



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA
DE
MÉXICO**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

Determinación de la vulnerabilidad ambiental y su relación con las inundaciones y los procesos de remoción en masa en la cuenca de Motozintla, Chiapas.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO EN:
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA.

PRESENTA:

SÓCRATES CARLOS VILLAR PÉREZ.

Asesora: M.C. ORALIA OROPEZA OROZCO.

Ciudad Universitaria, México D.F.

2013





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.



Primavera en el valle de México (1946). Dr. Atl.

El paisaje es:

*Para el agricultor, una promesa de cosechas;
Para el ingeniero, un campo de mediciones;
Para el militar, claro, un campo de batalla;
Para el excursionista, una serie de distancias que recorrer;
Para el geógrafo, una complicada fracción del Planeta;
Para el alpinista, un manto azul que se extiende a sus pies;
Para el ciudadano, el paisaje no existe.*

Dr. Atl.

Esta obra está dedicada:

A **Oralia Oropeza Orozco**, a quien agradezco y reconozco que fue un pilar esencial para esta etapa final de mi formación académica. Por brindarme incondicionalmente su amistad, paciencia confianza y conocimientos durante el desarrollo de mi trabajo de investigación. Todas las lecciones que me brindó para crecer como persona y estudiante. Del mismo modo, a Irene Sommer y a Pilar Fernández, por su valioso apoyo en la evaluación de método y sus amplios conocimientos geográficos y estadísticos.

Alberto Pérez Rojas, le agradezco por haberme brindado sus conocimientos, sus excelentes clases, prácticas de campo y sobre todo su amistad. Todos estos elementos fueron base primordial para mi pasión por la geografía, pero en especial por la parte física.

A **Mario Arturo Ortiz Pérez**, por sus observaciones y comentarios tan acertados en el proyecto de investigación. También a su confianza y apoyo en el ámbito profesional, y por compartir sus conocimientos y capacidad de análisis en mi formación académica (en gabinete y especialmente en campo).

De manera muy especial, quiero agradecer a **Jessica Ramírez Martínez (Jessy)**, quién estuvo día y noche apoyándome para lograr concluir esta gran etapa y meta en mi vida. Fuiste, eres y serás día a día una inspiración en lo personal y profesional. *Gracias por ser el Lucero que ilumina y guía mi camino.*

A mis **padres (Grisel e llebardo) y familia** por darme las bases y herramientas necesarias para poder iniciar mi vida e incentivar mi educación profesional.

A la familia **Ramírez Martínez** (Jessy, Doña Irma, Julieta, Don Toño, Jonathan), quiero agradecerles enormemente por abrirme las puertas de su hogar, por confiar en mí y darme lecciones de vida que me han ayudado a ser mejor persona. ¡Los quiero mucho!

A mis **amigos** que en cada momento me han apoyado, por darme el empujón y hacer de esta etapa de mi vida muy agradable: Jonathan (gracias por la compañía, apoyo y tu análisis en campo), Manuel Figueroa y Mayelli (mis maestros en los SIG), Laeticia (quien siempre confió en mí), Gabriela Hernández por mostrar siempre ese lado positivo de la vida, a mis hermosas “divinas” Jessy, Edith, Malinalli, Cynthia (por brindarme su hermosa compañía y momentos únicos) y por supuesto a Oswaldo por su buena vibra. A Cony, quién me dio su confianza y apoyo para obtener la beca del proyecto. Y por último y no menos importante, a Matute, “Pollo” y a toda la banda (por todos los momentos que compartimos y vivimos en las prácticas, viajes, reuniones, etc.).

Agradecimientos

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme las instalaciones y herramientas necesarias para mi formación como geógrafo.

Quiero agradecer el apoyo otorgado por CONACYT y a la Dra. Irasema Alcántara Ayala por permitirme participar en el proyecto “Construcción de escenarios de riesgo para la reducción de desastres: proyecto piloto en la Sierra Madre y Planicie Costera, Chiapas”. CONACYT 56624.

Al Instituto de Geografía por el apoyo de esta investigación a través de su infraestructura y el personal con el que cuenta.

Especialmente, a la señora Olga Noriega Dardón y Sonia Noriega por su amistad, hospitalidad y confianza para el desarrollo del trabajo de campo en Motozintla de Mendoza, Chiapas.

Juan Jesús Domínguez, supervisor de la Región XI Sierra Mariscal (Protección Civil de Motozintla de Mendoza), y su apoyo brindado en la salida de campo.
A mis sinodales Ana Elsa y Mary Frances por la supervisión y comentarios en el presente trabajo.

A José Juan Zamorano Orozco, por haberme dado las bases en el área de geomorfología, el análisis y reconocimiento en campo, además de la elaboración de cartografía geomorfológica.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I. MARCO CONCEPTUAL	11
1.1. Vulnerabilidad ambiental	12
1.2. Amenaza	13
1.3. Riesgo	15
1.4. Desastres	16
CAPÍTULO II. MOTOZINTLA DE MENDOZA, ANTECEDENTES HISTÓRICOS	18
2.1. Época prehispánica	19
2.2. Época colonial	22
2.3. Época independiente	24
2.4. Época contemporánea.....	25
2.5. Fenómenos hidrometeorológicos y desastres en la cuenca de Motozintla	26
2.5.1. Tormenta tropical <i>Earl</i> , 1998	27
2.5.2. Huracán <i>Stan</i> , 2005.....	31
2.5.3. Tormenta tropical <i>Agatha</i> , 2010	35
2.5.4. Lluvias torrenciales, 2010	36
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	39
3.1. Localización y fisiografía del área de estudio	39
3.2. Geología	44
3.3. Clima e hidrología.....	48
3.4. Suelos.....	53
3.5. Vegetación y uso de suelo.....	57
3.6. Aspectos socioeconómicos	60

CAPÍTULO IV. PRINCIPALES AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL Y SOCIONATURAL.....	63
4.1. Clasificación y características de los procesos de remoción en masa y erosión de suelo.....	64
4.1.1. Procesos de remoción en masa (PRM).....	64
4.1.2. Erosión del suelo.....	70
4.2. Clasificación y características de las inundaciones.....	76
4.3. Análisis geomorfológico del área de estudio.....	83
CAPÍTULO V. VULNERABILIDAD AMBIENTAL Y SU RELACIÓN CON LOS PROCESOS DE LADERA E INUNDACIONES.....	116
5.1. Análisis morfométrico.....	117
5.1.1. Mapa de pendiente del terreno.....	118
5.1.2. Densidad de disección.....	121
5.1.3. Profundidad de disección.....	126
5.1.4. Energía del relieve.....	131
5.2. Determinación de la vulnerabilidad ambiental, a partir de matrices multivariantes.....	136
CONCLUSIONES.....	141
BIBLIOGRAFÍA.....	149
ANEXOS	
1.MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA CUENCA DE MOTOZINTLA..	156
2. VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA DE MOTOZINTLA.....	156

INTRODUCCIÓN

La cuenca de Motozintla, se localiza al SE del estado de Chiapas, sus coordenadas geográficas son los paralelos 15° 18' y 15° 24' de latitud norte y meridianos 92° 10' y 92° 20' de longitud oeste. Su superficie es aproximadamente de 98.6 km², el valor máximo de altitud es de 2,699 msnm y el mínimo de 1,024 msnm, por lo que el contraste altitudinal es de más de 1,600 m lo cual se refleja en variaciones significativas desde el punto de vista climático, de distribución de la vegetación y suelos, así como de procesos geomorfológicos.

La cuenca pertenece a la región fisiográfica de la Sierra del Sur de Chiapas y a la subprovincia Volcanes de Centroamérica, ambas presentan un relieve sumamente montañosos y la elevación más importante es el volcán Tacaná, con una altura de 4,093 msnm (PEOT, 2005). La litología del área está constituida principalmente de rocas ígneas y metamórficas; es una zona tectónicamente activa donde colindan las placas de Norteamérica y Cocos, la falla más importante es la Polochic-Motagua, de desplazamiento lateral izquierdo que atraviesa la zona de oeste a este.

En esta cuenca se desarrollan varios fenómenos peligrosos como son los procesos de remoción en masa, erosión e inundaciones que han provocado varios desastres. Ejemplos de ellos son los eventos, desencadenados por precipitaciones torrenciales, ocurridos en los años de 1998 con la tormenta tropical *Earl*, en 2005 con el huracán *Stan*, y por último, en 2010 con la tormenta tropical *Agatha*.

Muchas veces, dichos fenómenos son inducidos, acelerados e intensificados por las actividades antrópicas. La intervención negativa del hombre (deforestación, introducción de agricultura, ganadería y urbanización) constituye un factor importante que ha vuelto a los ecosistemas de la cuenca vulnerables ambientalmente. Estos procesos geomorfológicos afectan no solo a los diversos tipos de vegetación sino también a los habitantes que están localizados en la zona de montaña y en el valle intermontano.

Por todo lo anterior, el principal interés de la presente investigación, es determinar el grado de vulnerabilidad ambiental de la cuenca de Motozintla en relación con los procesos de remoción en masa y las inundaciones, mediante un análisis integral del medio físico, biológico y social, este último expresado en el uso del suelo. Los resultados serán de utilidad para los tomadores de decisiones, en particular, para las de los municipios de Motozintla de Mendoza y Mazapa de Madero, con fines de protección, preservación y mitigación de riesgos ambientales, ya que a partir de la cartografía desarrollada se pueden identificar áreas susceptibles a ser erosionadas o las que se deben conservar, dónde se pueden reubicar viviendas, zonas estables para el crecimiento urbano e identificación de probables peligros geomorfológicos en el área de estudio, pero sobre todo, aportará conocimiento a la población sobre la dinámica de su entorno natural.

Se plantea como hipótesis que la vulnerabilidad ambiental, que se presenta en la cuenca de Motozintla, se debe a la degradación de los sistemas ambientales o naturales como consecuencia de las actividades antrópicas no planificadas, las cuales han ocasionado que los peligros o amenazas geomorfológicas (procesos de remoción en masa e inundaciones) se incrementen y tengan mayores repercusiones en la población.

Por lo tanto, el objetivo general es determinar la vulnerabilidad ambiental y la relación que tienen con las inundaciones y procesos de remoción en masa en la cuenca de Motozintla, Chiapas.

Los objetivos particulares son:

- Elaborar un mapa geomorfológico.
- Elaborar mapas morfométricos (pendientes, densidad de disección profundidad de disección, energía del relieve).
- Analizar el mapa base de unidades espaciales (vegetación y uso de suelo).
- Determinar la vulnerabilidad ambiental a partir de matrices multivariables.
- Elaborar el mapa síntesis de áreas vulnerables ambientalmente.

Esta investigación se desarrolla a partir de los siguientes pasos metodológicos:

- Se realizó una recopilación, revisión y selección de documentos bibliográficos y cartográficos, referente a las características bio-físicas (geomorfológicas, hidrológicas, geológicas, edafológicas, de vegetación y uso del suelo) y sociales e históricas, con la finalidad de identificar los aspectos principales que intervienen en la vulnerabilidad ambiental y los fenómenos peligrosos asociados que se presentan en la zona de estudio.
- Se llevó a cabo una revisión de documentos relacionados con los conceptos de amenazas o de peligros, vulnerabilidad ambiental, desastres, riesgos, cuencas hidrográficas, inundaciones y procesos de ladera.
- Para apoyar el trabajo en gabinete, se efectuaron 3 salidas de campo; la primera para un reconocimiento general del área de estudio; la segunda se realizó para un reconocimiento detallado de los factores físicos, socioeconómicos, usos de suelo e infraestructura, y por último; la tercera sirvió para corroborar la cartografía ya elaborada.
- Una serie de mapas morfométricos se construyó con base en la medición de curvas de nivel e inferencia del drenaje de las cartas topográficas de INEGI: Motozintla y Escuintla, escalas 1:50 000, publicadas en los años de 2001 y 2002 respectivamente, estos mapas apoyaron al análisis de vulnerabilidad ambiental.
- Se elaboró un mapa geomorfológico a partir de fotografías aéreas e imágenes de satélite de dos fechas (2006 y 2010).
- A partir de criterios de morfología de las laderas, procesos geomorfológicos, litología y red fluvial se generó un mapa de unidades morfo-tectónicas.
- Se eligió como mapa base de unidades espaciales el de uso de suelo y vegetación (Morales y Ramos, 2013), sobre éste se superponen y obtienen los datos correspondientes por cada bloque morfo-tectónico.
- Se establecieron criterios de vulnerabilidad ambiental a partir de variables: cubierta vegetal, densidad y profundidad de disección, inclinación de la pendiente y erosión del suelo, entre otras.

- Por medio del método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) de Saaty (1980) de acuerdo con Banai-Kashani (1989) se determina la vulnerabilidad ambiental mediante matrices multivariadas.
- Los datos obtenidos se integraron mediante las matrices y se trasladaron a una base de Excel para poderlos analizar y plasmar en un mapa de vulnerabilidad ambiental.
- Se elaboró una cartografía final, donde se muestran las zonas vulnerables ambientalmente en relación con las inundaciones y los procesos de ladera.
- Redacción el trabajo final.

El trabajo se estructura en cinco capítulos:

- I. **Marco conceptual.** Éste analiza información de diversos autores referente a los conceptos de vulnerabilidad ambiental, amenaza, riesgo y desastre.
- II. **Motuzintla de Mendoza, antecedentes históricos.** Trata las etapas históricas que han influido en la degradación de territorio de la cuenca y los fenómenos hidrometeorológicos más importantes.
- III. **Descripción del área de estudio.** Se elabora una relación de las características generales de la cuenca como son: Localización, fisiografía, geología, clima e hidrología, suelos, vegetación y uso de suelo y, aspectos socioeconómicos.
- IV. **Principales amenazas de origen natural y socionatural.** Aborda las características y los tipos de inundaciones y los procesos de ladera, así como también el mapa geomorfológico de la zona de estudio.
- V. **Vulnerabilidad ambiental y su relación con los procesos de ladera e inundaciones.** Se determina la vulnerabilidad ambiental utilizando toda la cartografía morfométrica y aplicando el AHP a partir de matrices multivariadas.

CAPÍTULO I. MARCO CONCEPTUAL.

En este capítulo se exponen los principales conceptos que darán sustento a la tesis: vulnerabilidad ambiental, peligro (amenaza), riesgo y desastre. Para el entendimiento integral en el ámbito de los desastres se han propuesto diversos enfoques, que proporcionarán un punto de partida en la identificación y análisis de eventos naturales como las inundaciones y los procesos de remoción en masa que se presentan en la cuenca de Motozintla, Chiapas.

A partir de que en las últimas décadas se conocen mejor los eventos de origen natural que pueden ser peligrosos y los factores que favorecen la vulnerabilidad, el estudio sistemático de los riesgos ha sido trascendental para la sociedad. Han surgido dos enfoques principales o tendencias, el primero de ellos se desarrolla en los años 40 y 50, y es conocido como visión dominante, tradicional e incluso oficial, dicho enfoque enfatiza en los riesgos de origen natural, y atribuye a las amenazas físicas como único factor de desastre y no hace relación alguna con el ser humano como modificador del espacio y sujeto principal en un desastre (Lavell, 1999; Sanahuja, 1999).

El segundo enfoque denominado alternativo, integral u holístico, surge en los años 60 y 70 y menciona que los desastres son el resultado de los aspectos histórico-sociales, es decir, son contruidos por el conjunto de procesos sociodemográficos y económicos que se han dado a través del tiempo. Este enfoque, busca la articulación de los conocimientos científicos sobre los peligros o amenazas con el conocimiento y necesidades de la sociedad potencialmente afectada por los eventos físicos destructivos (Lavell *et al.*, 2004). Por lo que es importante y necesario considerar las iniciativas y conocimientos de las ciencias sociales para prevenir los eventos físicos o naturales que originan desastres (Llanes, 2005).

Este trabajo se enfoca en la segunda vertiente, la integral u holística, ya que se reconoce que los desastres ocurridos en la cuenca objeto de análisis, además de los

fenómenos naturales tienen una gran influencia humana. Las diversas actividades socioeconómicas que se han realizado y se realizan en ella han inducido, desencadenado y acelerado los procesos generadores de desastres.

1.1. Vulnerabilidad ambiental.

Se entiende como la alteración de las condiciones ambientales debido a la intervención negativa del hombre, lo que conlleva a una debilidad e incapacidad de un ecosistema para absorber cambios y modificaciones en un espacio físico (Buch y Turcios, 2003).

El Comité Técnico Internacional del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe (2000) menciona que la vulnerabilidad ambiental es la susceptibilidad o resistencia de una región ante amenazas de origen natural o antrópico, dando como resultado un desastre. Por otro lado, Lavell (1996) argumenta este mismo concepto como la pérdida, transformación y modificación de elementos físicos y biológicos (tierra, agua, aire, flora y fauna) debido a los asentamientos humanos.

Por su parte, Wilches-Chaux (1993) le da una connotación de “vulnerabilidad natural” y “vulnerabilidad física”. La primera está referida a la desaparición de múltiples especies vegetales resistentes a condiciones ambientales severas. La segunda alude a que el espacio natural se verá afectado por los asentamientos humanos, haciendo que la infraestructura sea deficiente ante amenazas que puedan presentarse. Y dichas amenazas son descritas como una manifestación de la naturaleza, generada por la interacción de las fuerzas exógenas y endógenas, ambas están reguladas por las leyes de intercambio de sustancias y energía.

La vulnerabilidad ambiental también es entendida como la degradación acelerada y deterioro del medio a causa de la deforestación excesiva o controlada, que sufre un determinado territorio. Además, Sandoval (2006) considera que la marginación y la pobreza de la sociedad están muy vinculadas con el deterioro ambiental, convirtiendo

vulnerable al territorio, ya que la población en estas condiciones no cuenta con ninguna forma de manejo ni de conservación.

El nivel de degradación ambiental que se presenta en un territorio será el que determine su vulnerabilidad ante las amenazas, es decir que, los elementos o recursos extraídos de un área determinada hará que se debilite su capacidad de absorción o resistencia ante los efectos de fenómenos naturales. El suelo tiende a ser más susceptible a la erosión, deslizamientos de tierra, inundaciones, entre otros (Wilches-Chaux, 1998).

La vulnerabilidad ambiental es también el resultado de múltiples factores como son los antrópicos, los cuales intervienen en la transformación del paisaje, esto genera que haya una capacidad intrínseca de un sistema natural de responder ante los impactos provocados por eventos de origen natural (Lavell, 1994; Mansilla, 1996).

Si bien, la vulnerabilidad ambiental también se concibe como degradación ambiental, en este trabajo, se define como el resultado de procesos inducidos por las acciones y actividades que el ser humano realiza cotidianamente, por lo que afectará y modificará negativamente la base de los recursos naturales, propiciando así la reducción de la calidad y la productividad de un área determinada, y haciendo que los procesos físicos peligrosos se intensifiquen y sean más frecuentes, constituyéndose en un riesgo de desastre para los habitantes.

1.2. Amenaza.

Una vez determinada la vulnerabilidad ambiental de una zona, es importante saber qué amenazas existen en el territorio. Éstas también se denominan peligros y se definen como la potencialidad de ocurrencia de los procesos externos o internos de la Tierra, con cierto grado de severidad, el cual será establecido por las condiciones del territorio donde se presentan (Zaragoza, 2006). Las actividades humanas también se consideran parte de los procesos externos.

Para Romero y Maskrey (1993), el peligro está representado por un fenómeno natural, el cual puede ser permanente o pasajero. Es potencialmente dañino, y la probabilidad de que un peligro sea mayor o menor se relaciona con la ocurrencia y la extensión del impacto de un evento natural determinado (huracanes, sequías, inundaciones, hundimientos, procesos de remoción en masa, entre otros).

Lavell *et al.* (2004), explica a la amenaza como un peligro latente que presenta un fenómeno físico de origen natural, socio-natural o antropogénico, que se anticipa y puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, y los bienes y servicios. Es un factor de riesgo físico externo a un elemento o grupo de elementos sociales expuestos, que se expresa como la probabilidad de que un fenómeno se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un periodo de tiempo definido.

La verdadera amenaza surge cuando de la posibilidad teórica se pasa a la probabilidad más o menos concreta, de que uno de esos fenómenos de origen natural o humano, se produzca en un determinado tiempo y en una determinada región que no esté adaptada para afrontar sin traumatismos ese fenómeno. Esa falta de adaptación, fragilidad o *vulnerabilidad*, es precisamente la que convierte la probabilidad de ocurrencia del fenómeno en una amenaza (Wilches-Chaux, 1998).

No todo fenómeno de origen natural o humano es peligroso para el hombre, por esto mismo, Romero y Maskrey (1993) explican que un fenómeno natural se convierte en una amenaza cuando por su tipo, magnitud, intensidad, frecuencia, cobertura y lo sorpresivo de su ocurrencia es potencialmente dañino.

Cabe señalar que de las definiciones anteriores, el contexto de la amenaza está relacionado con un fenómeno de origen natural (erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra, sismos, inundaciones, incendios forestales, entre otros), presente en un espacio y tiempo dado, y además existe una población expuesta a determinada

amenaza, si estos dos factores (fenómeno natural y ser humano) se cruzan, puede decirse que se asume una condición de riesgo.

1.3. Riesgo.

Wilches-Chaux (1998), argumenta que el riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un desastre, como ya se mencionó, es la conjunción de la amenaza y la vulnerabilidad a la cual está expuesta la población, se puede expresar mediante la siguiente formulación:

$$\text{RIESGO} = \text{AMENAZA} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

Soldano (2008), describe el concepto como la probabilidad de que ocurra algún hecho indeseable, y está relacionado con factores: culturales, históricos, políticos, socioeconómicos y ambientales. Para poder medir el riesgo, la expresión más generalizada es el producto de la probabilidad de la ocurrencia del evento considerado por las consecuencias esperadas (condiciones de vulnerabilidad de la comunidad asentada en una región).

Otro concepto es el de Llanes (2005), quien argumenta que el riesgo es la destrucción o pérdida esperada obtenida de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo.

Por último, Romo (s/f) especifica, de igual manera, que el riesgo es la posibilidad de que ocurran daños o efectos indeseables sobre sistemas que están constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencias de eventos o fenómenos que modifiquen su forma de vivir cotidiana, ya sea de forma natural o antrópica. Es importante señalar que a los sistemas que pueden sufrir daños ante la acción de agentes perturbadores se les denomina sistemas expuestos, y dichos sistemas pueden

estar expuestos a diversos tipos de riesgos, asociados a diversas fuentes latentes de peligros.

Con base en lo anterior, puede entenderse de manera más específica el concepto de riesgo como una situación en la que se encuentra el ser humano, y se ve amenazado por algún evento de origen natural, socio-natural o social, y el riesgo aumentará siempre que la población se encuentre en condiciones altamente vulnerables, afectando a los sistemas sociales, ambientales, económicos, tecnológicos y políticos.

1.4. Desastres.

Los desastres están asociados a grandes desgracias que interrumpen o retrasan el desarrollo de regiones donde se producen (Wilches-Chaux, 1998). Dicho concepto se basa en un proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación e impacto de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antrópico, y ocurren de manera repentina e inesperada, causando alteraciones significativas en el espacio, y pueden ser representados por la pérdida de vidas y de la salud de la población, destrucción y pérdida de los bienes de una colectividad o daños severos sobre el medio ambiente (Lavell *et al.*, 2004; Cardona, 1993).

Maskrey (1993), menciona que para que un desastre se presente, tiene que existir una estrecha relación entre fenómenos naturales peligrosos (huracanes, tornado, terremoto, erupción volcánica, etc.) y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas vulnerables en las cuales el ser humano vive.

Puede considerarse también que es un proceso social como resultado de una serie de factores que coinciden e interactúan en un espacio y en un tiempo determinado teniendo como consecuencia la transformación drástica del espacio físico y social, por lo tanto, los desastres se consideran eventos accidentales, incontrolables, concentrados en un tiempo y en un espacio (Morales, 2009).

Otro concepto similar del desastre está estrechamente relacionado con los acontecimientos que son localizados en un tiempo y espacio específico, en el cual una sociedad o comunidad humana organizada ve superada su capacidad de atención con los recursos habituales a los que están acostumbradas (Soldano, 2008).

Lugo-Hubp e Inbar (2002), explican que un desastre natural es repentino y por lo general, imprevisible, de corta duración y causa víctimas humanas y daños económicos considerables.

Por lo anterior, un desastre será un acontecimiento que modifica drásticamente el espacio geográfico en un tiempo relativamente corto por causas de un fenómeno natural o antrópico, y hará que una sociedad se encuentre superada y limitada en la capacidad de atención con respecto a los recursos que dispone comúnmente. Cabe mencionar que el desastre ya no se plantea como un evento de origen natural, sino como un proceso resultado de las características de la sociedad, principalmente relacionadas con el crecimiento exagerado y rápido de la población en zonas no aptas para su asentamiento, condiciones de pobreza y desigualdad, entre otras.

Finalmente, se puede decir que la visión que se maneja en este trabajo es la alternativa. Primero, se considera la vulnerabilidad ambiental de forma integral y como resultado de todo un proceso histórico del desarrollo económico y crecimiento poblacional de la cuenca de Motozintla. Segundo, se analizan las amenazas que no sólo tienen un origen natural sino socio-natural (inestabilidad de laderas e inundaciones) a las que está expuesta la población y que por lo tanto se encuentra en situación de riesgo que fácilmente puede concretarse en desastre.

CAPÍTULO II. MOTOZINTLA DE MENDOZA, ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

En el presente capítulo se describen las distintas etapas históricas que se han presentado en el estado de Chiapas, en particular en la cuenca de Motozintla y la relación que éstas han tenido con los cambios respecto al uso de suelo desde la época prehispánica hasta la actualidad. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que las modificaciones y la degradación del espacio son más intensas hoy en día, conforme la población expande sus actividades económicas (agricultura, ganadería, explotación forestal y minería), las localidades han aumentado en número, tienen una distribución dispersa en las laderas de la cuenca y son cada vez mayores en las zonas del valle intermontano del río Xelajú. Estos aspectos repercuten en una vulnerabilidad ambiental frente a los procesos geomorfológicos peligrosos que se presentan con mayor intensidad y frecuencia debido a la influencia de fenómenos hidrometeorológicos como ejemplos se citan a la tormenta tropical *Earl* (1998), el huracán *Stan* (2005) y la tormenta tropical *Agatha* (2010) que causaron graves daños a la población y al ambiente.

De manera general, puede decirse que en todo el mundo (desde las civilizaciones antiguas hasta las actuales), los seres humanos han modificado el espacio natural para explotarlo, transformarlo, asimilarlo y adaptarlo en función de sus necesidades, principalmente agrícolas, ganaderas y urbanas. (Kaplan, 1995; Marinov, 1974 y Riábchikov, 1976, en Oropeza, 1992).

Debido a esa modificación espacial, la degradación ambiental toma un papel importante porque ha ocasionado problemáticas en el territorio y por ende, en la sociedad. La transformación del medio se ha acelerado considerablemente, por eso mismo, es importante estudiarla y analizarla porque se han roto ciclos ecológicos completos, los cuales ya no pueden ser reemplazados.

En México, esta degradación se da constantemente por la explotación de los recursos naturales, el cambio de uso del suelo para asentamientos humanos y las diversas

actividades que se practican. Morán y Ortiz (2002) mencionan que desde tiempos históricos la deforestación ha existido pero, en la actualidad, el incremento de la tala de árboles se intensifica cada vez más (aproximadamente al año se pierden ochocientas mil hectáreas de cubierta forestal), lo que posiciona al país en el segundo lugar en América Latina, y el sexto a nivel mundial en áreas deforestadas.

Por lo mismo, la pérdida de vegetación no solo altera la biodiversidad, sino que también trae consigo numerosas consecuencias ambientales tales como liberación excesiva de dióxido de carbono, pérdida de los suelos por erosión, procesos de remoción en masa, acumulación de sedimentos, inundaciones, entre otros (Ibid, 2002).

Si se tiene en cuenta que la ocurrencia de los desastres se debe a la construcción social del riesgo en su devenir histórico, es de interés remontarse al pasado para conocer el proceso de la degradación ambiental.

Históricamente se distinguen cuatro etapas de la degradación ambiental en México: prehispánica, colonial, independiente y contemporánea (Trueba, 1987; en Oropeza, 1999). En el estado de Chiapas y en la cuenca de Motozintla también se reconocen dichas etapas.

2.1. Época prehispánica.

El grupo de indígenas más antiguo en la zona de estudio, desde hace tres mil años, es el Mam o Mame (Mendoza, 2010). Quintana-Hernández y Rosales, (2006) mencionan que historiadores coloniales reconocen que los Mames extendieron su territorio hasta Utlán (Guatemala) en el siglo IV d.C.

Según Cerda (1940) los Mam vinieron del norte, llegando a la región del Soconusco, algunos grupos de esta tribu se trasladaron hasta Nicaragua y otros se quedaron en Chiapas.

La población Mam o Mame se distribuye en extensas porciones del sureste de Chiapas, en áreas cercanas a la frontera con Guatemala (Figura 2.1), en lo que actualmente son los municipios de Amatenango de la Frontera, Acacoyahua, Bejucal de Ocampo, Frontera Hidalgo, Cacahoatán, Chicomuselo, Comalapa, La Grandeza, Ixtapa, Mazapa, Motozintla, El Porvenir, Tapachula, Tuxtla Chico, San Isidro Siltepec, Tuzantán, San Pedro Remate y Unión Juárez.



Figura 2.1. Localización de la población *Mam* o *Mame*. El dominio del grupo indígena abarca amplias extensiones del SE de Chiapas y Guatemala. En los límites de ambos países se encuentra el volcán Tacaná, atributo natural con gran significado para dicha cultura prehispánica (Mendoza, 2010).

Esta civilización desarrolló una estrecha relación con su medio natural, para ellos, las formas del relieve (los volcanes, además de manantiales, promontorios rocosos y ríos) eran primordiales para poder edificar sus construcciones y rendir tributos a sus dioses.

En un principio, este grupo indígena aprovechó las formas del relieve de la cuenca de Motozintla, éstas constituían un atractivo natural y a la vez estratégico, el valle principal, de morfología semiplana, permitió que fuese un lugar idóneo para asentarse y realizar sus actividades como la comercialización de las plumas de quetzal y almendras, entre otros productos (Cerde, 1940).

Con el paso de los años, se dieron migraciones de los Mame hacia las regiones norte y sur a fin de colonizar y tener nuevos territorios para sus asentamientos y construcción de monumentos arquitectónicos en la región del Soconusco. A su vez, muchos otros grupos indígenas como los Quiché, Olmecas y Toltecas, ocasionaron la movilización de los Mame, cuyo objetivo era conquistar sus territorios. La lucha de poder que se originó en el SE de Chiapas, obligó a que los Mame se dirigieran hacia la provincia Choluteca en Guatemala.

La segregación que originó la lucha de poder de los grupos indígenas en Chiapas, no fue un factor que afectara y modificara la ideología de la población en su forma de vida, ya que siempre encontraron una armonía con el espacio geográfico donde se encontraban. Los Mame, debido a la dispersión de su población, establecieron una minoría en el valle intermontano, donde actualmente se encuentra la ciudad de Motozintla (Morales, 2009).

Una vez establecidos en dicho territorio, los Mame se dedicaban principalmente a la caza, pesca y recolección de frutos, así mismo a la siembra de semillas para su autoconsumo. Originalmente, las poblaciones eran pequeñas por lo cual no se generaba degradación en la zona o era casi nula; posteriormente, el incremento de la población, la introducción de la agricultura a la zona y la explotación de las especies vegetales, ocasionó poco a poco una degradación ambiental, lo que conllevó al deterioro de los ecosistemas (Oropeza, 1992).

Al introducir la agricultura se implementó un sistema de carácter extensivo en la cuenca, la práctica que introdujeron fue la de roza-tumba-quema. Este método novedoso que utilizaron, sirvió para que los ecosistemas se regeneraran de manera natural, principalmente el suelo.

Otra técnica que se utilizó para el cuidado del ambiente y la implementación de sus actividades agrícolas, fue el abandono de las zonas cultivables que dieron ya su máximo rendimiento y, así permitir su regeneración, luego iban en busca de nuevos

territorios dentro y fuera de la cuenca de Motozintla para volver a implementar dicha actividad primaria.

No obstante las prácticas para proteger el ambiente, éstas no fueron suficientes, a finales de este periodo, la concentración y crecimiento de la población, fueron factores que impactaron severamente a los ecosistemas. Un factor más que afectó a la población y su ambiente fue la hambruna que vivieron los Mame en el sector norte y en especial en Motozintla (Llanes, 2005).

2.2. Época colonial.

En esta etapa histórica, con la llegada de los españoles al territorio mexicano en el año de 1522, se comenzó la colonización en muchos sectores del país. Los indígenas fueron invadidos y sometidos, debido a que el objetivo principal que tenían los europeos era la explotación de los recursos.

Conforme los españoles iban extendiéndose hacia el SE de México, cruzaron también todo a lo largo de la Depresión Central hasta llegar a la Llanura Costera del Pacífico, con el interés de búsqueda de recursos y colonizar territorios no explorados (Morales, 2009).

Cabe mencionar que, los españoles al encontrarse en las vertientes del Pacífico (Tonalá), se percataron que los indígenas producían un colorante llamado cochinilla, el cual se elaboraba en cantidades importantes. Los colonizadores al saber de dicha materia prima, y que no descubrían aún en otros sectores de sus exploraciones, la utilizaron para su beneficio, principalmente para exportarla al centro de México y Europa (ibid, 2009).

Al mismo tiempo que los colonizadores se expandían territorialmente en busca de nuevos sitios para explotar recursos, se comenzó a dar un movimiento poblacional por parte de los indígenas. La necesidad de migración fue notable ya que los españoles

despojaban a los habitantes de tribus y sus posesiones como los recintos ceremoniales (pirámides) y creencias ideológicas. Esta decadencia que desató la presencia española en Chiapas, obligó a que los grupos prehispánicos buscaran nuevos sitios para poder asentarse.

La presencia colonizadora también llegó a la cuenca de Motozintla. La búsqueda ambiciosa que los españoles tenían, dio inicio a la exploración intensa en el territorio, y a la colonización de la población. En la zona prevalecía vegetación abundante, se extraían maderas preciosas y otros recursos que exportaban hacia el continente europeo. Además, los recintos ceremoniales se sustituyeron por haciendas, y así poder introducir superficies para la agricultura (frijol, maíz, caña de azúcar y algodón) y la ganadería en proporciones importantes (Morales, 2009).

Posteriormente, debido al interés que tenían los españoles por los recursos que se hallaban en la cuenca, se comenzó a asentar población en el fondo de los valles del río Xelajú y sus afluentes (La Mina y Allende). En el año de 1527 se realizó el primer censo, contabilizando 595 habitantes (Petrich, 1985).

Décadas más tarde, en 1595, se inició la evangelización de la población de Motozintla, Tomás Torres fue el encargado de dicha tarea religiosa en la zona, también tenía el cargo por parte de la corona española de visitador y fraile franciscano. Después, en 1602, la Orden de la Merced había organizado la evangelización total de la región, nombrando así a San Francisco de Motozintla para dicha tarea. En 1704, José Olaverreta menciona, en su Relación Geográfica del Partido de Huehuetenango, un poco de la descripción de la región: “es caliente, seca y fúnebre, trabajan su naturaleza, sacando copal que se vendía en las fiestas...” (ibid, 1985).

En el año de 1769, Cortés y Larraz hacen referencia a la lengua que se hablaba en Motozintla de Mendoza debido a que era un idioma muy particular, dialecto del maya, era difícil la comunicación con otras tribus. Por lo cual, las actividades y contactos comerciales los tenían solamente entre los pobladores de Motozintla.

Es importante hacer hincapié que los acontecimientos históricos-sociales, aunados a los factores geográficos y geológicos, llamaron la atención de los españoles, los cuales estaban interesados en la extracción de un mineral en específico, el Oro. Su principal ruta de exploración para dicho mineral fueron las cimas de las montañas, dicha actividad comenzó a modificar y degradar intensamente el relieve y la vegetación en la cuenca de Motozintla.

Estas exploraciones que hicieron, conllevaron a que la región fuese una zona estratégica para la extracción del mineral de interés. Por esto mismo, se desarrollaron otros asentamientos, principalmente en las márgenes de río Xelajú. Del mismo modo, el relieve de poca inclinación que se hallaba en las partes bajas, favoreció las diversas actividades humanas (Morales, 2009).

Por último, esta época fue crucial pues se comienza a dar una concentración importante de la población, la sobreexplotación de los recursos e intensa deforestación, minorizando así la capacidad natural de recuperación del medio.

2.3. Época independiente.

Esta etapa fue un parteaguas general del país, los numerosos acontecimientos políticos, sociales y económicos fueron el comienzo de la introducción intensiva y extensiva de una actividad agrícola y ganadera eficiente para proveer de productos a varias regiones de la República Mexicana. Es importante mencionar que en este periodo se consolida el latifundio en las haciendas, y las tierras que eran propiedad de los indígenas se las adueñaron los colonizadores mediante expropiaciones que realizaron.

Por otro lado, la explotación intensa de las maderas preciosas fue un factor inicial para que la degradación ambiental caracterizara a esta época.

El interés económico que tenían los colonizadores de vastas regiones del país dio pie a la destrucción de los ecosistemas. El estado de Chiapas, no fue la excepción de semejante devastación, la extracción de los recursos y el cambio de uso de suelo para la agricultura y asentamientos humanos iba en aumento. Del mismo modo, la construcción de caminos y vías férreas para el traslado de mercancías para exportación.

La transformación de los ecosistemas en Chiapas fue resultado de la expansión de ciudades importantes. Por esto mismo, la marginación y desigualdades sociales se comenzaron a dar con mayor grado.

Si bien, para esta época no se cuenta con suficiente material bibliográfico que describa el deterioro ambiental en la cuenca de estudio, lo más probable es que también haya habido importantes transformaciones como ocurrieron en el estado, ya que Motozintla, desde entonces, era un centro estratégico económicamente.

2.4. Época contemporánea.

Esta etapa se establece desde los inicios del siglo XX, de ésta cabe destacar que, la degradación ambiental se ha intensificado por el crecimiento desmedido de la población y por los cambios de uso de suelo tan severos en diversas partes del país. Los ecosistemas que se ven más afectados son los bosques y selvas.

Oropeza (1999), menciona que las décadas más significativas de las que se tienen registros son: 1940, 1950 y 1960. En este periodo de tiempo el desmonte se incrementó considerablemente (de 5.9 millones de hectáreas a 14.7 millones de hectáreas). Otro factor que ocasionó tal degradación fue la industria forestal, practicando la tala legal e ilegal de árboles. Se abrieron grandes áreas para la agricultura y la ganadería así como para nuevos asentamientos humanos.

Los estados que se vieron afectados por actividades industriales y comerciales fueron: Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Tabasco y Chiapas. Para la década de los 60, se introdujeron pastizales para la ganadería y se transformaron de manera considerable extensas zonas boscosas y selváticas del SE de México.

Desde la década de los 70 hasta nuestros días las alteraciones al ambiente se han intensificado en todo el país. En la cuenca de estudio la tendencia que se observa es similar, ésta se ve afectada por todas las actividades primarias (agrícola, ganadera, forestal y minera) y la expansión de los asentamientos humanos, tanto en el valle como en las laderas montañosas.

Las alteraciones provocadas al ambiente en la cuenca, la han vuelto más vulnerable frente a fenómenos peligrosos tales como los procesos de ladera, las inundaciones y la erosión del suelo, sobre todo durante la temporada de lluvias. Las consecuencias se manifiestan en desastres que causan daños a la población y su infraestructura como las viviendas, caminos, escuelas y hospitales, entre otros.

2.5. Fenómenos hidrometeorológicos y desastres en la cuenca de Motozintla.

En las últimas décadas del siglo XX y la primera del siglo XXI, los fenómenos meteorológicos más trascendentes que se han suscitado y que han ocasionado desastres en la cuenca de Motozintla son: la tormenta tropical *Earl* en el año de 1998, huracán *Stan* en el 2005 y en menor grado, la tormenta tropical *Agatha* en el año 2010 (Murcia y Macías, 2009). Estos fenómenos favorecieron los procesos de remoción en masa (PRM), las inundaciones y la erosión del suelo incrementando la vulnerabilidad ambiental.

2.5.1. Tormenta tropical *Earl*, 1998.

Se formó en el Océano Atlántico el 25 de agosto de 1998, a una distancia aproximada de 5,900 km de Quintana Roo, la velocidad de los vientos fue de 55 km/h, se desplazó hacia el Oeste, con una velocidad de 28 km/h. Por la magnitud e intensidad de los vientos, se catalogó como depresión tropical y se le asignó el No.7. Posteriormente, dicha depresión alcanzó vientos de 85 km/h, pasó a tormenta tropical con el nombre *Earl*, se desplazó hacia el Oeste-Noroeste, con una velocidad promedio de 25km/h.

Cuatro días más tarde, el 29 de agosto, *Earl* se intensificó a huracán categoría 1, según la escala de Saffir-Simpson, dicho fenómeno ocasionó nublados de convección y vientos sostenidos de 120 km/h con rachas más fuertes, se desplazaba hacia el Oeste-Noroeste a 27 km/h. Después, en el mismo día, se intensificó a huracán categoría 2, llegó a registrar vientos máximos sostenidos de hasta 175 km/h.

El 30 de agosto a las 10:00 horas, tiempo del centro de México (15 GMT) *Earl* registró vientos máximos sostenidos de 195 km/h con rachas más fuertes, por lo que ya era un huracán categoría 3, se desplazaba hacia el Oeste-Noroeste a 24 km/h, a su paso generó nublados de convección fuerte a intensa, se localizaba aproximadamente a 200 km al este de San Juan Puerto Rico, este sistema continuó desplazándose sobre las aguas cálidas del Atlántico y seis horas más tarde pasó a categoría 4 en la escala de Saffir-Simpson, registrando vientos máximos sostenidos de 210 km/h, *Earl* mantuvo estos intensos vientos durante 33 horas (Trejo, 2010).

Por la mañana del 1 de septiembre, *Earl* se degradó a huracán categoría 3, con vientos máximos sostenidos de 200 km/h, por la tarde de ese día se intensificó nuevamente a huracán categoría 4 con vientos máximos sostenidos de 230 km/h, se seguía desplazando hacia el Oeste-Noroeste a 29 km/h.

A partir del 2 de septiembre, *Earl* cambió sus características tropicales y se convirtió en un sistema extratropical ya que continuó desplazándose por arriba de los 30°N,

en su recorrido se encontró con aguas frías lo que propició que fuera perdiendo intensidad paulatinamente hasta convertirse en una tormenta extratropical. Fue el 3 de septiembre por la noche cuando alcanzó dicha categoría (Figura 2.2).



Figura 2.2. Trayectoria completa del huracán *Earl* a lo largo de todo el Océano Atlántico. Desde las costas de las Islas de Cabo Verde, hasta el oriente de Canadá (CONAGUA, 2010).

Días más tarde, la intensidad del huracán disminuyó pero, aún con suficiente fuerza y vasta cantidad de nubosidad, alcanzó a precipitar intensamente en el SE de México, principalmente en los estados de Chiapas y Oaxaca.

Debido a este evento, más de 30 municipios de Chiapas se vieron afectados por las intensas precipitaciones: Mapastepec, Pijijiapan, Ángel Albino Corzo, Tuxtla Gutiérrez, El Bosque, Huixtla, Mazatán, Huehuetán, Suchiate, Motozintla, La Concordia, Villa Corzo, Villaflores, Chicomuselo, Ciudad Hidalgo, Escuintla, Unión Juárez, Tuzantán, Acacoyagua, Cacahoatán, Tuxtla Chico, Arriaga, Acapetahua, Tonalá, Mazapa de Madero, Villa Comaltitlán, Copainalá, Tapachula, Chiapa de Corzo, siltepec, Amatenango de la Frontera, El Porvenir, Escuintla y Frontera Hidalgo (El Orbe, 5 de septiembre de 1998).

El resultado de las intensas precipitaciones de *Earl*, principalmente los días 8 y 9 de septiembre, ocasionaron una gran cantidad de procesos de ladera y graves inundaciones, acompañadas de flujos de lodo (*debris flow*). El desbordamiento de los ríos más importantes (Xelajú, La Mina y Allende) provocó la muerte de 214 personas y 307 desaparecidos (Caballero, *et al.*, 2006). Las constantes e intensas lluvias generaron que las rocas acarreadas por los ríos se introdujeran en las viviendas y el nivel del agua llegara hasta tres metros de altura, Figura 2.3 (Suárez, 2006).



Figura 2.3. Desbordamiento de ríos provocado por el huracán *Earl* en 1998; a) Flujo del río La Mina, b) Bloques de rocas y escombros depositados después de la inundación. Fuente: Caballero, *et al.*, 2006.

La cantidad registrada de precipitación en el primer día fue de 175 mm, al día siguiente, se estimó de 130 mm. Esto trajo como resultado que gran parte de la ciudad de Motozintla quedara incomunicada, así mismo hubo escasez de agua potable y carencia de servicios como electricidad; la destrucción de carreteras propició que la zona estuviera aislada por varias semanas (*ibid*, 2006).

Debido a la explotación excesiva de los recursos y a las alteraciones del ambiente como consecuencia de la reforma agraria que propició la introducción de diversas actividades primarias y el desarrollo urbano y rural desordenado (Figura 2.4.), que se disparó en la zona a partir de los años setenta (Briones, 2010), varios de los fenómenos naturales peligrosos que se presentaron en la cuenca con el evento de *Earl* se intensificaron significativamente ocasionando un gran desastre. Desde aquella década,

muchas familias se asentaron e invadieron terrenos no aptos para establecer sus viviendas en las márgenes de los ríos más importantes, donde confluyen los mismos, en abanicos aluviales y en las laderas.

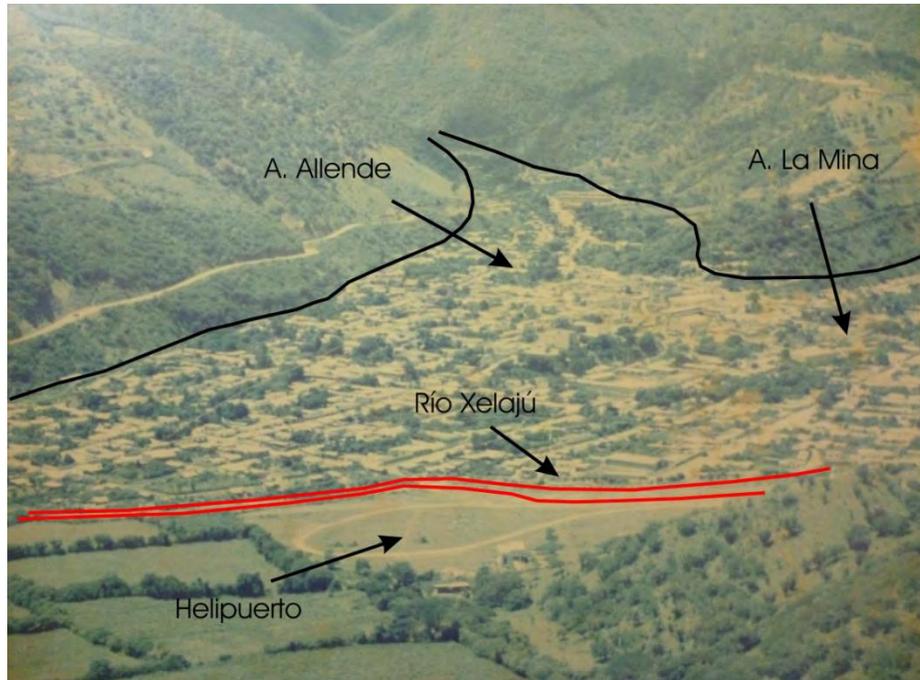


Figura 2.4. Panorama del desarrollo urbano en la ciudad de Motozintla de Mendoza en los años 70. Puede apreciarse que el asentamiento está sobre varios abanicos coalescentes, poniendo en riesgo a la población. Por otro lado, se aprecia el cambio de uso de suelo en las laderas de las montañas y llanuras aluviales, se eliminó la cubierta vegetal original para pasar a terrenos agrícolas (Cortesía de Norma Noriega).

A partir del evento que ocasionó *Earl*, se generó una nueva visión de las autoridades respecto a la gestión del riesgo en Motozintla, ésta se centró en la creación de nuevos barrios para reubicar a los damnificados y así poder mitigar el riesgo a desastres por inundación (Briones, *ibid*).

2.5.2. Huracán *Stan*, 2005.

Trece años después del huracán *Earl*, se genera otro fenómeno hidrometeorológico en el Océano Atlántico que ocasionará múltiples daños en muchas regiones de Centroamérica y México. Este nuevo huracán se denominó *Stan*.

En el año 2005, este fenómeno comenzó el 1 de octubre como la tormenta tropical No. 20 en el Océano Atlántico, a una distancia aproximada de 180 km al SE de Cozumel, Quintana Roo, con vientos máximos sostenidos de 45 km/h, rachas de 65 km/h, posteriormente, el desplazamiento del meteoro fue hacia el Oeste-Noroeste a 9 km/h, y con vientos sostenidos de 55 km/h.

Stan presentó lluvias abundantes en las zonas de montaña de los países de Guatemala, El Salvador, Costa Rica, Nicaragua y México, generando así diversos deslizamientos de tierra e inundaciones severas (Murcia y Macías, 2009).

El 2 de octubre, el fenómeno llegó a las costas de la Península de Yucatán, y desde allí, se denominó tormenta tropical *Stan*. Éste tocó tierra en la Península de Yucatán al Este de Felipe Carrillo Puerto, Q. R., aproximadamente a las 7:00 horas, con vientos máximos sostenidos de 75 km/h y rachas de 95 km/h; después, se redujo a una depresión tropical, pero de nuevo tomó fuerza y emergió en la Bahía de Campeche. Para las 4 de la madrugada del 4 de octubre, ya se había reforzado suficientemente para ser denominado huracán categoría I, con vientos máximos sostenidos de 130 km/h y rachas de 155 km/h. *Stan* volvió a tocar tierra más tarde aquella mañana, el segundo impacto en tierra sucede el mismo día a las 10:00 horas, a 20 km al Noreste de San Andrés Tuxtla, luego se debilitó y volvió a ser una tormenta tropical al comienzo de la tarde de aquel día (Figura 2.5).

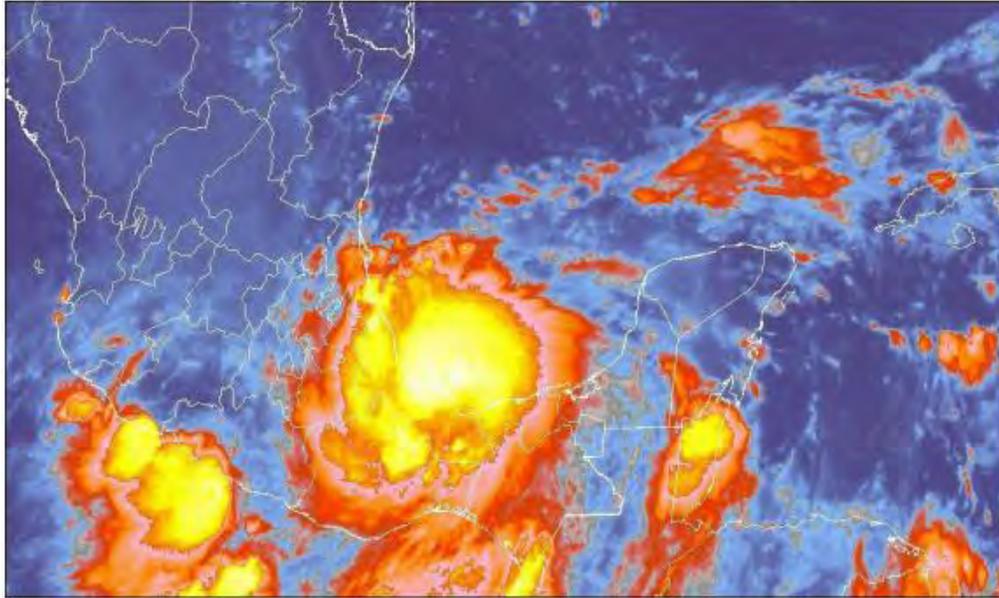


Figura 2.5. Imagen satelital del huracán *Stan* impactando en el sur del país, el 4 de octubre del 2005 a las 10:00 hrs.
Fuente: Morales, 2009.

La tormenta produjo deslizamientos de tierra, inundaciones y fuertes vientos en el sur y SE de México y Centroamérica. En México, los estados más afectados fueron Chiapas, Veracruz, Tabasco, Oaxaca, Quintana Roo y Yucatán. En Centroamérica, los países que recibieron los embates del huracán fueron Guatemala y El Salvador.

Según información de Suárez (2006), el resultado de las lluvias intensas generadas por *Stan* (aproximadamente 1,300 mm en 4 días), provocó que se desbordaran 72 ríos en las regiones de Chiapas: Istmo, Costa, Soconusco, Sierra, Frailesca y Selva Norte, afectando a 45 municipios, con daños a 531 comunidades. Al menos 400 localidades quedaron incomunicadas en 48 de 118 municipios del estado. Se afectó al sector agrario y ganadero en 361 localidades; además de 191 caminos rurales dañados y 45 puentes destruidos; ocurrieron 206 procesos de ladera, se azolvieron 511 pozos y hubo daños al sistema de agua entubada, drenaje y alcantarillado.

Otras fuentes señalan cifras que difieren de las anteriores, por ejemplo, se estima que se destruyeron 27 puentes, 860 caminos federales y 530 rurales y, se perdieron

miles de hectáreas de maíz, palma, soya y banano, además de que el sector pesquero también se afectó (El Informador, 4 de octubre de 2010).

En general, los municipios de Chiapas más afectados por el huracán *Stan* fueron: Tapachula, Motozintla de Mendoza, Mazapa de Madero y Tuxtla Gutiérrez. Aproximadamente 100, 000 personas sufrieron las consecuencias (Suárez, 2006; De la Cruz, 2006, en Cruz y Nazar, 2009).

En el área de estudio, los ríos Morelos, La Mina, Allende y Xelajú aumentaron su nivel hasta desbordarse (Figura 2.6). Cruz y Nazar (2009) mencionan que las causas del desastre fueron por los asentamientos humanos establecidos en zonas de riesgo, principalmente en las márgenes de los ríos, por la construcción de infraestructura inadecuada y, en particular, por la deforestación.



Figura 2.6. Evidencia del aumento del nivel del agua en el río La Mina provocado por el huracán *Stan*.

La corriente del río Xelajú alcanzó los 100 metros de ancho y una elevación entre seis y ocho metros (Suárez, 2006). Este río, en la madrugada del 4 de octubre, se vio súbitamente acompañado por las corrientes de otros ríos que descendían de las zonas de montaña con gran velocidad. Debido a los desbordamientos, los barrios más afectados en Motozintla de Mendoza fueron: Xelajú Chico, Reforma, Miguel Hidalgo, Francisco Sarabia y Canoas (Briones, 2010). Así mismo, se perdieron 3 mil viviendas que fueron arrastradas por el desprendimiento de las laderas.

El huracán *Stan* fue el sexto ciclón del Atlántico que tocó tierra en la temporada 2005 y el más intenso desde el año 1998 en las costas de México (Morales, 2009).

2.5.3. Tormenta tropical *Agatha*, 2010.

En el Océano Pacífico nororiental, el 29 de mayo se generó la primera depresión tropical del año 2010, a 260 km al Sur-Suroeste de Tapachula, Chis., con vientos máximos sostenidos de 55 km/h, rachas de 75 km/h, con un desplazamiento hacia el Este-Noreste a 7 km/h.

Debido al desarrollo del fenómeno meteorológico en las cercanías de la costa, el Servicio Meteorológico Nacional de México, estableció una zona de alerta para la costa del Pacífico, desde Boca Pijijiapan, Chis., hasta la frontera con Guatemala. Posteriormente, la depresión tropical (DT-1) que se desarrolló en el Pacífico, se convirtió en tormenta tropical, la cual nombraron *Agatha*.

Cuando *Agatha* estaba a 225 km al Sur-Suroeste de Tapachula, Chis., con vientos máximos sostenidos de 65 km/h. A las 13:00 horas y desplazándose hacia el Este-Noreste del estado, la tormenta tropical se encontraba a 195 km al Sur de Tapachula, Chis, generando así una zona de amplia convección que cubría desde el Istmo de Tehuantepec hasta la península de Yucatán, Honduras, Guatemala y El Salvador.

Al penetrar al territorio originó una amplia zona de fuerte convección que cubría desde el Istmo de Tehuantepec hasta la Península de Yucatán y Honduras, incluyendo Guatemala y El Salvador (Figura 2.7).



Figura 2.7. Trayectoria de la tormenta tropical *Agatha* por el Océano Pacífico hacia territorio mexicano y centroamericano (Trejo, 2010).

Durante el resto de la tarde y hasta las primeras horas de la noche del 30 de mayo, *Agatha* experimentó una fuerte aceleración que la llevó a desplazarse rápidamente hacia el Noreste y así, cerca de las 7:00 p.m. horas, tocó tierra en las cercanías de la frontera con Guatemala, los vientos máximos sostenidos eran de 65 km/h. Tres horas más tarde, *Agatha* se ubicó a 30 km al Este de Tapachula, Chis., como depresión tropical, con vientos máximos sostenidos de 55 km/h y rachas de 75 km/h. *Agatha* fue una tormenta tropical de corta duración que desarrolló gran parte de su trayectoria muy cerca de las costas del Sureste de México y los países de Centroamérica Septentrional, regiones a las que afectó desde su

origen, pues si bien el centro del sistema, inicialmente, se encontraba en el mar, una zona de fuerte convección asociada, golpeaba los territorios de Chiapas, Guatemala, El Salvador y Honduras, originando lluvias torrenciales que a su vez daban lugar a la crecida de ríos, inundaciones y deslizamientos de tierras, además de la afectación a las poblaciones de la región.

A pesar del corto lapso de tiempo que duró, ocasionó serios daños en el estado de Chiapas y las entidades vecinas. En gran parte del SE de Chiapas, las intensas lluvias de *Agatha* generaron movimientos de ladera e inundaciones (debido al ascenso del nivel del agua de los ríos). El resultado de dichos procesos geomorfológicos, ocasionó que vías de comunicación como carreteras y caminos de terracería quedarán bloqueados.

Las precipitaciones de *Agatha* provocaron encharcamientos que causaron pequeños daños en las viviendas, en lo que se refiere a la infraestructura, se vieron afectadas 11 carreteras por los depósitos de deslizamientos y coronas de desprendimiento, además de hundimientos; hubo daños mayores a la actividad agrícola. Lo anterior se presentó en los municipios de Suchiate, Tapachuala, Mazatán, Mazapa de Madero, Tuzantán, Unión Juárez, Mapastepec y Motozintla de Mendoza (El Orbe, 2 de junio de 2010).

En lo que concierne a la cuenca de Motozintla, *Agatha* provocó que se presentara gran número de deslizamientos de tierra, se obstruyó el drenaje, árboles derribados y viviendas inundadas (El Orbe, 30 de mayo de 2010).

2.5.4. Lluvias torrenciales, 2010.

El 4 de septiembre de 2010 se presentaron fuertes lluvias que tuvieron severas repercusiones económicas en la ciudad de Motozintla. El río Morelos, debido al exceso de agua en su cauce, al material acarreado y a la fuerte pendiente, formó un

flujo de lodo (debris flow), el cual llegó a la zona urbana, sepultando una gasolinera hasta 2.5 metros (Figura 2.8).



Figura 2.8. Gasolinera “Colosio” sepultada por el flujo de lodo del río Morelos; a) instalaciones antes del evento (4 de junio de 2010, cortesía de Manuel Figueroa), b) material acarreado por el río, espesor de 2.5 metros (1 de enero de 2012).

Dicho flujo también cubrió gran parte de las instalaciones del DIF (Figura 2. 9) y tres vulcanizadoras, así como la carretera Motozintla-Mazapa. En la ciudad, los barrios La Tejería y San Lucas se vieron más afectados, en este caso, por el desborde del río La Mina (El Heraldo de Chiapas, 5 de septiembre de 2010).



Figura 2.9. Instalaciones del DIF regional afectado por el debris flow del río Morelos, el 4 de septiembre de 2010 (1 de enero de 2012).

El medio natural de la cuenca de Motozintla, desde tiempos históricos ha sufrido una transformación, misma que se ha acentuado en la época actual por lo que la regeneración de los ecosistemas es casi nula. Prácticamente la vegetación primaria ha desaparecido como resultado a la tala descontrolada, el cambio de uso del suelo para la introducción de pastizales, cultivos y asentamientos humanos. Las modificaciones ambientales vuelven vulnerables a los ecosistemas y por lo tanto son más susceptibles a los procesos geomorfológicos que, a su vez, son desencadenados por fenómenos meteorológicos como los huracanes y tormentas tropicales (por ejemplo, *Earl*, *Stan* y *Agatha*). El riesgo se ha incrementado, sobre todo en cada temporada de lluvias.

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Este capítulo trata sobre los aspectos físicos del área de estudio como son: fisiografía y distribución del relieve, geología, clima, hidrología y suelos, las zonas de vegetación natural y el uso del suelo. Además de los principales aspectos económicos que caracterizan a la cuenca de Motozintla.

3.1. Localización y fisiografía del área de estudio.

La cuenca de Motozintla se localiza en el SE del estado de Chiapas, y los municipios que forman parte del área de estudio son: Motozintla de Mendoza y Mazapa de Madero. Las coordenadas geográficas de la cabecera municipal de la zona de estudio son 15° 21'45'' de latitud Norte y 92°14'45'' longitud Oeste (Figura 3.1), con una altitud de 1,290 msnm (Morales, 2009).

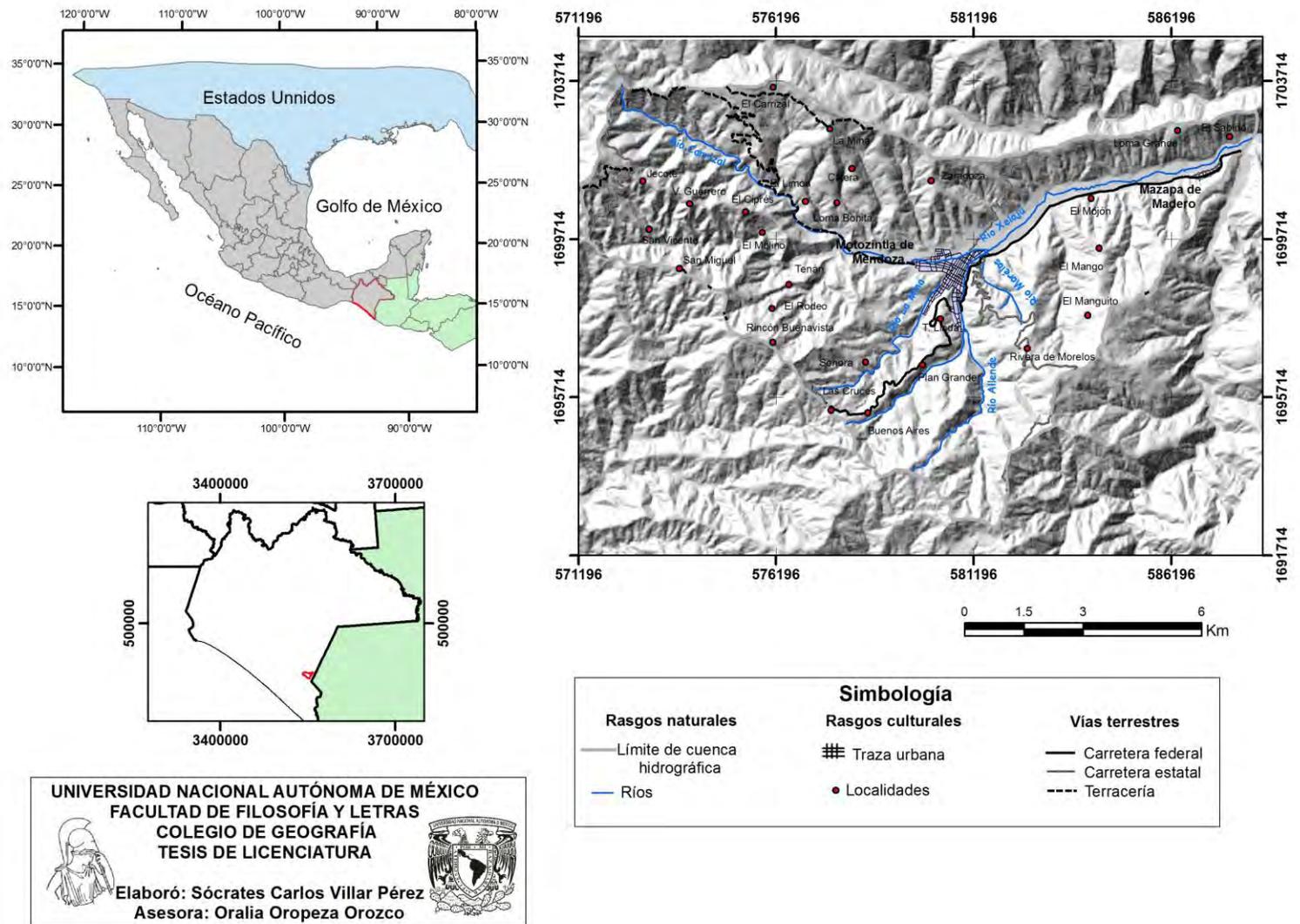


Figura. 3.1. Localización de la cuenca de Motozintla.

De acuerdo con el Programa Estatal de Ordenamiento Territorial (2005) la cuenca pertenece a la región fisiográfica de la Sierra del Sur de Chiapas (Sierra Madre de Chiapas, según Mulleried, 1957; en PEOT, 2005) y a la subprovincia Volcanes de Centroamérica. Estas dos zonas comprenden a los municipios de: Amatenango de la Frontera, Bejucal de Ocampo, Bella Vista, La Grandeza, Mazapa de Madero, Motozintla de Mendoza, El Porvenir y Siltepec, todos ellos, suman una superficie_total de 2,126 km² (Hernández, 2010).

Tanto la región fisiográfica como la subprovincia se caracterizan por ser áreas sumamente montañosas constituidas principalmente por rocas volcánicas, aunque el núcleo de la sierra es un complejo metamórfico. Cabe mencionar que dentro de esta zona, el volcán Tacaná es la mayor elevación del territorio, con 4,093 msnm (Secretaría de Gobernación y Gobierno del estado de Chiapas, 2011). Otro aspecto importante a notar de la región, es el gradiente altitudinal, presentando un relieve accidentado y declives muy pronunciados con suelos delgados que son muy susceptibles a la erosión.

El gradiente altitudinal da como resultado una diversidad en climas y vegetación, en las partes menos elevadas de la sierra se encuentran selvas medianas y altas secundarias, mientras que, en las zonas con mayor elevación predominan bosques de encinos, pinos y de niebla. Cabe señalar que, la vegetación natural se encuentra muy fragmentada debido a las actividades agrícolas y ganaderas que se practican en el área.

Tiene una superficie aproximada de 98.6 km², son significativos los contrastes altitudinales que se presentan en su territorio, la altitud máxima es de 2,699 msnm y la mínima es de 1,024 msnm, en esta última cota, se encuentra un valle intermontano, por el cual se encausa el río principal (río Xelajú), mientras que, la curva de máximo nivel se localiza al NW de la región de montaña, donde predominan las cabeceras fluviales (Figura 3.2).

En relación con las altitudes antes mencionadas, la distancia que existe entre cotas máximas y mínimas es relativamente corta, esto hace que se presente una amplitud de

relieve de 8 km, desde el centro de la ciudad de Motozintla hasta las zonas más elevadas de la cuenca. Dicha amplitud representa la potencialidad de intensos procesos exógenos y la gran magnitud de los agentes de modelado (factores geológicos y climáticos extraordinarios), por lo tanto, la poca distancia que existe en kilómetros entre el valle y las cabeceras, y la dinámica de estos agentes, hace que sean para la población un peligro ante inundaciones y procesos de remoción en masa (PRM) como flujos de lodos, caídas y deslizamientos (Zaragoza, 2006).

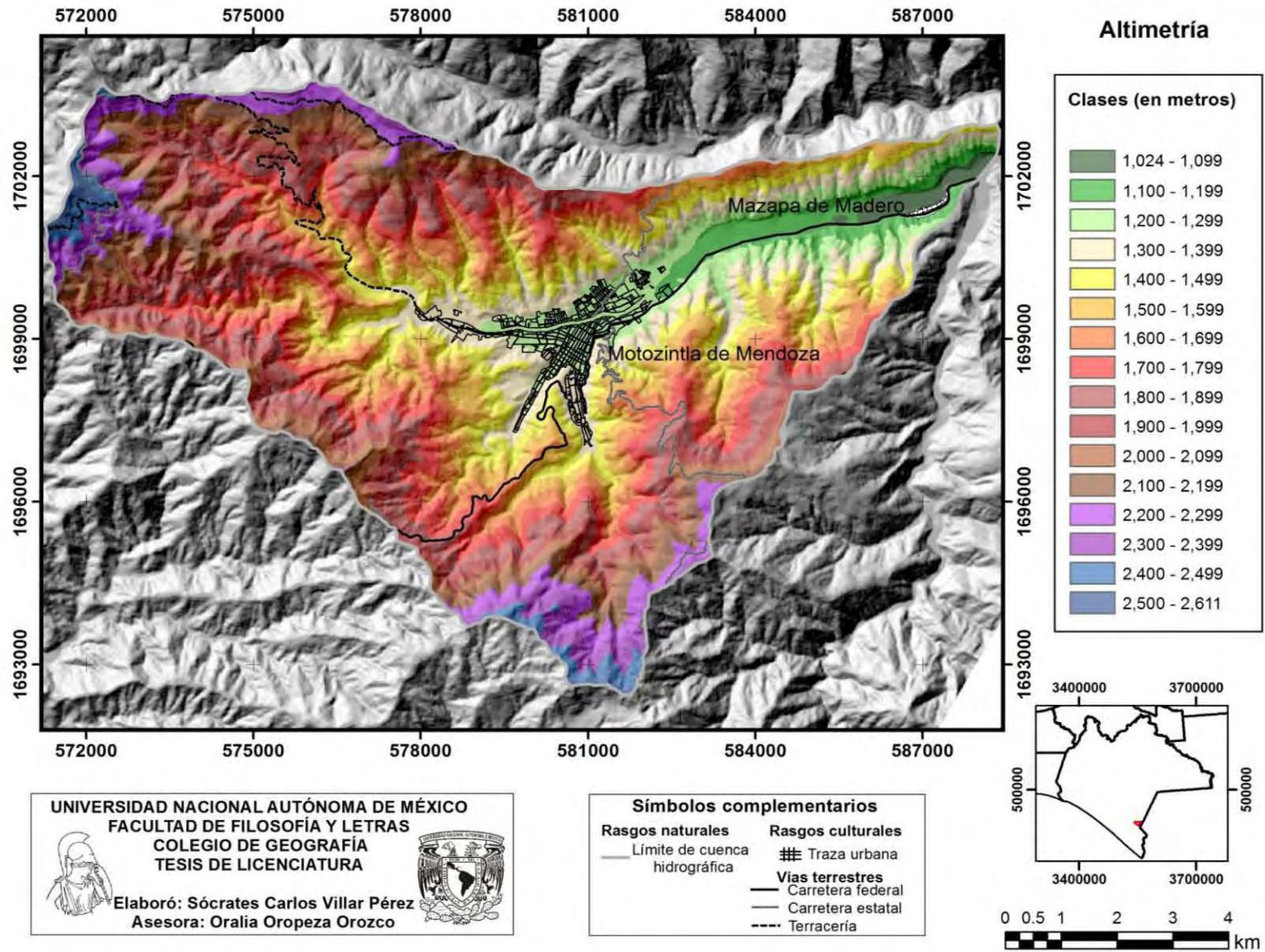


Figura 3.2. Altimetría de la cuenca de Motozintla.

3.2. Geología.

Antes de hacer la descripción de la geología de la cuenca de Motozintla, debe mencionarse que de la revisión bibliográfica y cartográfica se encontraron varias diferencias y la mayoría de los estudios son de carácter regional, por ejemplo la carta geológica del Servicio Geológico Mexicano (2005, antes COREMI) está a escala 1:250,000 al igual que la de INEGI (1988). En ambas cartas hay diferencias en cuanto a la representación de las unidades litológicas, así como su terminología y de las estructuras, incluso los símbolos para mostrar los rasgos lineales como la cabalgadura de Motozintla aparecen invertidos lo cual, si no se tiene cuidado en su interpretación puede generar confusiones. Esto también refleja la gran complejidad geológica del área de estudio. De varios trabajos de geología de la región que se consultaron (Caballero *et al.*, 2006; Suárez, 2006; Mendoza, 2010; Sánchez, 2012) se observó que se basan en Carfantan (1977) con modificaciones propias de los autores. Si bien se reconoce que el trabajo de Carfantan no es muy reciente al menos tiene varias ventajas, entre ellas está la escala pues es 1:50,000, muestra más detalles de las unidades litológicas y permite apreciar con claridad los diferentes depósitos aluviales del fondo del lecho fluvial. Por todo lo anterior y no siendo el objetivo de esta tesis realizar un análisis geológico exhaustivo la fuente que se utiliza como base es la del último autor.

La provincia fisiográfica Sierra Madre de Chiapas se formó por un contiguo de intrusiones derivado de la dinámica de subducción entre la placa de Cocos y la placa Norteamericana. El emplazamiento de la superficie está relacionado con movimientos ascendentes (fallas normales) y procesos denudativos de origen fluvial y gravitacional. Esta gran cadena montañosa está sobre un macizo granítico, formado por un antiguo batolito del Paleozoico Inferior al Medio, constituido principalmente por metagranito, metagranodiorita y metadiorita de edad Pérmico-Triásico (Mendoza, 2010).

Asimismo, la evolución geológica del área de Motozintla y sureste de México, está relacionada con el límite tectónico entre las placas de Norte América, Caribe y Cocos. Este límite consiste de una zona de triple unión, que genera un sistema de fallas con

desplazamiento lateral izquierdo denominado Polochic-Motagua, que atraviesa la República de Guatemala y se introduce en México afectando el sur del estado de Chiapas (Burkart, 1978). En Motozintla, se reconoce la falla Polochic que limita rocas jurásicas y pérmicas. De acuerdo con observaciones en la zona de estudio, las rocas que allí se encuentran están sometidas a una deformación de cizalla simple, que es el resultado de fallas normales con dirección preferencial NE-SW, al sur del río Xelajú, y fallas inversas, con dirección NW-SE al norte y oeste del mismo río; ambos patrones dominados por movimientos de tipo lateral izquierdo (Caballero *et al.*, 2006).

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio es muy heterogénea, tanto en litología como en estructuras disyuntivas (Figura 3.3). Éste es uno de los factores condicionantes más importante para el análisis del presente trabajo.

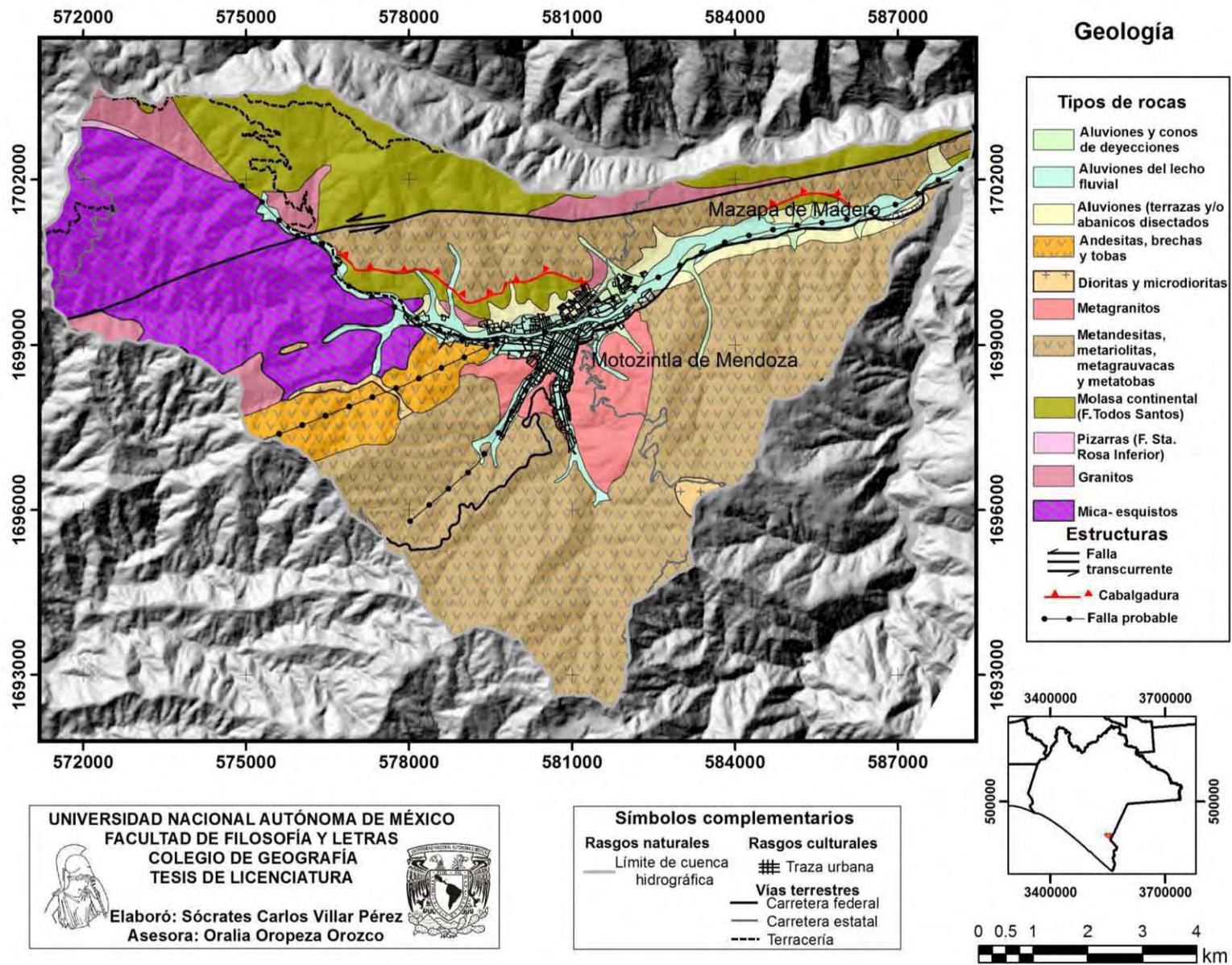


Figura 3.3. Geología de la cuenca de Motozintla (Modificado de Carfantan, 1977).

En lo que respecta a la edad de las rocas de la cuenca, en el sector NW se localizan las más antiguas, conformadas por un conjunto metamórfico del Precámbrico (augengneis, gneis de anfibolita y de biotita, y mica-esquistos de muscovita y biotita) Figura 3.4, y probablemente sea contemporáneo a la fase grenviliana. Cabe mencionar que la falla Polochic-Motagua con desplazamiento lateral izquierdo, y que atraviesa la cuenca en su parte media.



Figura 3.4. Afloramiento de micaesquistos de moscovita y biotita, en la superficie de resbalamiento de un movimiento complejo en el sector NW de la cuenca.

De acuerdo con Carfantan (1977), en la porción norte y NW, el granito de edad paleozoica, se localiza segregado en pequeñas áreas en las zonas más altas de la cuenca. Estas áreas de contacto litológico están controladas por la falla ya antes mencionada, atravesando de este a oeste el área de estudio. Por otro lado, las pizarras de edad mississípica, abarcan una mínima parte, hacen frontera con los granitos al norte y mica-esquisto al sur.

Sin embargo, también en los sectores anteriores se encuentra la Formación Todos Santos, constituida principalmente de molasa continental de edad Triásica-Cretácica Inferior, y al igual que las litologías ya descritas, tiene como límite la falla lateral izquierda proveniente desde Guatemala.

En la porción norte y sur, la litología está conformada por metandesitas, metariolitas, metagrauvas y metatobas, además de metagranito, este último tipo de roca bordea los ríos más importantes (Xelajú, La Mina, Allende y Morelos). Todo este conjunto litológico es de edad Mesozoica, en su frontera, a lo largo del río Xelajú, se halla la Cabalgadura de Motozintla, que cruza gran parte del valle.

Al sur, oeste y suroeste de la cuenca, afloran principalmente las andesitas, brechas y tobas pertenecientes al Plio-Cuaternario y dioritas y microdioritas del Terciario. La mayoría de estas rocas, se encuentran muy diaclasadas y fracturadas, y presentan un alto grado de intemperismo.

En la porción central, en la planicie fluvial del río Xelajú, se encuentran aluviones del lecho fluvial, aluviones y conos de deyecciones del Cuaternario Reciente y los aluviones (terrazas y/o abanicos disectados) del Cuaternario Antiguo.

Por lo que respecta a los rasgos estructurales más importantes, además de la falla lateral izquierda denominada Polochic-Motagua y la Cabalgadura de Motozintla, existen probables fallas que controlan los ríos Carrizal, La Mina y Allende, lo que propicia el ensanchamiento de los valles con fondo plano.

3.3. Clima e hidrología.

En la República Mexicana, Chiapas es uno de los estados con mayor riqueza en flora y fauna (Flores–Villela y Gerez, 1994), existe una gran diversidad de ecosistemas en la zona que se deben a la variedad de tipos climáticos, asimismo, esta diversidad se favorece por la estrecha relación con factores de carácter geográfico como son la ubicación, la orientación de las laderas, heterogeneidad en los sistemas montañosos, cercanía del océano, entre otros., así como también al ámbito geológico, ya que se encuentran numerosos tipos de rocas de diferentes edades en la región (Figura 3.5).



Figura 3.5. Laderas en el NW de la cuenca, con una altitud mayor a los 2000 msnm, donde se encuentran diversos tipos de vegetación y usos del suelo.

Según la carta de CONABIO (1997), los climas que predominan en la cuenca son: cálido subhúmedo, semicálido subhúmedo y templado húmedo. El clima en la cabecera municipal se considera de tipo ACm (semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano y con menor intensidad en otoño e invierno). La temperatura media anual que se presenta en la cuenca es de 22.91 °C. En la primavera se presentan los meses más calurosos. La precipitación anual es de 809 mm, estimada en un periodo de 82 años de 1922 a 2004 (ERIC3, 2006) (Tabla 3.1). El régimen de lluvias es de verano, se inicia en mayo y termina en octubre, con lluvias de gran intensidad que tienen un origen convectivo y orográfico (Morales, 2009), pero también son importantes los huracanes. Igualmente, durante el invierno se tiene la influencia de los “Nortes”. Se presenta canícula o sequía de medio verano en los meses de julio y agosto.

Tabla 3.1. Temperatura y precipitación de la estación meteorológica de Motozintla (1922-2004)

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	1.1	1.5	2.6	14.9	71.1	186.6	133.8	131.7	154.9	86.5	14.6	2.6	809.49
T	21.8	21.9	22.8	23.7	23.9	22.9	22.7	22.8	22.9	21.7	20.8	20.6	22.91

Por lo que respecta a la hidrología, la cuenca de Motozintla pertenece a la región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH30), a la subregión conocida como Alto Grijalva (30A) y a la cuenca del río Grijalva-La Concordia (Hernández, 2010). Su superficie se estima en 98.6 km² y tiene una forma triangular asimétrica. Forma parte de la Sierra Madre del Sur de Chiapas donde limitan las placas de Norteamérica, Caribe y Cocos. Los principales ríos son el Xelajú (en algunos sectores se reconoce como Motozintla-Mazapa), La Mina y Allende; así como los arroyos Las Cabañas, Llano Grande y Negro, entre otros.

Al norte de la ciudad, el río Xelajú pasa de poniente a oriente, es el más importante y caudaloso durante la época de lluvias. De mayo a octubre, dicho caudal se activa y baja de las empinadas laderas de las sierras, y en su recorrido recoge el agua de sus afluentes, atraviesa la ciudad de Motozintla y continúa río abajo rumbo a Mazapa de Madero y Amatenango de la Frontera, en donde se une al ramal principal del río Grijalva, proveniente de tierras guatemaltecas. El río Xelajú confluye dentro del área urbana con los arroyos Allende y La Mina, estos dos provenientes de las partes altas al sur de la ciudad y atraviesan todo el sector medio del poblado en dirección hacia el norte hasta descargar por separado en el río principal. El resto del año disminuye mucho el caudal de la red fluvial.

La cuenca de Motozintla, en el contexto regional, corresponde a la parte más elevada donde nace el río Grijalva, siendo así una zona de captación o receptora de aguas. No obstante lo anterior, a escala local y al interior de la cuenca, siguiendo el esquema propuesto por Schumm (1977) se observan tres zonas funcionales (Figura 3.6):

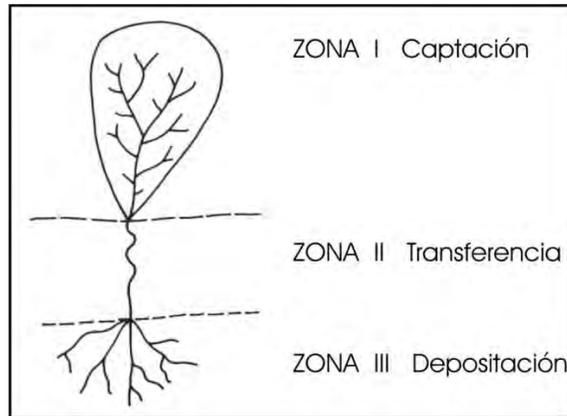


Figura 3.6 Zonas funcionales de una cuenca hidrográfica. Fuente: (Modificado de Schumm, 1977).

La red fluvial de la cuenca, y pese al tamaño de esta última, tiene una capacidad erosiva muy alta al igual que para transportar los materiales que arrastra. En la conjunción de los tres principales ríos de la región se ha formado un abanico aluvial donde se asientan varios sectores de la población de Motozintla, misma que frecuentemente se ve afectada por torrentes durante la época de lluvia. El fondo del cauce del río Xelajú está constituido en su mayoría de cantos rodados y rocas muy angulosas. En la Figura 3.7 se aprecian las numerosas corrientes de orden uno, lo cual es indicativo de procesos erosivos muy fuertes.

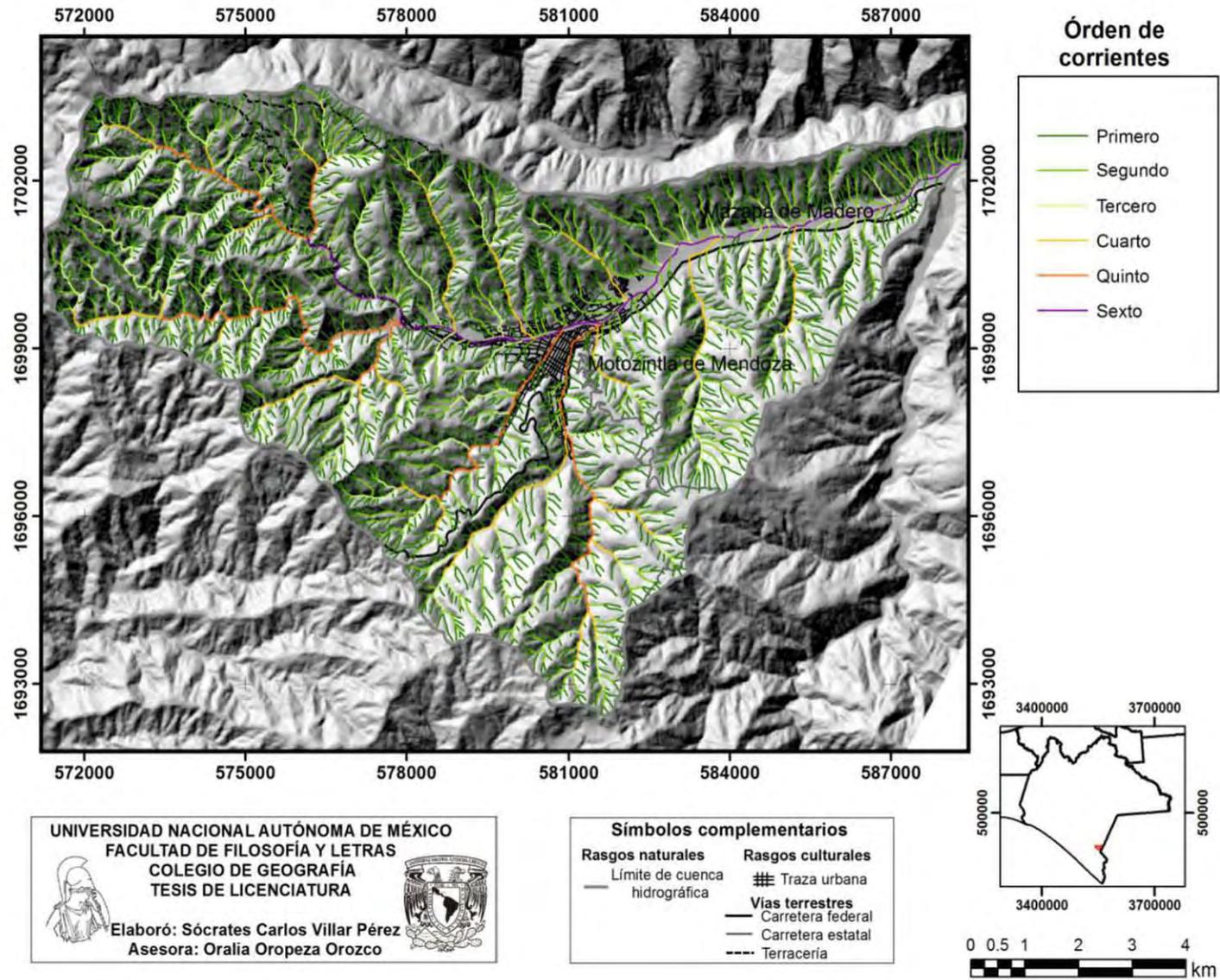


Figura 3.7. Órdenes de corrientes (Modificado de Figueroa y Oropeza, 2013).

El río Xelajú, y los afluentes Morelos, La Mina y Allende, han sido canalizados desde decenas y cientos de metros antes de entrar a la ciudad de Motozintla, ya que han provocado desbordamientos importantes y han afectado a la población. Dichas obras se han implementando para controlar las intensas avenidas de agua que se forman por las fuertes lluvias y que, transportan importantes cargas de sedimentos río abajo (Figura 3.8). Estas medidas, aunque tienen la finalidad de proteger a la población contra las inundaciones, son insuficientes pues están mal diseñadas, no se reconoce el funcionamiento integral de toda la cuenca. La misma población menciona que son medidas paliativas pues no resuelven el problema.



Figura 3.8. Se muestran la amplitud del río Xelajú y sus afluentes. a) El cauce principal del río Xelajú presenta terrazas fluviales; b) La Mina, se encuentra canalizado antes de entrar a la ciudad; c) En las márgenes del río Morelos la depositación sobrepasa los 2 metros de altura, debido al desbordamiento de materiales fluviales. Por esto mismo, la canalización está en construcción; d) Canalización del río Allende.

3.4. Suelos.

Si bien los suelos proporcionan varios servicios ambientales en la cuenca de Motozintla, la intervención del ser humano desde tiempos históricos ha generado su degradación. La intensa actividad antrópica sobre los suelos ha ocasionado efectos negativos a través de procesos de erosión, lo que conlleva la pérdida de material, fertilidad y calidad del mismo (Ramos *et al.*, 2008) y por ende disminuye su capacidad para sustentar a la vegetación natural y a los cultivos.

Asimismo, debido a la condición alterada del suelo, existen factores como las precipitaciones, las cuales están asociadas a procesos geomorfológicos (PRM e inundaciones), intensificando y creando mayor erosión de los suelos.

Es importante señalar que los suelos de la cuenca derivan de rocas muy antiguas (mica-esquistos, granitos y pizarras del Precámbrico y Paleozoico; molasa continental, metandesita metariolita metagrauvaca metatoba y metagranito del Mesozoico) y rocas más recientes (rocas volcánicas del Cenozoico, cenizas volcánicas y aluviones del Cuaternario), Carfantan, 1977. Por el material de origen junto con otros factores formadores del suelo (clima, topografía, organismos y tiempo) se han desarrollado varios tipos de suelo que se describen de acuerdo a asociaciones representadas como unidades cartográficas por el INEGI (1985).

Asociación de Acrisol húmico, Andosol ócrico y Regosol dístico:

Acrisoles. En general se localizan en zonas tropicales o templadas muy lluviosas, con vegetación de selvas y bosques. En la cuenca se encuentran en clima templado húmedo con vegetación de bosque mesófilo y pino-encino y en clima semicálido subhúmedo con vegetación de encino-pino. Presentan un alto contenido de arcillas en el subsuelo, son de colores rojos y amarillos, se caracterizan también por ser ácidos o muy ácidos y el mejor uso que se le puede dar a estos tipos de suelos es de carácter

forestal, por otro lado, son altamente susceptibles a la erosión ya sea en pendientes de poca inclinación o fuertes declives.

Acrisol húmico. Presentan una coloración oscura en la capa superficial, ricos en materia orgánica (humus), pero al mismo tiempo es ácida y con muy poca variedad de nutrientes.

Andosoles. Estos suelos se desarrollan en superficies donde existen materiales volcánicos, principalmente en zonas montañosas. Por lo general, las especies de árboles que predominan son los pinos y encinos, se caracterizan por tener una capa superficial de color negro a clara y los materiales que contienen son generalmente sueltos. El mejor uso que les puede dar el ser humano es el forestal, aunque también se les puede dar un uso agrícola, pero éste es de bajo rendimiento; son altamente susceptibles a la erosión.

Andosol ócrico. La característica principal de este suelo es una capa superficial de color claro y muy pobre en materia orgánica.

Regosol. Estos suelos se localizan en distintos climas y diversos tipos de vegetación, en general son de color claro y son muy parecidos a la roca que los subyace. Son de poca profundidad, están en laderas de las sierras y la fertilidad es variable. Para la agricultura su uso está condicionado por su profundidad y es importante señalar que el rendimiento en producción es bajo. Son sumamente susceptibles a la erosión debido a que tienen poco desarrollo vertical.

Regosol dístrico. Se caracterizan por ser suelos de baja fertilidad y ácidos, por ende, puede decirse que son de baja productividad.

Esta asociación de suelos ocupa una superficie aproximada de 3,507 ha (35%) y se localiza en las partes más altas del noroeste y sur de la cuenca (Ramos y Morales, 2013).

Asociación de Fluvisol éútrico y Feozem háplico.

Fluvisoles. Son suelos que se consideran relativamente jóvenes con poco desarrollo, en depósitos aluviales y se encuentran en las márgenes de los ríos. La vegetación en este tipo de suelos es muy variada, desde matorrales, pastizales, hasta selvas. Otro tipo de especies arbóreas típicas son los sauces, ahuehuetes y ceibas. También presentan capas alternadas de arcilla, arena o grava, resultado de crecidas o inundaciones no muy antiguas.

Fluvisol éútrico. Son los más fértiles y tienen las mismas características del grupo principal. En la cuenca se usan para la agricultura de riego y de humedad, donde se cultivan hortalizas, también para la ganadería extensiva en pastizales inducidos.

Feozem háplico. Son suelos que se encuentran en varias condiciones climáticas, desde zonas semiáridas, templadas o tropicales lluviosas, en terrenos planos o montañosos y, por lo tanto, soportan casi cualquier tipo de vegetación en condiciones naturales. El color que tienen en su superficie es principalmente oscuro, ricos en materia orgánica y en nutrientes. La profundidad puede ser profunda o somera según el lugar donde se encuentren. Sus rendimientos son bajos y son muy susceptibles a la erosión. Para la agricultura, el pastoreo o la ganadería deben utilizarse con restricciones o incorporando prácticas de manejo y conservación de suelos.

La asociación de Fluvisol éútrico y Feozem háplico tiene una superficie estimada en 756 ha (8 %) que corresponde a los valles principales (Ramos y Morales, 2013).

Asociación de Regosol éútrico, Feozem háplico y Litosol

Litsoles. Se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación. Se caracterizan por tener una profundidad menor de 10 cm hasta la roca. Se localizan en todas las regiones montañosas. Pueden ser fértiles o infértiles, arenosos o

arcillosos. Su susceptibilidad a erosionarse es muy alta en zonas de fuertes pendientes. Su utilización debe ser forestal.

La superficie de esta asociación de suelos es de 5,590 ha (57%), prácticamente se distribuye por toda la cuenca (Ramos y Morales, 2013).

3.5. Vegetación y uso de suelo.

Hoy en día, la cobertura vegetal juega un papel muy importante en el ámbito de las investigaciones ambientales, ya que se toma como un indicador ecológico, que permite determinar, de manera indirecta, las condiciones climáticas, inferir la presencia o ausencia de agua y conocer la riqueza biológica que guarda un territorio, así como los procesos de degradación que se pueden acelerar debido a la ausencia de esta cubierta, solo por mencionar algunos aspectos (Medrano, 2004, en Morales y Ramos, 2013).

Asimismo, por su parte, el uso del suelo es el reflejo, en un momento dado, de las relaciones entre la naturaleza, la sociedad y la economía tienen una expresión espacial. A través del uso del suelo uno puede determinar cuál ha sido el funcionamiento de un territorio y a la vez se puede constatar que en su distribución histórica no se ha tomado en cuenta la vocación o aptitud del suelo por lo que en la actualidad, en las diversas unidades de uso de suelo se concentran numerosos problemas ambientales desde contaminación, erosión/sedimentación, pérdida de biodiversidad, hasta riesgos y desastres de origen natural y antrópico, entre otros.

En muchos estudios con fines de planificación territorial se manejan distintas unidades de integración (Gómez-Orea, 2007) tales como el paisaje, unidad espacial, unidad ambiental, unidad operativa o funcional, geosistema, entre otros. En este trabajo se seleccionó como unidad de análisis espacial, para determinar la vulnerabilidad ambiental, a las unidades de vegetación natural y de uso de suelo ya que en estas unidades concurren e interactúan múltiples factores que en conjunto conforman el sistema territorial.

Las unidades de vegetación y uso del suelo se describen de acuerdo al trabajo de Morales y Ramos (2013) quienes interpretaron digitalmente una imagen satelital (Sky Eye), con fecha de diciembre de 2010. Además, se apoyó con trabajo de campo, la representación cartográfica se realizó a escala 1:50,000.

Vegetación natural:

Bosque mesófilo de montaña y vegetación secundaria de bosque mesófilo de montaña. A este bosque también se le conoce como bosque de niebla. Tiene una gran diversidad de especies pero está muy amenazado y fragmentado debido a la presión ejercida por las actividades agropecuarias. Se localiza principalmente en las partes altas del sur y suroeste de la cuenca, a una altitud superior a los 2,000 m, ocupa una superficie estimada en 882 ha. Entre los géneros más comunes se encuentran: *Liquidambar*, *Salix*, *Alnus*, *Juglans*, *Platanus*, *Pinus*, *Quercus*, *Magnolia*, *Prunus*, *Crataegus*, y *Ulmus*.

Bosque de pino–encino y vegetación secundaria de bosque de pino-encino. Se ubican principalmente en la porción media de la cuenca, entre los 2,000 y 1,400 m de altitud, y cuentan con una extensión de 3,424.18 ha. Igualmente se encuentra muy fragmentado. Las especies dominantes son: *Pinus spp.* y *Quercus spp.*

Vegetación secundaria de bosque de encino. Por su posición altitudinal, la presente comunidad vegetal, se sitúa ligeramente por debajo de las antes mencionadas y por arriba de la vegetación secundaria de selva baja caducifolia. El área ocupada es de 1,535.28 ha. La especie dominante es *Quercus spp.*

Vegetación secundaria de selva baja caducifolia. En la porción baja de la cuenca, con un clima cálido subhúmedo, se establece la vegetación secundaria de selva baja caducifolia, con un área estimada en 868. 64 ha. Especies comunes son *Bursera spp.*, *Heliocarpus spp.* y *Tabebuia spp.* (Reyes y Sousa, 1997), en la zona

de estudio se mezclan con numerosas plantas espinosas (cactáceas y huizaches). En la época seca del año la mayoría de los árboles pierden sus hojas.

Usos del suelo:

Agricultura de riego. Esta actividad agrícola se desarrolla en la parte baja de la cuenca, sobre el valle tectónico de Motozintla, cerca de Mazapa de Madero, ocupando un área aproximada de 33.73 ha. Principalmente se cultivan hortalizas y legumbres (cebolla, tomate, lechuga, col, betabel, frijol, papa) y flores.

Agricultura de humedad. Este tipo de agricultura se distribuye en los abanicos aluviales localizados en la cuenca baja, cerca de la ciudad de Motozintla, con una extensión territorial calculada en 11.53 ha. Entre los cultivos más importantes también se encuentran las hortalizas y legumbres.

Agricultura de temporal. En este uso de suelo se integran los cultivos de temporal (maíz, frijol, trigo, papa y frutales: cítricos, aguacate, café, plátano, manzana, pera y durazno) y los pastizales inducidos, destinados a la ganadería de bovinos, caprinos, ovinos y equinos, que a la escala de trabajo no se pudieron separar pero que se encuentran en las áreas más bajas de la cuenca, situándose paralelamente en las orillas del río Xejalú y en las partes más altas, en las zonas de cabecera y parteaguas. Los cultivos de temporal se distribuyen en toda la cuenca cubren una superficie de 2,567 ha.

Asentamientos humanos. El uso de suelo referente a los asentamientos humanos en la cuenca está representado por las ciudades de Motozintla y Mazapa de Madero, las cuales cuentan con una superficie estimada en 313.11 ha.

Sin vegetación aparente. Esta clase agrupa todos los materiales sedimentarios que no tienen vegetación o ésta es muy escasa y dispersa, ubicados sobre el valle tectónico, en la parte media y baja de la cuenca; la superficie ocupada es de 225.33

ha. En particular, son suelos próximos a la periferia de la ciudad que perdieron su capa vegetal, algunos suelos erosionados, terrenos arenosos en las márgenes del río y depósitos recientes de movimientos de masa.

En Motozintla, la deforestación ha propiciado que más de 50 mil hectáreas de bosques y selvas de las laderas montañosas que la rodean hayan desaparecido y que con las lluvias torrenciales de Stan la erosión hídrica causara severos daños en los suelos desnudos. La reducción de la capacidad de los suelos deforestados para infiltrar agua al subsuelo en regiones con pronunciadas pendientes provoca uno de los procesos más agudos de erosión de suelos que puede comprobarse por la gran cantidad de sedimentos arrastrados por el agua (Suárez, 2006).

3.6 Aspectos socioeconómicos.

El estado de Chiapas es la séptima entidad más poblada de la República Mexicana, el Censo Nacional de Población y Vivienda de INEGI (2011) estima la cifra de 4, 796, 578 habitantes, con una tasa de crecimiento anual de la población de 2.2 %; tasa superior a la registrada a nivel nacional. Debido al crecimiento y a las condiciones sociales como la desigualdad, marginación y pobreza, entre otros, la población se encuentra dispersa y está asentada en numerosas y pequeñas localidades a lo largo y ancho de todo el territorio.

La principal ciudad es Tuxtla Gutiérrez (capital de Chiapas), cuenta con 820,228 habitantes. Por otro lado, existen otras ciudades importantes pero con menor cantidad de población como son: Tapachula, San Cristóbal de las Casas, Comitán, Palenque, Cintalapa, Ocosingo, Villaflores, Tonalá, Huixtla, Reforma, Arriaga, Motozintla y Las Margaritas.

De manera particular, en la cuenca de Motozintla se distribuyen 56 localidades, sobresalen Motozintla de Mendoza, la ciudad más importante cuya cabecera tiene una población de 23, 755 habitantes (correspondiente al 74 % de la población de la cuenca).

La segunda ciudad en importancia es Mazapa de Madero (mil 500 habitantes en la cabecera municipal).

De las 56 localidades, 48 pertenecen a Motozintla, y ocho a Mazapa de Madero. Estas dos últimas, se caracterizan por concentrar la población en las partes bajas de la cuenca, mientras tanto, el resto de las localidades están dispersas en toda la cuenca y con elevados niveles de marginación.

El crecimiento acelerado de la población en la cuenca se debe a la fuerte migración rural-urbana de otras localidades de la región, en busca de mejores condiciones de vida. Por ser la cabecera municipal y regional más importante, los bienes y servicios se concentran allí. Por otro lado, este fenómeno de migración también se desencadena por los jóvenes que desean mejorar las opciones de estudio y de trabajo (Morales, 2009).

Debido a las condiciones en las que vive la población, puede decirse que presentan situaciones de pobreza y pobreza extrema. Para Motozintla de Mendoza, el 81.3 % de la población se caracteriza por tener bajos recursos, al igual que en Mazapa de Madero con un índice de pobreza del 34.9%.

Como ya se ha comentado, la población de la cuenca de Motozintla, en su mayoría, vive en condiciones económicas muy desfavorables, según Rodríguez y Novelo (2013) mencionan que en la región, el hacinamiento es significativo (seis o más habitantes por vivienda); escasas condiciones de comunicación a distancia (sin televisión y sin teléfono); bajos ingresos económicos (menos de un salario mínimo por integrante, sin tener capacidad de ahorro); población menor a 5 años y mayores de 70 con discapacidad analfabeta.

Por lo que respecta a la religión, aproximadamente el 39 % de la población de Motozintla de Mendoza profesa la católica. Según Morales (2009), en la cabecera municipal se encuentran los mayores pobladores que profesan el cristianismo, adventistas, presbiterianos y testigos de Jehová.

Por otro lado, la mayoría de las familias (71 %) tienen un gasto económico que va de los 50 a los 150 pesos al día. El 40 % de la población no cuenta con algún servicio médico (IMSS o ISSSTE), sin embargo, el 60 % sí cuenta con alguno de estos dos servicios, y el 7 % de la población tiene el servicio completo, es decir, con derecho a hospitalización e intervención quirúrgica (Rodríguez y Novelo, 2013).

Las principales actividades económicas de la ciudad y cuenca de Motozintla son las primarias: agricultura, ganadería y forestal (productos maderables, INEGI, 2013).

Debido a los elementos ya antes mencionados, la población presenta condiciones socioeconómicas limitadas, y esto es un indicador de que la sociedad presenta alta vulnerabilidad frente a diversos tipos de amenaza.

CAPÍTULO IV. PRINCIPALES AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL Y SOCIONATURAL.

Este capítulo trata sobre las amenazas por inestabilidad de laderas, la erosión del suelo y las inundaciones que son los tres aspectos relevantes que más adelante se relacionan con la vulnerabilidad ambiental de la cuenca de Motozintla.

En diversas partes del mundo, las amenazas son consideradas como peligros latentes, que pueden ser de origen natural o antrópico. Las primeras tienen su formación en la dinámica propia de la Tierra, las segundas, las de tipo socionatural, se ven expresadas en los fenómenos físicos cuya existencia, intensidad y recurrencia se relacionan con procesos de degradación ambiental o intervención humana en los ecosistemas (Llanes, 2005; CEPREDENAC-PNUD, s/f).

En México, debido a su posición geográfica, se presentan diversos tipos de peligros de origen natural. Los huracanes, inundaciones, procesos de ladera, los sismos y las erupciones volcánicas, son eventos que ponen en riesgo a la población que está expuesta a estos fenómenos.

Con el paso de los años, el crecimiento acelerado de zonas urbanas importantes como la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Tuxtla Gutiérrez, Puebla, Oaxaca, Teziutlán, Coatzacoalcos, entre otras., además del cambio de uso de suelo para diversas actividades económicas, han sido y son factores importantes para que procesos geomorfológicos relacionados con los fenómenos naturales se intensifiquen y, expongan a la población a los desastres que estos conllevan.

La tendencia anterior también se observa en ciudades más pequeñas como la de Motozintla, que no es la excepción, aquí se presentan amenazas de tipo natural y socionatural. Los procesos de remoción en masa y las inundaciones, son los peligros más comunes del área de estudio. La frecuencia y la intensidad con la que ocurren estos procesos, nos lleva a estudiar con detalle cada uno de ellos de acuerdo a su clasificación y características.

4.1. Clasificación y características de los procesos de remoción en masa y erosión del suelo.

4.1.1. Procesos de remoción en masa (PRM). Son de las amenazas que se presentan con mayor frecuencia y la población está expuesta a ellas en diversas partes del mundo. Ayala y Olcina (2002), mencionan que las zonas geográficas más afectadas por estos procesos y por el número de víctimas, han sido en el continente asiático, con el 80.5 %, Sudamérica con 14.6 % y Europa (zona de los Alpes) con el 4.9 %. Estos procesos de remoción en masa se presentan sobre la superficie terrestre en una extensa variedad de escalas, lugares, condiciones geológicas, geomorfológicas, climáticas e inclusive sociales (Alcántara-Ayala y Murillo, 2007).

Los PRM también son denominados procesos de ladera (slop process), movimiento de remoción en masa (mass movement), desgaste de masas, procesos gravitacionales (gravitational processes), deslizamientos de tierra (landslides) y movimientos de ladera, todos éstos se enfocan en un área en específico, la ladera (Sánchez, 2012; Alcántara-Ayala, 2000).

En la literatura sobre los PRM existen múltiples definiciones, Alcántara-Ayala (2000) menciona algunos autores que han aportado las definiciones más relevantes como: Penk (1894), que refiere los procesos de ladera como movimientos originados bajo la influencia de la gravedad y por agentes como agua, aire y hielo. Por otro lado, Sharpe (1938), alude que es un movimiento perceptible ladera abajo de una masa relativamente seca de tierra, roca o de una mezcla de ambas, a través de un mecanismo de deslizamiento o desprendimiento. Hutchinson, argumenta que es un movimiento de ladera abajo de masas de suelo o roca, que ocurre en una superficie de cizallamiento en los límites de la masa desplazada (Skempton y Hutchinson, 1969). Para Varnes (1978, en Ayala y Olcina, 2002), la remoción en masa es un movimiento hacia abajo y hacia afuera de los materiales que forman una ladera bajo la influencia de la gravedad.

Mientras que Zaragoza (2006), explica estos procesos como movimientos de suelo, detritos o rocas. Ocurren a partir de una ruptura de la cual se forma un escarpe principal, perpendicular a la dirección de la pendiente.

Igualmente, existen numerosas clasificaciones de PRM, esto se debe a que la complejidad y los enfoques que se han dado a través de diversos trabajos, tienen una amplia gama de elementos a considerar. Estas clasificaciones se han basado, de manera general, en aspectos como los atributos morfológicos de los movimientos, tanto de la superficie de ruptura como del área de depósito (Skempton, 1953; Blong 1973; Brunsden, 1973; Crozier, 1973; en Alcántara-Ayala, 2000).

Sharpe (1938) y Varnes (1978); en *ibid*, (2000), se enfocan principalmente en otros elementos como la velocidad del movimiento donde se desplazan los materiales involucrados. Así, muchos más autores, para elaborar su clasificación ocupan los materiales involucrados en el deslizamiento, la antigüedad del movimiento, el grado de actividad y el tipo de clima que se presenta en la región.

La primera clasificación más aceptada a nivel mundial fue propuesta en el año de 1993 por el Programa de la Ocurrencia Temporal y Pronóstico de Deslizamientos de la Comunidad Europea (EPOCH, por sus siglas en inglés), dicha propuesta se basó en los criterios de Varnes (1978) y Hutchinson (1988), esta clasificación comprende seis grupos principales de PRM: Caídas/Desprendimientos, vuelcos, deslizamientos, flujos, expansiones laterales y movimientos complejos (Alcántara-Ayala, 2000). La característica más importante de esta clasificación es que se enfoca en la morfología de los procesos, por esta razón, es la que se utiliza en la presente investigación.

Para la cuenca de Motozintla, la clasificación de EPOCH será la base para caracterizar los PRM. Solo se describen los que se identificaron (se excluyen los vuelcos y las expansiones laterales).

a) Caídas/desprendimientos.

Este tipo de movimientos se da por el desprendimiento de suelo y/o rocas, a partir de una pendiente pronunciada a lo largo de una superficie donde no existe desplazamiento de cizalla. El material desprendido desciende principalmente por la caída en forma de rebote, rodamiento, deslizamiento o fluido, afectando a las partes más bajas (Figura 4.1). Las rocas pueden romperse en el momento del impacto o rodar hasta donde el terreno sea más plano. El material considerado no incluye las pequeñas partículas, resultado del intemperismo (Lynn, 2008; Alcántara-Ayala, 2000).

La velocidad de estos movimientos es extremadamente rápida, y se presenta cuando la ladera tiene una inclinación $>50^\circ$ (González de Vallejo *et al.*, 2004).



Figura 4.1. Caída de rocas en la margen de la carretera Motozintla-El Pizarrín.

b) Deslizamientos rotacionales.

Son movimientos que tienen una morfología circular o de cuchara en la superficie de falla (no siempre se presenta de manera definida). Estos se pueden subdividir en simples, múltiples y sucesivos, y se caracterizan también por el grado de desintegración de los materiales, en el movimiento y en el depósito (Dikau *et al.*, 1996).

Estos procesos ocurren por el gran número de materiales que son iguales en sus propiedades físicas como el tamaño, porosidad, textura, entre otros. El tamaño del movimiento está asociado con el grado de inclinación de la pendiente en la que se encuentre (aproximadamente entre 20° a 40° de inclinación) y en los suelos, la superficie de rotura tiene que ver con la profundidad que hay (entre 30 cm y 1 m), lo que propiciará que la velocidad del deslizamiento sea variable (Lynn, 2008).

En los deslizamientos rotacionales, los bloques ubicados en la parte superior se inclinan hacia atrás y el escarpe principal regularmente es vertical. La masa desplazada se acumula ladera abajo y la deformación que tiene en el interior es de muy bajo grado (Figura 4.2). La velocidad de estos movimientos es variable, ya que depende mucho de los materiales y el agente desencadenante que lo propicia. (Alcántara-Ayala, 2000).



Figura 4.2. Depósito en gradería de deslizamiento rotacional en la zona del cerro El Caballete.

c) Flujos.

Estos procesos también llamados coladas o flujos de derrubios, son movimientos en masas de suelos (flujo de barro o tierra), derrubios o bloques rocosos, con una abundante presencia de agua, donde el material se disgrega y se comporta como fluido, sufriendo una deformación continua, sin presentar superficies de rotura (González de Vallejo, *et al.*, 2004).

Los flujos son movimiento muy parecidos a un fluido viscoso, razón por la que la distribución de velocidades (1m/s hasta 12-15m/s) no es homogénea y origina la morfología del depósito en lóbulos a partir del predominio intergranular, también se pueden presentar en laderas que tengan baja pendiente ($<10^\circ$) y llegan a alcanzar varios kilómetros en el terreno (ibid, 2006; Alcántara-Ayala, 2000).

En el área de estudio, estos flujos son muy comunes debido a que las pendientes que allí se encuentran son pronunciadas, una litología alterada y sumamente fracturada, la presencia de agua en temporada de lluvias es abundante y las actividades antrópicas han modificado intensamente el relieve. Los flujos se generan en la porción sur de la cuenca en las partes más altas de las cabeceras, su morfología es en lóbulos alargados y escalonados.

d) Movimientos complejos.

Los movimientos complejos se presentan cuando el tipo de movimiento inicial se transforma en otro, desplazándose ladera abajo. Cabe destacar que los más importantes son los aludes o las avalanchas de rocas y los flujos deslizantes, los dos primeros, consisten en la movilización a gran distancia de grandes masas de roca y detrito, las cuales viajan a velocidades muy altas. Por otro lado, los flujos deslizantes son resultado del colapso repentino de la ladera, con una gran extensión de masa con material intergranular o de detritos que viajan a velocidades rápidas o extremadamente rápidas. Es importante mencionar que durante el colapso del material desplazado, la

carga del terreno es transferida a los fluidos de los poros (generalmente agua), lo que ocasionará un incremento en la presión de estos últimos y, generará una pérdida de resistencia en los materiales, ocasionando así un flujo deslizante. La morfología resultante de estos tipos de PRM es por lo general alargada y estrecha, y el área de depósito tiene un espesor relativamente bajo (Hutchinson, 1988; en Alcántara-Ayala, 2000).

Los movimientos complejos, se presentan con frecuencia en el área de estudio. Estos de igual manera, se localizan en las partes más elevadas de la cuenca, afectado vías de comunicación y población que habita en las periferias montañosas.

Además, se identificó el proceso de reptación, también conocido como creep, este movimiento no presenta una superficie de rotura (Figura 4.3), se caracteriza por tener un desplazamiento superficial de muy lento (unos centímetros) a extremadamente lento, es prácticamente imperceptible, afecta suelos y materiales alterados, provocando deformaciones continuas que se manifiestan al cabo del tiempo en la inclinación o falta de alineación de los árboles, vallas, muros, postes, etc. en las laderas (González de Vallejo *et al.*, 2004).



Figura 4.3. Deformación del suelo e inclinación de la vegetación por reptación o creep.

De acuerdo con González de Vallejo *et al.* (2004), los atributos que se deben considerar para caracterizar los PRM son:

- 1) Tipo de movimiento
- 2) Características del material
- 3) Actividad
- 4) Velocidad
- 5) Contenido de Agua

En los procesos de ladera intervienen factores que controlan dichos movimientos y son capaces de modificar las fuerzas internas y externas sobre el terreno. Estos factores se clasifican en: a) condicionantes o pasivos, son los que dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno y b) desencadenantes o activos, éstos pueden ser considerados como los factores externos que provocan o desencadenan la inestabilidad de las laderas y por lo general, también la magnitud y velocidad de los movimientos, un ejemplo de estos son: precipitación y aportes de agua, cambio de condiciones hidrológicas, cambios morfológicos y geometría de las laderas, erosión o socavación del pie de ladera, acciones climáticas, etc. (Alcántara- Ayala, 2000; y González de Vallejo, 2004).

4.1.2. Erosión del suelo.

La erosión del suelo está íntimamente ligada y forma parte de la degradación de tierras, se define como la pérdida de suelo o tierras por procesos naturales (erosión de suelo y corrimiento de tierras), antrópicos o ambos. La consecuencia de esto es la reducción temporal o permanente en la capacidad de producción que la tierra tiene para la productividad natural o el uso de suelo (FAO/UNEP, 1997). Para el presente trabajo, sólo se toma en cuenta la erosión de suelo ya que constituyen el factor más importante de la degradación de tierras en el área de estudio.

Según Miranda (1992), la erosión del suelo, es otro proceso además de los PRM, que actúa con gran severidad en el territorio. La erosión se entiende como el proceso de

desgaste o desprendimiento de partículas del suelo provocado por la acción de agua, viento o remoción en masa.

El tipo de erosión más importante en el área de estudio es la hídrica (Figura 4.4), las características están relacionadas principalmente con la precipitación y el escurrimiento de la misma, desgastando así el suelo y erosionando de manera vertical.

Son cuatro los procesos que se presentan por erosión hídrica: 1) Erosión por salpicadura, consiste en la desagregación y el movimiento del suelo, causado por el impacto de las gotas de lluvia que chocan en la superficie, este proceso no se identificó en área de estudio durante el trabajo de campo; 2) Erosión laminar, es la degradación de una capa relativamente delgada del suelo superficial, debido a la lluvia y la esorrentía del mismo no canalizada; 3) Erosión en surcos, también denominados regueros, estos se presentan sobre terrenos con pendiente y la acción del agua permite que se formen en manera aleatoria pequeños y numerosos canales de pocos centímetros de profundidad; 4) Erosión en cárcavas, aquí los procesos fluviales ya canalizados, profundizan en la vertical y arrastran material ladera abajo hasta seccionar parte de ella. Las cárcavas con frecuencia alcanzan de 0.5 m hasta 25 o 30 m de profundidad (Imeson y Curfs, s/f).

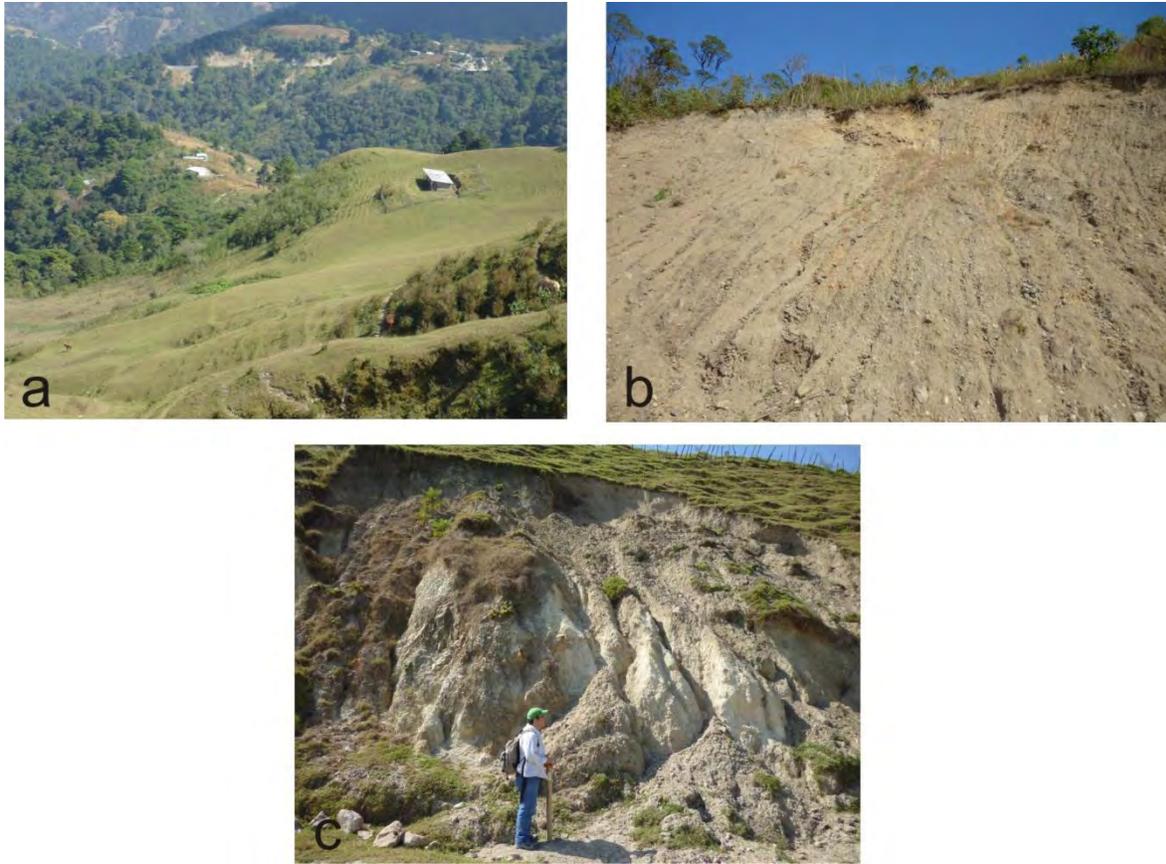


Figura 4.4 Tipos de erosión hídrica en las laderas de la cuenca de Motozintla; a) incipiente desarrollo de erosión laminar en laderas convexas; b) integración y poca profundidad de los surcos en la superficie de deslizamiento y; c) intenso desarrollo y excavación en la vertical, cárcavas en material deleznable.

Como ya se señaló, la erosión de suelos que se presenta en la cuenca de Motozintla se debe a la erosión hídrica, ya sea laminar o concentrada. En el primer caso, el agua escurre de manera mantiforme y destruye la capa superficial del suelo, se pueden formar algunos canalillos del orden de centímetros o decímetros de profundidad. En el segundo caso, el escurrimiento se concentra formando surcos y cárcavas, arrastra mayor cantidad de sedimentos. Los factores que permiten que el suelo sea más susceptible a este proceso son la pérdida total de la vegetación y por lo tanto el suelo queda desnudo o con una escasa cubierta vegetal, sobre todo, por el uso de suelo para agricultura, ganadería y asentamientos humanos. Además, la inclinación de las laderas juega un papel preponderante.

Para complementar la evaluación de la vulnerabilidad ambiental frente a los fenómenos señalados se elaboró un mapa cualitativo de las zonas expuestas a la erosión del suelo clasificándola en tres grados: alto, medio y bajo. Para ello se realizó una interpretación visual de la imagen satelital QBIRD del año 2010 y se superpusieron tres capas de información: densidad de disección, pendiente del terreno y cobertura vegetal a partir de Morales y Ramos, 2013 (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Capas de información utilizadas para elaborar el mapa cualitativo de erosión.

Grados de erosión del suelo	Densidad de disección km/km²	Pendiente en grados	Uso de suelo y vegetación
Alto	> 6	> 18	Agricultura de temporal, bosque de pino-encino.
Medio	5.3 – 6	12 - 18	Vegetación secundaria de bosque de encino, vegetación secundaria de selva baja caducifolia, bosque de pino-encino.
Bajo	4.6 – 5.2	6 - 12	Bosque de pino-encino, bosque mesófilo, vegetación secundaria de bosque mesófilo.

Zonas con valor alto de erosión. La cubierta vegetal es muy escasa o nula en terrenos en descanso y, el uso de suelo es fundamentalmente agrícola, ganadero y forestal. Las superficies más grandes se localizan principalmente en el sector norte y centro-suroeste, aunque existen otros fragmentos más pequeños al sur, en las partes altas de las montañas donde prevalece una agricultura de temporal y pastizales, esto provoca que la erosión se concentre profundizando en la vertical, es notable la formación de

barrancos y hay gran acarreo de material. Esta zona cubre un área de 36.87 km² (Figura 4.5).



Figura 4.5. Formación de barrancos, en la cuenca de Motozintla.

Zonas con valor medio. En ellas existe una cubierta escasa de vegetación natural, la actividad agrícola es de temporal y de riego. Las mayores superficies con erosión media se localizan al sureste y suroeste de la cuenca y en menor proporción en las laderas del sector norte donde se halla la estructura de El Caballete, en total tienen un área de 31.75 km². La presencia de surcos es notable, esto se relaciona porque el suelo está expuesto a la actividad fluvial y hay una integración media de la red de drenaje (Figura 4.6).

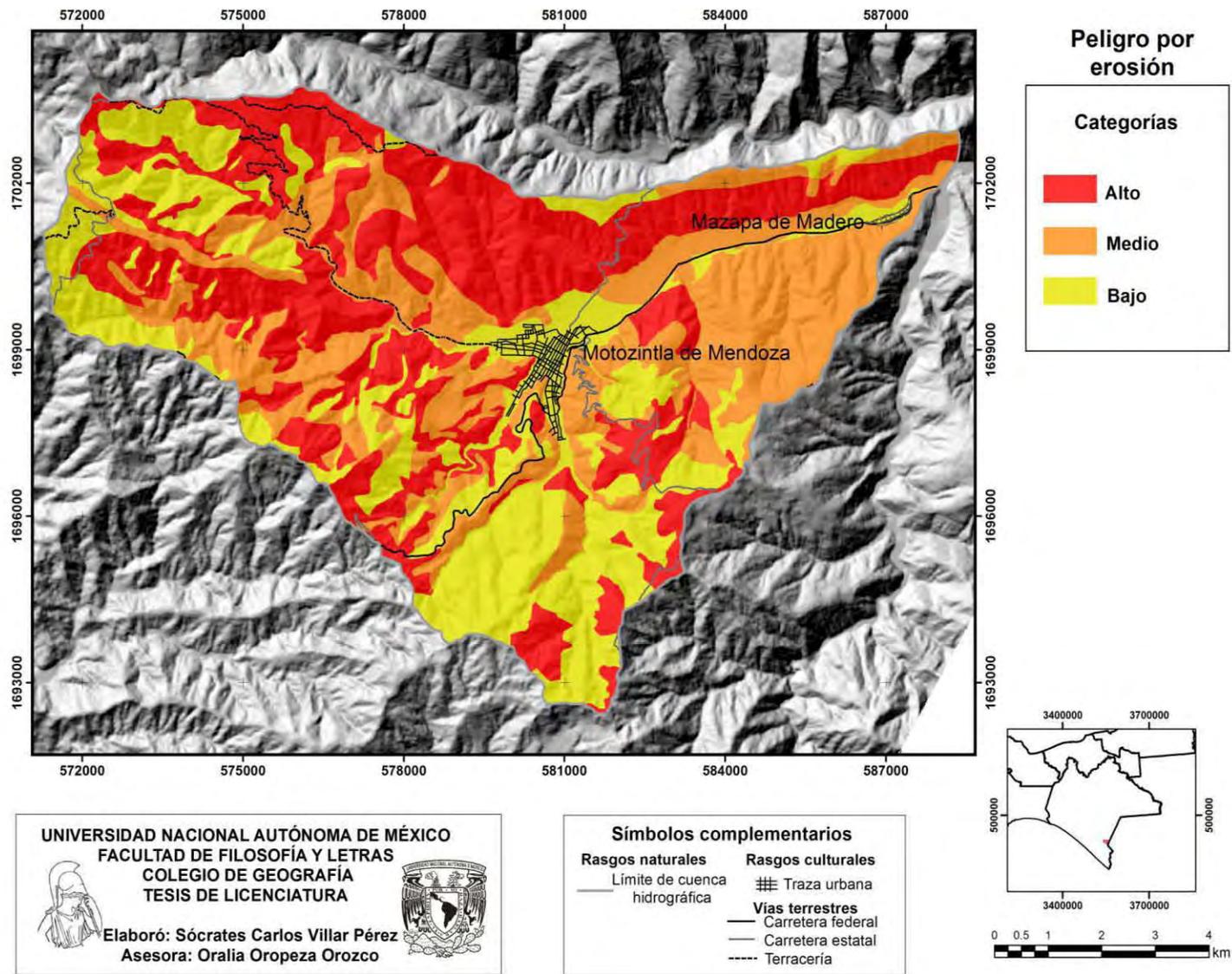


Figura 4.6. Erosión de suelos.

Por último, las áreas con valores bajos de erosión se encuentran principalmente en el sur y suroeste del área de estudio, en conjunto abarcan una superficie de 29.70 km². Estas zonas se caracterizan por tener una abundante cubierta vegetal, porque la erosión laminar del suelo es mínima y la formación de regueros es incipiente.

4.2. Clasificación y características de las inundaciones.

Las inundaciones se consideran como un proceso geomorfológico y son uno de los fenómenos que causa mayor impacto en la sociedad y ecosistemas a escala mundial, causan graves daños en grandes extensiones densamente pobladas. Domínguez *et al.* (1999) definen las inundaciones como fenómenos naturales que se convierten en peligros cuando los espacios ocupados por las poblaciones abarcan las llanuras de inundación de un río y, por consecuencia, son afectadas por la acumulación de agua. En México, las inundaciones son el principal fenómeno que provoca desastres.

Las precipitaciones producidas por la actividad ciclónica y tormentas tropicales, en el periodo del verano y otoño, además de los frentes fríos en invierno, ocasionan lluvias abundantes en diferentes estados como por ejemplo Chiapas, Puebla, Tabasco, Veracruz, Yucatán, entre otros, y actúan como detonadores para que se presenten las inundaciones (Garnica y Alcántara-Ayala, 2004). La morfología del terreno facilita que dichos procesos se desarrollen en el país, las planicies de los grandes ríos prácticamente año con año se desbordan. La causa primaria de este hecho es la pérdida de capacidad hidráulica que se genera en las sierras cuando hay precipitaciones intensas, el agua baja y se adentra a las planicies, desbordando el caudal normal.

Existen diversos tipos de clasificaciones, por su origen, por sus efectos o consecuencias, por su frecuencia, etc. En esta investigación se utilizará la clasificación según su origen de acuerdo con Domínguez *et al.* (1999), inundaciones: pluviales, fluviales (se excluyen las costeras).

1) Inundaciones pluviales.

Este tipo de eventos son consecuencia de las intensas precipitaciones, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excede y comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o hasta días. La característica es que el agua que se acumula es la misma que precipita sobre la zona misma. Dichas precipitaciones están asociadas a las depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes que se generan en los meses de junio a octubre dentro de la República Mexicana, así como también a la influencia de los frentes fríos en el territorio.

Estas condiciones climatológicas dan lugar para que los regímenes hidráulicos de los ríos sean muy irregulares, alternando estiajes prolongados con periodos de avenidas muy grandes.

2) Inundaciones fluviales.

Se caracterizan porque el agua que lleva el río se desborda sobre la superficie, afectando las periferias del mismo. A diferencia de las pluviales, el agua abarca las zonas adyacentes a la fuente principal, corresponde a precipitaciones registradas en cualquier parte de la cuenca y no necesariamente a lluvia sobre la zona afectada. Las inundaciones con mayores magnitudes se presentan en los ríos donde hay más desarrollo longitudinal y llega a las planicies.

Los elementos fundamentales que caracterizan a las inundaciones generadas por un evento hidrometeorológico son los siguientes:

a) Altura de las aguas

Determina la estabilidad de las crecidas frente a los efectos de flotación, también es posible establecer esta medida por cómo se ven afectados los cultivos. Cabe señalar que en el área de estudio, estos rasgos son visibles en los muros de las viviendas,

basura en ramas de los árboles y pérdidas de los cultivos por crecidas o depositación de sedimentos (Figura 4.7).



Figura 4.7. Cultivo de maíz afectado por el aumento del nivel del río Xelajú.

b) Duración

El tiempo de duración está muy relacionado y es proporcional a los daños ocasionados por el evento, ya que destruye infraestructura, afecta a la población y sus actividades económicas como la ganadería, la agricultura y el comercio. Con lluvias extraordinarias, la crecida del río Xelajú puede durar horas o hasta días completos, dejando incomunicada a las poblaciones de Motozintla de Mendoza y Mazapa de Madero, las más importantes de la cuenca.

c) Velocidad

Esta es una característica esencial en las inundaciones, la rapidez con la que va la corriente, a mayor velocidad actúa con más severidad la acción erosiva. Esta depende también de la intensidad, presión y pendiente de las partes altas de donde proviene. La velocidad puede presentarse en cauces principales y en llanuras de inundación. Debido a las fuertes pendientes del río Xelajú y sus afluentes, el agua precipitada desciende a grandes velocidades, llevando consigo árboles enteros, rocas de grandes dimensiones, la destrucción de puentes, caminos, etc.

d) Velocidad de la elevación del agua

También llamado coeficiente de elevación del agua, es la rapidez con la que puede ascender la avenida en su transcurso, el factor para que el agua aumente considerablemente es la intensidad y el tiempo que esté precipitando en el territorio. Al poder estimar la velocidad de elevación, se puede determinar el tiempo con que se cuenta para establecer un sistema de alerta temprana cuando una inundación puede afectar a la población y así, poder reducir el nivel de riesgo. Este punto es de gran importancia en la cuenca, ya que sucede con frecuencia en temporada de lluvias extraordinarias, con la gran intensidad de la precipitación y las numerosas cabeceras y los valles estrechos se generan crecidas súbitas en unas cuantas horas, rebasando así la capacidad de los ríos.

e) Frecuencia de la incidencia

Este es un elemento que tiene suma importancia, ya que va a determinar el efecto acumulativo y las zonas de posibles futuras inundaciones. Del mismo modo, también es un indicador que permitirá adoptar medidas para mitigar desastres posteriores. En lo que respecta a los ríos de la cuenca de Motozintla, los procesos fluviales que tienden a presentarse son los acumulativos y erosivos, además, estos dependen también del sector y la pendiente del cauce.

f) La estacionalidad

Es la última característica para poder identificar las inundaciones, está basada principalmente en la época del año. Dependiendo de este factor, se podrán tomar medidas preventivas sobre las áreas que pueden ser dañadas por una inundación en temporada de lluvias.

Cada temporada lluviosa (mayo a octubre), el área de estudio sufre los efectos de las intensas lluvias generadas por los fenómenos hidrometeorológicos de verano, particularmente por las tormentas tropicales y huracanes. Como ya se ha mencionado

en capítulos anteriores, los que más han afectado la zona son: la tormenta tropical *Earl*, 1998; el huracán Stan, 2005 y la tormenta tropical, Agatha, 2010.

Cada uno de estos fenómenos ha dejado una evidencia significativa en las márgenes fluviales de los valles principales de la cuenca, esto confirma que la cuenca es muy susceptible a las inundaciones.

Con objeto de integrar la información de los peligros por inundaciones para realizar el análisis de vulnerabilidad ambiental se tomó como base el mapa de Cantarero (2013). Este mapa se elaboró a partir de la selección de tres escenarios de intensidad máxima de precipitación; el primero con 306.16 mm/h; el segundo con 99 mm/h; y el tercero con 176 mm/20 min. Una vez definidos, se hizo una cuantificación de los caudales máximos de cada uno de los escenarios a través de un estudio hidrológico basado en el método racional (MOPU, 1990, en ibid, 2013). Posteriormente, el estudio hidráulico ha sido simulando la corriente de los caudales que generarían sobre el territorio mediante el modelo HEC-RAS, el cual da como resultado zonas estimadas de inundación para los escenarios antes mencionados. Estas simulaciones permiten el cálculo de las áreas inundables y la altura de los tirantes de agua, y del mismo modo, definir zonas de inundación con respecto al ascenso del río.

De acuerdo con el mapa de Cantarero, 2013 (Figura 4.8), los valles que se consideran con valores altos de peligro por inundaciones se localizan en las zonas más bajas y planas. La pendiente de los ríos juega un papel importante, porque dependiendo de ello las corrientes entre más pendiente tenga el cauce adquieren más velocidad y tienen más poder de destrucción, aunque ésta puede variar según el sector de los valles. En la parte montañosa donde inician los ríos Xelajú, al NW, y La Mina y Allende al sur, la inclinación es de 3° a 6°. Ya en la parte baja, donde confluyen los tres ríos mencionados y sobre el valle principal, la inclinación va de 0° a 6°.

La morfología que tienen los valles de la cuenca alta y baja es diferente, en la primera, son planicies aluviales que tienen aproximadamente entre 70 y 80 metros de ancho y

presentan pequeñas terrazas aluviales que son modificadas en cada evento de crecida. En el segundo caso, el valle tiene una anchura mayor (entre 200 y 300 m), donde existen llanuras de crecida, estas zonas son las más susceptibles a sufrir los estragos de un evento de inundación, afectando así a más del 80% de la ciudad de Motozintla de Mendoza.

Por otro lado, las zonas susceptibles que presentan valores medios y bajos, están ubicadas al pie de las laderas, principalmente a lo largo de todo el valle del Xelajú. Gran parte de estas áreas tienen una inclinación que va de los 6° a los 12° y la geomorfología dominante son los abanicos aluviales, conos-terrazza y terrazas de segundo nivel.

Las áreas de susceptibilidad media necesitan precipitaciones extraordinarias para que el cauce principal aumente considerablemente su nivel y las afecte, éstas se encuentran en su mayor parte urbanizadas. En el sector este de la cuenca, donde se localiza el poblado de Mazapa de Madero, se tiene un valor bajo pero, existen evidencias que eventos importantes de crecidas, pues se ha dañado la infraestructura y las viviendas.

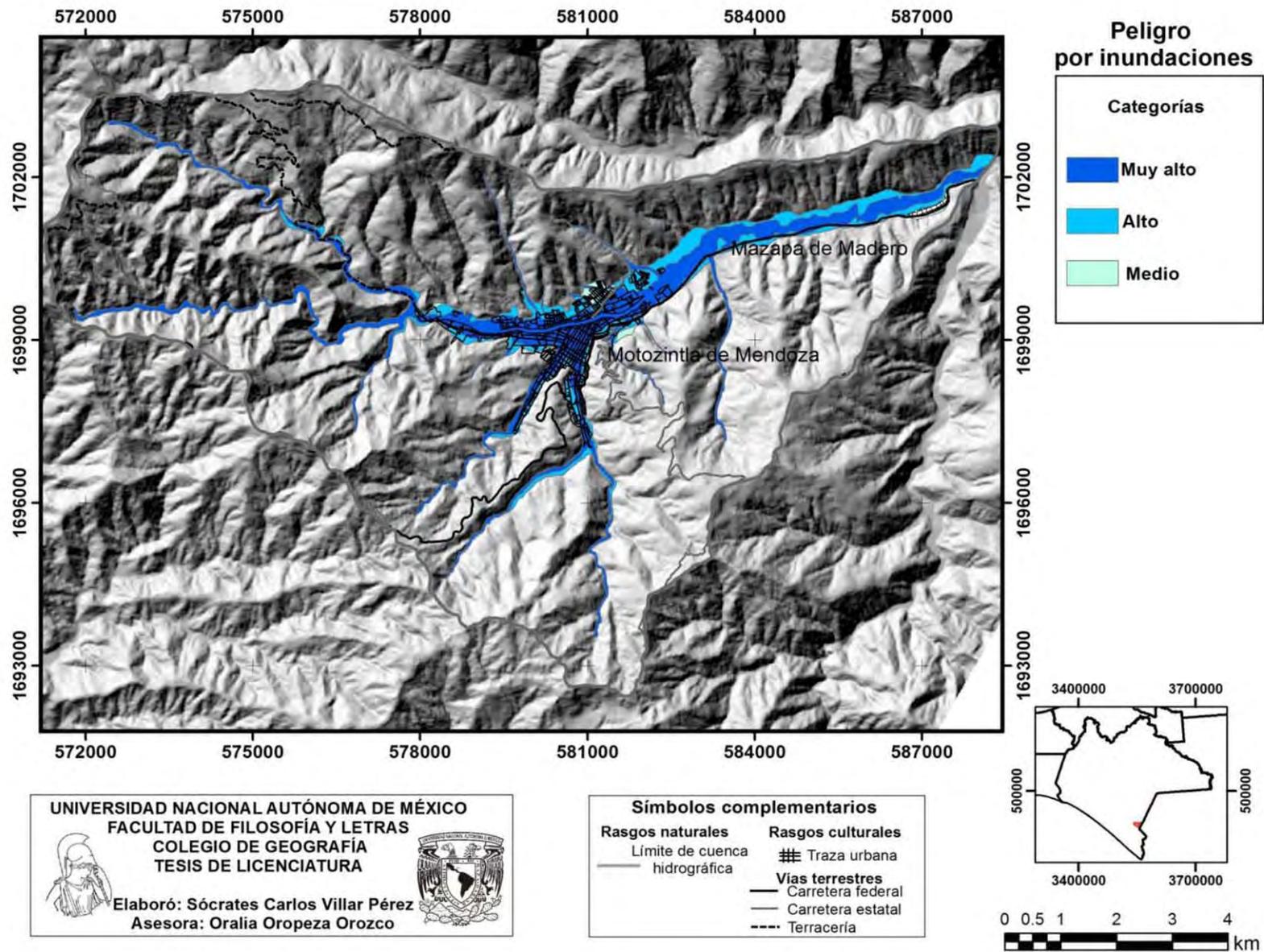


Figura 4.8. Peligro por inundaciones en la cuenca de Motozintla (Modificado de Cantarero, 2013).

4.3. Análisis geomorfológico del área de estudio.

La geomorfología es la ciencia que se encarga de analizar las diversas formas del relieve de la Tierra, mismas que resultan de los procesos endógenos y exógenos. El objetivo de ésta es el establecimiento de las relaciones genéticas y evolutivas de las diferentes unidades que conforman el relieve (Pedraza, 1996). Dichas unidades se representan en documentos cartográficos y constituyen la base para diversas aplicaciones.

De acuerdo con el párrafo anterior, se elaboró un mapa geomorfológico que se utiliza como herramienta para la comprensión de la configuración espacial del relieve. Tomando como base esta cartografía, se zonifican los principales fenómenos peligrosos de la cuenca que se consideraron en este trabajo (procesos de ladera, erosión e inundaciones).

El mapa geomorfológico se llevó a cabo a partir de la fotointerpretación de fotografías aéreas a escala detallada; 1: 8,000, 15,000 y 1: 20,000 (INEGI, 2006), asimismo se ocupó el mapa de morfología de laderas de Ortiz *et al.* (2013). Además, con el apoyo del trabajo en campo, se corroboró y corrigió la información que surge de la fotointerpretación.

En el mapa geomorfológico de la cuenca de Motozintla se identifican dos grandes grupos de estructuras, las que corresponden a las estructuras montañosas compuestas principalmente por grandes bloques de rocas ígneas y metamórficas, cuyas morfologías se asocian a los procesos de remoción en masa: caídas, deslizamientos de tierra, flujos y movimientos complejos. Y, las que corresponden a la parte baja donde se localiza la planicie fluvial, conformada de depósitos aluviales (río Xelajú), donde se identifican abanicos aluviales, terrazas con distintos niveles, taludes de escombros y llanuras aluviales (Figura 4.9, Anexo 1). La cartografía geomorfológica que se preparó constituye un documento útil con fuertes bases científicas que puede ser utilizada como punto de partida para la elaboración de mapas de peligros. Igualmente, puede

considerarse como un inventario de formas de relieve, procesos modeladores y dinámica.

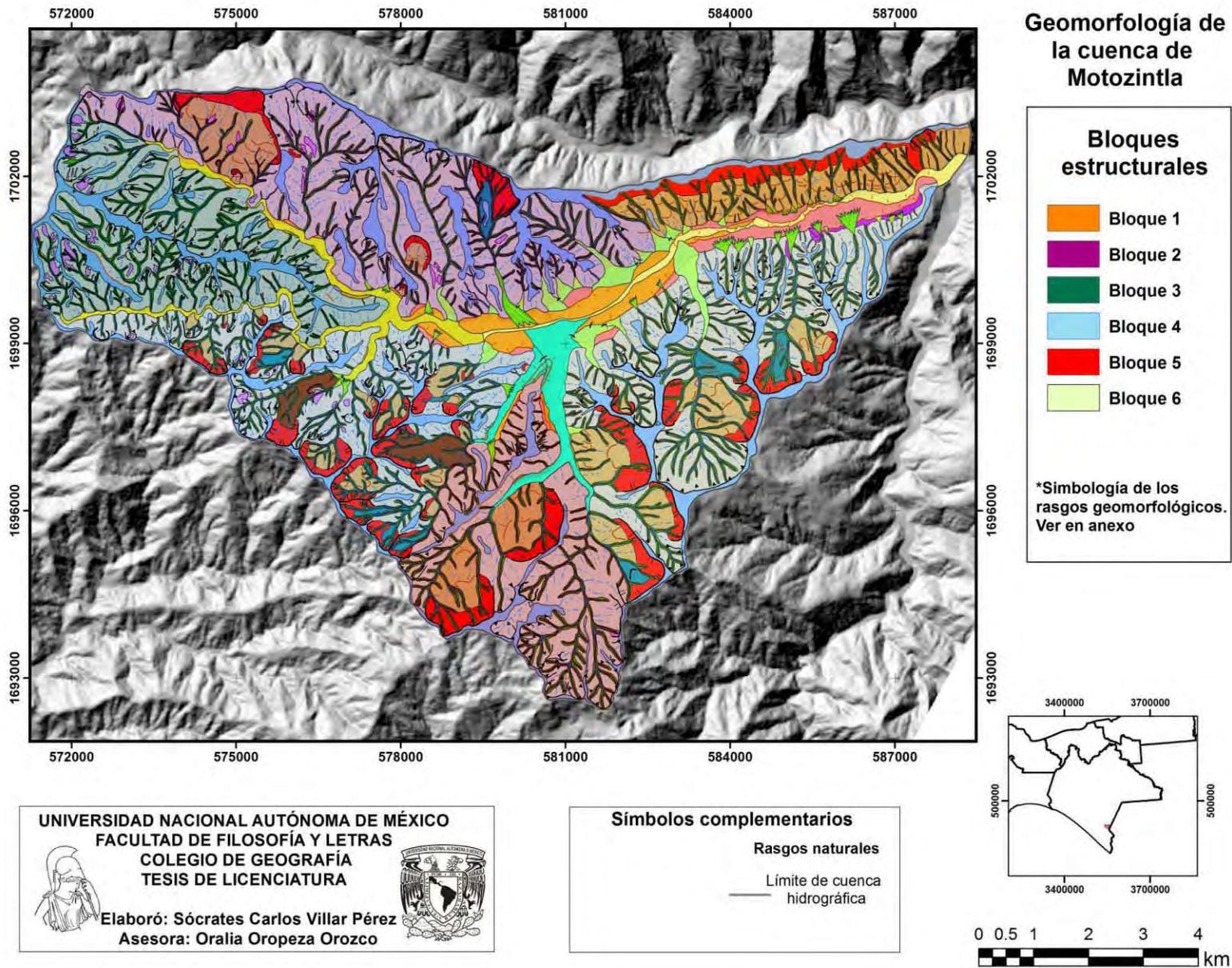


Figura 4.9. Geomorfología de la cuenca de Motozintla.

La leyenda del mapa geomorfológico se estructura de acuerdo con seis grandes bloques geológico-geomorfológicos cuyos criterios diferenciadores son el tipo de roca, su edad, los procesos, la morfología de los sistemas de laderas predominantes y la configuración de la red fluvial.

Leyenda del mapa geomorfológico de la cuenca de Motozintla:

 **Bloque 1. Rocas metamórficas del Mesozoico y procesos de ladera por deslizamiento de tierras.**

1.1 Sistema de laderas con morfología predominante convexo-divergente (<40%), rectilíneo-convergente (<30%) y convexo-paralelo (20%).



1.1.1 Corona de deslizamiento



1.1.2 Superficie de resbalamiento



1.1.3 Depósito de deslizamiento

1.2 Morfología de origen fluvial acumulativo del Cuaternario Reciente y Antiguo.

1.2.1 Terrazas



Niveles Primero Segundo

-Conos-terrazas

1.2.3 Abanicos aluviales



-Inferidos



-Diferidos



1.2.4 Talud de coluvión



Bloque 2. Rocas sedimentarias (molasa continental) del Triásico-Cuaternario y procesos de ladera por deslizamientos, caídas y flujos.

2.1 Sistema de laderas con morfología predominante convexo-divergente (>40%) y rectilíneo-convergente (>20%) y convexo convergente (<20%).



Corona de deslizamiento



Superficie de resbalamiento



Depósito de deslizamiento



Depósito de flujo



Caídas

2.2 Morfología de origen fluvial acumulativo del Cuaternario Reciente y Antiguo.

2.2.1 Terrazas



- Primer nivel

2.2.2 Abanicos aluviales



- Inferidos



Bloque 3. Predominan las rocas metamórficas del Precámbrico y procesos de ladera por caídas.

3.1 Sistema de laderas con morfología predominante convexo-divergente (>30%) y convexo-convergente (>25%) y rectilíneo-convergente (>20%).



Corona de deslizamiento



Superficie de resbalamiento



Depósito de deslizamiento



Caídas

3.2 Morfología de origen fluvial acumulativo del Cuaternario Reciente y Antiguo.

3.3.1 Terrazas



-primer nivel

1.3.2 Abanicos aluviales



-Diferidos



Bloque 4. Rocas ígneas del Plio-Cuaternario y metamórficas del Mesozoico y procesos de ladera por movimientos complejos, flujos, deslizamientos y caídas.

4.1 Sistema de laderas con morfología predominante convexo-divergente (<40%), convexo-convergente (>25%) y rectilíneo-convergente (>20%).



Corona de deslizamiento



Superficie de resbalamiento

	Depósito de deslizamiento
	Depósito de flujo
	Caídas
4.2 Morfología de origen fluvial acumulativo del Cuaternario Reciente y Antiguo.	
4.2.1 Terrazas	
	-Niveles primero segundo
4.2.2 Abanicos aluviales	
	-Inferidos
	-Diferidos
Bloque 5. Rocas metamórficas del Mesozoico y procesos de ladera por deslizamientos de tierra y flujos.	
5.1 Sistema de laderas con morfología predominante convexo-divergente (>40%), convexo-convergente (30%) y rectilíneo-convergente (>20%).	
	Corona de deslizamiento
	Superficie de resbalamiento
	Depósito de deslizamiento
	Depósito de flujo
5.2 Morfología de origen fluvial acumulativo del Cuaternario Reciente y Antiguo.	
5.2.1 Terrazas	
	-segundo nivel
	Valle acumulativo de detritos por efecto de la remoción
5.2.2 Abanicos aluviales	
	-Inferidos



Bloque 6. Rocas metamórficas del Mesozoico y procesos de ladera por deslizamientos de tierra y flujos.

6.1 Sistema de laderas con morfología predominante convexo-divergente (<40%), convexo-convergente (>20%) y rectilíneo-convergente (>20%).



Corona de deslizamiento



Superficie de resbalamiento



Depósito de deslizamiento



Depósito de flujo



caídas

6.2 Morfología de origen fluvial acumulativo del Cuaternario Reciente y Antiguo.

6.2.1 Terrazas



- Niveles primero, segundo y tercero

6.2.2 Abanicos aluviales



-Inferidos



-Diferidos

Rasgos comunes en todos los sistemas de laderas

Relieve Erosivo Fluvial

-Valles



a) <20 metros



b) 20 a 40 metros



c) > 40 metros



c) Escarpes

Rasgos areales



- Cimas convexas y semiplanas

Rasgos lineales



a) Circos activos



b) Circos inactivos

Descripción del mapa geomorfológico.

Bloque 1

El bloque uno se localiza en el Noreste de la cuenca (Figura 4.10), es una estructura geológico-geomorfológica alargada que se caracteriza por sus laderas con pendientes preponderantes entre 12 y mayores de 18°, cuya litología está conformada por rocas metamórficas de edad mesozoica.

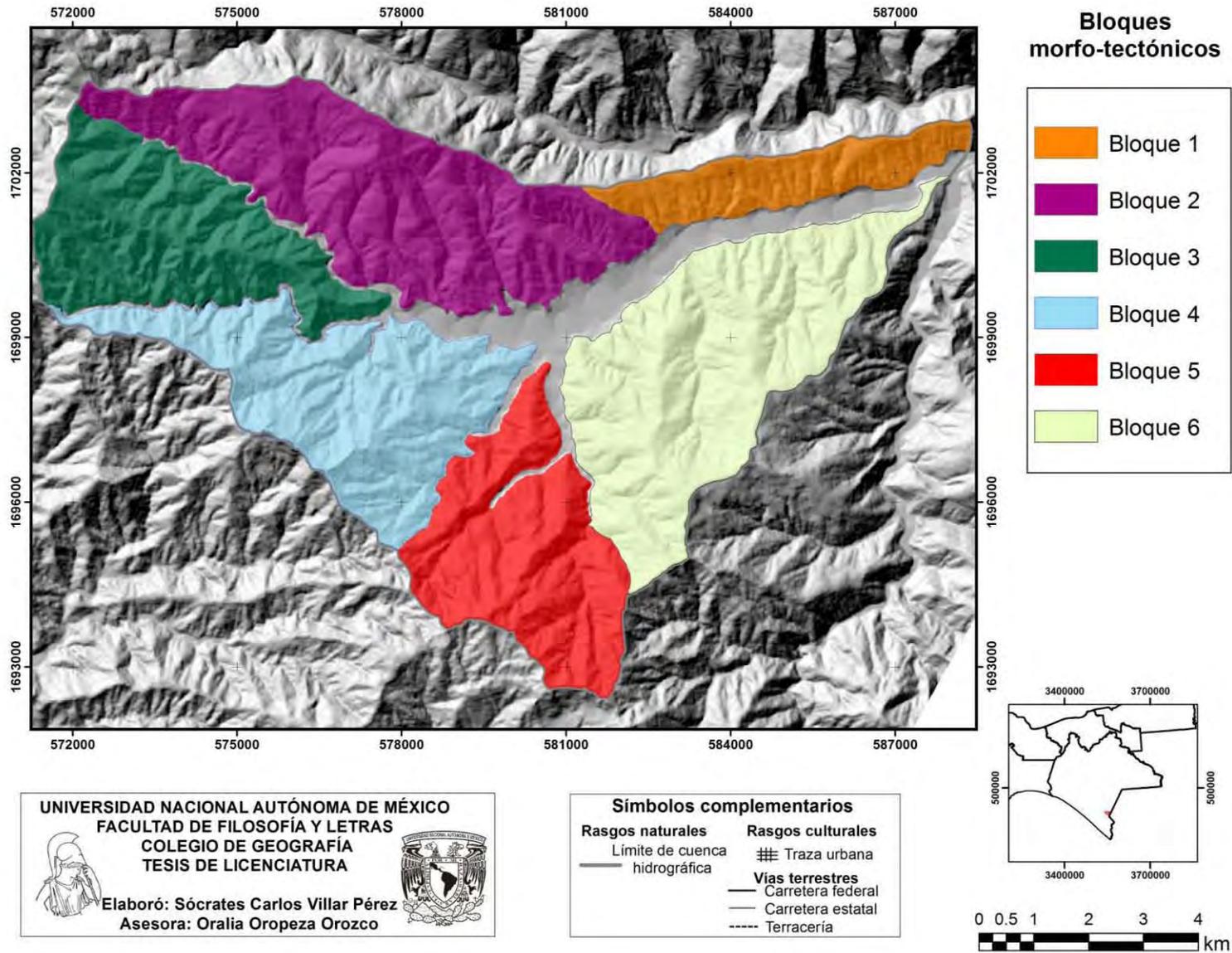


Figura 4.10. Bloques Morfo-estructurales de la cuenca de Motozintla.

En estas laderas predomina, en menos del 40 % de la superficie total del bloque, una morfología convexo-divergente (Figura 4.11), esto es que el flujo tiende a dispersarse, sin embargo, en la parte alta y media de la ladera, el agua escurre en flujos laminares e incluso se infiltra, pero también en la parte media el flujo puede concentrarse y, en la parte baja se acumulan los materiales (coluviones); las laderas rectilíneo-convergentes, se encuentran en menos del 30 %, en ellas se concentra el escurrimiento, éste se acelera favorecido por un declive más o menos constante, corresponde a los valles y cauces de los ríos y arroyos; y las laderas convexo-paralelas (20 %) que se diferencian de las convexo-divergentes porque la energía de los flujos se distribuye de manera uniforme a lo largo de ellas y genera un patrón de drenaje paralelo.

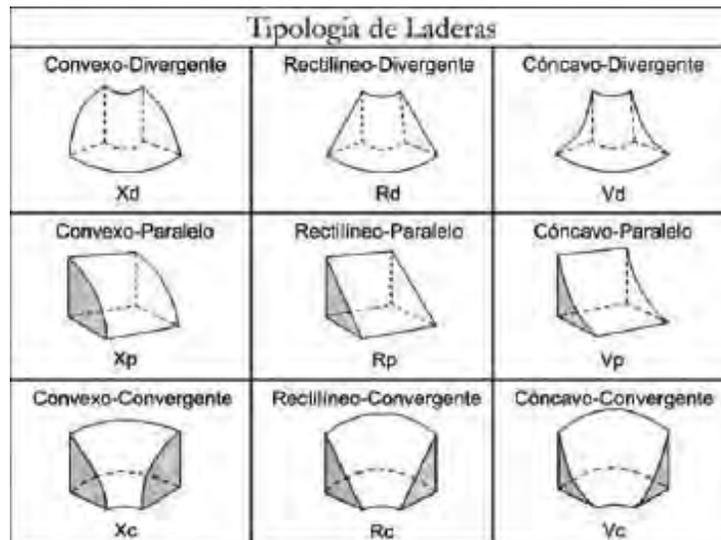


Figura 4.11. Tipología de laderas para la cuenca de Motozintla (Ortiz *et al.*, 2013)

La superficie restante del bloque corresponde a las superficies cumbrales (13.90%) y a otros tipos de laderas que no son representativas (Figura 4.12).

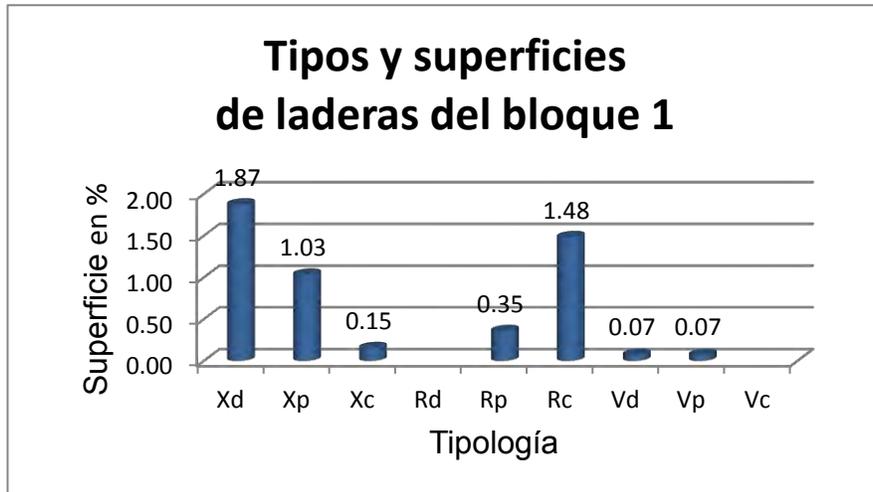


Figura 4.12. Tipos y superficies de las laderas del bloque uno.

Cabe mencionar que casi en todos los bloques y por lo tanto casi en toda la cuenca, las laderas convexo-divergentes son dominantes, en más del 30-40 %, de acuerdo con Ortiz (2013) se debe a que el levantamiento tectónico de la zona es más rápido y sobrepasa en velocidad y magnitud al efecto erosivo.

El rasgo principal que ayudó a determinar el primer bloque es que prácticamente todo éste corresponde al depósito de un antiguo deslizamiento traslacional, tiene aproximadamente cinco kilómetros de longitud. Sánchez (2012) refiere que este gran deslizamiento se produjo debido al alto fracturamiento de la roca y la fuerte inclinación de los planos de estratificación en la ladera ($>30^\circ$). Otro factor al que se asocia dicho movimiento es la falla Polochic-Motagua. Por esto mismo, se evidencia en la parte superior del antiguo depósito una morfología en gradería o escalonada y el escarpe respectivo con dirección Oeste-Este (Figura 4.13).



Figura 4.13. Corona de desprendimiento y depósito de deslizamiento traslacional en gradería, ladera sur de El Caballete.

Un aspecto de este bloque que cabe resaltar es que aún se reconocen sus elementos lineales y areales (corona, superficie de resbalamiento y zona de depósito), además, al interior del mismo, sobre las laderas del antiguo depósito se desarrollan procesos de remoción en masa más pequeños como deslizamientos de tierra que se producen a partir de pendientes mayores a 12° . En la parte más baja de las laderas, se forman taludes de coluvión (Figura 4.14), son formas del relieve características de límites montañosos, son resultado de detritos rocosos de tamaños heterogéneos y angulosos, que por el resultado de la acción de la gravedad, son depositados al pie de las laderas (Lugo-Hubp, 1989).



Figura 4.14. Talud de coluvión al pie de la ladera sur de El Caballete.

En cuanto al relieve fluvial, se clasifica de origen predominantemente acumulativo. De acuerdo con Carfantan (1977) los sedimentos son del Cuaternario Reciente y Antiguo. Las formas resultantes de la dinámica fluvial son terrazas de diferentes niveles, las cuales se forman por los depósitos de detritos y clastos durante las crecidas en las márgenes del río Xelajú.

Lugo-Hubp (1989), menciona que las terrazas de origen fluvial son superficies de poca inclinación, generalmente estrechas y alargadas, delimitadas por cambios bruscos de pendiente. Pueden ser erosivas o acumulativas y su altura se evidencia por la diferencia en la vertical entre una parte de la superficie no alterada por acumulaciones posteriores o por erosión.

Se identificaron tres niveles de terrazas, las de primer nivel o proximales se encuentran inmediatamente a orillas del lecho principal del río Xelajú, son las más bajas. Siguen las de segundo nivel (distales), son alargadas y prácticamente continuas, abarcan un área con mayores dimensiones que las anteriores, sobre éstas yacen abanicos aluviales y taludes coluviales que descienden de los valles del cerro El Caballete.

También, dentro de la misma estructura, existen geoformas denominadas cono-terrazas, éstos se sitúan en las márgenes del río Xelajú, entre los bloques uno y seis. Son formas de acumulación de sedimentos que descienden de los valles y son depositados al pie de la montaña en forma de abanico aluvial o cono. Posteriormente, una vez expuestos en las orillas del valle principal, la corriente corta y arrastra los materiales existentes en el límite frontal, formando así una terraza colgada.

La mayor parte del relieve acumulativo se modifica continua e intensamente debido a los materiales que descienden de la zona montañosa y se canalizan por el río principal que también cambia de curso (Figura 4.15).



Figura 4.15. Depositación de sedimentos en el río Xelajú. Fotografía tomada en enero de 2011.

Por último, en la base de este bloque, se originan abanicos aluviales (Figura 4.16), su relieve es semiplano o de poca inclinación. Se deben a la acumulación de sedimentos que bajan de los valles y al llegar al pie de la ladera, por el cambio brusco de pendiente, las corrientes descargan el material con gran velocidad y lo dispersan creando formas triangulares (Mendoza, 2010).



Figura 4.16. Abanico aluvial al pie del cerro El Caballete. Ocupado por agricultura de temporal.

Bloque 2

Este bloque también tiene una estructura geológica-geomorfológica alargada que se localiza al Norte de la zona de estudio, aproximadamente desde la parte central de la cuenca hacia el Oeste. Su litología está representada por rocas sedimentarias (molasa continental) de edad Triásica-Cretácica. Más del 40% de las laderas del bloque son convexo-divergentes, rectilíneo-convergentes en más del 20% y convexo-convergentes con menos del 20% de su superficie total (Figura 4.17).

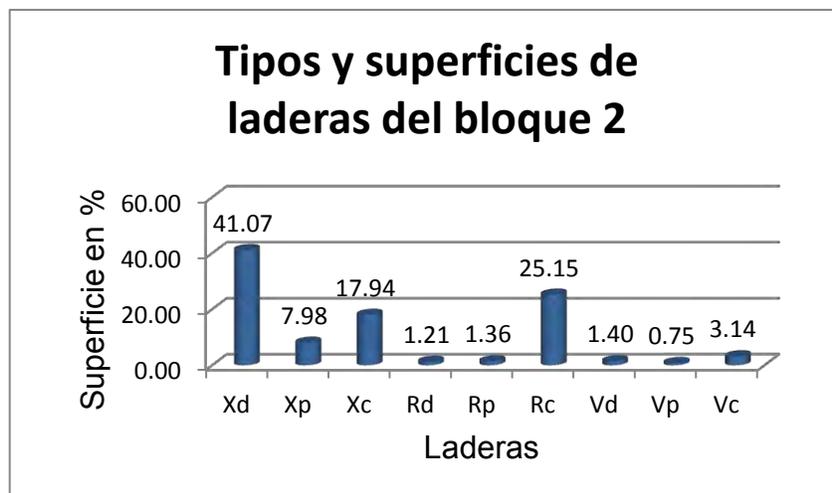


Figura 4.17. Tipos y superficies de las laderas del bloque dos.

La morfología anterior, aunada a una fuerte pendiente mayor a los 18°, al intenso fracturamiento de la roca y a la tectónica activa, favorecen la dinámica de los procesos de ladera, siendo los más frecuentes los deslizamientos de tierra, las caídas y los flujos. A lo largo de toda la estructura, se presentan numerosos deslizamientos de tierra de tamaños variables. Casi en el extremo NW del bloque se encuentra la evidencia de un gran deslizamiento, sobre el depósito se desarrollaron otros deslizamientos pequeños, lo que llama la atención es que ahí se asienta el poblado El Carrizal.

Otras evidencias de PRM son las caídas, éstas son frecuentes debido a que el material se encuentra muy alterado y fracturado, generando así, que sea inestable la roca en las laderas de fuertes inclinaciones superiores a los 30° (Figura 4.18).



Figura 4.18. Caída de rocas a la orilla de la carretera Motozintla-Las Cruces.

Los flujos son los menos importantes, muchos de ellos son pequeños y por lo mismo no son cartografiables, el más significativo se encuentra al NE de este bloque.

En las cimas del bloque, donde se originan las cabeceras de las corrientes fluviales, se han formado grandes circos de erosión que aún están activos. De forma cóncava a manera de anfiteatro y con laderas empinadas.

Por lo que toca a los procesos de origen fluvial, las terrazas de primer nivel dominan en la zona sur del bloque y la parte más baja de la cuenca, conforme uno se dirige aguas arriba del río Xelajú las terrazas son más escasas debido a que el río va reduciendo su anchura y a que no hay un acarreo de sedimentos importante para depositar y formar terrazas de grandes dimensiones. Del mismo modo, las terrazas de segundo nivel se encuentran aisladas y son pocas, se presentan en el sector inicial de la estructura. Dentro de este relieve se sobreponen abanicos aluviales, algunos cortados por el río y otros actúan como barreras a las que el río bordea y hacen que cambie la forma del cauce principal.

Cabe señalar que a lo largo del río Xelajú la dinámica fluvial es sumamente activa en cortos periodos de tiempo, de un año a otro, incluso en meses, esto da como resultado la transformación total de algunos sectores como sucede en este segundo bloque. En la Figura 4.19, se compara esta situación respecto al cambio anual de la morfología de las terrazas de primer nivel (trabajo de campo 2010-2011). Se observa como los sedimentos rellenaron parte de las terrazas y cubrieron el cauce anterior.



Figura 4.19. Cambio anual del río Xelajú (zona media del bloque). En la primera imagen (a) se muestra la terraza en las márgenes del cauce en el año de 2010. Posteriormente, en el año 2011, el cauce se rellena por los sedimentos que depositó el río, cubriéndolo en su totalidad (b) y (c).

Bloque 3

El tercer bloque se delimita por el río Xelajú al Norte y por uno de sus afluentes al Sur. Es una estructura de forma triangular, compuesta básicamente por rocas metamórficas (mica-esquistos) del Precámbrico, con pendientes dominantes mayores a 18° . Los sistemas de laderas que componen el bloque tienen un patrón que se reparte de la siguiente manera: laderas convexo-divergentes (>30%), convexo-convergentes (>20%) y rectilíneo-convergentes (>20%). El porcentaje restante (22%) corresponde a otras combinaciones de tipos de laderas como las cóncavo-convergentes que son colectoras y se localizan principalmente en las cabeceras de los afluentes del río Xelajú. Las cimas cubren una superficie de 2.11 km^2 , las cuales son preponderantemente alargadas (Figura 4.20).

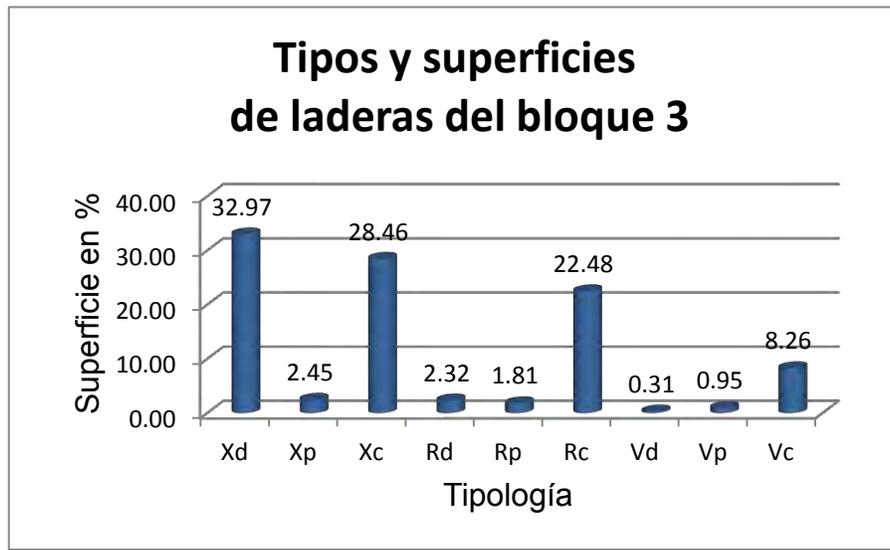


Figura 4.20. Tipos y superficies de las laderas del bloque tres.

El tipo de PRM que distingue a este bloque son las caídas o desprendimientos de rocas, que pueden ser de origen natural o inducidas por el hombre. En el primer caso, estos fenómenos se deben a la litología, al acomodo del material, al alto grado de intemperismo, a la influencia de la gravedad y a las pendientes entre 18° y más de 30° . En el segundo, además de los factores señalados es la acción del hombre la que induce, acelera e intensifica las caídas (Figura 4.21). En algunas ocasiones los materiales resultantes de las caídas naturales se aprovechan para la construcción.



Figura 4.21. Extracción de material (mica-esquistos) a orillas de la carretera Motozintla-El Porvenir.

Otro aspecto que caracteriza esta estructura son los numerosos circos de erosión que se hallan en las partes más altas de la montaña, con formas de anfiteatro o media luna, tienen un borde superior escarpado que suele coincidir con el parteaguas.

Estos circos se desarrollan por erosión remontante a partir de los saltos de cabecera y por los desprendimientos de roca, además, el arreglo de los materiales, la composición litológica, la orientación e inclinación de los estratos, la pendiente de las laderas y la influencia de la cubierta vegetal determinan su formación (Zaragoza, 2006). Todos los circos que se encuentran en el bloque son activos, esto quiere decir que la erosión es intensa, igualmente, se evidencian por la presencia de numerosos escurrimientos y una escasa cubierta vegetal. Puede decirse que el factor más importante para que se presenten es el intenso cambio de uso de suelo de bosques y selvas a actividades agropecuarias, forestales y a los asentamientos humanos.

Respecto al relieve fluvial, en distintos sectores del bloque, al pie de las laderas con orientación hacia el norte, se hallan terrazas de primer nivel, son bajas y de pequeñas dimensiones. Se forman donde el valle se ensancha aproximadamente 40 metros y hay un gran número de afluentes que acarrean material detrítico y en bloques que se depositan en sus márgenes (Figura 4.22).



Figura 4.22. Depositación de detritos y bloques en sectores aguas arriba, donde propiamente se inicia y se amplía el valle del río Xelajú.

Por el contrario, al sur del bloque, en general, puede decirse que no hay depositación lateral en la planicie fluvial pues no se presentan terrazas.

Bloque 4

En este bloque existen rocas ígneas de edad Plio-Cuaternaria y rocas metamórficas del Mesozoico, se localiza al suroeste de la cuenca. Los PRM más importantes que se presentan son movimientos complejos, flujos, deslizamientos y caídas. Sobresale un patrón de laderas convexo-divergente (<40%), que como ya se mencionó responde a que el ascenso del bloque por actividad tectónica es más rápido que la acción de los procesos erosivos, también se presentan patrones convexo-convergentes (>25%) y rectilíneo-convergentes (>20%) que son colectores y tienden a concentrar los flujos de materia y energía. Cerca del 7 % de la superficie del bloque tiene un patrón de laderas cóncavo-convergentes y cóncavo-paralelas. Las cimas de este bloque también son alargadas, ocupan una superficie aproximada de 1.67km² respecto al total de la cuenca (Figura 4.23).

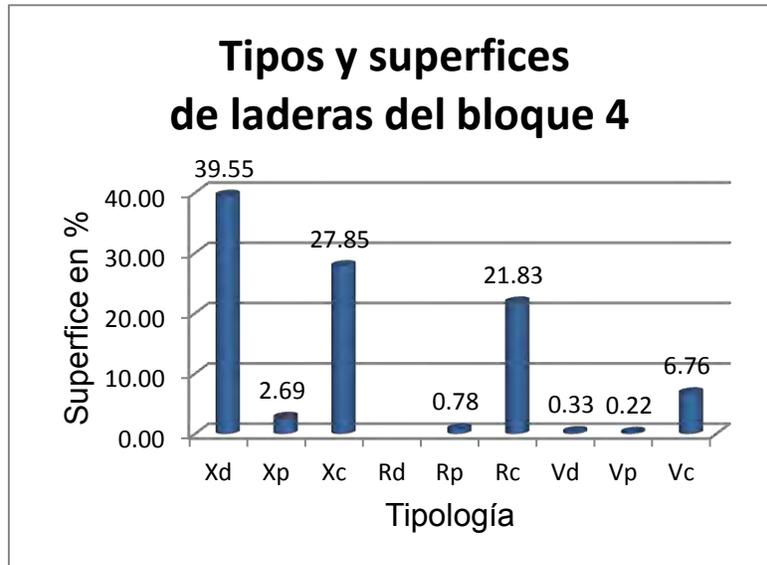


Figura 4.23. Tipos y superficies de las laderas del bloque cuatro.

A partir de este bloque se encuentran los PRM con mayores dimensiones de la cuenca, se debe a la heterogeneidad de la roca, a su grado de fracturamiento e intemperismo, a la inclinación del terreno que impera por arriba de los 12° y a la morfología de las laderas que favorece los procesos erosivos verticales. Además, todos estos aspectos contribuyen a que el cuarto bloque sea susceptible a que se presenten todo tipo de procesos.

En el sector SW del bloque se encuentran pequeñas zonas con evidencias de caídas y deslizamientos traslacionales, en tanto que, los flujos se distribuyen en las partes más altas de las cabeceras (Figura 4.24). Éstos movimientos gravitacionales son muy difíciles de observar en el campo, ya sea porque se encuentran en zonas montañosas poco accesibles, porque sus dimensiones son de cientos de metros o las superficies de estos depósitos se encuentran ya ocupadas por la actividad humana.



Figura 4.24. Flujo de lodo con frente lobular depositado a orillas de la carretera Motozintla-Las Cruces. Ocasionado por las precipitaciones de la tormenta tropical Agatha, en el año de 2010.

Otros tipos de PRM que se localizaron mediante la interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite, son los denominados movimientos complejos, estos procesos ocurren cuando el movimiento inicial se transforma en otro al ir desplazándose ladera abajo. El material involucrado es metaestable, con una estructura suelta, alta porosidad y grandes cantidades de agua (Alcántara-Ayala, 2000). Una particularidad de los depósitos de los movimientos complejos es que tienden a ser escalonados o en gradería, presentan rupturas de pendientes suavizadas en sus lados frontales y laterales. Del mismo modo que los flujos, estos movimientos son difíciles de observar en campo.

Al igual que en bloque anterior, la acción fluvial en las laderas hace que se formen numerosos circos de erosión en las partes altas, estos son activos en su mayoría, como ya se señaló, se debe a: las características de la roca, la inclinación de la pendiente, la cobertura vegetal y la intervención antrópica.

En cuanto a los tipos de relieve de origen fluvial que se presentan a pie de las laderas, se identifican: terrazas de primer y segundo nivel, estas se ubican en las márgenes del río Xelajú. Las primeras son bajas y tienen mayor extensión que las segundas. Estas terrazas, quedan cubiertas por la corriente fluvial al presentarse precipitaciones extraordinarias. Sin embargo, las de segundo nivel, a pesar de encontrarse en una zona

un poco más alta, también llegan a inundarse en eventos extraordinarios. Asimismo, los abanicos aluviales son importantes en la zona, debido a que constantemente están acumulando material detrítico que descende de las cumbres de las montañas.

La diferenciación de este bloque se efectuó a partir de los afluentes principales del río Xelajú que tienen un control estructural muy marcado. Por el lado este, el bloque está delimitado por el río La Mina, aquí se hallan terrazas de primer nivel y abanicos aluviales de grandes dimensiones.

La dinámica geomorfológica de este bloque también es muy activa, como ejemplo de ello se menciona que durante la interpretación de las fotografías aéreas (2006), se identificó un depósito de caídas que se encontraba en la margen de un afluente del río Xelajú. Posteriormente, en la salida de campo que se realizó en el año 2011, la evidencia de dicha morfología había desaparecido, esto es por el constante acarreo y depositación que se presenta en la zona.

Bloque 5

Este bloque se encuentra en el centro-sur de la cuenca, tiene una forma triangular, las rocas que lo conforman son predominantemente metamórficas de edad mesozoica y los PRM en su mayoría corresponden a deslizamientos traslacionales. Un factor importante para que estos procesos se generen es la morfología de las laderas, las cuales siguen un patrón muy parecido al bloque anterior: convexo-divergente (>40%) y convexo-convergente (30%) y rectilíneo-convergente (>20%). Aproximadamente un 5 % de la superficie del bloque tiene laderas convexo-paralelas y cóncavo-convergentes. Las superficies cumbrales son alargadas y suman un área de 1.35 km² (Figura 4.25).

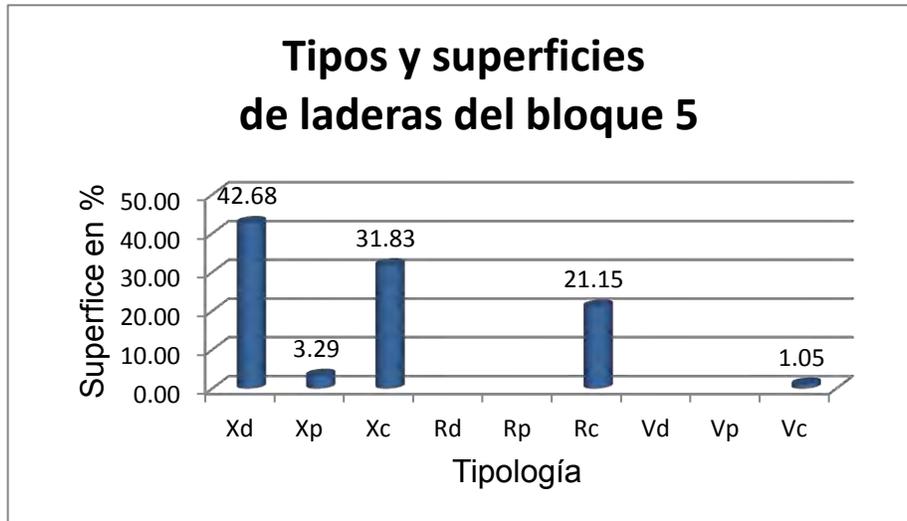


Figura 4.25. Tipos y superficies de las laderas del bloque cinco.

Por una parte, en esta estructura, en lo más alto al sur de la cuenca, donde inicia otro afluente importante por su dinámica, el río Allende, se destacan dos deslizamientos traslacionales de grandes dimensiones. Estos se hallan en las laderas con orientación NW. Los depósitos tienen una morfología en gradería, son muy antiguos ya que no hay evidencias de movimientos recientes y la superficie de deslizamiento está cubierta por una densa capa de vegetación.

Por otra, los procesos que se encuentran sumamente activos son de erosión, existen numerosos circos, estos están controlados por la acción fluvial en las cabeceras de los afluentes montañosos. La desaparición de la cubierta natural original hecha por el hombre para inducir pastizales para la ganadería e introducir cultivos acelera dichos procesos.

Al pie de las laderas se encuentran terrazas de primer nivel. En el río La Mina, los depósitos abandonados de este afluente del río Xelajú han formado terrazas de aproximadamente un kilómetro de longitud y cien metros de ancho. En éstas, la población ha ocupado el lugar para asentarse, invadiendo así la zona inundable del río en temporada de lluvias.

Por su parte, en el río Allende se presentan terrazas de primer y segundo nivel, puede decirse que son morfologías colgadas o ya abandonadas, sin embargo aún son susceptibles a inundación. Los ríos La Mina y Allende están canalizados para controlar los desbordamientos de las lluvias de poca intensidad a pesar de ello las dimensiones que tienen estas obras son muy poco favorables para la descarga de material y agua que desciende en eventos extraordinarios de precipitación (Figura 4.26)



Figura 4.26 Canalización de los afluentes de la cuenca; río La Mina (izquierda) y Allende (derecha).

En la intersección de estos dos afluentes, se generan escalonamientos, formando así desniveles, favoreciendo que se formen dos grandes torrentes de escombros, asimilando abanicos coalescentes.

Bloque 6

El sexto y último bloque se encuentra al Este de la cuenca, tiene una forma de triángulo isósceles, su base la forma el río Allende, se diferenció de acuerdo con los principales lineamientos estructurales los cuales son aprovechados por el drenaje. Está constituido principalmente por rocas metamórficas del Mesozoico, los PRM más frecuentes que se desarrollan son los deslizamientos traslacionales, los flujos y las caídas, éstos se relacionan con el tipo y las condiciones o características de la roca, así como por la morfología de las laderas que, en este caso, también tienen patrones similares al bloque cinco: convexo-divergente (<40%), convexo-convergente (>20%),

rectilíneo-convergente (>20%). Otros patrones menos importantes por la superficie que ocupan son el rectilíneo-paralelo, cóncavo-convergente, cóncavo-divergente, cóncavo-paralelo y rectilíneo divergente. Son cimas planas o convexas y alargadas (Figura 4.27).

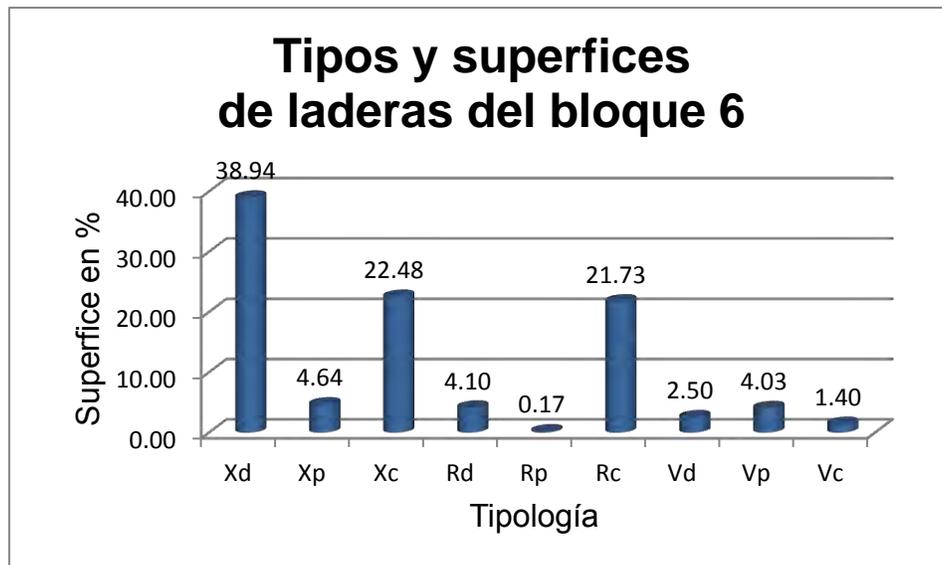


Figura 4.27. Tipos y superficies de las laderas del bloque seis.

Los deslizamientos se hallan sobre pendientes mayores a 18°, preferentemente en el sector sur y SW de la estructura, sus dimensiones son de cientos de metros y la mayoría de los depósitos tienden a presentar varios escarpes escalonados. Son formas muy antiguas que están muy trabajadas por la acción fluvial. La orientación de los depósitos desde su inicio hasta su parte final y frontal es hacia el SW.

También se encuentran flujos de diversos tamaños, éstos al igual que los deslizamientos, presentan escarpes en sus depósitos y su orientación es la misma, hacia el SW. En cuanto a las caídas que se identificaron, éstas se presentan en menor número, debido a que es una zona que está cubierta por una densa capa vegetal.

Globalmente, la morfología de las laderas está más suavizada que en los otros bloques, además la integración del drenaje muestra un patrón dendrítico diferente al bloque uno en el que el patrón del drenaje es paralelo.

En lo que concierne a las cabeceras de la zona montañosa, la presencia de circos es importante, estos son activos e inactivos, son más abundantes los primeros. El material desprendido y acarreado de las zonas altas es depositado como detritos a los pies de las laderas.

Este bloque limita con el río Xelajú por el norte, donde el relieve de origen fluvial que se presenta en las márgenes está compuesto por abanicos aluviales, conos-terrazas y terrazas de primer hasta cuarto nivel y de diversos tamaños. La población de Mazapa de Madero está asentada sobre este tipo de depósitos.

Las terrazas son formas del relieve importantes de los sistemas fluviales en el sector norte de dicho bloque, por un lado manifiestan un proceso acumulativo y, por otro, erosivo. Existen varias etapas en la formación de las terrazas; en la primera, se produce un ensanchamiento lateral del cauce (excavación y aluvionamiento), por lo tanto, se crea una llanura aluvial, en la 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, y es un proceso que se repite con cada terraza (Nagel, 2004).

En campo, se identificaron cuatro niveles de terrazas que principalmente se originan por los depósitos del río Xelajú, los dos primeros niveles son muy susceptibles a las inundaciones que se producen cuando hay lluvias extraordinarias y, por lo mismo, las terrazas están expuestas a cambios drásticos en su morfología, debido a la dinámica erosiva y acumulativa de cada evento de crecida. Las terrazas que se marcaron en el mapa geomorfológico, con el apoyo de fotografías aéreas del 2006, en algunos tramos del río, actualmente ya están modificadas. Las terrazas de tercer y cuarto orden, las más distales son más estables.

Las terrazas se disponen a todo lo largo de este valle intermontano, (sobre las de primer y segundo nivel), y en sus flancos, yacen numerosos abanicos de tamaños pequeños, siendo así vulnerables a las crecidas del río.

Cabe destacar la formación de dos grandes abanicos aluviales, el primero se localiza entre Mazapa y Motozintla, mide entre 1,000 y 1500 m, desde su ápice hasta el lóbulo frontal del depósito (Figura 4.28).



Figura 4.28. Abanico aluvial, ocupado en su mayor extensión por diversas actividades antrópicas.

El segundo abanico aluvial corresponde al río Morelos, desciende de las partes montañosas del sur y sureste de la cuenca, deposita sobre una rampa de escombros del río Allende, propiamente dentro de la ciudad de Motozintla. La dinámica que tiene este proceso es muy activa por la fuerte inclinación de las laderas, además el material no está consolidado y el terreno está alterado por la ganadería, la agricultura y la urbanización. Cabe señalar que en el valle del río Morelos, antes de iniciarse el abanico se pueden presentar flujos y deslizamientos (figura 4.29).



Figura 4.29 Depósito de flujo de lodo en el valle del río Morelos.

A continuación, se explican los rasgos que son comunes en las laderas de todos los bloques.

Relieve Erosivo Fluvial.

Antes de iniciar la descripción de los rasgos comunes, es importante mencionar la configuración de la red de drenaje fluvial de la cuenca, en general, ésta presenta un patrón dendrítico el cual está controlado por la tectónica que se refleja en lineamientos con diferentes direcciones; sin embargo, en los bloques dos y cinco se observa un patrón de drenaje de tipo subdendrítico y en el bloque uno es paralelo.

A partir de la red de drenaje se analizan las depresiones lineales cuyo origen se debe a la acción fluvial, en este proceso intervienen varios factores: las características de la litología (destrucción mecánica de las rocas), la presencia de estructuras disyuntivas, la inclinación y la morfología de las laderas. Dependiendo de éstas, la acción del agua es diferente.

Se identificaron valles de montaña e intermontanos, éstos se clasificaron por su profundidad en:

Valles menores a 20 metros de profundidad. En este grupo se encuentran las corrientes estacionales y permanentes que presentan un flujo encauzado, tienen amplia representación y se trata de cauces de primer y segundo orden. Están dispuestos muy cerca de la línea divisoria de aguas.

Valles entre 20 y 40 metros de profundidad. Éstos presentan un mayor desarrollo en la vertical y tienen un perfil transversal en “V”, pero, a su vez con fondo plano, este aspecto denota una dinámica fluvial equivalente en la vertical y en la horizontal. Estos escurrimientos son de tercero y cuarto orden, definen patrones subdendríticos con un control estructural manifiesto en lineamientos y deflexiones fluviales en los cauces. Se presentan también en contactos litológicos o geomorfológicos de la cuenca.

Valles mayores a 40 metros de profundidad. Estos tienen laderas abruptas verticales o escalonadas. Igualmente dependen de las condiciones geológicas y tectónicas de la región, tienden a desarrollar cañones y cañadas estrechas. Los valles tienen formas en “V”, los fondos planos son frecuentes y en los ríos Allende y La Mina, que se conectan con el valle del río Xelajú, se observan llanuras de inundación angostas y alargada (intermontanas) como las que se encuentran en Motozintla de Mendoza.

Rasgos lineales.

Circos erosivos activos. Son rasgos lineales con morfologías de anfiteatro. Se presentan en las cabeceras de la cuenca y tienen una intensa actividad gravitacional y remontante, muchos de ellos coinciden con los PRM, las laderas que se desprenden de estos circos son inestables y esto es consecuencia de los escurrimientos y de la falta de cubierta vegetal o cuando ésta es muy escasa, producto de los cambios de uso del suelo para actividades agropecuarias. Los circos activos se encuentran prácticamente por toda la cuenca.

Circos erosivos inactivos. Estos se caracterizan por ser estables, los escurrimientos no provocan una erosión intensa ya que la cubierta vegetal está bien desarrollada;

además, la estabilidad se debe a que la inclinación del terreno inhibe la actividad remontante. Los circos inactivos predominan en el bloque seis, ya que aquí la alteración antrópica es menor y la cubierta vegetal es abundante.

Escarpes. Se representan como rasgos lineales y declives abruptos de altura variable y pendientes mayores a 45°. Están asociados principalmente con fallas tectónicas. En las partes montañosas de la cuenca se encuentran numerosos escarpes de falla que son el resultado de la intensa y constante actividad del sistema Polochic-Motagua. Al pie de algunos escarpes se encuentran mantos coluviales.

Rasgos areales.

Cimas convexas y semiplanas. Éstas son alargadas y en ellas se presentan fenómenos de erosión laminar o mantiforme. Representan las porciones cumbrales de las zonas montañosas, cubren una superficie aproximada de 11.91 km². Estas cimas se encuentran en todos los bloques establecidos. Algunas tienen una anchura mayor que otras. En la cuenca, las morfologías cumbrales mencionadas se relacionan con la tectónica, que se explica por el ascenso constante de la montaña creando diferentes niveles de cimas; asimismo, la capacidad de la acción fluvial para generar erosión remontante en las cabeceras disminuye. En el siguiente Cuadro 4.1 se sintetizan las características geomorfológicas de cada bloque.

Cuadro 4.1. Síntesis de las características geomorfológicas por bloques.

Bloques	Superficies				Laderas			Morfometría				Tipo de roca	PRM	Drenaje	Tipos de vegetación y uso de suelo
	Km ²	%	Cimas (km ²)	Cimas (%)	Tipos	Sup (km ²)	Sup (%)	Pendientes (Sup > 10°)	Densidad de disección (Sup > 5.3 km ² /km ²)	Profundidad de disección (Sup > 50 m/rel)	Energía del relieve (Sup > 400 m)				
1	5.83	6.48	0.81	13.90	Xd Xp Xc Rd Rp Rc Vd Vp Vc	1.87 1.03 0.15 0.35 1.48 0.07 0.07	37.26 20.50 2.98 7.03 29.47 1.39 1.36	68.5 %	62.8 %	—	51.5 %	-Granitos -Molasa continental -Metandesitas, metariolitas, metatobas y metagrauvas	-Deslizamiento de tierras -Subparalelo	C6 C7 C8 C9	
2	20.71	23.03	2.92	14.10	Xd Xp Xc Rd Rp Rc Vd Vp Vc	7.30 1.42 3.19 0.22 0.24 4.47 0.25 0.13 0.56	41.07 7.98 17.94 1.21 1.36 25.15 1.40 0.75 3.14	52.8 %	56.4 %	47.3 %	47.2 %	-Granitos -Molasa continental -Metandesita, metariolitas, metatobas y metagrauvas -Pizarras	-Deslizamiento de tierras -Flujos -Caidas	-Subdendrítico	C4 C5 C6 C7 C8 C9
3	13.53	15.05	2.11	15.59	Xd Xp Xc Rd Rp Rc Vd Vp Vc	3.77 0.28 3.25 0.26 0.21 2.57 0.03 0.11 0.94	32.97 2.45 28.46 2.32 1.81 22.48 0.31 0.95 8.26	71.3 %	54.8 %	28.7	39.8 %	-Granitos -Mica-esquistos -Pizarras	-Caidas	-Dendrítico	C3 C4 C5 C6 C7 C8 C9
4	15.70	17.53	1.67	10.64	Xd Xp Xc Rp Rc Vd Vp Vc	5.55 0.38 3.91 0.11 3.06 0.05 0.03 0.95	39.55 2.69 27.85 0.78 21.83 0.33 0.22 6.76	47.6 %	39.7 %	15.5 %	18.3 %	-Granitos -Mica-esquistos -Metagranito -Andesitas, brechas y tobas -Dioritas y microdioritas	-Deslizamiento de tierras -Flujos -Caidas -Movimientos complejos	-Dendrítico	C3 C4 C5 C6 C7 C8 C9
5	13.37	14.87	1.35	10.10	Xd Xp Xc Rc Vc	5.13 0.40 3.83 2.54 0.13	42.68 3.29 31.83 21.15 1.05	40.7 %	44.2 %	50.3 %	35.7 %	-Metagranito -Metandesitas, metariolitas, metatobas y metagrauvas	-Deslizamiento de tierras -Flujos	-Subdendrítico	C3 C4 C5 C6 C7 C8 C9
6	20.56	23.04	3.05	14.83	Xd Xp Xc Rd Rp Rc Vd Vp Vc	6.82 0.81 3.94 0.72 0.03 3.80 0.44 0.70 0.25	38.94 4.64 22.48 4.10 0.17 21.73 2.50 4.03 1.40	39.8 %	43.9 %	12.8 %	49.8 %	-Metagranito -Metandesitas, metariolitas, metatobas y metagrauvas -Dioritas y microdioritas	-Deslizamiento de tierras -Flujos	-Dendrítico	C3 C4 C6 C7 C8 C9

Tipología de laderas: Xd Convexo-Divergente, Xp Convexo-Paralelo, Xc Convexo-Convergente, Rd Rectilíneo-Divergente, Rp Rectilíneo-Paralelo, Rc Rectilíneo-Convergente, Vd Cóncavo-Divergente, Vp Cóncavo-Paralelo, Vc Cóncavo-Convergente.

Tipos de vegetación y uso de suelo: C1 Agricultura de riego, C2 Agricultura de humedad, C3 Bosque mesófilo, C4 Bosque pino-encino, C5 Vegetación secundaria de bosque mesófilo, C6 Vegetación secundaria de bosque pino-encino, C7 Vegetación secundaria de bosque de encino, C8 Vegetación secundaria de selva baja caducifolia, C9 Agricultura de temporal.

CAPÍTULO V. VULNERABILIDAD AMBIENTAL Y SU RELACIÓN CON LOS PROCESOS DE LADERA E INUNDACIONES.

En México, la mayoría de los ecosistemas son vulnerables a la intervención del hombre porque modifica negativamente el medio del cual obtiene los recursos para existir, esto disminuye su capacidad de recuperación y amortiguamiento ante los efectos de fenómenos hidrometeorológicos y geomorfológicos (huracanes, inundaciones, procesos de ladera y erosión de suelo entre otros) (Lugo-Hubp e Inbar, 2002, Ayala y Olcina, 2002) que se aceleran e intensifican.

En lo que concierne a los procesos de remoción en masa y las inundaciones, éstos tienen una relación sumamente estrecha con la vulnerabilidad ambiental porque la intervención y transformación constante del territorio le quita la capacidad de regeneración y amortiguamiento natural.

Cabe recordar que en este trabajo la vulnerabilidad ambiental se define como el resultado de procesos inducidos por las acciones y actividades que el ser humano realiza de manera cotidiana, por lo que afectará y modificará negativamente la base de los recursos naturales, propiciando así la reducción de la calidad y la productividad de un área determinada, y haciendo que los procesos físicos peligrosos se intensifiquen y sean más frecuentes, constituyéndose en un riesgo de desastre para los habitantes.

Las unidades de análisis territorial que se manejan para determinar la vulnerabilidad ambiental se derivan de la cobertura del suelo, tanto por vegetación natural como por los diversos usos del mismo pues, retomando la hipótesis que se plantea en esta tesis, que la vulnerabilidad ambiental de la cuenca de Motozintla se debe principalmente a la degradación de los sistemas naturales como consecuencia de las actividades antrópicas no planificadas y que esto ha ocasionado que los peligros geomorfológicos como los PRM y las inundaciones se estén incrementando y tengan mayores repercusiones en la población; la utilización de la cartografía referente a la vegetación y uso del suelo se considera pertinente como base, ya que son el reflejo de las

actividades humanas que se han desarrollado históricamente en la cuenca y de las que se desarrollan en la actualidad. De manera que los diferentes tipos de cobertura del suelo conformarán las unidades espaciales sobre las cuales se aplica la metodología conocida como Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ, por sus siglas en español y AHP, por sus siglas en inglés) de Saaty, (1980, en Banai-Kashani, 1989) para obtener la vulnerabilidad ambiental.

Las unidades de vegetación y uso de suelo se toman de Morales y Ramos (2013) quienes elaboraron un mapa a escala 1:50,000 a partir de la interpretación de una imagen satelital (Sky Eye) del 2010.

Primero se seleccionaron las variables que juegan un papel relevante para determinar la vulnerabilidad ambiental y establecer su relación con los procesos de remoción en masa. Se eligieron variables morfométricas: pendiente del terreno, densidad de disección, profundidad de disección y energía del relieve. Se construyeron sus respectivos mapas para superponerlos posteriormente al mapa de vegetación y uso del suelo. Asimismo, se utilizó el mapa de geología y el de erosión que se preparó para este trabajo. Con todos estos materiales se determinó el grado de vulnerabilidad ambiental respecto a los PRM, es decir considerando solo las laderas. Para el caso de las inundaciones, igualmente se tiene como base el mapa de vegetación y uso de suelo, a éste se superpone al mapa de peligros por inundaciones para estimar la vulnerabilidad.

5.1 Análisis morfométrico.

La morfometría es un método que muestra de manera numérica y cuantitativa, así como de forma objetiva, los cambios que presentan las formas del relieve, ya sean elementos puntuales como las cimas y profundidades o sean rasgos lineales como talwegs, inclinaciones del terreno, escarpes, etc. Todo esto con el fin de de clasificar en función de sus propiedades métricas y establecer patrones de distribución (Lugo-Hubp, 1988), en este caso para los PRM y las inundaciones en la cuenca de Motozintla.

Los datos que se obtienen de los mapas morfométricos, se analizan y relacionan de acuerdo con la distribución de los procesos de ladera y las inundaciones. Para la elaboración de estos mapas, la adquisición de los datos se realizó de forma manual a partir de las curvas de nivel y la hidrología de los mapas topográficos a escala 1:50 000 (D15-B33, Motozintla y D15-B32, Escuintla, INEGI, 2001 y 2002), posteriormente los resultados se capturaron en el programa Excel (2007) y se transfirieron a un Sistema de Información Geográfica (ArcGis 10), donde la información fue procesada para la construcción de polígonos correspondientes a cada uno de los mapas obtenidos.

5.1.1 Mapa de pendiente del terreno.

Este mapa tiene como objeto mostrar espacialmente los diferentes grados de pendiente del terreno en relación con el plano horizontal. Las inclinaciones se obtuvieron de manera automática con el programa (ArcGis 10), valiéndose de las curvas de nivel digitales. Se definieron cinco clases o intervalos (MOPUT, 1991) que permiten clasificar el relieve, tanto de la montaña como del valle intermontano principal, así como establecer su relación con los procesos de laderas y las planicies fluviales (Figura 5.1).

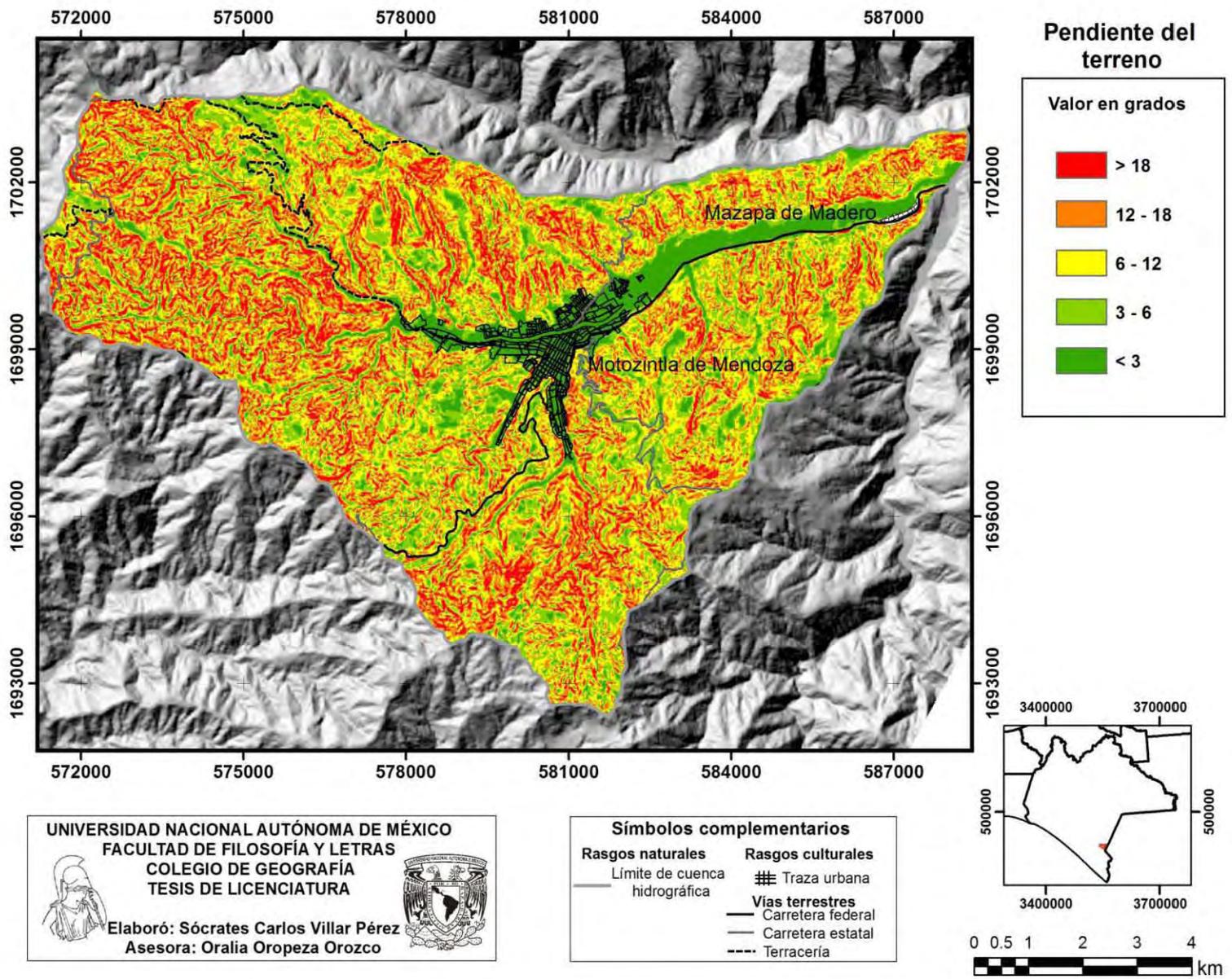


Figura 5.1. Pendiente del terreno.

1. Pendientes mayores de 18°. Los terrenos que caen en esta clase ocupan una superficie estimada en 79 % del total de la cuenca (98.53 km²). Son sumamente accidentados, tienen numerosos barrancos y valles de montaña en forma de “V”, guardan una estrecha relación con los PRM, particularmente, caídas, corredores de escombros, taludes y conos de detritos.
2. Las zonas que van de los 12° a los 18° de inclinación se encuentran bordeando las márgenes de las cimas, su superficie es de aproximadamente 8.9%. Los procesos geomorfológicos dominantes son de carácter denudativo y erosivo (Oropeza *et al.*, 2013a), también se presentan flujos torrenciales.
3. Son valores intermedios y el relieve se caracteriza por tener una inclinación que va de los 6° a los 12°, abarcan una superficie pequeña (5.7%) que coincide con la cimas de las cabeceras fluviales y en bordes del valle del río Xelajú. En lo que respecta a la geomorfología, las formas dominantes son conos, abanicos aluviales y piedemonte, en tanto que los procesos son denudativos.
4. Los territorios con pendiente suave, con inclinaciones de 3° a 6°, se encuentran en los lechos del río Xelajú, La Mina y Allende y en las cimas montañosas de los bloques geológicos-geomorfológicos mencionados en el capítulo anterior. Los procesos importantes son los acumulativos, originando formas como: terrazas, conos-terrazza y torrentes de escombros, su superficie ocupa 3.2 %.
5. Por último, los valores menores a 3°, son característicos de terrenos ligeramente inclinados, la pendiente es casi nula. Corresponden a las partes más bajas del río Xelajú, La Mina y Allende. Son las áreas con mayor susceptibilidad a inundaciones y el proceso que aquí predomina es la sedimentación. Las morfologías que se presentan son: terrazas, planicies aluviales y bancos de material. La superficie estimada es de 3.2 %.

5.1.2 Densidad de disección.

Mediante este mapa morfométrico también se determinan zonas susceptibles a procesos de laderas e inundaciones (Figura 5.2). De acuerdo con Lugo-Hubp (1988), la densidad representa la relación de la longitud de los cauces por unidad de superficie, casi siempre en km/km^2 . Refleja los procesos erosivo-fluviales y su distribución espacial, éstos a su vez, se encuentran estrechamente relacionados con la litología, el grado de inclinación del terreno, la morfología del relieve, el clima, la hidrología superficial y la actividad tectónica regional.

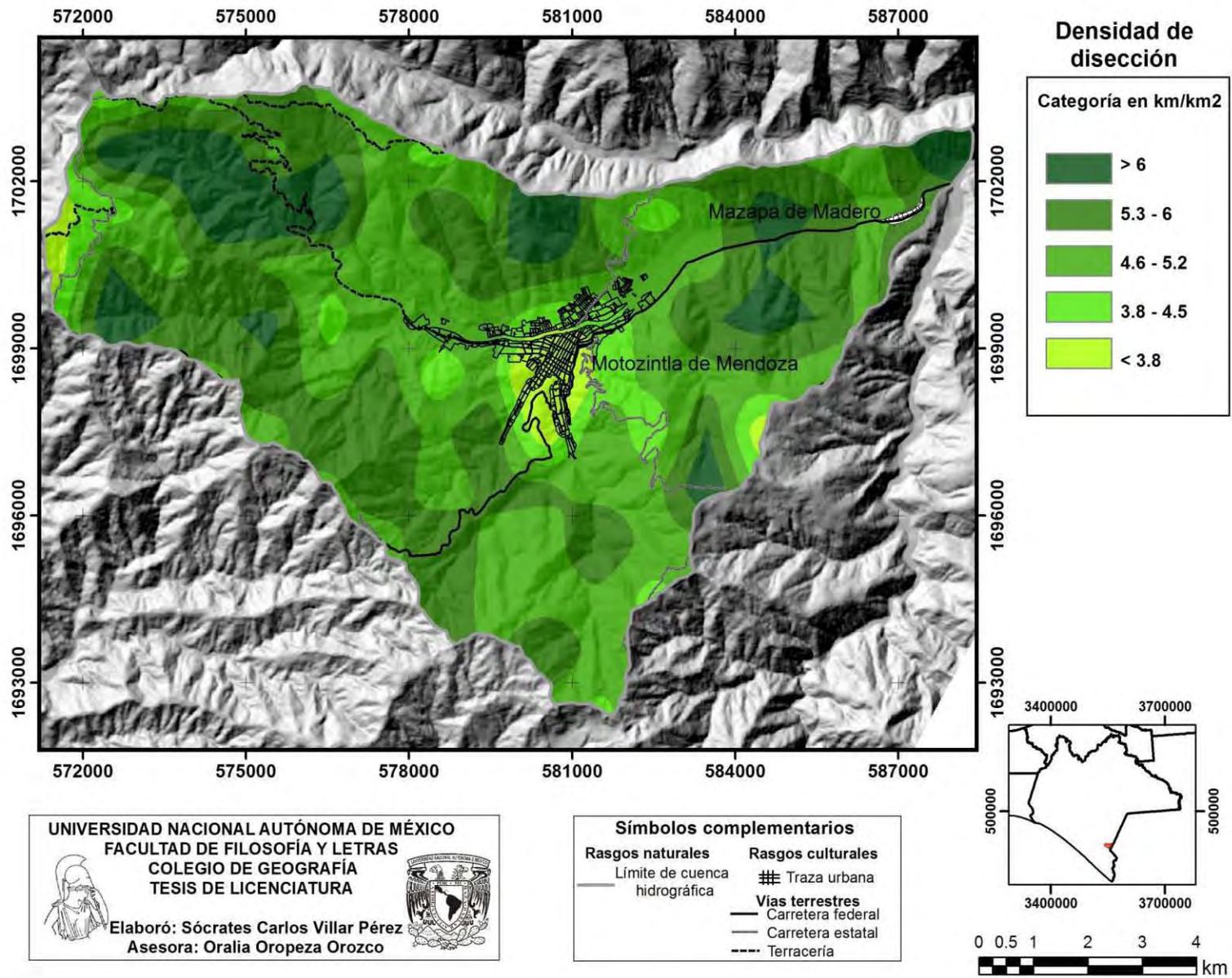


Figura 5.2. Densidad de disección.

El análisis de la disección del relieve, junto con otros métodos morfométricos, como la profundidad de disección y la energía del relieve, facilitan la interpretación de la dinámica geomorfológica. La densidad de disección, permite identificar especialmente, las zonas donde los procesos fluviales han actuado longitudinalmente en el relieve, así como su desarrollo, evolución y procesos que éstos generan y están asociados a la degradación de tierras, a la inestabilidad de laderas y a las inundaciones, entre otros aspectos (Villar y Oropeza, 2013).

Para la elaboración del mapa se utilizaron las cartas topográficas con claves D15-B33 y D15-B32 (INEGI 2001 y 2002), a escala 1: 50,000. A partir de la configuración de las curvas de nivel, se infiere, en relación con el relieve, la red fluvial que no aparece cartografiada. Para ello, se ocupa la cuadrícula ortogonal UTM (1 km²) de dichas cartas y se mide con un curvómetro la longitud de los ríos (en km) por cada kilómetro cuadrado.

Se obtiene un promedio de tres mediciones repetidas de la longitud de cauces por km², para lograr un menor margen de error. Los datos resultantes se capturan en una base de datos en el programa Excel (2007). Posteriormente, se procesan los datos en el Sistema de Información Geográfica ArcGis 10. Se realiza una interpolación de los valores, para ello se probaron diversos métodos (*IDW, Kriging, Spline y Natural Neighbor*) y múltiples intervalos para así, poder seleccionar el más adecuado y que represente lo mejor posible las particularidades del relieve y sus procesos. De esta manera se eligió el método de interpolación *Natural Neighbor* porque cumple con lo señalado.

En la interpretación del mapa, además de los valores, se tienen en cuenta las características de la litología, la pendiente, la morfología del terreno y los eventos meteorológicos extremos que han ocurrido en el área (1998, 2005, 2010), mismos que influyen directamente en la densidad de la disección, sobre todo donde existen valores muy altos, altos y medios.

Se definieron cinco clases de acuerdo al valor más alto y más bajo de densidad de disección en el área de estudio:

1. Las zonas con valores máximos ($>6 \text{ km/ km}^2$) se localizan en las partes más elevadas de la cuenca, en general, coinciden con una mejor integración de la red fluvial, se distribuyen al norte y al sur, la litología predominante corresponde a molasas continentales del Triásico- Cretácico Inferior, granitos del Paleozoico, dioritas y microdioritas del Terciario, mica-esquitos precámbricos y metandesita, metariolita, metagrauvaca y metatoba de edad mesozoica (Carfantan, 1977). La superficie con esta densidad de disección es aproximadamente de 11.58 km^2 (11.75%).
2. Los valores de disección entre 5.3 y 6 km/km^2 ocupan una superficie significativa de la cuenca (37.95 km^2 (38.51%)), es característica de la zona montañosa cuyas pendientes son muy pronunciadas, entre los 30° y 45° . Las rocas que la conforman, en el sector norte de la cuenca, son molasas continentales del Triásico-Cretácico Inferior y metandesita, metariolita, metagrauvaca y metatoba del Mesozoico, así como, los mica-esquisos del Precámbrico, las andesitas, brechas y tobas plio-cuaternarias al NW, y por último, el metagranito, metariolita, metagrauvaca y metatoba localizadas en el sector sur, Carfantan (1977).
3. Los valores medios van de 4.6 a 5.2 km/km^2 . Las zonas con estos valores abarcan una parte importante del cauce y de los afluentes secundarios de los ríos mencionados anteriormente, desde las cabeceras hasta la zona de la planicie fluvial. En estas partes, la integración del drenaje comienza a ser mayor, debido a la fuerte inclinación de las laderas (entre 30° a 45°) y a una litología muy variada representada por rocas andesitas, brechas y tobas pliocuaternarias y metagranito del Mesozoico (Carfantan, 1977) que están fuertemente diaclasadas, fracturadas y con grandes cortezas de intemperismo, lo cual favorece una erosión fluvial intensa y fuertes procesos de ladera. También su superficie es importante pues cubre 38.34 km^2 (38.91%) del total de la cuenca.

4. La siguiente categoría va de los 3.8 a 4.5 km/km², se considera con valores bajos y se encuentra en diversos sectores de la cuenca que bordean a las zonas con los valores muy bajos de disección, principalmente en la parte central y en las cimas que conforman los límites de la cuenca. En el primer caso, igualmente corresponde a los afluentes más importantes (Río Xelajú, Río Allende y Río La Mina), donde se descargan sus sedimentos y las pendientes son de 0° a 12° y, en el segundo, se localizan en las partes altas de las cabeceras cuyas pendientes van de los 12° hasta los 45°, al noroeste, norte, sur y sureste, las cuales forman parte del Batolito de Chiapas y están a una altitud entre los 2000 y 2500 msnm (Caballero *et al.*, 2006). Aquí, la integración del drenaje es incipiente. La superficie total que ocupan las zonas con estos valores es de 7.59 km² (7.70%).

5. Por último, los valores muy bajos (< 3.8 km/km²). Las áreas con estos valores se destacan porque los procesos erosivo-fluviales no son los que determinan la dinámica geomorfológica, sino los procesos de sedimentación. Corresponden principalmente a las zonas planas y más bajas, donde la pendiente es suave y ligeramente inclinada (entre 0° y 6°), la morfología predominante corresponde a los valles de fondo plano, planicies aluviales, terrazas y conos de deyección o abanicos aluviales, donde confluyen los tres ríos principales de la cuenca: Xelajú, Allende y La Mina, prácticamente en la ciudad de Motozintla. Los materiales que constituyen la zona son aluviones del Cuaternario Reciente y Antiguo (Carfantán, 1977), depositados por dichos ríos. Debido a la morfología plana, a que es una corriente de sexto orden, a la escasa densidad de disección y al elongamiento del cauce el río Xelajú esto se relaciona con la actividad tectónica regional, generada por el sistema de fallas Polochic-Motagua,. En general, se asume que las corrientes de cuarto orden en adelante están condicionadas por la tectónica (Orlova, 1981, en Ortiz *et al.*, 1992). Cabe señalar que, respecto a la vulnerabilidad ambiental, en esta categoría es donde se presenta la menor

exposición a la degradación con respecto a la disección. Las áreas catalogadas con los valores muy bajos tienen una superficie aproximada de 3.07 km² (3.11%).

Puede decirse que las zonas con valores medios, altos y muy altos de densidad de disección, se relacionan con el fuerte fracturamiento y diaclasamiento, la intensa meteorización y el grado de metamorfismo de las rocas; las fuertes inclinaciones del terreno; la precipitación y la poca cubierta vegetal; además de la influencia tectónica y, por lo tanto, son los factores condicionantes que dan como resultado la máxima integración y concentración de cauces. Esto, a su vez, repercute en la intensidad y frecuencia de los procesos de ladera e inundaciones (Zaragoza, 2006).

5.1.3 Profundidad de disección

La profundidad de disección también tiene una estrecha relación con los factores litológicos, estructuras disyuntivas, morfología del relieve, inclinación de las laderas y el clima. Su importancia radica en que, a partir de su análisis, se reconocen zonas de diversa intensidad y susceptibilidad a la erosión, así como, los procesos morfodinámicos dominantes (Villar y Oropeza, 2013).

Igualmente es un método morfométrico (Lugo, 1988) que se aplica a la cuenca de Motozintla y cuyo objetivo cartográfico es mostrar la distribución espacial del valor de corte vertical de los ríos. La profundidad de corte de un río está condicionada por la acción erosiva de la corriente (acarreo de líquidos y sólidos), además de las estructuras disyuntivas y los contactos litológicos de una región (Zaragoza, 2006).

Para su elaboración, se utilizaron las cartas topográficas con claves D15B32 (INEGI, 2002) y D15B33 (INEGI, 2001), a escala 1: 50 000. Posteriormente, en la cuadrícula ortogonal UTM (1 km²) de dichas cartas y los ríos ya inferidos con anterioridad, se obtiene la media entre el talweg del río principal y la divisoria de aguas, por cada km².

Los valores obtenidos de la división entre la altura del cauce y la cima, por cada kilómetro cuadrado, se transfirieron a una tabla de Excel (2007); esta información se

procesó en el sistema de información geográfica ArcGis V. 10 y se interpoló con el método *Spline*, después se eligieron cinco categorías de profundidad de disección, las que diferenciaban mejor la erosión vertical entre las zonas de montaña y los fondos de los valles (Figura 5.3).

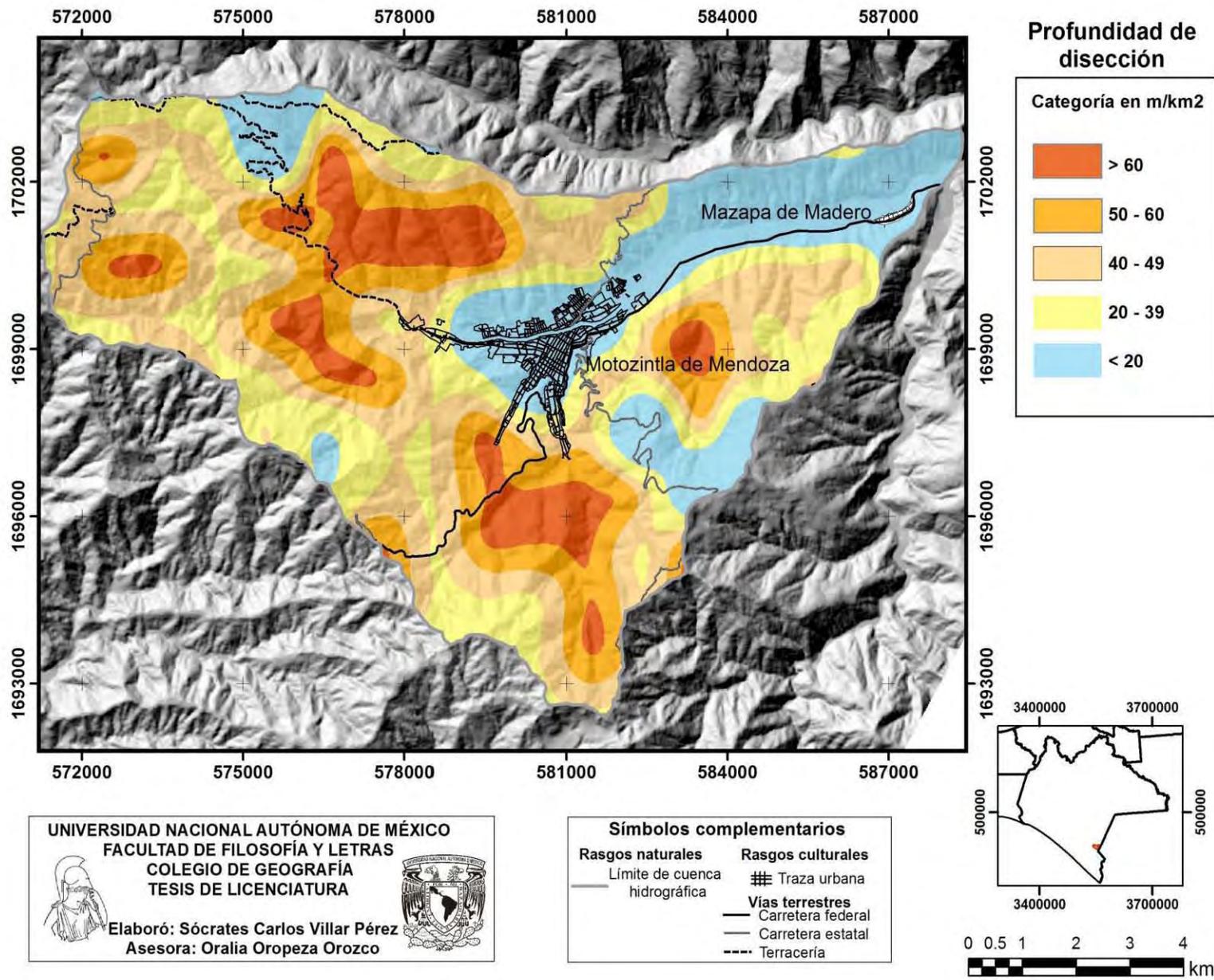


Figura 5.3. Profundidad de disección.

1. Los valores > 60 m son característicos de zonas montañosas, la profundidad máxima se localiza en laderas de los sectores noroeste, sur y este, en las cabeceras del río Xelajú y del río Allende. En el primer sector, la constitución litológica es muy variada: molasa continental del Triásico-Cretácico Inferior, y metandesitas y metatobas del Mesozoico (Carfantan, 1977) y las laderas tienen fuerte inclinación (entre 30 y $>45^\circ$), esto hace que sea altamente susceptible a la erosión vertical y a los procesos gravitacionales. En el segundo sector (sur y este), la litología corresponde a rocas metamorfoseadas del Mesozoico (andesitas, riolitas, grauvacas y tobas); sin embargo, la profundidad de la disección es muy alta, lo cual se relaciona con los levantamientos regionales derivados de la actividad tectónica y el metamorfismo. Ambos sectores tienen una superficie estimada en 10.08 km^2 (10.23%).
2. La profundidad de disección de 50 a 60 m.(valor alto), se distribuye de manera semejante a la categoría anterior, es decir, en la región montañosa. La superficie se calcula en 17.31 km^2 (17.56%).Coincide con las laderas fuertemente inclinadas de los afluentes de río Xelajú y con las cabeceras de la cuenca. Los procesos de ladera son más frecuentes y diversos (deslizamientos y caídas, flujos y movimientos complejos, además de la formación de barrancos).
3. Los valores medios se encuentran entre 40 y 50 m de profundidad, se concentran en las laderas montañosas del centro-oeste y del sur-sureste. En éstas, también es evidente la profundización de los ríos, debido al alto grado de metamorfismo (diacclasas y fracturas) y a las gruesas cortezas de intemperismo de las rocas. En algunas laderas, igualmente, predominan las pendientes mayores a 45° , lo que las hace propensas a diversos tipos de movimientos en masa. Un factor que también determina esta profundidad es la deforestación, al no haber cubierta vegetal, el suelo es más susceptible a los procesos de erosión. A las zonas con valores medios les corresponde la mayor superficie de la cuenca, 26.83 km^2 (27.23%).

4. Las superficies con el valor de profundidad de 20 a 40 m se distribuyen en las partes marginales que bordean al fondo de los valles principales, también sobre abanicos aluviales con pendientes que varían entre los 12° y 18° y en las cimas de las cabeceras de la cuenca localizadas al sur y suroeste. Ocupan el segundo lugar por el área de cubrimiento que es aproximadamente de 23.45 km² (23.79%), en ésta ya comienzan a observarse varios movimientos de masa, entre los que se encuentran conos de detritos y deslizamientos.

5. Las zonas con profundidad de disección < 20 m corresponden a los fondos de los valles de los ríos Xelajú, La Mina y Allende y a las laderas del noreste. El material que predomina sobre las terrazas y los conos de deyección, en los fondos de dichos valles es aluvial del Cuaternario Reciente (Carfentan, 1977). Este valor de profundidad de la disección evidencia poca erosión vertical, dado que predomina la depositación y la morfología del terreno favorece las inundaciones. Además, como ya se señaló, la tectónica es sumamente activa en esta región de la cuenca (Sistema de Fallas Polochic-Motagua), por lo tanto, no existe una zona de transición marcada (piedemonte) entre la montaña y el fondo del valle, pero sí la presencia de numerosas facetas triangulares y abanicos aluviales (Figura 5.4). En las partes altas, principalmente en la porción NW y SE, también se presentan valores muy bajos que coinciden con cimas planas. La superficie estimada para los territorios con este valor de profundidad es de 20.86 km² (21.17%).



Figura 5.4. Valle con fondo plano, en las márgenes se observan abanicos aluviales. Las facetas triangulares se asocian a una tectónica activa.

El análisis de la profundidad de disección muestra, por un lado, que los diferentes tipos de procesos de ladera se presentan en toda la cuenca, sin embargo, predominan en las áreas montañosas, donde se forman barrancos cuyos valores son medios, altos y muy altos. Por otro lado, las inundaciones son relevantes en el fondo de los valles principales, ya que aunque los valores de profundidad de disección son bajos y muy bajos, causan un gran impacto en la población y sus actividades, debido a los materiales que son arrastrados y provienen de la erosión de las laderas montañosas.

En los fondos de los valles prevalecen también los procesos acumulativos de formación de terrazas y abanicos aluviales. Asimismo, los factores que más intervienen en la profundidad de la disección son: una litología muy fracturada y diaclasada de rocas esencialmente metamórficas, con potentes cortezas de intemperismo, una pendiente del terreno fuerte o abrupta, la tectónica activa por el sistema de fallas Polochic-Motagua, las precipitaciones de carácter torrencial y el cambio de uso del suelo.

1.1.4 Energía del relieve

La energía del relieve es otro método morfométrico que relaciona la intensidad relativa de la actividad tectónica (endógena) con los procesos exógenos (Lugo, 1988). Este método al igual que los de densidad y profundidad de disección permiten interpretar la

dinámica geomorfológica. En el área de estudio resalta el potencial erosivo que tiene por la fuerte influencia del sistema de fallas Polochic-Motagua. Entre los factores que condicionan dicha energía se mencionan: el tipo de rocas, las estructuras geológicas y particularmente disyuntivas, la geometría e inclinación del relieve y la intensidad de los procesos erosivos (Gómez, 1998, en Zaragoza, 2006) Estos factores determinan, por un lado, las zonas más susceptibles a los procesos erosivos y de inestabilidad de laderas y, por otro, a las inundaciones.

Este mapa tiene como finalidad conocer la distribución espacial de las áreas que tienen mayor energía del relieve. Se parte del criterio que señala: a mayor valor de energía del relieve mayor actividad tectónica (Lugo-Hubp, 1988) y, por lo tanto, mayor potencial de los procesos exógenos (Figura 5.5).

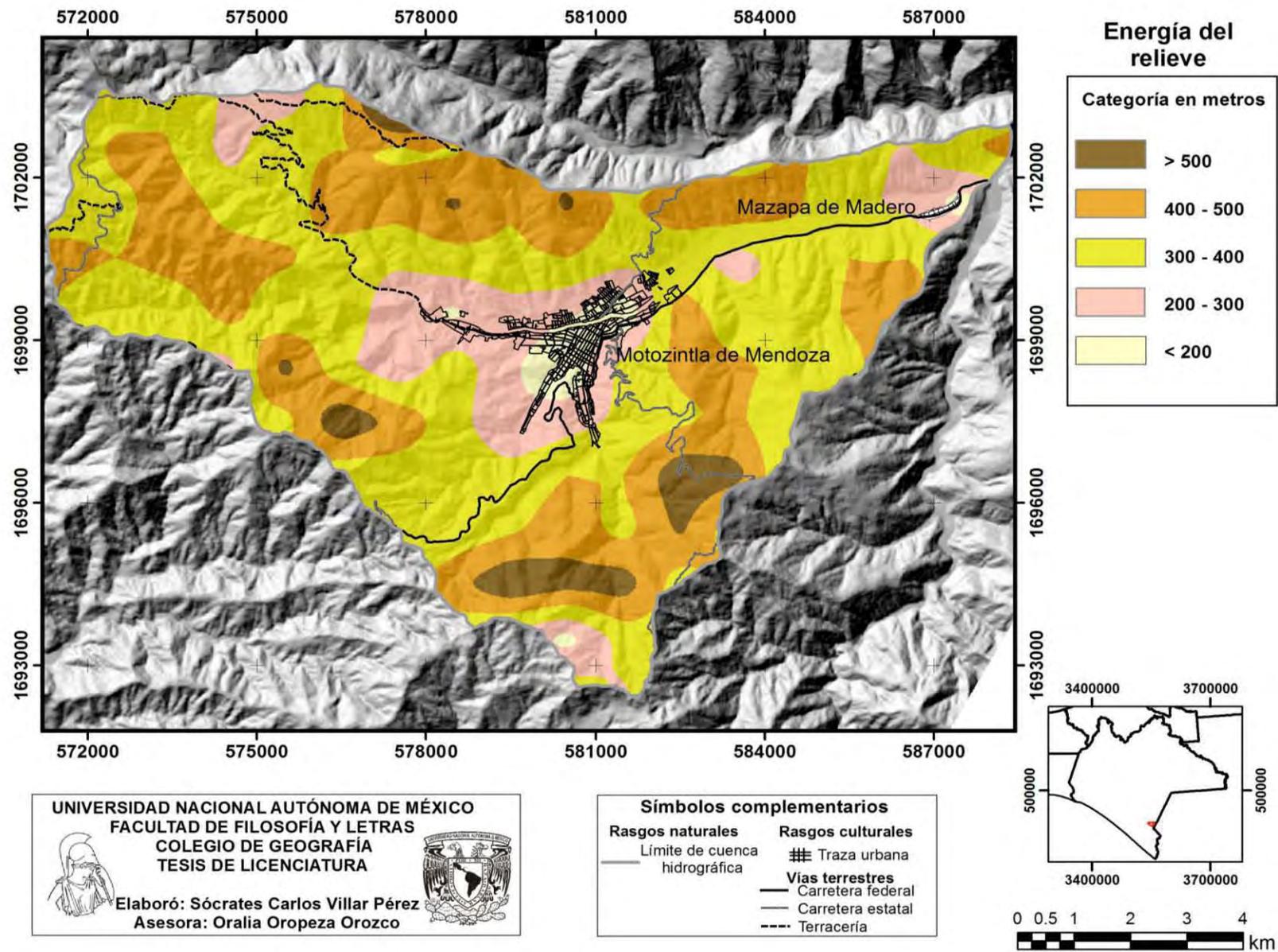


Figura 5.5. Energía de relieve.

Para elaborar el mapa se utilizaron las mismas cartas topográficas que para la densidad y profundidad de disección. Sobre la cartas topográficas, de manera analógica, se construye una maya con cuadros de 1 km/1 km. Por cada kilómetro cuadrado se obtiene la diferencia de altitudes de la cota mayor respecto a la menor. Posteriormente, los resultados se registran en una tabla de Excel (2007), para después ingresarlos al SIG (ArcGis 10). Una vez capturados los valores, se aplica el método de interpolación Natural Neighbor, pues es el que mejor determina, en este caso, la energía del relieve.

Los valores resultantes de la energía del relieve solo se comparan respecto a las diferencias al interior de la cuenca en estudio y se decidió clasificarlos en los siguientes intervalos:

1. > de 500 m, los terrenos con estos valores se encuentran en porciones muy pequeñas que en total suman 3.79 km² (3.84%), se distribuyen principalmente en el sur, sureste y norte de la cuenca, aunque aparentemente no se observa una relación directa con las estructuras geológicas de la zona, se reconoce que la influencia de la tectónica es relevante por la dinámica que se ejerce entre los procesos endógenos (de levantamiento) y los exógenos (erosión y depositación).
2. Los valores entre los 400 y 500 m ocupan una extensión de 31.37 km² (31.83%), se distribuye esencialmente en las laderas medias y altas de las montañas, donde las inclinaciones del relieve oscilan entre los 18° y 45°.
3. La energía de relieve con valores de 300 a 400 m se distribuye por toda la cuenca, desde las partes bajas hasta las cabeceras. A partir de esta categoría se interpreta una mayor influencia de los procesos exógenos, predomina la erosión vertical por lo que las diferencias entre las cotas mínimas y las máximas se van incrementando. Asimismo, hay una correspondencia con la pendiente de las laderas la cual es superior a los 18° lo que facilita los procesos gravitacionales. Los relieves con estos valores de energía abarcan 47.69 km² (48.40%).

4. Las regiones de los valles y laderas bajas tienen un valor de 200 a 300 m y ocupan una superficie de 13.37 km² (13.56%), éstas bordean las zonas con muy baja energía del relieve. También, en algunas zonas altas, al sur y noroeste de la cuenca, los valores de la energía del relieve son bajos, esto se explica por la morfología plana de las cimas.

5. En la categoría <200 m prácticamente quedan representadas las zonas donde se asienta la población de las localidades de Motozintla y Mazapa que coinciden con las partes más bajas de la cuenca. En la primera localidad confluyen los tres ríos más importantes (Xelajú, La Mina y Allende), mismos que aportan una importante cantidad de aluviones de edad cuaternaria (Carfantán, 1977). Debido a la mínima energía del relieve que ahí se presenta, puede decirse que predomina la depositación sobre la erosión; además, la superficie con esta categoría es la más pequeña, 2.32 km² (2.35%).

Es evidente que la distribución de los valores medios, altos y muy altos de la energía del relieve, que en conjunto suman el 84% del área total de la cuenca, tienen una estrecha relación con los procesos de inestabilidad de laderas y erosión de suelos, están controlados por los mismos factores que para la densidad y profundidad de disección: características litológicas, el grado elevado de fracturamiento e intemperismo que favorece la profundización de los valles, la fuerte pendiente del terreno, las estructuras disyuntivas derivadas del sistema de fallas Polochic-Motagua y una morfología del relieve principalmente montañosa ligada a una zonalidad climática (distribución de la precipitación). Pese a lo anterior, existen factores relacionados con las actividades humanas que aceleran e intensifican los procesos exógenos como son la deforestación de los bosques y selvas, los incendios forestales, la ganadería y la agricultura que muchas veces se desarrollan en terrenos con pendientes mayores a 30 ° (Villar y Oropeza, 2013). Los valores bajos y muy bajos se presentan, en general, en los fondos de los valles donde destacan los procesos de sedimentación.

5.2 Determinación de la vulnerabilidad ambiental, a partir de matrices multivariadas

Como ya se mencionó, para determinar la vulnerabilidad ambiental de la cuenca de Motozintla, se aplicó el método de matrices multivariadas, también llamado Proceso de Análisis Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés), este procedimiento permite evaluar y resolver problemas de diversas índoles, las técnicas de este método incorporan aspectos cuantitativos (objetivos) y cualitativos (subjetivos) de un territorio a evaluar (Saaty, 1980, Banai-Kashani, 1989). Es un modelo sistemático de decisión capaz de interpretar datos y la información de juicios y medidas de estructuras jerárquicas establecidas en función de una serie de criterios o variables (Moreno, 1996).

El procedimiento del AHP al ser sistemático, se construye y representan los elementos (variables) de un problema en tipos de jerarquías. Otra característica de este modelo es que se elaboran comparaciones entre elementos del mismo nivel.

Si bien, los resultados de las matrices pareadas pueden ofrecer inconsistencias derivadas de juicios redundantes, éstas se resuelven aplicando un índice que no permite más del 10% de error.

En resumen, puede mencionarse que las ventajas de este procedimiento a comparación de otros (Análisis de Componente Principal, Análisis de Estado Espacial, Análisis Crítico), es que los datos y la información obtenida se interpretan mediante la realización de juicios y medidas en una escala de razón dentro de una estructura jerárquica establecida. Puede decirse también que es un método de selección de alternativas mediante estrategias e inversiones de datos e información, en función de una serie de criterios o variables.

En relación con lo anterior, este procedimiento metodológico no solo ofrece los resultados finales en la jerarquía, sino que también permite una evaluación integral en varios niveles de análisis. Dentro de estos parámetros, la información que se desea

transformar, utiliza una escala de 1 al 9 para cotejar en pares con respecto a una constante base que es el pivote de la comparación del AHP (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Escala numérica de evaluación comparativa pareada (Banai-Kashani, 1989).

Valores intermedios se usan si no ajustan los valores de la siguiente columna.	Intensidad de importancia	Definición
2	1	Misma importancia. Las dos condiciones contribuyen a igual intensidad al objetivo.
4	3	Importancia moderada. La experiencia y el juicio favorecen ligeramente una condición sobre la otra
6	5	Importancia esencial o fuerte. La experiencia o juicio favorecen fuertemente una condición sobre la otra.
8	7	Importancia demostrada. Se ha demostrado en la práctica que una condición domina sobre la otra.
-	9	Importancia extrema. Se ha demostrado en la práctica que una condición domina en extremo a la otra.

Permite también que el juicio de selección de las variables sea considerado por expertos en la toma de decisiones. Sin embargo, las dificultades de este método es que existe una gran cantidad de comparaciones y criterios, los cuales pueden ser en un momento confusos para el procesamiento de datos y su análisis, además de que el puntaje o pesos de cada variable tiene un límite de inconsistencia (Smith *et al.*, 2003). Por esto, es conveniente utilizar las variables más representativas.

Antes de aplicar el método de análisis jerárquico con el fin de obtener la vulnerabilidad ambiental en relación con los PRM y las inundaciones en la cuenca de Motozintla se deben seguir varios pasos:

Primero se elige el mapa de vegetación y uso de suelo (Morales y Ramos, 2013) como base de las unidades espaciales. Posteriormente, en un Sistema de información

Geográfica (ArcGIS versión 10), se modifica la tabla de atributos del shape correspondiente a dicho mapa y se asignan nuevos identificadores para hacer más práctico el procesamiento de información (Tabla 5.2). Los tipos de vegetación que se evalúan (en orden de menor a mayor vulnerabilidad) son: agricultura de riego, agricultura de humedad, bosque mesófilo, bosque de pino-encino, bosque secundario mesófilo, vegetación secundaria de bosque de pino-encino, vegetación secundaria de encino, vegetación secundaria de selva baja caducifolia y agricultura de temporal. Se eliminan del análisis las coberturas referentes a los asentamientos humanos pues éstos se consideran *a priori* de muy alta vulnerabilidad, así como las áreas sin vegetación aparente que corresponden al fondo del valle principal.

Tabla 5.2. Identificadores utilizados en el AHP para los usos del suelo.

ID	Clave	Uso de suelo
C9	AT	Agricultura de temporal
C8	VSSBC	Vegetación secundaria de selva baja caducifolia
C7	VSBE	Vegetación secundaria de bosque de encino
C6	VSBE	Vegetación secundaria de bosque pino-encino
C5	VSBM	Vegetación secundaria de bosque mesófilo
C4	BPE	Bosque pino-encino
C3	BM	Bosque mesófilo
C2	AH	Agricultura de humedad
C1	AR	Agricultura de riego

Por otro lado, se seleccionaron las seis variables que se reconocen como las más importantes para determinar la vulnerabilidad ambiental, cuatro de ellas son cuantitativas (pendiente, densidad de disección, profundidad de disección y energía del relieve) y dos más son cualitativas (geología y erosión de suelo), esto con el fin de poder obtener calificaciones o resultados para integrarlos posteriormente a las matrices.

Las seis variables que se eligieron con su cartografía correspondiente se jerarquizaron de acuerdo a su importancia con la ayuda del criterio de expertos, para tener resultados más confiables y con menor margen de error (Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Pesos asignados a las variables seleccionadas.

Variable	Peso
Pendiente	0.35
Geología	0.31
Erosión	0.15
Densidad de disección	0.10
Profundidad de disección	0.06
Energía del relieve	0.04

La primera variable (con su mapa respectivo) por su importancia es la pendiente, el criterio que se estableció para definir la vulnerabilidad ambiental fue que las superficies con coberturas de vegetación natural o uso del suelo con pendiente mayor de 12° son las más vulnerables.

Para la variable de geología el criterio es de carácter cualitativo y se toma en cuenta el tipo y edad de la roca, el grado metamorfismo, de intemperismo, fracturamiento y diaclasamiento. Por ejemplo, los micaesquistos se consideraron como los tipos de rocas más vulnerables de acuerdo con las características descritas por Carfantan (1977) y lo observado en campo.

Para la erosión de suelo, al igual que en la variable anterior, el criterio es cualitativo y se decidió que las superficies con vegetación o uso de suelo que cartográficamente presentan mayor grado de erosión tienen mayor vulnerabilidad.

La densidad de disección es una variable cuantitativa, en este caso se utilizó el mapa con los valores mayores a 5.3 km/km² cuya vulnerabilidad ambiental es mayor con

respeto a la cubierta vegetal. Igualmente, en el criterio de profundidad de disección, se consideraron las superficies con categorías mayores a 50 m/km^2 del mapa y se sobrepusieron a las unidades de vegetación o uso de suelo para obtener las que representan mayor vulnerabilidad.

De la misma manera, el criterio utilizado para la energía del relieve es que a mayor de 400 m de energía mayor vulnerabilidad de acuerdo a la superficie ocupada por cada tipo de vegetación y uso del suelo en la cuenca de Motozintla.

Una vez, asignados los criterios de cada variable, en el sistema de información geográfico (ArcGIS 10), mediante la caja de herramientas (ArcToolbox) se elaboran *Identitys* por cada uno de los mapas, es decir, se seleccionan los valores más altos de cada capa y los tipos de vegetación y usos del suelo. Esto, con el fin de obtener la superficie ocupada por cada variable en cada tipo de vegetación.

En esta etapa, después de obtenidos todos los datos de la sobreposición del mapa de unidades espaciales (tipos de vegetación y uso de suelo) con cada una de las variables, puede decirse que es donde comienza la aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico.

Ya conseguido el procesamiento de la información en el ArcGIS de los mapas mencionados, el siguiente paso es desplegar y verificar que los datos sean correctos en la tabla de atributos, para después elaborar una serie de cálculos en el programa Excel (versión 2007), los cuales consisten en sumar y obtener el total de superficies de cada tipo de vegetación con respecto a los valores más altos de cada variable.

Posteriormente, de los datos de superficie por variable, se obtiene el porcentaje de cada unidad y se integran a una matriz. Esto se realiza automáticamente mediante un programa de la AHP. La integración y cálculo de cada uno de los tipos de vegetación da como resultado pesos e índices de inconsistencia por variable, los cuales tienen que ser menor a 0.10 (< 10%) para que haya una aceptación en el análisis y resultado en cuanto al método. Ya finalizado dicho procedimiento, la suma de cada tipo de

vegetación por variable, se multiplica por el peso general de la variable y así se obtiene el peso final (Tabla 5.4).

Tabla 5.4. Matriz de resultados para obtener los pesos finales de cada uso de suelo para la vulnerabilidad ambiental.

Uso de suelo	Pendiente	Geología	Erosión	Densidad de disección	Profundidad de disección	Energía del relieve
C1	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02
C2	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02
C3	0.06	0.06	0.04	0.02	0.05	0.10
C4	0.21	0.21	0.10	0.29	0.24	0.29
C5	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02
C6	0.12	0.12	0.19	0.22	0.24	0.17
C7	0.12	0.12	0.10	0.10	0.13	0.06
C8	0.06	0.06	0.04	0.05	0.02	0.02
C9	0.37	0.37	0.44	0.24	0.24	0.29

Uso de suelo	Peso final por uso de suelo	Categorías de vulnerabilidad	%
C1	7.51	Muy bajo	0 – 20
C2	7.51	Muy bajo	0 – 20
C3	7.51	Muy bajo	0 – 20
C4	14.16	Muy bajo	0 – 20
C5	14.55	Muy bajo	0 – 20
C6	30.95	Bajo	20 – 40
C7	41.09	Medio	40 – 60
C8	58.95	Medio	40 – 60
C9	100.00	Muy alto	80 – 100

Una vez terminada esta etapa, en la tabla de atributos del mapa de vegetación y uso de suelo (ArcGIS), los valores mínimos y máximos de los pesos totales por variable se escalan al 100 % que se asigna a la agricultura de temporal (C9) y se establecen las siguientes categorías: muy alto (80 a 100%), alto (60 a 80%), medio (40 a 60%), bajo (20 a 40%) y muy bajo (0 a 20%). Con estas categorías se elabora el mapa final de vulnerabilidad ambiental (Figura 5.6, Anexo 2).

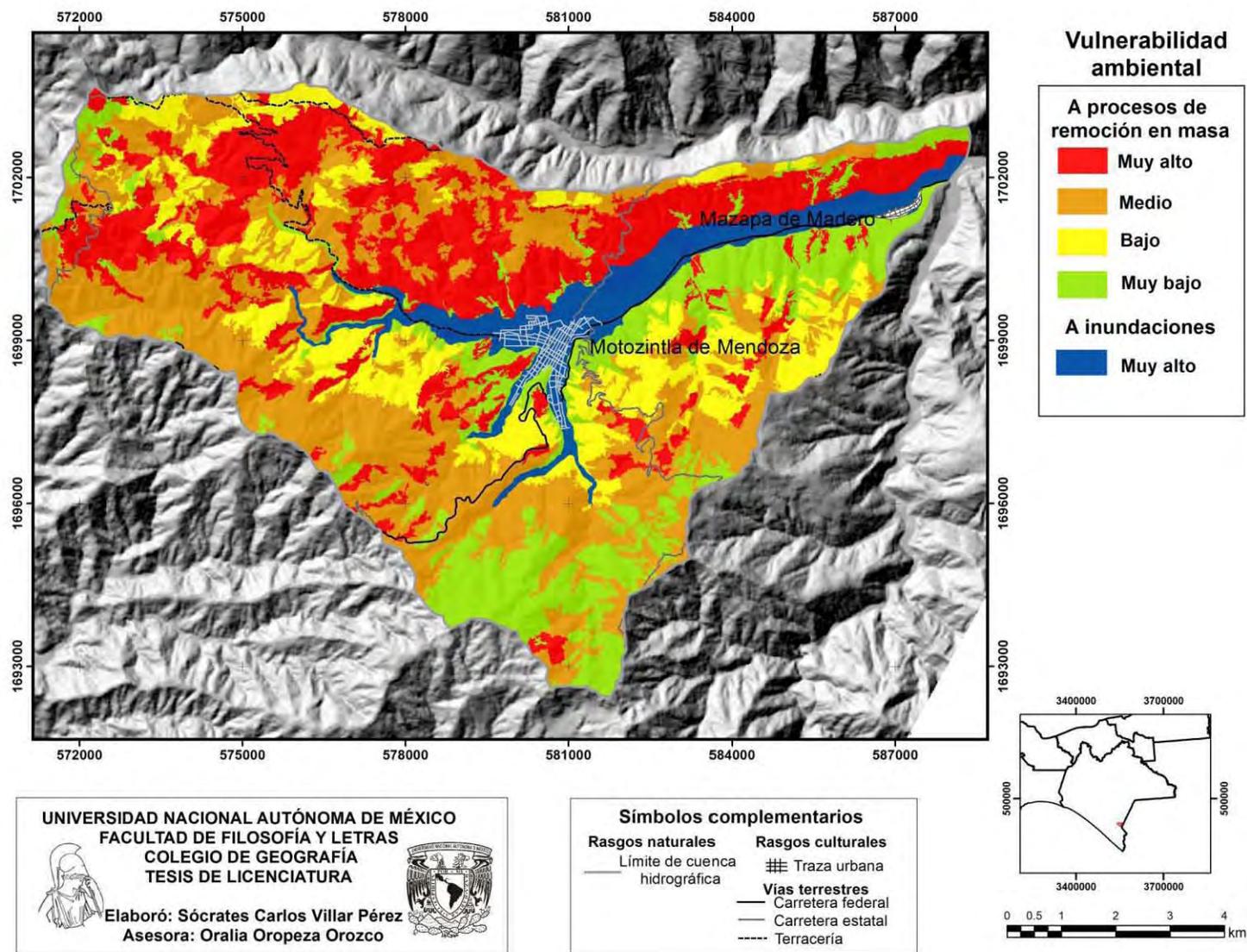


Figura 5.6. Vulnerabilidad ambiental de la cuenca de Motozintla.

De acuerdo con el método del AHP, en este mapa se aprecian los grados de vulnerabilidad ambiental de la cuenca. Las zonas con agricultura de temporal resultan con los valores de vulnerabilidad muy alta (80-100%) ante los PRM, se localizan, principalmente, en el sector norte. Esto es un reflejo de cómo la actividad agrícola tiende a ser la más importante, dando pie a que los procesos de ladera se presenten con mayor frecuencia debido a la transformación del medio. Cabe mencionar que según este análisis los valores altos (60–80%) no se manifiestan.

La vegetación secundaria de bosque de pino-encino y el bosque de pino-encino, presentan valores medios (40 a 60%). Se hallan en mayor proporción en el sector, SW y sur de la cuenca, y en el NW se encuentran fragmentos en la parte alta y media de la cuenca.

Los valores bajos (20-40%) corresponden a la vegetación secundaria de bosque de encino que se localiza en la parte sur y suroeste de la cuenca, también se halla en la porción norte pero únicamente en pequeñas áreas de las cimas.

Por último, las áreas con los valores muy bajos (0-20%) tienden a presentarse en la porción sur en las márgenes de río Xelajú y en la cima de la cuenca. La vegetación predominante es de bosque mesófilo, vegetación secundaria de selva baja caducifolia y secundaria de bosque mesófilo. El bosque mesófilo es el tipo de vegetación que aún se conserva donde el acceso es difícil, pero ésta muy amenazado por el hombre en las partes más altas donde hay carreteras.

En la siguiente tabla se muestran las superficies y los porcentajes de vulnerabilidad por bloques (Tabla 5.5). Los bloques uno y dos son los que presenta mayor superficie de vulnerabilidad, los bloques cinco y seis, son las zonas con menor vulnerabilidad.

Tabla 5.5. Valores de vulnerabilidad en km² y en % por bloque.

Bloques	Muy alto		Medio		Bajo		Muy bajo	
	Km ²	%						
1	7	66.73	2.1	20.02	0.47	4.48	0.92	8.77
2	28.15	61.02	12.71	27.55	4.23	9.17	1.04	2.25
3	10.31	25.79	23.67	59.22	4.1	10.26	1.79	4.48
4	3.07	11.47	17.68	66.07	4.1	15.32	1.91	7.14
5	0.49	1.98	15.35	61.87	2.07	8.34	6.9	27.81
6	1.69	4.17	20.36	50.28	6.97	17.21	11.47	28.33

Cabe señalar que otro procedimiento metodológico es el Análisis Multicriterio, éste permite evaluar y combinar criterios en común de un tema, utilizando información cualitativa y cuantitativa (Flores, 2011). En lo que respecta a la cuenca de Motozintla, dicha metodología aplicada por Hernández (2010) en relación con los procesos de remoción en masa, tiene resultados muy similares al del Proceso de Análisis Jerárquico que este trabajo presenta.

Conclusiones

Se estableció un marco conceptual sobre vulnerabilidad ambiental, amenaza, riesgo y desastre que surge de la revisión de los trabajos de varios autores, algunos de ellos considerados “clásicos” entre la literatura latinoamericana (Wilches-Chaux, 1993; Buch y Turcios, 2003; Lavell, 1994; Mansilla, 1996, entre otros). En este apartado de investigación bibliográfica se encontraron similitudes y contradicciones en lo referente a la terminología por lo que algunos conceptos se adaptaron para este trabajo.

En diversos temas, las fuentes de información aún son limitadas, obsoletas y escasas, como el desarrollo histórico de la región en relación con la degradación ambiental, la geología y los suelos, por lo que algunos aspectos quedan muy generales y en otros, gracias a este trabajo se aporta información relevante para determinar la vulnerabilidad ambiental como es la cartografía geomorfológica y morfométrica.

Puede decirse que desde la época prehispánica se inicia la degradación ambiental de la cuenca, se continúa en las épocas colonial e independiente, pero es en la contemporánea cuando dicha degradación se intensifica. En cada una de ellas, se explica desde la movilidad y características de los primeros grupos humanos (*Mam* o *Mame*) que llegaron a la cuenca de Motozintla, hasta la modificación actual del territorio a causa de la expansión urbana. Cabe señalar, que no se encontró información que haga mención a eventos de inundación y procesos de ladera importantes, básicamente se refieren los movimientos sociales y comerciales de la zona.

Las condiciones litológicas, climáticas, edafológicas, pendiente del terreno y geometría de laderas, son factores que hacen la zona altamente vulnerable a los procesos geomorfológicos estudiados y los agentes desencadenantes para que estos procesos se presenten son los cambios de uso de suelo generados por las actividades humanas y las precipitaciones extremas de fenómenos hidrometeorológicos como la tormenta tropical *Earl* (1998), el huracán *Stan* (2005) y la tormenta tropical *Agatha* (2010), los cuales han sido generadores de importantes desastres, que destruyeron infraestructura y causaron

pérdidas humanas y económicas. Aunque con lluvias que no son extremas también se generan procesos de remoción en masa.

A partir de la construcción de bloques morfo-tectónicos, se identificaron procesos de remoción dominantes (deslizamientos, flujos, caídas y movimientos complejos), debido a las características internas y externas de sus laderas puede decirse que son procesos que se presentan con regularidad y afectan a la población e infraestructura en diversos sectores del territorio. La elaboración del mapa geomorfológico, permitió analizar y comparar la dinámica del río, reconociendo, a través de los diferentes niveles de terrazas (tres) y abanicos aluviales, que es sumamente activo, lo cual se comprobó en las visitas de campo que se realizaron en el año 2011 y 2012, ya que en muchos sectores del valle se observaron cambios importantes en la acumulación y erosión de sedimentos. Por esto mismo, el arrastre de material lleva consigo un peligro latente al que la población está expuesta.

Se pudo determinar que un factor importante para que se presenten las inundaciones (muy frecuentes en época de lluvias), es la morfología de los ríos principales de la cuenca (Xelajú, La Mina y Allende). El nivel del agua que se alcanza rebasa los fondos de los valles por lo cual resultan de vulnerabilidad muy alta. Esto debe tenerse en consideración para la planeación territorial, del mismo modo, no debe permitirse la construcción de vivienda y la infraestructura, ya que debe estar limitada a las áreas con agricultura de riego y humedad que se encuentran a lo largo del valle.

Para la obtención del mapa de vulnerabilidad ambiental, la aplicación de método del AHP fue de suma importancia, ya que se logró un análisis detallado y práctico de la información, los datos de los mapas cuantitativos y cualitativos son utilizados de forma muy variable, pero siempre acotado a un cierto grado de error, permitiendo así que el estudio sea lo más preciso posible.

Los resultados de esta tesis constituyen una herramienta de gran utilidad, en general, para la planeación territorial y, en particular, para el desarrollo de infraestructura y gestión

del riesgo en la cuenca, facilitarán la elaboración de planes de prevención y mitigación de riesgos para apoyar la toma de decisiones por parte de las autoridades de los diferentes niveles de gobierno (federales, estatales y municipales), así como también a Protección Civil de los municipios de Motozintla de Mendoza y Mazapa de Madero.

Bibliografía.

- Alcántara-Ayala, I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificación y terminología. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM, 41, 7-21.
- Alcántara I. y F. Murillo, (2007). Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM: 66, 47-64.
- Ayala, F. y C. Olcina (2002). *Riesgos Naturales*. Editorial Ariel Ciencia. Barcelona, España. 1512 p.
- Banai-Kashani, R. (1989). A new method for site suitability analysis: The Analytic Hierarchy Process. *Environmental Management* 13(6), 685-693.
- Briones, F. (2010). Inundados, reubicados y olvidados: Traslado del riesgo de desastre en Motozintla, Chiapas. *Revista de Ingeniería*. México D.F. Pp. 132-144.
- Buch, M. y Turcios, M. (2003). *Vulnerabilidad Socioambiental: Aplicaciones para Guatemala*. Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas - Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. Guatemala.
- Burkart, B. (1978). Offset across the Polochic fault of Guatemala and Chiapas, Mexico. Department of Geology, University of Texas at Arlington, Arlington, Texas.
- Caballero, L., Macías, J., García, A., Saucedo, G., Borselli, L., Sarocchi, D. y Sánchez, M. (2006). The September 8-9 Rain- Triggered Flood Events at Motozintla, Chiapas, Mexico. *Natural Hazards*, 39, 103-126.
- Cantarero, F. (2013). Geometría de cauces y resultados de la modelación hidráulica. En Oropeza y Figueroa (Coordinadores) (2013). *Atlas de Factores de Riesgos de la cuenca de Motozintla, Chiapas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 130-133.
- Cardona. O (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el ordenamiento y planeación del territorio. *Los Desastres No Son Naturales*. LA RED.
- Carfantán, J. (1977). La cobijadura de Motozintla. Un paleoarco volcánico en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*: 1 (2), 133-137pp.
- CEPREDENAC-PNUD (s/f). Glosario de términos y nociones relevantes para la gestión del riesgo. Anexo 1.
- Cerda, R (1940). Los Mame. *Revista Mexicana de Sociología*. Universidad Nacional Autónoma de México, 2 (3). México, D. F. Pp. 61-100.
- Comité Técnico Internacional del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, (2000). *Panorama del impacto ambiental de los recientes desastres en América Latina y el Caribe*. XII Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente en América Latina y el Caribe. Bridgetown, Barbados.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (1997), "*Carta de Climas, Chiapas, Sistema de Koppen modificado por E. García*", escala 1:1,000,000.
- Consejo de Recurso Minerales (COREMI)-Servicio Geológico Mexicano (2005). *Carta Geológica-Minera, Huixtla*. D15-2, Chiapas, escala 1:250,000.
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua, (2010). *Organismo de Cuenca Agua del Valle de México*. México D.F.
- Cruz, J. y Nazar. A. (2009). *Sociedad y desigualdad en Chiapas. Una mirada reciente*. Editorial ECOSUR. México D.F.
- Dikau, R., D. Brunsten, L. Schrott y L. Ibsen (1996). *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*. Wiley & Sons. Chichester, U. K.
- Domínguez, R., Fuentes, O. y García, F. (1999). *Inundaciones*. Serie Fascículos No. 3. CENAPRED. México. 28 pp.
- Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC3) (2006). Banco de datos. Servicio Meteorológico Nacional-Comisión nacional del Agua.
- FAO and UNEP (1997). Negotiating a sustainable future for land. Structural and institutional guidelines for land resources management in the 21st century. Rome, Italy. Pp. 60.
- Flores P. e I. Alcántara-Ayala (2011). Susceptibilidad a deslizamientos superficiales de suelo en el municipio de Temoaya, México: Aplicación del análisis multicriterio. Investigaciones Geográficas del Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. No. 77. Pp. 31-47.
- Flores-Villela, O. y P. Gerez (1994), *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo*, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO).
- Garnica, R y I. Alcántara (2004). Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. *Investigaciones geográficas* 55. UNAM. México, D. F. Pp. 23-45.
- Gobierno del Estado de Chiapas-Programa Estatal de Ordenamiento Territorial (PEOT) (2005), *Programa de Ordenamiento Territorial del Estado de Chiapas*. Secretaría de hacienda, CEIEG, ECOSUR, INEGI, CONAPO, SEDESOL, SOPYV, SEMARNAT, UNAM-IG.
- Gómez-Orea, D. 2007. Ordenación territorial. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- González de Vallejo, L., M. Ferrer, L., Ortuño, C., Oteo. (2004). *Ingeniería Geológica*. Editorial Pearson. Madrid, España.
- Hernández, G. (2010). *Procesos de remoción en masa en el municipio de Motozintla de Mendoza, Chiapas*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México.

- Hernández, A. (2010), *Reseña de la tormenta tropical "Agatha" del Océano Pacífico*. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. SEMARNAT-CONAGUA.
- Imeson, A. y M., Curfs. (s/f). *Land Care and Desertification Affected Areas*. Lucinda. Pp. 2-5.
- INEGI (1985). *Carta edafológica. Hoja D13-2. "Tapachhula"*. Escala 1:250,000.
- INEGI (1988). *Carta Geológica, Huixtla D15-2*. Chiapas, Escala 1:250,000.
- INEGI (2001). *Carta Topográfica. Hoja D15B32 "Motozintla"*, escala 1:50,000.
- INEGI (2002). *Carta Topográfica. Hoja D15B32 "Escuintla"*, escala 1:50,000.
- INEGI (2013). *México en cifras. Estadísticas, Cifras; actividades primarias*.
- Lavell, A. (1994), *Viviendo en Riesgo: Comunidades Vulnerables y Prevención de Desastres en América Latina*, CEPREDENAC/FLACSO/LA RED, Bogotá, Colombia.
- Lavell A. (1996). *Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y concepto: hacia la definición de una agenda de Investigación*. Ciudades en Riesgo. Degradación Ambiental, Riesgos Urbanos y Desastres. Red de Estudios en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED).
- Lavell, A. (1999). Prefacio. En: *El daño y la evaluación del riesgo en América Central: Una propuesta metodológica tomando como caso de estudio a Costa Rica*. Tesis de posgrado, maestría en Geografía de la Universidad de Costa Rica. LA RED. Costa Rica.
- Lavell, A., E. Mansilla y D. Smith (2004). *La Gestión del Riesgo: Concepto y Práctica*. CEPREDENAC-PNUD, Managua, Nicaragua.
- Lavell, A., E. Mansilla y D. Smith (2004). *La gestión del riesgo: Concepto y Práctica*. CEPREDENAC-PNUD, Managua, Nicaragua.
- Lugo-Hubp, J (1989). *Diccionario Geomorfológico*. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Lugo Hubp., J (1988). *Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos)*. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Lugo-Hubp, J. y M. Inbar (2002). *Desastres Naturales en América Latina*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Lynn, M. (2008). *The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides*. Geological Survey of Canada. 130 p.
- Llanes, C (2005). *Gestión del Riesgo: una visión de los desastres*. Centro Nacional de Referencias para la Prevención y Mitigación de Desastres. Intercambio de experiencias México-Cuba. Quintana Roo, México.
- Maskrey, A (1993). *Los Desastres No Son Naturales*. LA RED. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. [<http://www.desenredando.org>]. Consulta julio 2011.

- Mansilla, E. (1996), *Modelo para Armar Colección de Piezas de un Rompecabezas Social*, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Editorial Lima: LA RED. Perú.
- Mendoza, C (2010). *Cartografía Geomorfológica del Complejo Volcánico Tacaná, México-Guatemala*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México.
- Miranda, A, (1992). Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de perfiles de suelo, revisado "rusle" en sistemas de producción agrícola de la cuenca de Taquiña. [<http://www.scribd.com/doc/68702872/66ecuacion-erosion>]. Consulta diciembre 2012.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPUT) (1991). *Guía para la elaboración de estudios del medio Físico: Contenido y metodología*. Tercera edición, Madrid España.
- Morán, A. y A. Ortiz (2002), *Deforestación en México: causas económicas. Incidencias del comercio interno*. Centro de Estudios del Sector Primario para el Desarrollo Sustentable. México, D.F.
- Morales, M. (2009). *Construcción histórica-espacial de la vulnerabilidad social, desastres y reubicaciones en Motozintla, Chiapas*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México.
- Morales, H. y S. Ramos (2013). Vegetación y uso de suelo. Atlas de Factores de Riesgo de la cuenca de Motozintla, Chiapas. En Oropeza y Figueroa (Coordinadores) (2013). *Atlas de Factores de Riesgos de la cuenca de Motozintla, Chiapas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 60-63.
- Morales, H. (2013). Pisos bioclimáticos. En Oropeza y Figueroa (Coordinadores) (2013). *Atlas de Factores de Riesgos de la cuenca de Motozintla, Chiapas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 34-37.
- Moreno, R. (1996). *La decisión con apoyo cuantitativo. El proceso analítico jerárquico (AHP)*. Asociación Cooperadora de la FCE de la UNC. Cartagena, Colombia. 115 p.
- Murcia, H. y J. Macías (2009). Registro geológico de inundaciones recurrentes e inundaciones de octubre de 2005 en la ciudad de Tapachula, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26 (1), 1-17 pp.
- Nagel R. (2004). *Encyclopedia of landforms and other geologic features*. Thompson. USA. 314 p.
- Oropeza, O. (1992). Transformación del paisaje natural de México por influencia de las actividades humanas: enfoque cartográfico. *Estudios Geográficos*. Centro de Investigaciones sobre la Economía, La Sociedad y el Medio Ambiente (CIESM). Madrid. 155-134 pp.

- Oropeza, O. (1999). Impacto ambiental y peligros naturales y antrópicos en la Península de Yucatán. *Atlas de procesos territoriales de Yucatán*. Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Arquitectura. México, D.F. Pp. 251-258.
- Oropeza, O. y M. Figueroa. (2013). Amenazas hidrometeorológicas: inundaciones. En Oropeza y Figueroa (Coordinadores) (2013). *Atlas de Factores de Riesgos de la cuenca de Motozintla, Chiapas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 116-117.
- Oropeza, O., M. Figueroa y C. Larrizábal (2013). Localización de la Cuenca de Motozintla, Chiapas. En Oropeza y Figueroa (Coordinadores) (2013). *Atlas de Factores de Riesgos de la cuenca de Motozintla, Chiapas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 6-9.
- Oropeza, O., M. Figueroa y M. Ortiz (2013a). Pendiente del terreno. En Oropeza y Figueroa (Coordinadores) (2013). *Atlas de Factores de Riesgos de la cuenca de Motozintla, Chiapas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 50-53.
- Ortiz, M., Zamorano, J., Frausto, O., Hernández, J. y Díaz J. (1992). Análisis morfotectónico del territorio sudoccidental del batolito de Colola, Michoacán, México. Geodinámica del trópico interplacas americano. Morfodinámica del batolito de Colola. *Instituto de Geografía. UNAM. Editado en La Habana, Cuba. 22 p.*
- Ortiz, M., O. Oropeza y M. Figueroa (2013). Morfología de laderas. En Oropeza y Figueroa (Coordinadores) (2013). *Atlas de Factores de Riesgos de la cuenca de Motozintla, Chiapas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 122-125.
- Pedraza, J. (1996). *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Editorial Rueda. Madrid, España.
- Petrich, P. (1985). *Los Mochó. Cuento de Pedro Ramames*. Inédito. Chiapas, México.
- Quintana-Hernández, F. y Rosales, C.L., (2006). *Mames de Chiapas*. CDI, México.
- Ramos Hernández, S. G., D. Flores Román, L. M. Luna Cazares y A. R. González Esquinca (2008). "Los suelos de Chiapas, el proceso de erosión y la sustentabilidad", en *recursos fitogenéticos y sustentabilidad en Chiapas*. 1ª Edición, Colección Jaguar- UNICACH, Chiapas, México, pp. 133-153.
- Reyes, A. y M. Sousa (1997). *Listados florísticos de México. Depresión central de Chiapas. La Selva Baja Caducifolia*. Instituto de Biología, UNAM. México.

- Ramos, S. y Morales, H. (2013). Suelos. En Oropeza y Figueroa (Coordinadores) (2013). *Atlas de Factores de Riesgos de la cuenca de Motozintla, Chiapas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 54-59.
- Rodríguez, F. y D. Novelo. (2013). Vulnerabilidad. En Oropeza y Figueroa (Coordinadores) (2013). *Atlas de Factores de Riesgos de la cuenca de Motozintla, Chiapas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 156-159.
- Romero, G. y Maskrey, A. (1993). Cómo entender a los desastres naturales. En Maskrey Andrew (Compilador). *Los desastres no son naturales*. LA RED. Tercer Mundo editores, Santa Fe, Bogota.
- Romo, A. (s/f). Degradación ambiental por riesgos naturales y vulnerabilidad social en la zona urbana de Tijuana, B.C., México.
- Saaty, T (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-hill, New York. 376 p.
- Sánchez, J. M. (2012). *Procesos de remoción en masa en la cuenca de Motozintla, Inventario y recurrencia*. Tesis de Doctorado en Ciencias de la Tierra. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. México.
- Sanahuja, H. (1999). *El daño y la evaluación del riesgo en América Central: Una propuesta metodológica tomando como caso de estudio a Costa Rica*. Tesis de posgrado, maestría en Geografía de la Universidad de Costa Rica. LA RED. Costa Rica.
- Sandoval, R. (2006). *Evolución de un bosque en proceso de extinción*. Editorial. Guaymurás. Tegucigalpa, Honduras.
- Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Chiapas, (2011). *Enciclopedia de los municipios del Estado de Chiapas*. Editorial. Colección Enciclopedia de los Municipios de México. Chiapas, México.
- Soldano, A. (2008). *Conceptos sobre riesgo*. Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y Departamento de Desarrollo Sostenible de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- Suárez, J. (2006). *Análisis de los problemas de erosión y deslaves. Carretera Huixtla-Motozintla, Motozintla*. Instituto de Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga, Colombia.
- Schumm, S. A. (1977). *The Fluvial System*, John Wiley & Sons.

Smith, E., L. Tran y R. O'Neill (2003). Regional Vulnerability Assessment for the Mid-Atlantic Region: Evaluation of Integration Methods and Assessment Results. *Environmental Protection Agency*, 03 (82).

Trejo. R (2010). *Reseña del Huracán "Earl"*. Cordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Temporada 2010 de Huracanes. CONAGUA.

Villar, C. y O. Oropeza. (2013). Densidad de disección; energía del relieve; profundidad de disección. En Oropeza y Figueroa (Coordinadores) (2013). *Atlas de Factores de Riesgos de la cuenca de Motozintla, Chiapas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 94-105

Wilches-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global. En: *Los Desastres No Son Naturales*. Andrew Maskrey (Compilador). LA RED. Tercer Mundo Editores. Bogotá, Colombia.

Wilches-Chaux, G (1998). Auge, Caída y Levantada de Felipe Pinillo, Mecánico y Soldador o Yo voy a correr el riesgo. Guía de LA RED para la gestión del riesgo. Lima, Perú.

Zaragoza, N. (2006). *Procesos de ladera en la región de Cuetzalan, un enfoque geomorfológico*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México.

Hemerografía:

El Orbe, Tapachula, Chis. Sábado 5 de septiembre de 1998.

El Orbe, Tapachula, Chis. Miércoles 2 de junio, 2010.

EL Orbe, Tapachula, Chis. Domingo 30 de mayo de 2010.

El Informador, Guadalajara, Jal. 4 octubre de 2010.

El Herald de Chiapas, 5 de septiembre de 2010.

ANEXOS:

1. MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA CUENCA DE MOTOZINTLA.

2. VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA DE MOTOZINTLA.

Leyenda del mapa geomorfológico de la cuenca de Motozintla:

 **Bloque 1. Rocas metamórficas del Mesozoico y procesos de ladera por deslizamiento de tierras.**

1.1 Sistema de laderas con morfología predominante convexo-divergente (<40%), rectilíneo-convergente (<30%) y convexo-paralelo (20%).



1.1.1 Corona de deslizamiento



1.1.2 Superficie de resbalamiento



1.1.3 Depósito de deslizamiento

1.2 Morfología de origen fluvial acumulativo del Cuaternario Reciente y Antiguo.

1.2.1 Terrazas



Niveles Primero Segundo

-Conos-terrazas

1.2.3 Abanicos aluviales



-Inferidos



-Diferidos



1.2.4 Talud de coluvión



Bloque 2. Rocas sedimentarias (molasa continental) del Triásico-Cuaternario y procesos de ladera por deslizamientos, caídas y flujos.

2.1 Sistema de laderas con morfología predominante convexo-divergente (>40%) y rectilíneo-convergente (>20%) y convexo convergente (<20%).



Corona de deslizamiento



Superficie de resbalamiento



Depósito de deslizamiento



Depósito de flujo



Caídas

2.2 Morfología de origen fluvial acumulativo del Cuaternario Reciente y Antiguo.

2.2.1 Terrazas



- Primer nivel

2.2.2 Abanicos aluviales

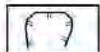


- Inferidos



Bloque 3. Predominan las rocas metamórficas del Precámbrico y procesos de ladera por caídas.

3.1 Sistema de laderas con morfología predominante convexo-divergente (>30%) y convexo-convergente (>25%) y rectilíneo-convergente (>20%).



Corona de deslizamiento



Superficie de resbalamiento



Depósito de deslizamiento



Caídas

3.2 Morfología de origen fluvial acumulativo del Cuaternario Reciente y Antiguo.

3.3.1 Terrazas



-primer nivel

1.3.2 Abanicos aluviales



-Diferidos



Bloque 4. Rocas ígneas del Plio-Cuaternario y metamórficas del Mesozoico y procesos de ladera por movimientos complejos, flujos, deslizamientos y caídas.

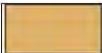
4.1 Sistema de laderas con morfología predominante convexo-divergente (<40%), convexo-convergente (>25%) y rectilíneo-convergente (>20%).



Corona de deslizamiento



Superficie de resbalamiento

 Depósito de deslizamiento

 Depósito de flujo

 Caídas

4.2 Morfología de origen fluvial acumulativo del Cuaternario Reciente y Antiguo.

4.2.1 Terrazas

 -Niveles primero segundo

4.2.2 Abanicos aluviales

 -Inferidos

 -Diferidos

Bloque 5. Rocas metamórficas del Mesozoico y procesos de ladera por deslizamientos de tierra y flujos.

5.1 Sistema de laderas con morfología predominante convexo-divergente (>40%), convexo-convergente (30%) y rectilíneo-convergente (>20%).

 Corona de deslizamiento

 Superficie de resbalamiento

 Depósito de deslizamiento

 Depósito de flujo

5.2 Morfología de origen fluvial acumulativo del Cuaternario Reciente y Antiguo.

5.2.1 Terrazas

 -segundo nivel

 Valle acumulativo de detritos por efecto de la remoción

5.2.2 Abanicos aluviales

 -Inferidos



Bloque 6. Rocas metamórficas del Mesozoico y procesos de ladera por deslizamientos de tierra y flujos.

6.1 Sistema de laderas con morfología predominante convexo-divergente (<40%), convexo-convergente (>20%) y rectilíneo-convergente (>20%).



Corona de deslizamiento



Superficie de resbalamiento



Depósito de deslizamiento



Depósito de flujo



caídas

6.2 Morfología de origen fluvial acumulativo del Cuatemario Reciente y Antiguo.

6.2.1 Terrazas



- Niveles primero, segundo y tercero

6.2.2 Abanicos aluviales



-Inferidos



-Diferidos

Rasgos comunes en todos los sistemas de laderas

Relieve Erosivo Fluvial

-Valles



a) <20 metros



c) Escarpes



b) 20 a 40 metros

Rasgos areales



c) > 40 metros



- Cimas convexas y semiplanas

Rasgos lineales



a) Circos activos



b) Circos inactivos