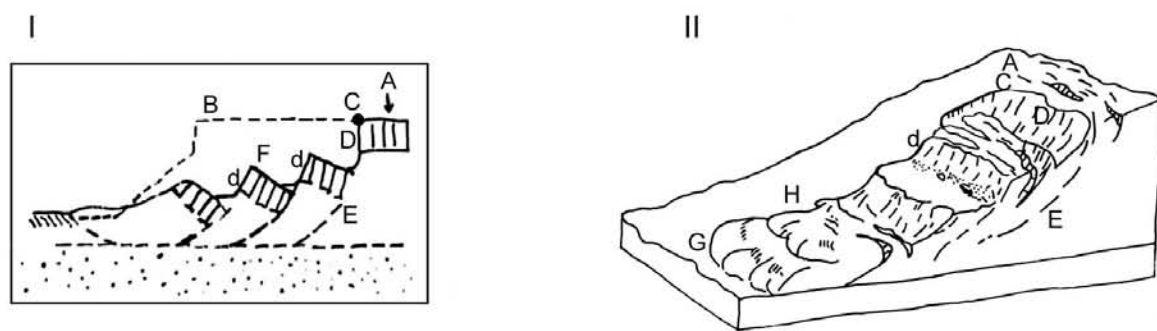


Fig. 33 Esquema de un deslizamiento rotacional, I en perfil y II en bloque diagramático: A. Superficie original; B. Material deslizado; C. Corona de desprendimiento; D. Escarpe principal; d. Escarpe secundario; E. Superficie de rotura o deslizamiento principal; F. Bloques; G. Lóbulo frontal; H. Depósito (Varnes, 1958, en: Pedraza, 1996).

Se sugiere para Cuetzalan, como hipótesis, un mecanismo de ocurrencia que inicia con el crecimiento de grietas en superficie; por consiguiente se favorece la filtración de agua a través de materiales que lo permiten (lutitas y margas muy fracturadas y areniscas); una vez que llega a un sustrato sólido y menos permeable (calizas y lutitas compactas), por capilaridad se satura el sustrato suprayacente, debido a su poca consolidación se pierde la cohesión y fricción interna de los materiales, lo

que conlleva al movimiento ladera abajo; los planos de estratificación llegan a funcionar como plano de fricción, las superficies de falla pueden funcionar del mismo modo.

Después de analizar la distribución y densidad de los deslizamientos rotacionales en la zona de estudio, se puede afirmar que existen dos variantes del mismo fenómeno, con características muy particulares, que llegan a determinar su distribución espacial.

El primer grupo que se distinguió tiene relación con cañones y cañadas (inciso: 2.1: c); que representan grandes formas de erosión fluvial localizadas en la mitad sur de la zona de estudio. Es importante hacer hincapié en el diseño angular y rectangular que presentan dichos valles, ya que de esta manera se hace evidente el arreglo ortogonal de las fallas en el terreno y es un factor condicionante en el patrón de drenaje.

La ocurrencia de este tipo de deslizamientos se asocian a lineamientos tectónicos importantes, estos ponen en evidencia una fase de deformación ocurrida a fines del Pleistoceno. La edad de los deslizamientos es incierta ya que se ha observado que siguen siendo activos. Como ejemplo de lo anterior, se presentan las siguientes aproximaciones promedio, obtenidas a partir del mapa topográfico, y medidos en los tres deslizamientos más grandes que existen en la zona de estudio: la distancia entre los extremos de la corona fue de 2380 m; 350 m de altura en la superficie de resbalamiento y 750 m de eje mayor en los depósitos, distancia alcanzada.

Tomando en cuenta todos los procesos de ladera ocurridos en las vertientes de los principales cañones y cañadas de la región de Cuetzalan, se tienen los siguientes promedios: distancia entre los extremos de la corona, 1080 m; 260 m de altura en la superficie de resbalamiento y 460 m de eje mayor en los depósitos. Los deslizamientos a los que hacemos referencia fueron regenerados cuando se presentaron las lluvias

extraordinarias en septiembre y octubre de 1999. La mayoría de ellos presentó reactivación en sus depósitos; las coronas y las superficies de deslizamiento prácticamente no cambiaron.

El segundo grupo de deslizamientos no presenta una asociación tan directa con el drenaje de grandes dimensiones, son más pequeños y el material involucrado son suelos y detritos (Fig. 34). La localización es aleatoria y no se pudo reconocer un arreglo aparente. El mayor número de estos fenómenos, tuvieron su origen en septiembre-octubre de 1999; no obstante, su ocurrencia no es de extrañar durante una precipitación importante.



Fig. 34 Deslizamiento rotacional en bloques ocurrido en septiembre de 1999, fotografía tomada en 2005. Se observa que sus rasgos morfológicos primarios se han disimulado por efecto de la erosión, no obstante se pueden reconocer la corona, la superficie de deslizamiento y los bloques de rotación (cercañas del poblado el Chacal).

#### **a) Corona**

Es un área de donde el material inicia su deslizamiento, es la zona de ruptura para dar origen a los deslizamientos rotacionales. El intemperismo, el espesor del

suelo, la inclinación del terreno y el acomodo de los materiales tienen un papel importante en su expresión: curvas o semirrectas.

### **b) Superficie de deslizamiento**

Es aquella sobre la cual se desliza el material removido, también se conoce como plano de deslizamiento y presenta la mayor resistencia al movimiento. Tiene una fuerte cohesión en los materiales que la definen; las dimensiones son variables y dependen del volumen y distancia que alcanza el material removido.

## **2.10 Caídas**

Es el movimiento de caída libre de rocas, detritos y suelos. Este tipo de movimiento se sucede en vertientes de fuerte inclinación o francas, y se produce por rebote, rodamiento, caída libre o se desliza ladera abajo; su ocurrencia extremadamente rápida lo hace un fenómeno peligroso (Fig. 35).

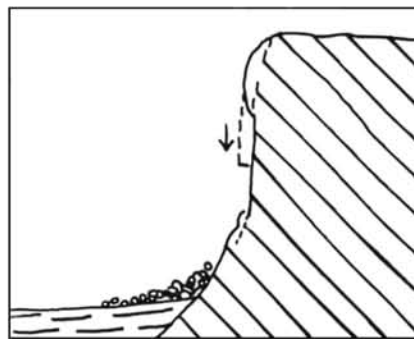


Fig. 35 Esquema del desprendimiento o caída. (Varnes, 1958, en: Pedraza, 1996).

En el mapa geomorfológico se representan con rasgos lineales, relacionados con cauces fluviales importantes, ya que el socavamiento de la ladera define su origen; como en algunos sectores de los ríos Zoquita, Tozán, Apulco y Zempoala (Fig. 36).



Fig. 36 Escarpe de desprendimiento y talud (depósito coluvial), ladera noreste del Río Cohuat, tributario del Zoquita; ambos forman parte de la cuenca del Río Apulco.

### **a) Escarpe**

Representa el límite superior de los deslizamientos, define una superficie de inclinación pronunciada, incluso cercana a los noventa grados. La morfología que presenta dicha es lisa cuando coinciden los planos de estratificación con la dirección de la pendiente. Cuando existe una alternancia entre materiales con distinta susceptibilidad a la erosión, suelen ser en gradería invertida. En ambos representa la fuente o sector más dinámico.

### **b) Laderas susceptibles**

Su origen se debe al resultado de la fuerza de erosión que se lleva a cabo en la base de las laderas, una vez que el material cae o colapsa, queda una nueva superficie expuesta a los agentes exógenos, la cual puede colapsar en cuanto influyan los procesos de erosión, al pie de algunos de ellos se observan rampas coluviales.

## *E. Acumulativo Gravitacional.*

En este apartado se analizan las características morfológicas de los materiales que están vinculados, tanto en los deslizamientos como en las caídas.

### **2.11 Lóbulos de deslizamiento**

Se asocian a los deslizamientos rotacionales en bloques, hay que mencionar que, en la mayoría de los casos, ya no es posible observar la morfología inicial. En esto

tiene que ver el trabajo de la erosión que suaviza al depósito; o bien, la transformación del lóbulo inicial en varios flujos, como respuesta a importantes aportes de agua en el momento que se está sucediendo el movimiento de la ladera. La expresión más común que se observó en el campo fue de lomeríos dispersos.

Las características texturales de los materiales, que constituyen a estos depósitos, se consideran como mal clasificados, heterométricos y polilitológicos.

## **2.12 Rampas coluviales**

Son los depósitos que se localizan al pie de los escarpes de caídas, en la mayoría de los casos definen rampas continuas con inclinaciones de hasta 30 grados. Este material coluvial presenta un arreglo textural muy evidente, las rocas más grandes están en las porciones más distales de toda la acumulación, las partículas de menor tamaño se disponen cerca de la pared o ladera.

Al encontrarse en contacto con los escurrimientos, funciona como una protección de la ladera contra el proceso de zapa. En las crecidas los escurrimientos integran grandes volúmenes de detritos a su carga, una vez desmantelado el depósito, la ladera queda expuesta al proceso erosivo y se inicia de nuevo el ciclo que favorece las caídas.

### *Símbolos complementarios*

#### **1. Contactos reales**

Corresponden a los límites bien definidos entre formas de relieve.

#### **2. Contactos inferidos**

Es el límite o frontera aproximado entre unidades geomorfológicas, los contactos no son precisos. Pero son confiables.

### **3. Parteaguas secundarios**

Límite de cuencas fluviales endorreicas en superficies cársticas.

### **4. Dirección del flujo**

Indican el sentido de desplazamiento de los depósitos (deslizamientos y caídas).

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

## **5. 2 Susceptibilidad a procesos peligrosos en el territorio de Cuetzalan.**

Las amenazas geomorfológicas que se presentan en Cuetzalan son de origen exógeno y representan agentes modeladores del relieve, su magnitud depende de las condiciones ambientales del territorio. Sin embargo, pueden ser magnificados por fenómenos extraordinarios: lluvias asociadas a depresiones o tormentas tropicales, frentes fríos o la combinación de éstos con los anteriores.

Cabe mencionar que fenómenos catastróficos, como el ocurrido en septiembre-octubre de 1999 tienden a repetirse. El primer registro que hace referencia a lluvias excepcionales fue en 1944, consecuencia de una perturbación tropical; asimismo, los huracanes que ocasionaron estragos en la región fueron: Hilda en 1955; Hallie en 1966; Beulah en 1967; Dolores y Fifí en 1974; Diana en 1990; Gert en 1993 y, por último, en 1999 la depresión tropical 11-14 aunadas a la estacionalidad de un frente frío (SEPROCI, 2000; Lugo, *et al.*, 2005).

El objetivo de este apartado es elaborar un mapa que muestre aquellas regiones más susceptibles a presentar amenaza por inundaciones o procesos de

ladera; esta cartografía presupone que la dinámica futura de las laderas y de las planicies, tendrán pautas similares al presente; por tanto, su aplicación consiste en identificar las zonas de peligro con la finalidad de reducir sus efectos, en algunos casos devastadores sobre la población y las obras de infraestructura.

El mapa de susceptibilidad surge a partir del análisis geomorfológico y de los procesos modeladores evidenciados por el análisis morfométrico. El proceso consistió en unificar la información cualitativa y cuantitativa, donde también se incluye la geología, recopilación hemerográfica y de campo. A partir de esta información se determinan niveles de susceptibilidad, los cuales se explican a continuación.

## **I TERRENOS SUSCEPTIBLES A PROCESOS DE LADERA.**

➤ Laderas con mayor susceptibilidad a presentar deslizamientos y caídas; corresponden a valles profundos intermontanos (cañones y cañadas) que presentan vertientes con inclinación  $>15^\circ$ .

Están constituidas por rocas sedimentarias del mesozoico (calizas, lutitas, areniscas, margas y conglomerados) que se encuentran intercaladas y presentan distintos grados de resistencia a la erosión; asimismo, hay fuertes contrastes altitudinales en distancias cortas. Los cañones y las cañadas, siguen el patrón ortogonal de fallas que caracterizan a la SMO, al menos en este sector. Las laderas donde se presentan corresponden a los ríos Ajajalpan, Tehuancate, Tozán, Cuichat, Apulco y Zempoala.

Los deslizamientos a los que se hace mención en este inciso, son de grandes dimensiones y son anteriores a septiembre-octubre de 1999. Esto quiere decir que fenómenos de esta categoría no sólo se asocian a lluvias extraordinarias, en este caso podría ser a fallas activas o a sismos; o bien a los dos.



- Laderas potenciales a presentar deslizamiento y caída, representan una superficie de transición entre el borde superior del valle y la porción cumbral, la inclinación del terreno se mantiene en un rango entre  $10^{\circ}$  y  $15^{\circ}$ .
  
- Superficies con baja probabilidad a presentar procesos de ladera, representan áreas con geometría convexa-recta y constituyen la porción cumbral de la zona de montaña (SMO). La inclinación del terreno es inferior a  $10^{\circ}$ .
  
- Territorios con relativa estabilidad, la geometría de estas áreas es de ondulada a plana, se relaciona con los lomeríos, presenta reptación y deslizamientos superficiales de suelo.

En los dos últimos rubros tienen desarrollo formas de disolución: dolinas, uvalas y cavernas. Estos relieves son frecuentes en las inmediaciones del poblado de Cuetzalan del Progreso, la creciente actividad turística motiva la construcción de hoteles de varias plantas sin tener en cuenta este tipo de procesos. A la fecha no se tienen noticias de colapso o subsidencia del terreno asociado a la actividad cárstica, mas no se descarta la posibilidad.

## **II. TERRENOS BAJOS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES.**

Se considera inundación cuando el flujo de las aguas superficiales es excesivo y cubre una porción de tierra que, por lo general, permanece seca. A partir de esta idea se establecen niveles de susceptibilidad con base en criterios morfométricos, geomorfológicos y de campo.

El área con mayor susceptibilidad a inundarse es la llanura aluvial formada por el Río Tecolutla y sus principales afluentes; a pesar de presentar una morfología homogénea, se distinguen ligeras variaciones que modifican la dinámica fluvial.

➤ Llanuras de crecida extraordinaria; ocupan un valle previamente excavado, por tanto presenta un ligero control estructural. Representa la llanura fluvial más alta de todo el conjunto definiendo una morfología de plataformas encajadas y de anchuras variables; se localizan en la mayoría de los casos en las estribaciones de la zona de montaña (SMO). La hacen susceptible a inundaciones la coincidencia de factores meteorológicos como ciclones y frentes fríos en temporada de lluvia.

Cuando llegan a ocurrir eventos extraordinarios, los impactos sobre los poblados son devastadores ya que la inundación se genera cuando los cauces exceden su capacidad de conducción y desbordan. En este proceso, la capacidad de carga y de transporte del río es más fuerte y de mayor velocidad, por lo que arrastra desde limos y arcillas hasta árboles y rocas de tamaños mayores. Estos sucesos ocasionan la pérdida de vidas humanas y de bienes materiales, como viviendas, cultivos, caminos, carreteras y líneas de telecomunicaciones.

➤ Llanura de máxima crecida, son territorios ligeramente inclinados en dirección al río principal, en donde existen aluviones estabilizados que definen antiguos lechos fluviales: terrazas. Con lluvias extraordinarias, estas superficies son propensas a inundarse, sobre todo en la temporada de ciclones.

Este territorio se considera de susceptibilidad media respecto a las inundaciones, ya que si no afectan a vidas humanas, si representan un riesgo o pérdida para la, e incluso la infraestructura carretera. Este tipo de inundación antecede a la máxima crecida o extraordinaria.

➤ Llanura de inundación estacional, representa la porción más deprimida de la zona de estudio; en ella destacan ligeras ondulaciones que llegan a formar diques naturales, crestas o barras en media luna. En este territorio hay numerosos canales con diversa anchura que propician inundaciones en la temporada de lluvias.

El mapa de susceptibilidad es una herramienta de aplicación inmediata, sobre todo en situaciones críticas, donde el factor tiempo es vital. Este documento es un respaldo a la toma de decisiones, encaminada a la prevención, protección o evacuación de la población.

Si la información que se presenta es tomada en cuenta antes de la ocurrencia del fenómeno extraordinario, se puede hacer una planeación encaminada a la prevención. En el momento en el que se presente la contingencia, el mapa muestra los territorios de mayor impacto o afectación. Una vez que el periodo de crisis ha terminado, la información sigue siendo válida en el marco de poder utilizar las vías de acceso menos afectadas, para evacuar o ayudar a la población.

Por otro lado, también es posible establecer normas para la construcción de carreteras, presas, muros de contención, albergues y para la utilización del terreno con fines agrícolas o de asentamientos humanos.

Como se puede apreciar, en el estudio de las amenazas geomorfológicas se debe de considerar el factor antrópico como un agente modelador del relieve e incluso catalizador de procesos naturales peligrosos. En este marco, mucha o poca intervención en la modificación del paisaje natural puede magnificar, detonar o acelerar los procesos exógenos y cambiar su carácter *natural* a peligroso.

## **Conclusiones**

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

El análisis morfométrico es una metodología confiable, con la cual se elaboró una primera clasificación del relieve (montañas, lomeríos y planicies); con el análisis de cada mapa temático y el cruce de información se realizó uno de zonificación, relacionado con la ocurrencia de procesos de ladera e inundaciones.

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

Con el análisis geomorfológico se integró la información geológica, genética, morfológica, dinámica y edad relativa del relieve; con lo que se realizó una cartografía geomorfológica coherente, estructurada y con límites precisos que ayudaron a un mejor entendimiento de las condiciones del relieve de Cuetzalan. En este marco fue posible reconocer dos génesis en un solo tipo de proceso de ladera: unos consecuentes del clima y otros de la influencia de la tectónica (estructuras disyuntivas). Los primeros se relacionan con lluvias extraordinarias, las distancias entre los extremos de las coronas son de entre 550 a 1500 m. El segundo grupo está relacionado con la inestabilidad tectónica, son de grandes dimensiones y se alinean de acuerdo con la traza de fallas que también controlan a los cañones y cañadas más importantes de este sector. La distancia promedio entre las puntas de las coronas de desprendimiento es de 2380 m; su distribución obedece al arreglo estructural de la Sierra Madre Oriental.

Mediante el análisis geomorfológico y morfométrico se establecieron parámetros morfodinámicos precisos como: ocurrencia, magnitud, áreas de influencia, secuencialidad y tipología de los distintos procesos modeladores del relieve que pueden representar un peligro.

A partir de las variables anteriores se obtuvo el mapa de peligros, el cual permite identificar y conocer aquellas áreas susceptibles a afectación de manera precisa y de fácil identificación. Mediante este documento se logra la reducción de la vulnerabilidad física, que conlleva a la prevención y mitigación del evento catastrófico.

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

El mapa de peligros es una herramienta de aplicabilidad inmediata, sobre todo en situaciones críticas, donde el factor tiempo es vital. Este documento es un respaldo en la toma de decisiones encaminada a la prevención, protección o evacuación de la población.

## Bibliografía

- Alcántara Ayala, I., (2000). Landslides: ¿Deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. **Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía**. UNAM. No. 41, pp. 7-25.
- Ayala-Carcedo, F. y Olcina-Cantos, J. (Coordinadores) (2002). Riesgos Naturales. Ariel Ciencia, Barcelona, 1512 p.
- Bashenina, B., Velikovskais, B., Drovlovsky, P., Zarushkaia, B., Mirnova, V. Talskaia, N. y Feldbarg, E., (1975). Cartografía Geomorfológica. Universidad Estatal de Moscú. Moscú 262 p. (en ruso).
- Beck, U. (1993). De la sociedad industrial a la sociedad en riesgo: Cuestiones de supervivencia, estructura social e ilustración ecológica. **Revista de Occidente**. Madrid. Núm. 150, pp. 19-40.
- Borga, M., Dalla Fontana, G., Da Ros, D. y Marchi L. (1998). Shallow Landslide hazard assessment using a physically based model and digital elevation data. **International Journal of Geosciences. Environmental Geology**, August.
- Burton, A., Bathurst, C. (1992). Physically based modelling of shallow landslide sediment yield at a catchment scale. **International Journal of Geosciences. Environmental Geology**. Springer August, v. 35 n. 2 – 3.
- Capra, L., Lugo-Hubp, J. y Borselli, L. (2003a). Mass movements in tropical volcanic terrains: the case of Teziutlán (México): **Engineering Geology** 69, (3-4), pp. 359-379.
- Capra, L., Lugo-Hubp, J. y Dávila-Hernández, N. (2003b). Fenómenos de remoción en masa en el poblado de Zapotitlán de Méndez, Puebla: relación entre litología y tipo de movimiento: **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**, 20 (2): 95-106.
- Cardona, A. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo. En: Maskrey, A. (compilador) (1993). **Los desastres no son naturales**. La RED. Tercer mundo editores. Colombia. Pp. 51-74
- Cardona A. (1993). Manejo Ambiental y prevención de desastres: Dos temas asociados. En: Maskrey Andrew (compilador) (1993). **Los desastres no son naturales**. La RED. Tercer Mundo. Santafe de Bogota, pp. 75-93.
- Carrasco, R. M., de Pedraza, J., Martín-Duque, J. F., Mattera, M., Bodoque, J., Sanz, M. A., y Díez-Herrero, A. (2002). Cartografía de zonas de susceptibilidad o propensión a los movimientos en masa en el Valle del Jerte (Sistema Central Español). En: Ayala-Carcedo F. J. y Corominas J., (Eds.) **Mapas de**

**susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España.** Instituto Geológico y Minero de España, Serie: Medio Ambiente, Núm.4, Madrid, pp. 133-154.

Centro Nacional de Prevención de Desastre (CENAPRED). (2001). Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de desastre en México. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana. México. 225 p.

Chavelos-Lluck, F. (1991). Geología y Prospección Minera en el Aire Libre, municipio de Teziutlán Puebla. Tesis Licenciatura. Ingeniero Geólogo. UNAM, México, D. F. pp. 1- 33.

Corominas, J. (2002). Predicción temporal de los movimientos de ladera. En: Ayala-Carcedo F. J. y Corominas J., (Eds.) **Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España.** Instituto Geológico y Minero de España, Serie: Medio Ambiente, No.4, Madrid, pp. 37-54.

Chacón, J., Irigaray C., Fernández del Castillo, T. Y El hamdouni, R. (2002). Susceptibilidad a los movimientos de ladera del sector Central de la Cordillera Bética. En: Ayala-Carcedo F. J. y Corominas J., (Eds.) **Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España.** Instituto Geológico y Minero de España, Serie: Medio Ambiente, No.4, Madrid, pp. 83-96.

Chiappy-Jhones, C., Gama, L., (AAVV) (2000). Caracterización de los paisajes terrestres actuales de la Península de Yucatán. **Investigaciones Geográficas**, Núm. 42, pp. 28-39.

Cruz-Castillo, M. y Delgado-Argote, L. (2000). Los deslizamientos de la carretera de cuota Tijuana – Ensenada, Baja California. **GEOS, Unión Geofísica Mexicana A. C.** Boletín informativo, época II, volumen 20, pp. 418 – 432.

Corominas, J. (2002). Predicción temporal de los movimientos de ladera. En: Ayala-Carcedo, F. y Corominas, J., (Eds.) **Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España.** Instituto Geológico y Minero de España, Serie: Medio Ambiente, No.4, Madrid, pp. 37-54.

Cuanalo de la Cerda, H. (1990). Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Centro de edafología. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, D. F. 30 p.

Derrau, M. (1991). Geomorfología. Editorial Ariel, segunda edición, España, 442 p.

Ferícola, N. (1988). Evaluación de Riesgo. **Simposio Regional sobre la problemática de las Sustancias Químicas y la Salud Ambiental.** Río de Janeiro, 13 - 15 septiembre. Pp. 65-75.

- Ferrari, L. (2000). Avances en el conocimiento de la Faja volcánica Transmexicana durante la última década. **Boletín de la sociedad Geológica Mexicana**. Instituto de Geología, UNAM, volumen LIII, pp. 84 – 92.
- Flores-Lorenzo, P. (2002). Inestabilidad de las laderas y riesgos asociados en Teziutlán, Puebla. Tesis de licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México, D. F. 120 p.
- Frausto-Martínez, O. (1995). Análisis morfotectónico del sector oriental del curso bajo del río Balsas, Michoacán, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, UNAM, México, D. F. 159 p.
- García-Arizaga, M. (1995). Origen y evolución de un deslizamiento de tierras en Metztlán, Hidalgo, México. Tesis de Maestría, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, D. F. 138 p.
- García-Romero, A. (1993) Análisis Geomorfológico de la distribución de riesgos naturales en la delegación Cuajimalpa de Morelos, Distrito Federal. Tesis de licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, UNAM, México, D. F., 163 p.
- Gómez-Arizmendi, A. (1998). Análisis geomorfológico del Volcán Popocatepetl escala 1: 20 000. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de filosofía y letras. UNAM, México, D. F. 171 p.
- González-Partida, E., Barragán-Reyes, R. y Vázquez-Escobedo, R. (1992). Distribución y condiciones de formación de los minerales de arcilla en un campo geotérmico- El caso de los Húmeros, Estado de Puebla. En: **Instituto de Geología**, UNAM, 10 (1), pp. 47-53.
- González-Salinas, F. y Contreras-Galeana, M. (2001). Análisis de fenómenos naturales que presentan amenaza, en el municipio de Acambay, Estado de México. Tesis de Licenciatura, UAEM, Facultad de Geografía, Estado de México, 94 p.
- Guerra-Peña, F. (1980). Fotogeología. Facultad de ingeniería, UNAM, México, D. F. 337 p.
- Guillén-Guerrero, M. (1996). Geomorfología de la vertiente occidental del Volcán Iztaccihuatl. Tesis de licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, UNAM, México, D. F., 180 p.
- Gutiérrez-Elorza, M. (2001). Geomorfología Climática. Ediciones Omega, Barcelona, 642 p.
- Guzzetti, F. (1998). Hidrological triggers of diffused landsliding. **International Journal of Geosciences. Environmental Geology**. Springer, pp. 79 – 80.



- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1987). Anuario estadístico de Puebla. México, D. F., pp. 1-31.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1988). Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del Estado de Veracruz. México, D. F., 69 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1990). Geología de la República Mexicana. México, D. F., 88 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1998a). Anuario estadístico de Veracruz. México, D. F., pp. 1-48.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1998b). Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del Estado de Veracruz” INEGI. México, D. F., 69 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2000a). Anuario estadístico de Puebla. Tomo II, México, D. F., pp. 1-33.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2000b). Tabla de Población Total e índice de Masculinidad según municipio al 14 de febrero de 2000. Estados Unidos Mexicanos. **XII Censo General de Población y Vivienda de 2000. Resultados Preliminares INEGI**. Anuario Estadístico de Puebla 2000.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2000c). Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del Estado de Puebla. México, D. F., 57 p.
- Irigaray, T. y Chacón, J. (2002). Métodos de Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante SIG. En: Ayala-Carcedo F. J. y Corominas J., (Eds.) **Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España**. Instituto Geológico y Minero de España, Serie: Medio Ambiente, Núm. 4, Madrid, pp. 21-36.
- López-Ramos, E. (1950). Secciones Cretácica y Jurásica al Norte de Teziutlán, Puebla, México. En: **Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros**, pp. 549-555.
- López-Ramos, E. (1975). Historia Geológica de México, D. F., V. II, pp. 308- 325
- Lugo, J. (1989). Diccionario Geomorfológico. Con equivalentes de los términos de uso más común en alemán, francés, inglés y ruso. UNAM, Coordinación de ciencias, Instituto de Geografía. México, D. F. 337 p.
- Lugo-Hubp, J. (1990). El relieve de la República Mexicana. Instituto de Geología. UNAM. Revista Volumen 9, número 1, pp. 82 – 111.
- Lugo-Hubp, J. (1991). Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos). Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F. 128 p.

- Lugo, J, (CENAPRED), Arq. Marcelino Lira Cortés y Lic. Ignacio Macías Jiménez, de Protección Civil del Estado de Puebla. (Inéditos) Informe de la visita realizada a Totomoxtla, Puebla; el día 27 de noviembre de 1999.
- Lugo-Hubp, J., Vázquez-Conde, M., Melgarejo-Palafox, G., García-Jiménez, F. y Matías-Ramírez, G., (2001). Procesos gravitacionales en las montañas de Puebla: **Ciencia y Desarrollo**. Vol. XXVII, núm. 157, pp. 24-33.
- Lugo, J., Zamorano, J., Capra, L., Inbar, M. y Alcántara, I., (2005). Los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, octubre de 1999: Causa y efectos: **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**, Vol. 22, núm. 2, pp. 212-228
- Llopis, L. (1970). Fundamentos de la Hidrología Cárstica. Introducción a la geoespeleología. Ed. Blume, Madrid, 269 p.
- Macías, J. (1993). Perspectivas de los estudios sobre desastres en México. En: Maskrey Andrew (compilador). **Los desastres no son naturales**. La RED. Tercer Mundo. Santafe Bogota, pp. 95-109.
- Márquez, A., Oyarzun, R., Ignacio, C. y Doblas, M. (2001) Southward migration of volcanic activity in the central Mexican Volcanic Belt: asymmetric extension within a two-layer crustal stretching model. **ELSEVIER. Journal of Volcanology and Geothermal Research**. 112, pp. 175 – 187.
- Olivas-Ramos, M. (1953). Influencia del Macizo de Teziutlán sobre los sedimentos Mesozoicos y Terciarios, y posibilidades petrolíferas de éstos. **Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros**, pp. 167-176.
- Oropeza-Orozco, O., Zamorano-Orozco, J. J. y Ortiz-Pérez, M. A. (2001). Peligros geomorfológicos en México: remoción en masa. En: Garza Salinas y Rodríguez Velásquez (coordinadores). **Los desastres en México. Una perspectiva multidisciplinaria**, UNAM, Universidad Iberoamericana, México, D. F., pp. 149-184
- Parrilla, G. y Palacios. D. (1995). Bibliografías específica sobre un proceso de ladera: flujo masivo de depósito (debris flows), cuando es generado por lluvias intensas en áreas no volcánicas. **Anales de Geografía de la Universidad Complutense**, núm. 14 ser. Publicaciones, pp. 255 - 266.
- Pedraza-Gilsanz, J. (1996). Geomorfología. Principios, Métodos y Aplicaciones. Editorial Rueda, Madrid, 414 p
- Pereyra-Díaz, D. y Gómez-Romero, L. (1999). La frecuencia de días con nortes fuertes y su asociación con ENSO en el puerto de Veracruz, México. **GEOS, Unión Geofísica Mexicana A.C.** Boletín informativo. Vol. 19, México, D.F.,

- Romero, G. y Maskrey, A. (1993). Cómo entender los desastres naturales. En: Maskrey Andrew (compilador). **Los desastres no son naturales**. La RED. Tercer Mundo editores. Santafe, Bogota, pp. 1-8.
- Rueda-Gaxiola J. (1998). El origen del Golfo de México y de sus subcuencas petroleras mexicanas, con base en la palinoestratigrafía. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**, vol. 15, núm.1. pp. 78-86
- Santacana, N., Baeza, C., Corominas, J., de Paz A. y Marturiá, J. (2002). Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales mediante el uso de un sistema de información geográfica. Aplicación a la Población de Lillet (Pirineo Oriental). En: Ayala-Carcedo F. J. y Corominas J., (Eds.) **Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España**. Instituto Geológico y Minero de España, Serie: Medio Ambiente, No.4, Madrid, pp. 55-82.
- Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP) (1982). Geología de la República Mexicana. SPP, México, D. F., 82 p.
- Secretaría de Protección Civil (SEPROCI) (2000). Atlas de Riesgos del Estado de Puebla. Gobierno Constitucional del Estado de Puebla, Secretaría de Gobernación. México, D. F. 225 p.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) (1995). Monografía Geológico-Minera del estado de Puebla. Consejo de recursos minerales, coordinación general de minería, México, D. F. 25-81
- Silva-Romo, G.; Mendoza-Rosales, C., Campos-Madriral, E. (2001). Elementos de Cartografía Geológica. Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D. F. 292 p.
- Simonov, Y. G. (1985). Análisis morfométrico. Ed. Universidad Estatal de Moscú. 30 p. (en ruso).
- The American Institute of professional Geologist (1997). Guía ciudadana de los riesgos geológicos. Ilustre Colegio oficial de Geólogos de España. Editado en versión española por L. Suárez & M. Regueiros, Madrid
- Thornbury-William, D. (1960). Principios de Geomorfología. Traducción Dr. Juan Carlos A. Turnes. Editorial Kapeluz. Buenos Aires, 627 p.
- Toscana-Aparicio, A. (1998). Análisis Geomorfológico detallado del volcán Ajusco y zonas adyacentes. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México, D. F. 97p.
- Toscana-Aparicio, A. (2003). Paulina. La configuración de un desastre. Tesis de maestría. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México, D. F. 199 p.
- Villalón-Semanat, M. (2003). Guía para la elaboración de inventarios de elementos en riesgo en áreas vulnerables a inundaciones y sismos en Costa Rica.

**International Institute for Geo-information science and earth observation  
enschede, The Neatherlands (ITC). (Inédito)**

Viniegra-Osorio, F. (1965). Geología del Macizo de Teziutlán y de la Cuenca Cenozóica de Veracruz. **Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros**, XVII, pp. 101- 163.

Viniegra-Osorio, F. (1966). Paleogeografía y Tectónica del Mesózoico en la Provincia de la Sierra Madre y Macizo de Teziutlán. **Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros**, XVII, pp. 145-171

Viniegra-Osorio, F. (1992). Geología Histórica de México. Facultad de Ingeniería, División de Ciencias de la Tierra, UNAM, México, D. F. 213p.

Wilches-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad Global. En: Maskrey Andrew (compilador) (1993). **Los desastres no son naturales**. La RED. Tercer mundo editores. Colombia, pp. 95-109.

Whittow, J. (1984). Dictionary of physical Geography. Penguin books, Great Britain. 591p.

Yánez-García, C. y García-Durán, S. (1982). Exploración de la Región Geotérmica de los Húmeros- Las Derrumbadas, Estados de Puebla y Veracruz. Comisión Federal de Electricidad, México, D. F., 71p.

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

### **Páginas web.**

[http://La jornada/ la jornada de oriente.](http://La_jornada/)

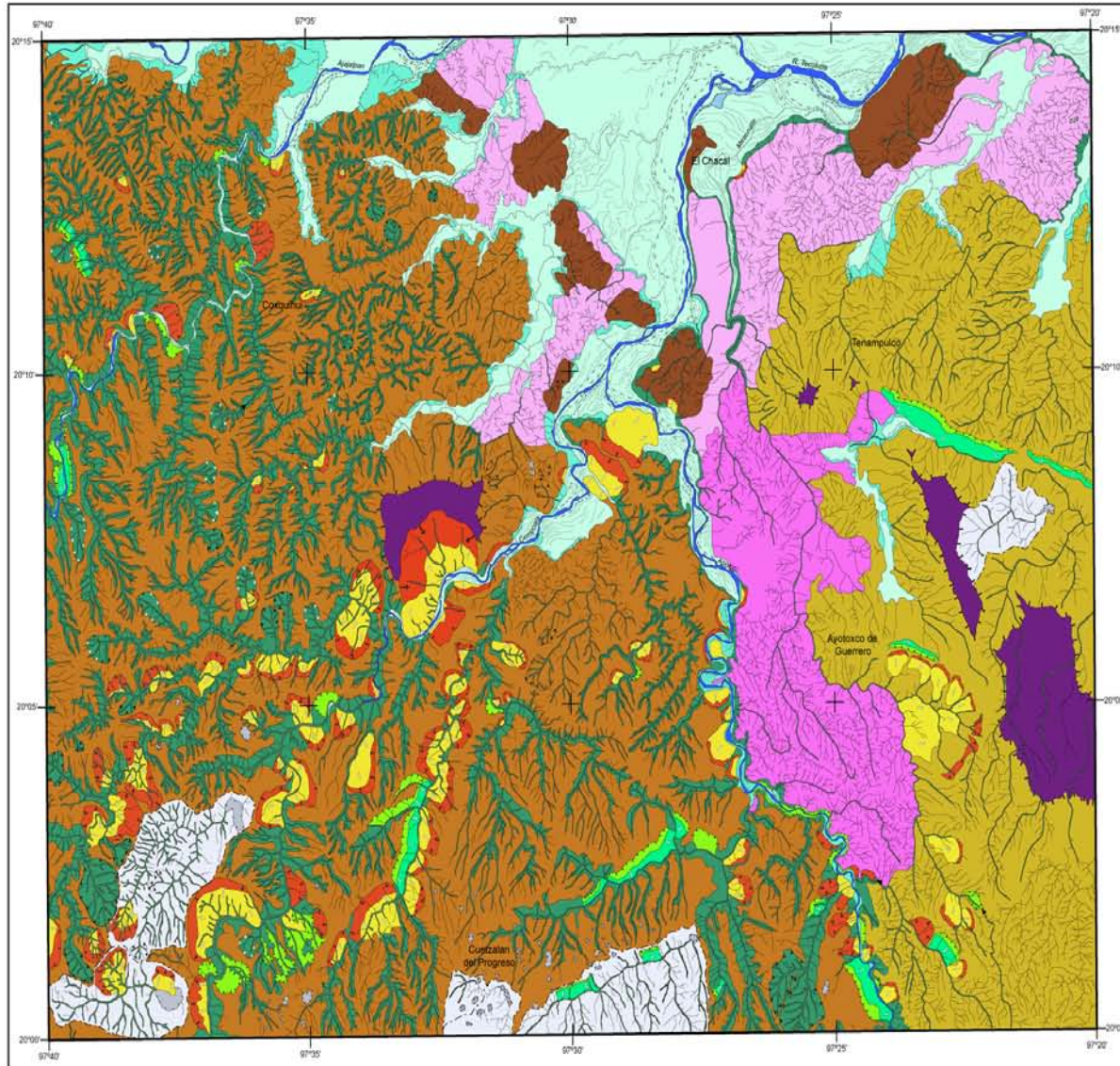
### **Cartografía**

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1983). Carta Geológica Poza Rica (F14-12), a escala 1: 250 000.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1993). Carta Topográfica Cuetzalan (F14D85), a escala 1: 50 000.

### **Fotografías aéreas**

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1995) Fotografías aéreas blanco y negro de Cuetzalan (F14D85), a escala 1: 75 000.



Mapa Geomorfológico de Cuetzalan y zonas adyacentes.

**I RELIEVE ENDÓGENO MODELADO**

**Sierra Madre Oriental**

- 1.1 Laderas de montaña intensamente modeladas; constituidas en su mayor parte de calizas

**Estribaciones de la Sierra Madre Oriental**

- 1.2 Sierras Menores.
- 1.3 Montañas aisladas

**Estribaciones del Cinturón Volcánico Transmexicano**

1.4 Cubiertas piroclásticas con morfologías:

- a) Tabular
- b) Convexa

1.5 Mesas de lava

**II RELIEVE EXÓGENO**

**A. Erosivo fluvial**

2.1 Valles fluviales:

- a) Menores a 20 m de profundidad
- b) Entre 20 y 40 m
- c) Mayores a 40 m

2.2 Río Tecolutla

- a) Cauce principal
- b) Cauces abandonados
- c) Rastros fluviales

2.3 Circo de erosión fluvial

- a) Activo
- b) Inactivo

2.4 Salto de cabecera

**B. Acumulativo fluvial**

- 2.5 Llanura aluvial
  - a) Inundable
  - b) De inundación máxima
- 2.6 Terrazas fluviales

**C. Erosivo cárstico**

- 2.7 Cuenclas endorreicas
- 2.8 Dolinas

**D. Erosivo Gravitacional**

- 2.9 Deslizamientos
  - a) Corona
  - b) Superficie de deslizamiento
- 2.10 Caídas
  - a) Escarpe
  - b) Ladera susceptible

**E. Acumulativo Gravitacional**

- 2.11 Lóbulos de deslizamiento
- 2.12 Rampas coluviales

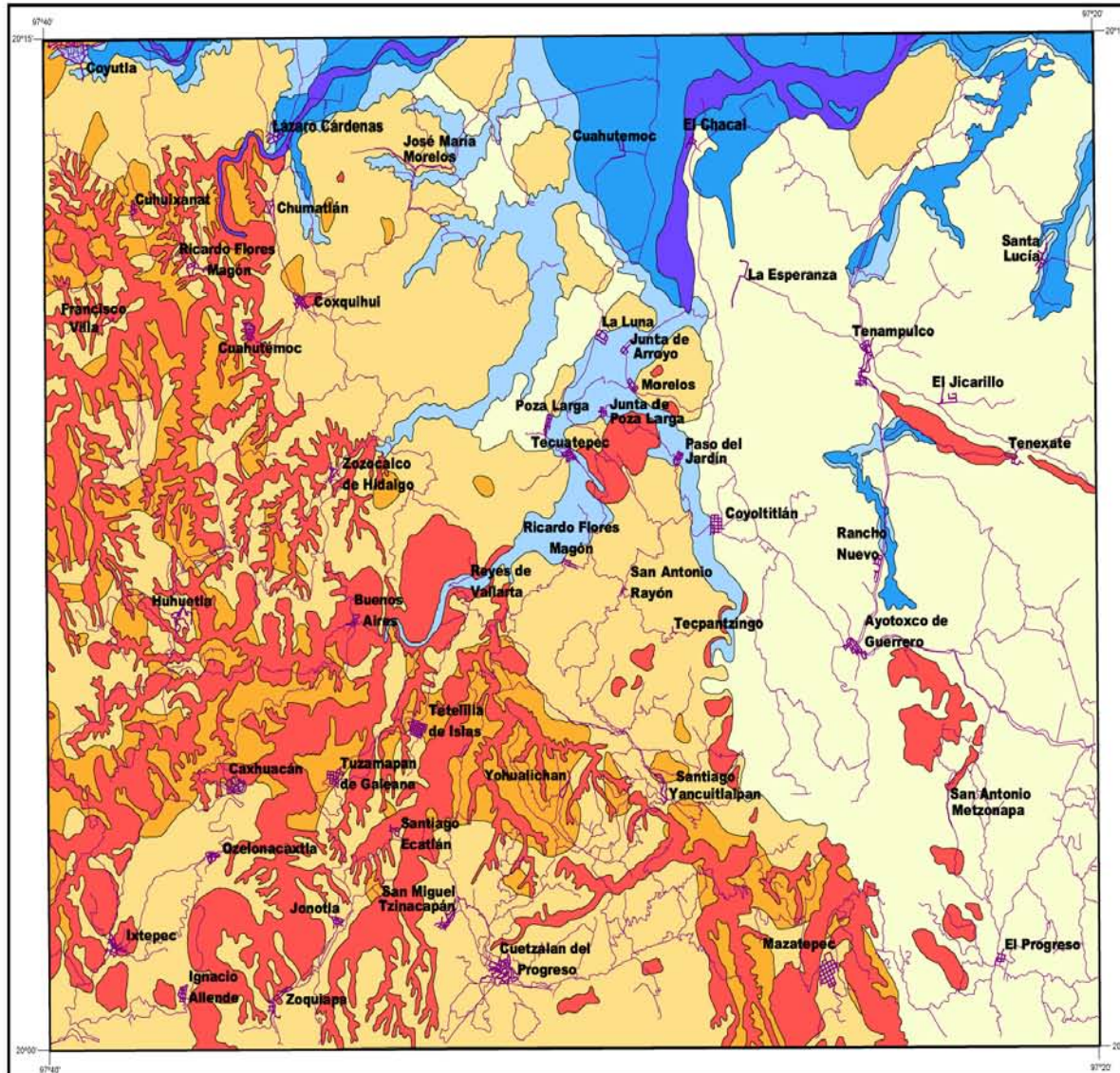
**Símbolos complementarios**

- 1. Contactos reales
- 2. Contactos inferidos
- 3. Parteaguas secundarios
- 4. Dirección del flujo

0 5 km

Tesis UNAM  
Filosofía y Letras  
Colegio de Geografía  
Nayeli Zaragoza Zúñiga  
Asesor Dr. José Juan Zambrano Orozco

Principales poblados y rutas de acceso.



## Susceptibilidad a procesos de ladera e inundaciones en el territorio de Cuetzalan.

### I. Terrenos susceptibles a procesos de ladera

- Laderas con mayor susceptibilidad a presentar deslizamientos y caídas; corresponden a valles profundos intermontanos (cañones) que presentan vertientes con inclinaciones  $>15^\circ$ .
- Laderas potenciales a presentar deslizamientos y caídas, representan una superficie de transición entre el borde superior del valle y la porción cumbre, la inclinación del terreno se mantiene en un rango entre  $10^\circ$  y  $15^\circ$ .
- \* Superficies con baja probabilidad a presentar procesos de ladera, representan áreas con geometría convexa-recta y constituyen la porción cumbre de la zona de montaña (SMO). La inclinación del terreno está por debajo de los  $10^\circ$ .
- \* Territorios con relativa estabilidad, la geometría de estas áreas son de onduladas a planas, se relacionan a los lomeríos, esta zona se caracteriza por presentar reptación y deslizamientos superficiales de suelo.

\* En ambos rubros tienen desarrollo formas de disolución: dolinas, uvalas y cavernas. Estos relieves son frecuentes en las inmediaciones del poblado de Cuetzalan del Progreso, la creciente actividad turística motiva la construcción de hoteles de varias plantas sin tener en cuenta este tipo de procesos. A la fecha no se tiene noticia de colapso o subsistencia del terreno asociadas a la actividad turística, más no se descarta la posibilidad.

### II. Terrenos bajos susceptibles a inundaciones

- Llanuras de crecida extraordinaria; ocupa un valle previamente excavado, por tanto presenta un ligero control estructural. Representa la llanura fluvial más alta de todo el conjunto, definiendo una morfología de plataformas encajadas, de anchura variable; se localizan en la mayoría de los casos en las estratificaciones de la zona de montaña (SMO). La hacen susceptible a inundaciones la coincidencia de factores meteorológicos como: ciclones y frentes fríos en temporada de lluvias.
  - Llanuras de máxima crecida, son territorios ligeramente inclinados en dirección al río principal, donde existen aluviones estabilizados que definen antiguos lechos fluviales: terrazas. Con lluvias extraordinarias, estas superficies son propensas a inundarse, sobre todo en la temporada de ciclones.
  - Llanura de inundación estacional, representa la porción más deprimida de la zona de estudio; en ella destacan ligeras ondulaciones que llegan a formar diques naturales, crestas o barras en media luna. En este territorio se lleva a cabo la divergencia del río principal, favoreciendo así la existencia de numerosos canales con distintas amplitudes que propician inundaciones en la temporada de lluvias.
- Rutas de acceso y poblados.



Tesis UNAM  
Filosofía y Letras  
Colegio de Geografía  
Nayelli Zaragoza Zúñiga  
Asesor: Dr. José Juan Zamorano Orozco