



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**“GEOMORFOLOGÍA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO
MOTOZINTLA-MAZAPA, CHIAPAS-MÉXICO”**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

AGUSTÍN CAMACHO GUTIÉRREZ



CIUDAD UNIVERSITARIA

2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Esta obra está dedicada

A Gisela y Guadalupe, su amor, fuerza, confianza, apoyo, educación, dedicación y paciencia han sido las bases para llegar a ser quien soy, por ser un ejemplo de vida. Es una virtud que sean mi mamá y mi papá.

A mi hermano Alejandro, gracias por tus consejos, por la confianza, el amor y las vivencias increíbles a lo largo de todo este tiempo, por hacer presentes en mi vida a tres seres maravillosos y extraordinarios Elizabeth, Fernanda e Ivanna también esto es para ustedes.

A ti que llegaste en esta última etapa, que me has ofrecido tu amor, confianza y apoyo, a ti que me animaste a seguir cuando estaba a punto de quebrarme, a ti con quien he decidido compartir la vida. Te amo Claudia.

A mi abuelo Basilio † a quien no tuve la fortuna de conocer, a mi abuelo Antonio † por tus enseñanzas, en donde quiera que se encuentren va por ustedes. A mis abuelas Isabel y María por permitirme aun tenerlas presentes en mi vida y siempre mostrar entereza.

A mi familia, que es parte importante y fundamental en mi desarrollo, muchas gracias.

Agradecimientos

Al Dr. José Juan Zamorano Orozco, asesor de este trabajo de investigación, por permitirme formar parte de su equipo de trabajo, por sus enseñanzas, conocimientos, amistad, apoyo y paciencia. Gracias.

Al Mtro. Sergio Salinas Sánchez, quien fue el primer vínculo que tuve hacia la investigación científica, por sus consejos, aportes y revisiones de esta tesis. Pero sobre todo, gracias por su amistad.

A los miembros del sínodo, la Dra. Rodríguez Van Gort, Ing. Pérez Rojas, Dr. Pérez Marcial y al Lic. García Rodríguez, que se dieron el tiempo de revisar y enriquecer con sus comentarios y correcciones este trabajo de investigación.

Al programa de becas que desarrolla el Instituto de Geografía: "María Teresa Gutiérrez de MacGregor. Gracias por aceptarme y ser parte de este gran proyecto.

Al Instituto de Geografía de la UNAM por permitirme hacer uso de las instalaciones, a todo el personal que en el labora muchas gracias.

A Carlo, Maikol, Raúl, Adolfo, Ernesto, Isaac, Kevin, Juan Carlos, Toño, Daniel y Osvaldo, amigos que conocí en el equipo de trabajo del Dr. Zamorano en el Instituto de Geografía y que me apoyaron de alguna manera en el desarrollo de mi tesis, muchas gracias.

A mis hermanos Ángel Jair, Sergio, José, Gustavo, David y Lalo muchas gracias por formar parte de mi vida, brindarme su amistad, confianza y apoyo.

A mis amigos que han llegado en algún momento a mi vida, muchas gracias.

A mis prim@s: Chuy, Jordan, Polo, Mau, Ediee, Julio Arturo, Mayra, Antonio, Mariana, Martin, Julio Antonio, Ximena, Ivonne, Mary, Dulce, Itzel, Mitzy, Isrrael, Edgar y Javier que han estado al pendiente y con quienes he compartido vivencias aventuras increíbles. A mis sobrin@s: Dariana, André, Ángela, Pía, Emi †, Alexandra, Naty, Toñin, Dulce Maria, Leo, Vale, Lalo, Mari Fer e Ian, gracias por su alegría.

Por último, agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por permitir desarrollarme de manera profesional y ética en la máxima casa de estudios.

Geomorfología en la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa, Chiapas-México.

Introducción	10
Justificación	11
Estructura de la Tesis	12
Capítulo 1. Marco geográfico	14
1.1 Localización	14
1.1.1 Fisiografía	14
1.1.2 Clima	16
1.1.2.1 Precipitación Pluvial	18
1.1.2.2 Lluvias extraordinarias y sus efectos en Motozintla: 1998 - 2010.....	20
1.1.2.3 Temperatura	24
1.1.3 Hidrografía	26
1.1.4 Suelos	27
1.1.5 Vegetación	30
Capítulo 2. Geología	34
2.1 Tectónica y geología regional	34
2.2 Marco tectónico y geológico local	37
<i>Complejo Metamorfico Prebatolítico (Pe)</i>	38
<i>Batolito de Chiapas (P-Tr)</i>	38
<i>Tronco Amatenango de la Frontera (Tr-JI)</i>	39
<i>Tronco Buenos Aires (JS)</i>	39
<i>Formación Todos Santos (JS-CI)</i>	41
<i>Formación Sierra Madre (CI-CS)</i>	42

<i>Andesitas, Brechas y Tobas (TsP-Q)</i>	42
<i>Flujos Piroclásticos (Los Chocoyos) (H)</i>	42
<i>Depósitos de Caída (Volcán Santa María) (H)</i>	43
<i>Aluvión (H)</i>	43
Capítulo 3. Análisis Morfométrico	45
3.1 Altimetría	45
3.2 Inclinación del terreno	51
3.3 Densidad de la disección	55
3.4 Profundidad de la disección	60
3.5 Energía del relieve	62
3.6 Zonificación de procesos de remoción en masa e inundaciones, con base en valores morfométricos	65
3.6.1 Asociación con Procesos de Remoción en Masa	68
3.6.2 Asociación con Inundaciones	69
Capítulo 4. Análisis Geomorfológico	72
4.1 Mapa Geomorfológico de la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa (Mapa anexo 1)	72
I. RELIEVE ENDÓGENO MODELADO	76
Sierra Madre de Chiapas	
1.1 Laderas de montaña modeladas por la acción fluvial y gravitacional. Constituidas en su mayor parte por rocas granitoides, sedimentarias y metasedimentarias	76

1.1.1 Laderas de montaña con aparente estabilidad	77
a) Con cubierta vegetal	77
b) Sin cubierta vegetal	77
1.1.2 Laderas de montaña inestables	78
1.2 Superficies interfluviales	79
II RELIEVE EXÓGENO	79
<i>A. Erosivo fluvial</i>	80
2.1 Valles fluviales:	80
a) > 20 m de profundidad	81
b) < 20 m de profundidad	82
2.2 Circo fluvial	82
<i>B. Acumulativo fluvial</i>	83
2.3 Llanura aluvial del río Motozintla-Mazapa	83
a) De inundación estacional (T_1)	85
b) De inundación extraordinaria (T_2)	86
c) De inundación excepcional (T_3)	86
2.4 Abanicos aluviales activos	87
a) Recientes y en desarrollo	87
b) Con frente escarpado	87
c) Con frente tendido	88
d) Abanico terraza	88

C. EROSIVO ÁREAL	88
a) En laderas rectas-cóncavas	89
b) En superficies convexas	89
c) En cimas y laderas altas	90
D. EROSIVO GRAVITACIONAL	91
2.5 Deslizamientos rotacionales	91
- Corona	92
- Superficie de resbalamiento	92
a) Reciente	93
b) Antigua	93
2.6 Desprendimientos	93
Escarpe de desprendimiento	94
Superficie de caída	94
a) Reciente	95
b) Antigua	95
2.7 Corredor de escombros	95
E) Acumulativo Gravitacional	96
2.8 Depósitos asociados a deslizamientos rotacionales	96
a) Reciente	96
b) Antiguo	97
2.9 Cono coluvial	97
2.10 Manto coluvial	97

2.11 Manto o rampa proluvial	98
------------------------------------	----

F. MOVIMIENTOS COMPLEJOS 98

2.12 Flujos de lodo	99
---------------------------	----

a) Cuenca de aporte	99
---------------------------	----

b) Depósito	99
-------------------	----

G. ANTRÓPICO 100

3.1 Mina a cielo abierto	100
--------------------------------	-----

Símbolos complementarios 101

Talweg

Escarpes

Líneas de flujo

Líneas de flujo en abanicos

Dirección de flujo regional

Posición relativa entre formas de relieve (una respecto a otra)

**Capítulo 5. Peligros geomorfológicos en la cuenca alta del río Motozintla-
Mazapa: remoción en masa e inundaciones (*Mapa Anexo 2*) 103**

5.1 Terrenos susceptibles a procesos de remoción en masa	104
----------------------------------------------------------------	-----

Máxima ocurrencia	104
-------------------------	-----

Baja ocurrencia	105
-----------------------	-----

Área potencial	107
----------------------	-----

Estabilidad aparente	108
----------------------------	-----

5.2 Terrenos susceptibles a inundaciones	108
Ocurrencia frecuente	109
Área potencial	110
Baja ocurrencia	111
Conclusiones	113
Bibliografía	116

Introducción

La topografía de la República Mexicana está conformada en un 75% por relieve montañoso, factor de gran relevancia en la ocurrencia de procesos de ladera (Borja-Baeza, 2003). Desencadenados de manera frecuente por movimientos tectónicos o lluvias intensas ocasionadas por sistemas de baja presión, que llegan a evolucionar a ciclones tropicales. Estos fenómenos afectan a la sociedad por los efectos que producen a su paso en zonas urbanas o rurales.

La región de Motozintla se localiza en una región con una tectónica compleja (frontera de placas Cocos, Caribe y Norte América), en donde la actividad sísmica asociada a un sustrato fracturado, deleznable, competente a ser movido y que define laderas con fuerte inclinación; hacen de este territorio, susceptible a generar procesos gravitacionales, que se magnifican en la temporada de lluvias y de ciclones. Estas condiciones hacen de la cuenca un escenario con una dinámica geomorfológica adversa para la población.

Los procesos de remoción en masa, entendidos como causas naturales de transformación de la superficie terrestre, constituyen uno de los eventos más frecuentes que afectan el relieve y una de las amenazas naturales que se ha incrementado e intensificado en el territorio mexicano, debido a que se relacionan con la recurrente formación de ciclones tropicales y eventos estacionales o extraordinarios, debido a la importante cantidad de agua que se produce y que provoca inestabilidad en las laderas.

Las inundaciones se producen por el desbordamiento de un cuerpo de agua, es decir; cuando sobrepasa el canal natural por el que discurre y desbordan sus márgenes (Tarbuck, y Lutgens, 2005; Gutiérrez, 2008). Estos fenómenos tienen un origen meteorológico provocado por lluvias estacionales o extraordinarias, que de acuerdo con la intensidad y duración, provocan aumento rápido en el nivel del

agua. Las condiciones del terreno pueden incrementar la velocidad de la corriente, capaz de acarrear material detrítico, arena, lodo, árboles; y sepultar una población. El crecimiento demográfico incrementa la necesidad de viviendas, propicia la invasión de territorios no aptos o inadecuados para la urbanización. La cuenca alta del río Motozintla-Mazapa es un claro ejemplo de esto. Un aspecto a resaltar es la falta de estudios especializados, en donde se consideren las particularidades del relieve (génesis y evolución del territorio) y las condiciones geográficas; con el fin de hacer evidente zonas recurrentes a presentar peligros geomorfológicos; en particular los procesos de remoción en masa e inundaciones.

Este trabajo tiene como fin crear mapas que permitan a las autoridades locales y a la población conocer la dinámica geomorfológica peligrosa que se presenta en el territorio. Estos fenómenos son comunes en terrenos inclinados y zonas bajas, en donde la construcción de viviendas, introducción de agricultura y ganadería aumenta la inestabilidad en las laderas e impiden el libre flujo del caudal. No obstante, está práctica es común en la cuenca del río Motzintla-Mazapa y cada año en la temporada de lluvias estacionales, ciclones tropicales y frentes fríos, hay noticias sobre afectaciones en la población que se ubica en el área.

Justificación

El objetivo de la geomorfología es el análisis del relieve terrestre, a partir de su génesis, evolución y dinámica. Sus métodos de estudio son diversos y son empleados para identificar, explicar, analizar e interpretar los procesos de modelado, que definen la morfología actual de la corteza.

La dinámica interna (endógena) y externa (exógena) del planeta da origen y modifica su geomorfología, estos procesos en algunos casos presentan dinámicas adversas que ponen en peligro los asentamientos humanos. De ahí el interés de estudiar el relieve, sus componentes, los procesos que los modifican y su relación con sus efectos peligros.

El análisis geomorfológico permite identificar, localizar y caracterizar terrenos susceptibles a presentar procesos que pongan en peligro la vida humana y su actividad. En este marco, Motozintla es la zona de estudio para elaborar una cartografía geomorfológica y otra de peligro.

Esta investigación toma en cuenta las bases teóricas y los variados métodos de análisis del quehacer geomorfológico; como punto de partida en la identificación, análisis y caracterización de superficies susceptibles a presentar procesos de ladera e inundaciones; mediante una cartografía especializada.

La importancia de este tipo de trabajos es la aplicación inmediata en la evaluación, planeación y manejo del territorio. No obstante, su mejor propósito está encaminado a la mitigación y prevención de peligros naturales.

Estructura de la tesis

I. MARCO GEOGRÁFICO. Se describen los aspectos físico geográficos de la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa que pueden favorecer o intensificar dinámicas geomorfológicas. Además se analizan eventos que han afectado a la zona de estudio en los últimos 12 años y el impacto que tuvieron sobre la población.

II. GEOLOGÍA. Se revisa y sintetiza trabajos publicados sobre temas de tectónica y geología, a escala regional y local. Esta información resulta de suma importancia para la elaboración del mapa geomorfológico y el análisis de la cartografía de peligros.

III. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO. Se realiza el estudio morfométrico, en el cual se caracteriza el relieve de la cuenca, de acuerdo con sus propiedades métricas. Para esta investigación se elaboraron los mapas de: altimetría, inclinación del terreno, energía del relieve, profundidad y densidad de la disección. A partir de la

interpretación de esta cartografía se obtuvo una zonificación de procesos de remoción en masa e inundaciones; este último, en conjunto con el mapa geomorfológico fue la base para realizar la cartografía de peligros.

IV. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO. Este capítulo describe la génesis, evolución y dinámica del relieve en la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa. Esto se realiza en función del mapa geomorfológico.

V. PELIGROS GEOMORFOLÓGICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO MOTOZINTLA-MAZAPA. Elaboración y descripción del mapa de peligros, en donde se conjuntan la morfometría y la geomorfología. Esto permitió establecer niveles de ocurrencia para procesos de ladera e inundaciones. La aplicación y utilidad de este trabajo radica en la prevención, planeación y mitigación de dichas amenazas.

Capítulo 1. Marco Geográfico

La dinámica exógena de la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa, está condicionada por la ubicación geográfica, el relieve, la litología y su arreglo estructural. Estos factores influyen en la frecuencia, magnitud e impacto de procesos modeladores del relieve, en particular la remoción en masa y las inundaciones. Al estar estos fenómenos vinculados con la estación húmeda, están presentes cada año y toda vez ocasionan cuantiosas pérdidas económicas y daños a la infraestructura; además de ser un peligro real para los habitantes de Motozintla de Mendoza, Chiapas.

1.1 Localización

Motozintla de Mendoza se localiza al sur del Estado de Chiapas (Fig. 1), limita con los municipios de El Provenir y Siltepec al norte; Huixtla, Tuzantan y Tapachula al sur; Mazapa de Madero al noreste; Escuintla y Villa Comaltitlán al oeste y la República de Guatemala al este. El área de estudio comprende 782 km² aproximados y se localiza entre las siguientes coordenadas: 16° 18' - 16° 24' de latitud norte y 92° 10' - 92° 19' de longitud oeste. La altitud máxima es de 2800 msnm mientras la mínima de 800 msnm, se localiza en el extremo NW y NE de manera respectiva. La diferencia entre ambos valores es de 2000 m, esta cifra es un indicador de la importancia que tiene la tectónica como catalizador de la dinámica exógena en este pequeño territorio.

1.1.1 Fisiografía

Los ríos El Carrizal (extremo NW), La Mina (SW), Allende (S) y Xelajú Grande (E-W), constituyen la cuenca alta del Río Motozintla-Mazapa (Fig. 1). Esta unidad forma parte de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre de Chiapas (SMCh); ocupa una superficie aproximada de 16 800 km² (Fig. 2), alcanza 270 km de longitud, se dispone de forma paralela a la costa y se orienta de NW-SE. Este conjunto

montañoso es parte de la divisoria continental entre el Océano Pacífico y el Golfo de México (Sánchez, *et al*, 2000).

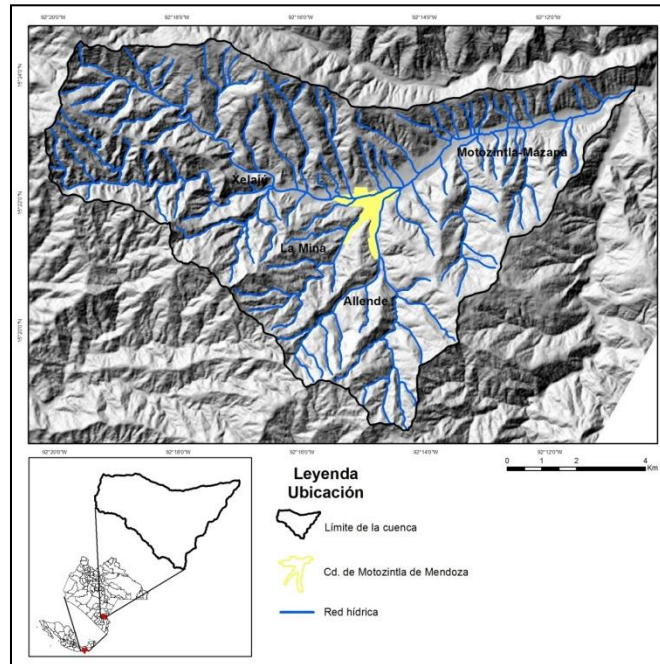


Figura 1. A) Localización del área de estudio dentro del Estado de Chiapas. B) Modelo sombreado del terreno donde se distinguen los límites de la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa y la zona urbana, en la porción altitudinal más baja y al centro del valle.

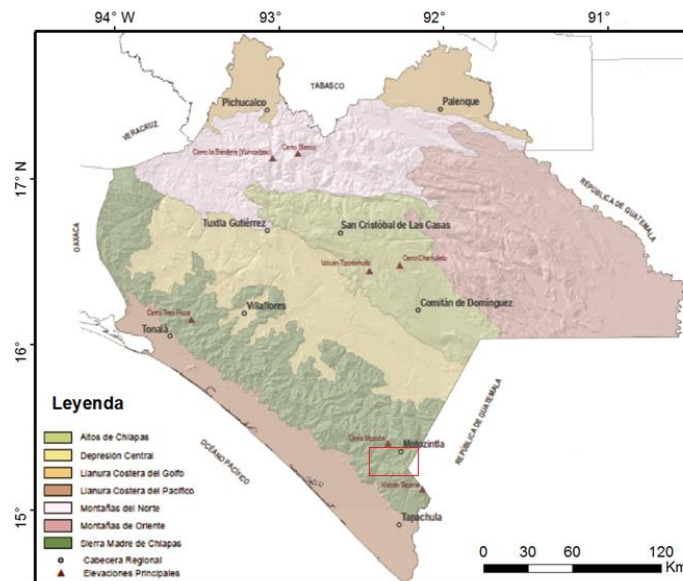


Figura 2. La zona de estudio (en recuadro), forma parte de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre de Chiapas, que se caracteriza por la existencia de un relieve accidentado (modificado de Müllerried, 1957)

La SMCh presenta marcados contrastes altitudinales en distancia muy cortas, esta particularidad hace que el arreglo del relieve sea complejo y con un alto potencial dinámico. En la zona de estudio se presenta la mayor amplitud del relieve de toda la sierra, en las laderas montañosas donde nace el río Motozintla-Mazapa, las cotas alcanzan 2800 msnm. En el fondo del valle principal; en la llanura de inundación, la altitud es 800 msnm. La cercanía con la zona de subducción entre las placas de Cocos y Norteamérica, provoca una intensa actividad sísmica y movilidad en los sistemas de fallas (Molina-Garza *et al.*, 1992; Weber *et al.*, 2002).

1.1.2 Clima

El relieve montañoso y la cercanía del océano Pacífico y Atlántico, definen los climas de la cuenca alta del Río Motozintla-Mazapa. Esta zona pertenece a la *Región Climática Sureste*, que inicia en la parte austral del Istmo de Tehuantepec y finaliza al sur del Estado de Chiapas. De acuerdo con Vidal (2005), los climas que caracterizan este territorio son los siguientes (Fig.3):

- a) Aw_1 : *Cálido subhúmedo con abundantes lluvias en verano*. Define una franja que se sitúa entre 800 y 1000 msnm. Representan los terrenos más bajos de la zona de estudio y ocupa una superficie de 1 km² del total del área que se estudia (98.6 km²).
- b) (A)C(w_1) y (A)C(w_2) : *Semicálido subhúmedo con abundantes lluvias en verano*. El primero se presenta a una altitud que varía entre 1000 y 1300 msnm, su área de influencia se calcula en 17 km². El segundo, se presenta a una altitud de 1800 msnm e influye sobre un área aproximada de 45 km². La diferencia entre estos climas es su grado de humedad, el último es más seco.
- c) (A)C(m) : *Semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano*. Es característico de las partes altas. Se presenta como una franja angosta de 27 km² que se sitúa entre las cotas de 1800 y 2200 msnm.
- d) C(m) : *Templado húmedo con abundantes lluvias en verano*. Se encuentra en altitudes mayores a 2 200 msnm, característica que se observa en el

sector NW-SE y se estima que estas condiciones tienen un área de influencia de 8 km², aproximados.

- e) $C(w_1)$: *Templado subhúmedo con abundantes lluvias en verano*. Este clima caracteriza a los terrenos donde las altitudes son mayores a 2 200 msnm, se localiza en el extremo SE y no tiene influencia directa con el área de estudio.

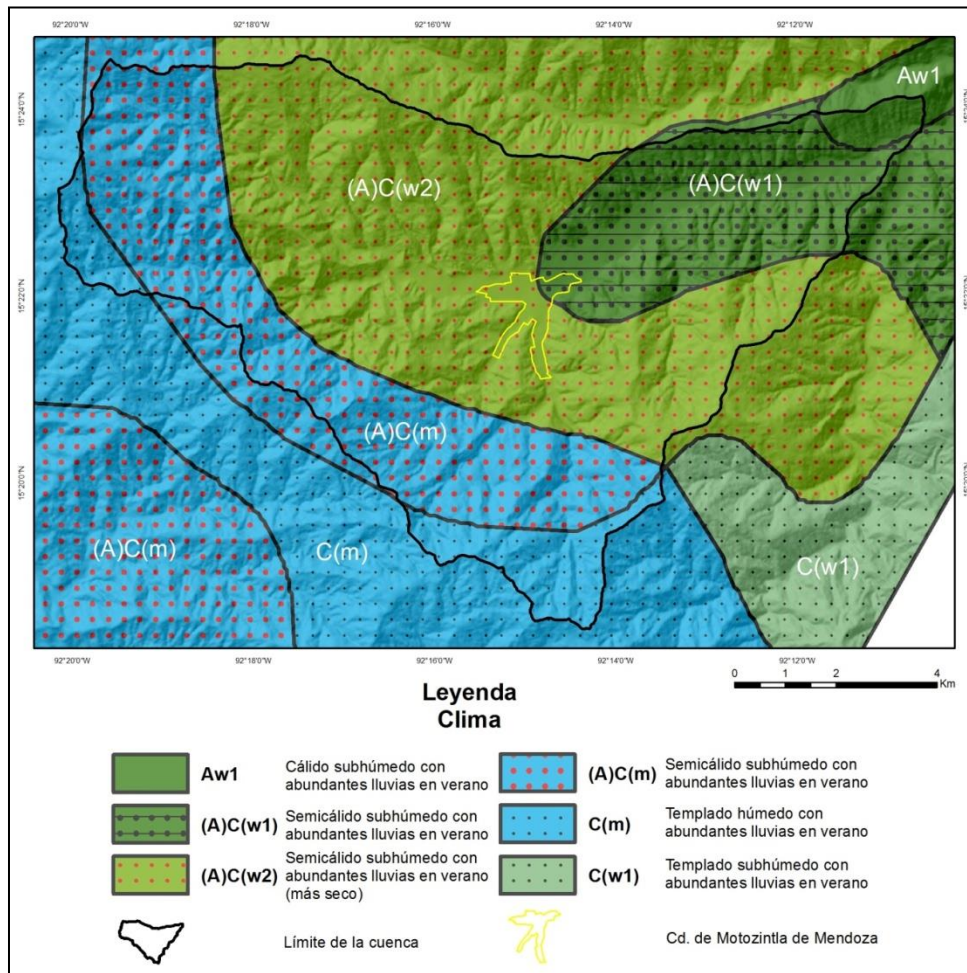


Figura 3. Distribución climática en la cuenca alta del Río Motozintla-Mazapa. En la distribución de la temperatura y la humedad, tiene gran influencia la altitud y la orientación del relieve (INEGI, 1984 a).

La diversidad climática en una superficie tan pequeña (98.6 km²), se explica por la existencia de un marcado contraste altitudinal y una variada expresión del relieve.

1.1.2.1 Precipitación Pluvial

La precipitación de esta región se asocia a la humedad generada por fenómenos meteorológicos que ocurren en la vertiente del Pacífico, del Golfo y de ciclones tropicales del Atlántico y el Caribe.

La temporada de lluvias se presenta de Junio a Octubre, con un promedio anual de 844 mm. Sin embargo, la estación meteorológica de la ciudad de Motozintla, ha registrado para el mismo periodo, precipitaciones del orden de los 3 970 mm. Lo que significa que este territorio es uno de los más lluviosos del estado de Chiapas (Instituto de Protección Civil Chiapas, 2010), a esta característica hay que sumar la influencia de los ciclones tropicales tanto del Pacífico (Mayo a Noviembre), como del Atlántico (Junio-Noviembre). En estos periodos de lluvia extraordinaria suceden crecidas en los cauces y por tanto inundaciones en el fondo de los valles (planicies); mientras en las laderas de montaña, se activan intensos procesos de ladera (caídas, deslizamientos y flujos de lodo).

En la figura 4 se hace evidente el incremento que tiene la lluvia en este territorio a lo largo del año, para ello se comparan dos mapas de isoyetas; el primero corresponde al semestre *frío y seco*: Noviembre – Abril (Fig. 4 A), en el se observa que el máximo se localiza en el extremo NW sobre terrenos montañosos (> 300 mm), a partir de este sector disminuye de manera gradual, hacia el centro del valle (< 100 mm).

El segundo mapa muestra las condiciones de precipitación en la mitad *cálida y húmeda* del año: Mayo – Octubre (Fig. 4 B), periodo que coincide con la temporada de huracanes del Pacífico y del Atlántico. Las isoyetas en este caso son distintas, que en el documento anterior, las más exteriores adoptan un arreglo paralelo en dirección SW-NW y se disponen sobre la región montañosa, es en esta zona donde se presenta el valor máximo: 2 300 mm. Este dato es 2000 mm más que su equivalente en la temporada fría y seca.

La lluvia con influencia ciclónica disminuye de forma gradual hacia el fondo del valle principal. En este sector las isoyetas adoptan una forma elíptica hasta definir una franja que ocupa la mayor parte de la planicie de inundación del río Motozintla-Mazapa. Es en este territorio se registra el mínimo de precipitación (1000 mm). Este valor representa 900 mm más que su equivalente en el semestre frío y seco.

Los datos anteriores dejan claro la importancia que tienen las lluvias extraordinarias vinculadas con los ciclones. Esta condición es significativa cuando se tiene como objetivo identificar, caracterizar y zonificar procesos de ladera e inundaciones, bajo un criterio geomorfológico.

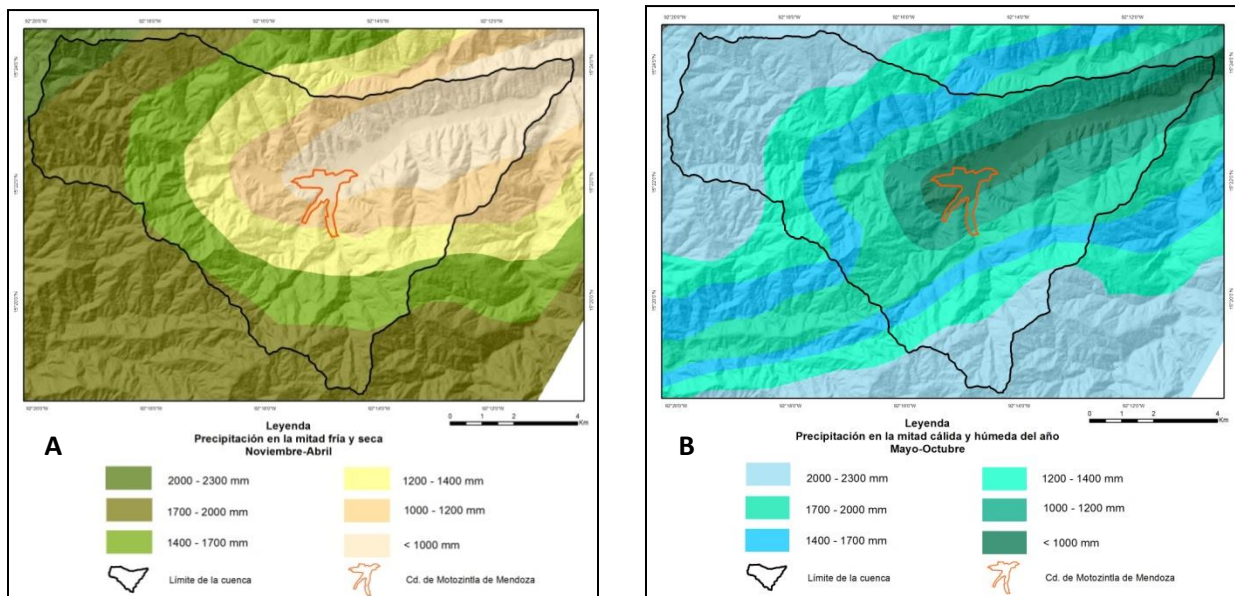


Figura 4. La importancia de las lluvias ciclónicas como agente disparador de dinámicas extremas (inundaciones y procesos de ladera) en la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa, se hace evidente al comparar los siguientes mapas de isoyetas: A) semestre frío y seco: Noviembre-Abril). B) Periodo cálido y húmedo (Mayo-October) (INEGI, 1984 c y d).

1.1.2.2 Lluvias extraordinarias y sus efectos en Motozintla: 1998 - 2010.

Uno de los principales efectos ocasionados por las depresiones tropicales, tormentas y ciclones, es la precipitación. La lluvia tiene la característica de tener un gran poder de penetración continental y permanencia, aun bajo condiciones de disipación. Cuando las descargas se llevan a cabo en continente, el agua en superficie interactúa con la roca (capacidad de infiltración); con mantos de detritos competentes a la erosión (cortezas de intemperismo); con la morfología del terreno (laderas con distintas geometrías y variadas inclinaciones); con la presencia o ausencia de vegetación; entre otros elementos más. Hay que decir que el carácter dinámico del relieve se establece a partir de este tipo de articulaciones, que incluso pueden llegar a representar un peligro como ocurre cada año en la región de Motozintla.

En este sentido la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), ha identificado áreas y entidades federativas en las que al menos un huracán a impactado; en algunos casos, se han podido establecer periodos de recurrencia; para Chiapas, el periodo de retorno es de 8 a 26 años (Hernández *et al.*, 2001).

Chiapas se localiza en la *Zona de Convergencia Intertropical* (ZCIT), y por tanto está expuesto a tormentas tropicales y ciclones, las lluvias que generan estos fenómenos tienden a magnificarse en la temporada ciclónica: de Mayo-Noviembre, para el Océano Pacífico y de Junio-Noviembre para el Atlántico.

La relación entre la precipitación y los procesos geomorfológicos (remoción en masa e inundaciones) es muy estrecha, además hay que sumar las condiciones naturales del lugar, así como el uso y manejo del territorio. Este aspecto por lo general se asocia a la falta de una verdadera política de planeación, que de alguna manera favorece el crecimiento sin control de la periferia de la ciudad de Motozintla, en este proceso se han ocupado terrenos que no son aptos para ser habitados; para ello, se ha transformado el relieve, algunas veces, de manera

radical (nivelaciones, tajos, rampas, terrazas, bordos, diques, etc) y con resultados adversos para la población que los ocupa.

En cinco ocasiones y un periodo de doce años (1998 – 2010), las lluvias extraordinarias han tenido un impacto significativo en la región de Motozintla y son las siguientes:

1. Al inicio del mes de septiembre de 1998, lluvias consideradas como atípicas afectaron la mayor parte del Estado de Chiapas (CENAPRED, 2007; Briones., 2010); estas condiciones estuvieron asociadas al *Fenómeno del Niño*, a ellas se les responsabiliza el desbordamiento del río Xelajú que atraviesa la ciudad de Motozintla de oeste a este, dirección aproximada (Briones, 2010).

Durante el tiempo que duro la lluvia, se presentaron numerosos procesos gravitacionales en la mayor parte de las laderas que integran la zona de estudio. Como resultado de lo anterior, se depositaron importantes volúmenes de material en la porción baja de los valles y la crecida se encargó de remover estos detritos río abajo, hacia la ciudad de Motozintla.

El número de víctimas fatales fue de 29 y 35 desaparecidos, un total de 1800 casas destruidas y más de 8000 damnificados (El Universal: 17/09/1999). El evento provocó múltiples problemas para la población, hubo corte en el suministro de agua potable, combustible, electricidad y el cierre de carreteras por cerca de un mes (Caballero *et al*, 2006), debido a que estas condiciones se enlazaron con otro fenómeno meteorológico que a continuación se menciona.

2. Entre el 6 y 12 del mismo mes y año (Septiembre de 1998), la Tormenta Tropical *Earl* impacta las costas de Tabasco y provoca intensas lluvias en la región serrana de Chiapas (Fig. 5), lo anterior termina por desestabilizar las laderas de los valles montañosos de la zona de Motozintla y el aumento en el nivel de los ríos (Carrizal, La Mina, Allende y Xelajú). Este fenómeno agravo la situación de

contingencia iniciada a principios de mes y sumo: 214 víctimas mortales (Caballero *et al*, 2006 y Suárez-Díaz., 2006).

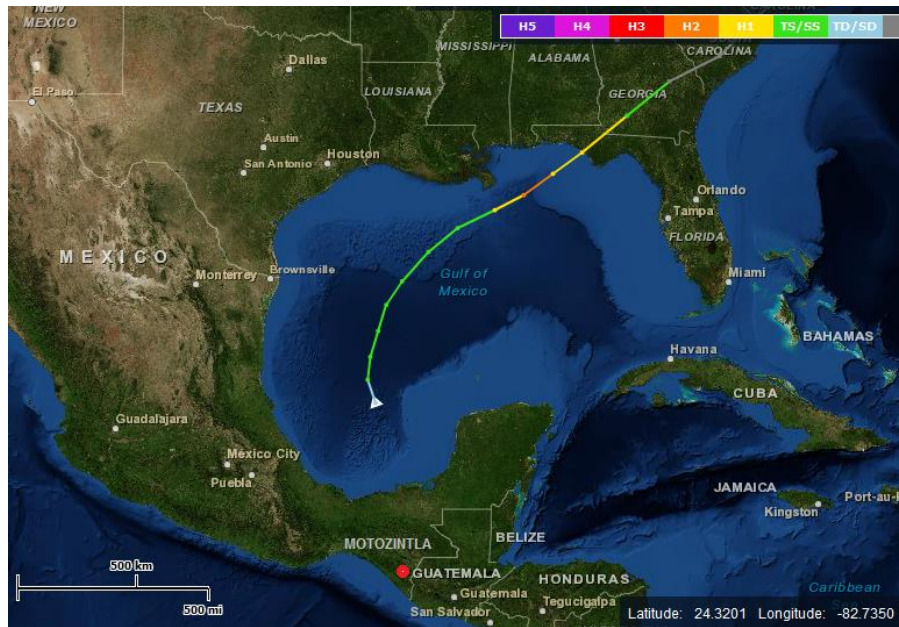


Figura 5. Trayectoria de la Tormenta Tropical *Earl*, en la primera mitad del mes de septiembre de 1988. Este fenómeno generó intensas lluvias en la porción serrana del Estado de Chiapas lo que favoreció la existencia de numerosos procesos gravitacionales e inundaciones en toda la región (NOAA, 2012).

3. El 4 de Octubre del 2005 el ciclón *Stan* (categoría 1 en la escala Saffir Simpson) impacta la Bahía de Campeche, ingresa al continente por el sur de Veracruz y ya en tierra se dirige hacia la ciudad de Oaxaca, es en este trayecto cuando comienza a disiparse (Fig. 6 A) (Briones., 2010; Reyes-Hernández., 2006; Suárez-Díaz., 2006).

La mitad sur del país estuvo bajo la influencia de *Stan*, en esto influyó la existencia de amplias bandas de nubes que eran proyectadas en dirección contraria al centro del huracán (Fig. 6 B). De esta manera densos nubarrones cubrieron la región de Motozintla y en cuatro días de lluvia continua se registraron 1 300 mm. Estas condiciones provocaron que los ríos desbordaran e inundaran los barrios de Xelajú

el Chico, Reforma, Miguel Hidalgo, Francisco Sarabias y Canoa (Cruz y Nazar., 2009 y Briones., 2010).

4. El 29 y 30 de Mayo del 2010 la Tormenta Tropical *Agatha* provoca intensas lluvias en la región de Motozintla (Fig. 7) y ocasiona múltiples daños: puentes colapsados, fracturas en los muros de contención fluvial, corte en el suministro eléctrico, viviendas dañadas y un gran número de damnificados. La situación es tan extrema que el Ejército Mexicano, Policía Estatal y Municipal implementan el Plan DN-III (El Orbe, 2010).

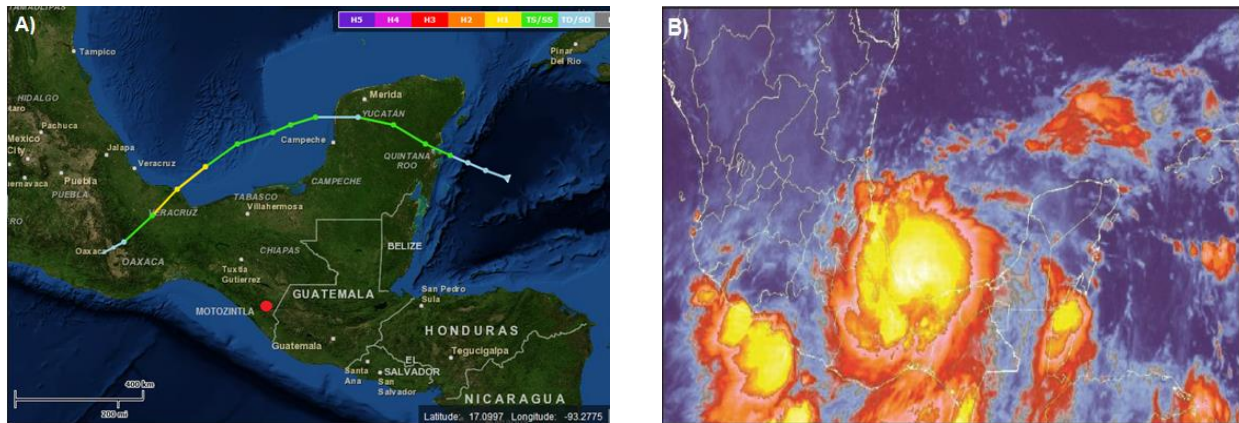


Figura 6. A) Se observa el trayecto que siguió el huracán *Stan* en el Mar Caribe, Golfo de México y el centro sur de México, entre el 1° y 5 de octubre del 2005. B) La imagen muestra la zona de influencia de este fenómeno, está incluido el Estado de Chiapas que se encontraba cubierto por el cuerpo principal del huracán (NOAA, 2012).

5. La *Depresión Tropical 11E* se forma el 4 de septiembre en el *Golfo de Tehuantepec*, interactúa con una depresión atmosférica (vaguada); que al sumarse con el flujo de humedad proveniente del Océano Pacífico, se favoreció su ingreso al continente, provocando lluvias intensas que propiciaron el desarrollo de numerosos y variados procesos de ladera. Estos fenómenos fueron los responsables de los daños en infraestructura urbana y de vías de comunicación.

El vínculo estrecho entre lluvias extraordinarias y los peligros geomorfológicos (remoción en masa e inundaciones), se hace evidente a partir de los ejemplos

mencionados y es una realidad que cada año afecta a la ciudad de Motozintla y en la región causa pérdidas económicas, daños o destrucción de infraestructura, así como numerosos damnificados, desaparecidos y víctimas mortales; en el periodo en cuestión (1998-2010) se sumaron 278.

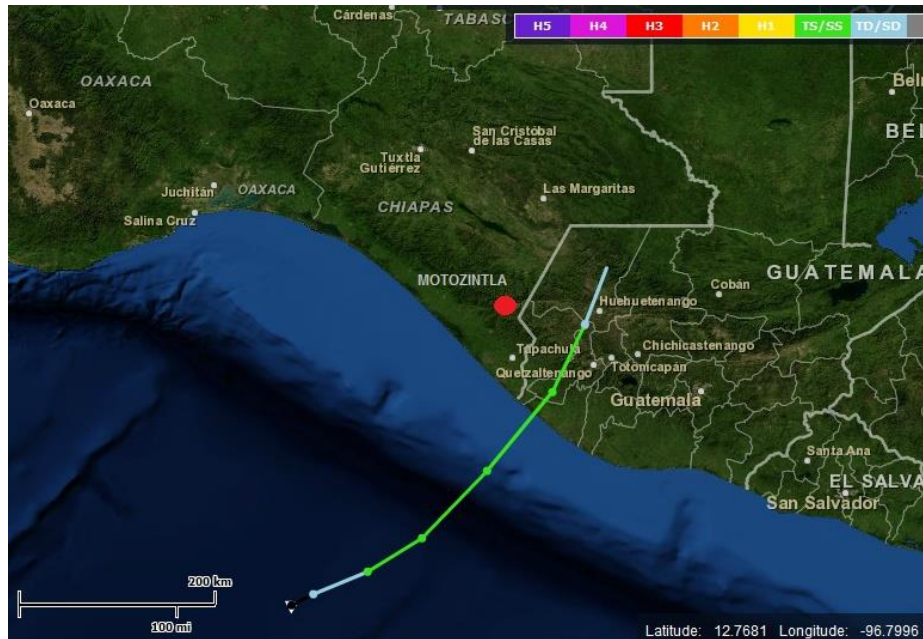


Figura 7. Trayectoria de la Tormenta Tropical *Agatha*. Este fenómeno se formo en el Océano Pacífico (29 de Mayo del 2010) y afecto de manera directa a todo el Estado de Chiapas y en particular a la región de Motozintla (NOAA, 2012)

1.1.2.3 Temperatura

La temperatura es un componente importante en la diferenciación de los climas templados y cálidos, en la zona de estudio el primer grupo presenta un rango que varía entre los 12°C – 18°C. Estos valores definen una franja en dirección NW-SE, que comprende casi en su totalidad la zona montañosa y las llanuras intermontanas de los ríos El Carrizal y Xelajú (hasta la confluencia con el Allende), la ciudad de Motozintla se localiza en su mayor parte en esta zona (Fig. 8)

Los climas cálidos presentan temperaturas elevadas todo el año, el rango que los define va de 18°C a 22°C. Estas condiciones son características del extremo NE

en donde la planicie de inundación del río Motozintla-Mazapa es más amplia y se dispone en los terrenos más deprimidos del territorio en cuestión. Hay que mencionar que las montañas en este sector, son las más bajas de toda la cuenca. En general se puede afirmar que en esta zona, la altitud tiene una relación muy estrecha con la distribución de la temperatura (Fig. 8).

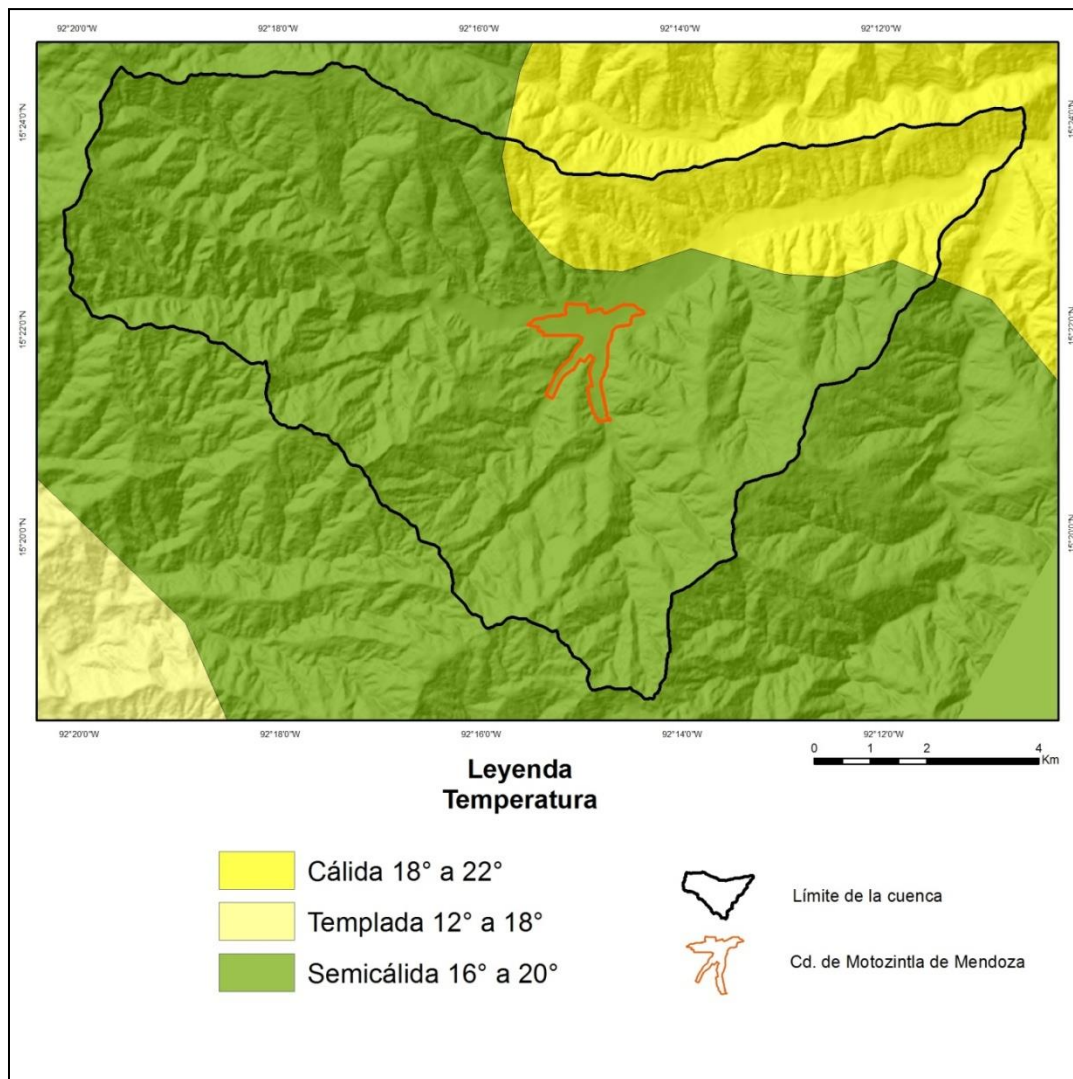


Figura 8. Isothermas anuales en la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa. Las temperaturas mayores a 22°C son características de los valles y las semicálidas de las laderas de montaña. Las temperaturas menores a 12°C, se presentan a una altitud mayor a 2000 m (INEGI, 1984 e).

1.1.3 Hidrografía

El río Motozintla-Mazapa surge de la confluencia de los ríos El Carrizal-Xelajú, La Mina y Allende, hecho que ocurre en la zona urbana de Motozintla (Fig. 9). Su principal característica es el escaso escurrimiento que presentan la mayor parte del año, situación que se revierte de manera significativa en la temporada de lluvias (Junio - Noviembre).

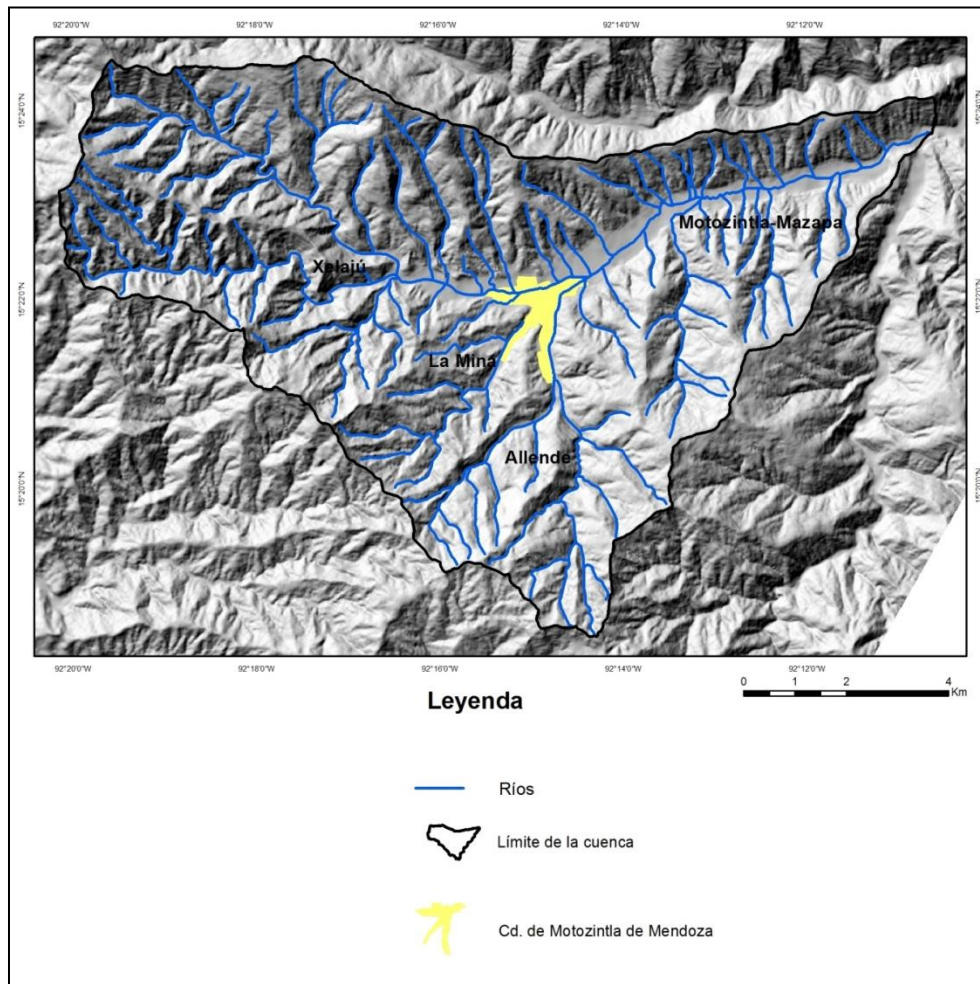


Figura 9. El río Motozintla-Mazapa surge en el sector este de la zona urbana de Motozintla. El diseño fluvial muestra un control estructural que se atribuye al sistema de fallas Polochic Motagua.

Los ríos mencionados forman parte de la cuenca Grijalva-Usumacinta, este conjunto drena buena parte de la Sierra Madre del Sur y hay que hacer notar que los valles principales que conforman este amplio sistema fluvial, se orientan de E-W y SW-NE. Estas direcciones coinciden con el arreglo regional de una red de fallas activas transcurrentes, que se conocen como Sistema Polochic-Motagua. Esta zona de debilidad cortical representa el límite entre las Placas Norteamericana, Caribe y Cocos.

El río Xelajú es el más importante de la región, ocupa el fondo de una fosa tectónica que está limitada por laderas abruptas ($> 35^\circ$) y amplitud del relieve muy marcada; es decir, la distancia entre el fondo y las cimas inmediatas al valle varían de 500 a 1 200 metros. Estas características del relieve, favorecen el comportamiento torrencial de los escurrimientos en la época de lluvias y por tanto la ocurrencia de inundaciones. El drenaje del río Xelajú es sinuoso y de meandros libres, estos dos patrones ponen de manifiesto una intensa dinámica fluvial que se caracteriza por la existencia de cambios morfológicos constantes en cada temporada de lluvias. Sumado a lo anterior hay que mencionar que las frecuentes modificaciones al relieve (desaparición de terrazas, construcción de muros de canales y muros de contención), en la mayoría de los casos magnifican el peligro.

1.1.4 Suelos

El suelo es la cubierta más superficial de la corteza terrestre, es resultado del intemperismo de la roca (pedogénesis), su formación es prolongada y son diversos, incluso en pequeños territorios como la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa.

El suelo es un manto superficial dinámico, desarrolla capas y en dependencia de su número, puede considerarse como desarrollado o no evolucionado. En la formación de esta capa superficial, el clima, la topografía, los organismos, el tipo de roca son factores que condicionan su existencia (Lugo., 2011; FAO, 2014).

En la cuenca del Motozintla-Mazapa el suelo se deriva de sustratos metamórficos del Precámbrico, rocas ígneas intrusivas del Paleozoico-Mesozoico, extrusivas del Cenozoico, sedimentarias del Mesozoico y material reciente (depósitos volcánicos de caída y aluviones) (INEGI., 1984 b y SGM., 2008). Los tipos de suelo característicos son los siguientes (Fig. 10):

-Regosol Eútrico. Se trata de un suelo que presenta acumulaciones de arcilla, con una capa superficial de tipo migajón-limoso y migajón-arcilloso. Caracteriza las laderas de Sierra Madre de Chiapas, son susceptibles a la erosión debido al poco desarrollo y profundidad; por lo tanto, la producción agrícola esta condiciona a estas características (INEGI., 1984 b). En la cuenca en cuestión ocupa las vertientes norte y sur de la porción central. Representa el 60% de la superficie de estudio.

-Acrisol Húmico-Lítico. Está constituido por material rocoso no consolidado en un solo horizonte (INEGI., 1984 b). Es característico de la porción occidental de la zona montañosa donde las pendientes son pronunciadas, ocupa el 13 % del área de la cuenca.

-Acrisol Húmico. Se trata de un sustrato muy parecido al anterior; es decir, está constituido por rocas no consolidadas pero su diferencia radica en la existencia de más de un horizonte, lo que indica una mayor evolución. En esto, la morfología del relieve tiene un papel importante. Este tipo de suelo se localiza en parteaguas de morfología convexa simétrica y de gran amplitud. En estas aéreas la inclinación del terreno se reduce y con ellos los efectos de la erosión; por tanto, se favorece la pedogénesis (INEGI., 1984 b). El suelo acrisol húmico se presenta en el sector norte, sur y sureste, representa el 17% del total de la superficie.

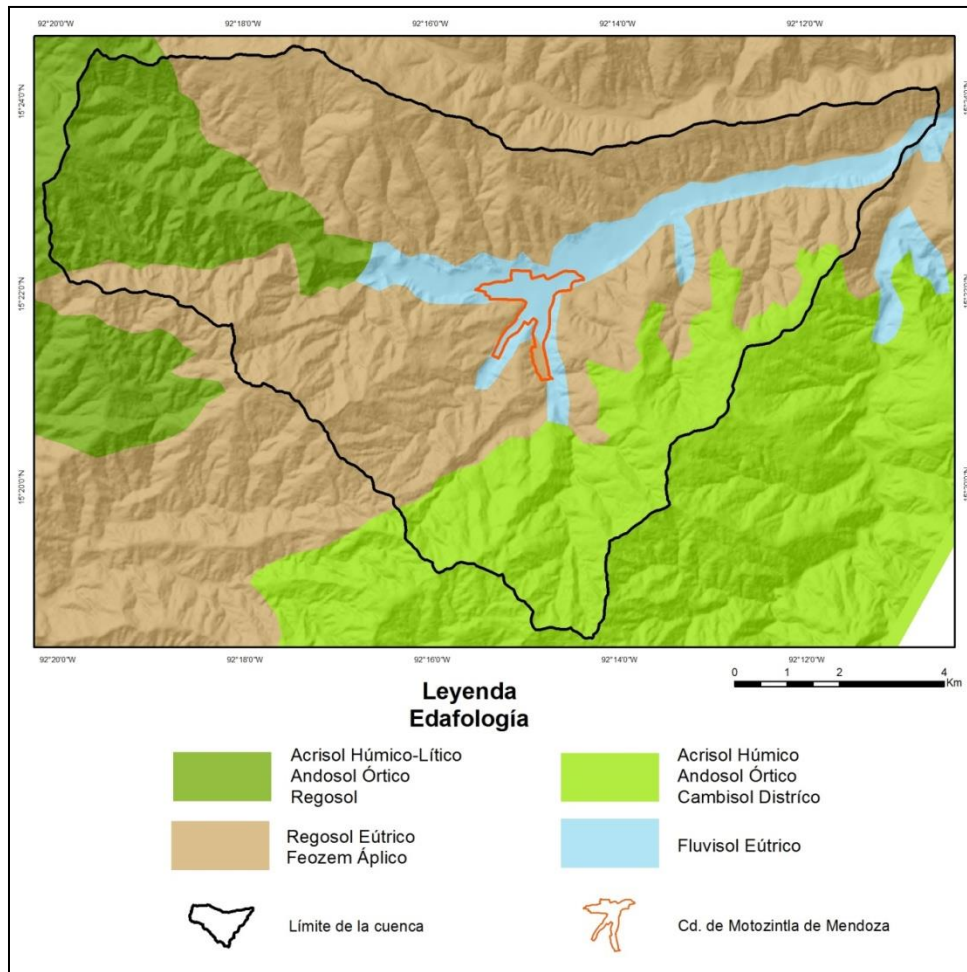


Figura 10. Tipos de suelo en la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa; por orden de importancia (área) son los siguientes: Regosol Eútrico, Acrisol Húmico, Acrisol Húmico-Lítico y Fluvisol Eútrico (INEGI, 1984 b).

-Fluvisol Eútrico. Es un suelo poco desarrollado, se constituye de acarreo fluvial en donde predominan las arenas y las gravas (INEGI., 1984 b). Este tipo de sustrato es característico en la llanura de inundación del río Motozintla-Mazapa.

En general se puede decir que los suelos en la zona de estudio son poco profundos, de escaso desarrollo (presentan pocos horizontes) y una nula consolidación de los materiales que los componen (detritos). A estas características se suma una morfología heterogénea en altitud e inclinación de laderas, en suma se cuentan con todos los mecanismos que favorecen los

movimientos de ladera; por tanto, la temporada de lluvias puede generar un escenario de desastre.

1.1.5 Vegetación

El clima, la orientación del terreno, la litología y el suelo, son factores que condicionan el desarrollo de la cubierta vegetal en todos los terrenos; la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa no es la excepción. Estos factores al entrar en sinergia son los responsables de que existan diversos paisajes con una gran diversidad de biota. De acuerdo con INEGI (1985 f), las comunidades de vegetales más importantes son las siguientes (Fig. 11):

-Bosque mesófilo de montaña ó bosque templado. Se trata de una cubierta vegetal densa que alcanza alturas entre 15 a 35 m; no obstante, algunos árboles llegan a alcanzar los 60 m de altura. Las especies más son los *bosques de pino y pino-encino, encino-pino* (*P. patula, P. arizonica, P. montezumae, P. hartwegii, P. ayacahuite, P. pseudostrobus, P. engelmannii*). También son importantes por la cobertura que ocupan los *encinos* (*Quercus, Quercus insignis, Q. strombocarpa, Q. oocarpa, Q. corrugata, Q. skinneri*). Todas estas especies se disponen entre las cotas de 1500 y 2000 msnm, donde la precipitación varía entre 600-2000 mm y la temperatura es de 6° a 20°C, en todos los casos se trata de promedios anuales. Este tipo de cubierta ocupa las laderas de la Sierra Madre de Chiapas (Rzendowski, 2006 ; Challenger, y Soberón, 2008).

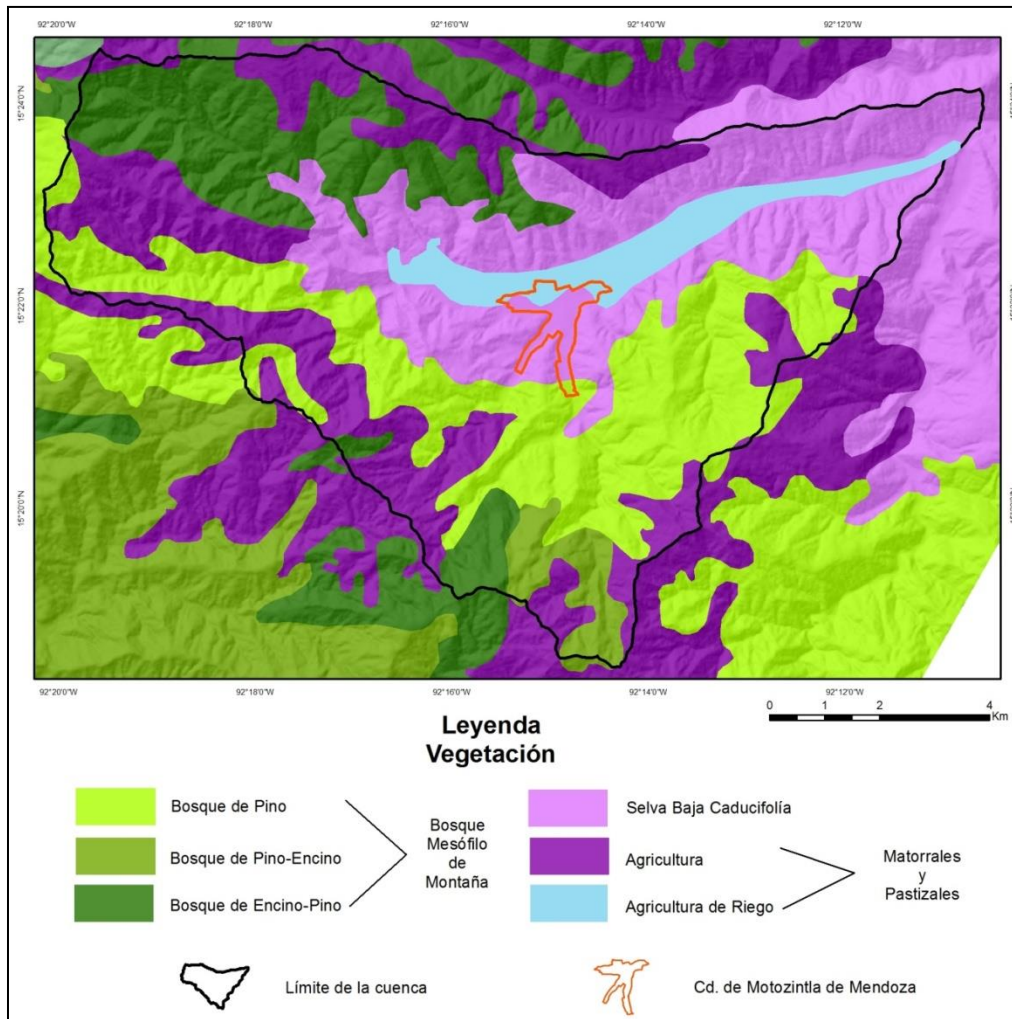


Figura 11. Mapa de tipos de vegetación presentes en la cuenca del río Motozintla-Mazapa. Existe una vegetación heterogénea en el territorio; los bosques de coníferas (bosque de pino, pino-encino), coronan la *Sierra Madre de Chiapas*; la selva baja se extiende en la parte inferior del valle. La cubierta vegetal original ha sido alterada, por lo que se pueden observar dispersos en toda el área, manchones dedicados a la agricultura o ganadería (INEGI, 1985 f).

-Selva Baja Caducifolia ó Bosque Tropical Caducifolio. En este tipo de vegetación los árboles ramifican cerca del suelo, alcanzan una altura que varía entre los 8 y 15 m. Presentan una apariencia de contraste entre los periodos de sequía y lluvia; en el primer caso, entre los meses de noviembre-abril los árboles y arbustos pierden sus hojas gradualmente y desaparece casi todo el estrato herbáceo. En el segundo periodo de mayo-junio se alcanzan la mayor temperatura e inicia la temporada de lluvias, la vegetación sin hojas cambia a un paisaje verde.

En cuanto a la composición florística de la selva baja caducifolia, es característico que el estrato arbóreo esté representado por pocas especies; estas varían de una región a otra, en la zona de estudio predomina la comunidad *Alvaradoa amorphoides*. Además de la dominante, son arboles comunes: *Heliocarpus reticulatus*, *Fraximus puspusii*, *Lysiloma desmostachys*, *Haematoxylon brasietto*, *Ceiba acuminata*, *Cochlospermum vitifolium*, *Bursera simaruba*, *B. excelsa*, *B. bipinnata*, *Pistacia mexicana*, *Bumelia celastrina*, *Gyrocarpus americanus*, *Piscidia piscipula*, *Swietenia humilis*, *Ficus cookii*, *Zuelania guidonia*.

En este territorio la selva tiene desarrollo entre los 800 y 1000 msnm, a esta altitud la temperatura varía de 20° a 26°C y la precipitación entre 500 mm y 1500 mm (promedios anuales en ambos casos) (Rzedowski, 1978)

-Matorrales. Se trata de una vegetación con fisonomías diversas, es característica de las zonas áridas y semiáridas en donde la temperatura varía entre de 12° a 26°C y de 300 mm a 600 mm de precipitación (promedios anuales en ambos casos). Las comunidades vegetales que predominan son de arbustos altos y árboles con tallo suculento. La altura promedio es de 3 a 5 m, no obstante varía de acuerdo a la especie. En la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa existen las siguientes variantes de matorrales: Crasicaule (*Carnegiea gigantea* "sahuaro", *Cercidium microphyllum*, *Pachycereus pringlei*, *Lophocereus schottii*, *Machaeocereus gummosus*, *Opuntia* spp., *Myrtillocactus geometrizans*, *Neobuxbaumia tetezo* "tetecho", y *Lemaireocereus weberi* "cardon"); rosetófilo (*Agave* "maguey o lechuguilla", *Dasyilirion* "sotol", *Hechtia* "guapilla" y *Yucca* "palma o izote"); por último, el micrófilo (*Larrea tridentata* "gobernadora", *Flourensia cerna* "hojasén", *Allionia incarnata*, *Prosopis laevigata*, *Celtis palida* "granjeno" y *Opuntia leptocaulis* "clavelina") (Rzedowski, 1978).

-Pastizales. Este tipo de vegetación se desarrolla cuando esta libre del pastoreo, alcanza alturas que varían entre 20 y 70 cm. En estas comunidades el papel preponderante corresponde a las gramíneas (*Bouteloua gracilis*, *B. curtipendula*,

B.hirsuta, *Aristida* spp,*Hilaria* spp., *Muhlenbergia* spp., *Stipa*,*Calamagrostis* y *Festuca*. Estas especies ásperas, resistentes a las quemas periódicas, comparten las mismas condiciones climáticas que los matorrales. La presencia de pastizales indica la alteración de la vegetación original por introducción de agricultura y ganadería. En la zona de estudio caracteriza la llanura de inundación y los terrenos adyacentes.

Los aspectos físicos de la geografía de la zona de estudio, presentan un arreglo complejo de los elementos que caracterizan su dinámica natural. En este sentido el sustrato (alterado, fragmentado y con una inclinación pronunciada), es sensible a generar procesos de remoción en masa. Las lluvias estacionales favorecen estos procesos, y se pueden magnificar con la influencia de los ciclones. Los procesos gravitacionales, altera la morfología, destruyen la vegetación y como consecuencia se modifica el paisaje y con esto la dinámica exógena que en algunos casos puede ser de peligro para los asentamientos humanos.

La cuenca del río Motozintla-Mazapa en los últimos quince años ha sido impactada por cinco fenómenos meteorológicos que ocasionaron pérdidas económicas, daños a la infraestructura urbana, rural y viviendas; así como, numerosos damnificados, desaparecidos y víctimas mortales por la ocurrencia de inundaciones y procesos de ladera.

Capítulo 2. Geología

En el análisis geomorfológico es necesario tener conocimiento del tipo de litología, su espacialidad y su arreglo tectónico. De esta manera, es posible explicar la relación que existe entre la disposición de los materiales, su competencia a la erosión y la presencia de estructuras disyuntivas con la génesis y la morfología del relieve.

La tectónica regional del sureste mexicano se caracteriza por la existencia de una dinámica de subducción entre las placas de Cocos por debajo de la Norteamericana; que a su vez, hace frontera con la del Caribe en este sector. Estas condiciones son complejas pero se hacen evidentes en continente a partir de la existencia de un vulcanismo activo y zonas sismogeneradoras (sistemas de fallas activas); en este marco, se localiza la zona de estudio.

2.1 Tectónica y Geología Regional

Los rasgos estructurales regionales del sureste mexicano comprendidos dentro del Istmo de Tehuantepec y la Península de Yucatán, incluida parte del área marina del Golfo de México, son consecuencia de la interacción de tres placas tectónicas, Norteamérica-Cocos (subducción) y Norteamérica-Caribe (transformante) (Fig. 12). Esta zona también es conocida con el nombre de *punto triple* (Muehlberger y Ritchie, 1975; Lyon-Caen, *et al.*, 2006) y se caracteriza por ser una zona de magmatismo, vulcanismo y estrés tectónico, estas particularidades favorecen una dinámica exógena de alta energía cinética.

El relieve que integra la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa tiene una influencia directa con el sistema de fallas transformantes de componente izquierdo, conocido como Polochic-Motagua (Burkart, 1978; Muehlberger y Ritchie, 1975). Las estructuras disyuntivas que definen este conjunto, se extienden por 350 km en dirección NW-SE; una vez que cruzan el territorio guatemalteco, ingresan a

nuestro país por Chiapas y atraviesan las ciudades de Mapastepec y Motozintla de Mendoza. La actividad sísmica es una característica de este grupo, el ejemplo más relevante ocurre el 4 de febrero de 1976, donde un sismo de 7.5° (escala de Richter), provoca un desplazamiento lateral del terreno de 2 m a lo largo de 320 km (Lyon-Caen *et al.*, 2006).

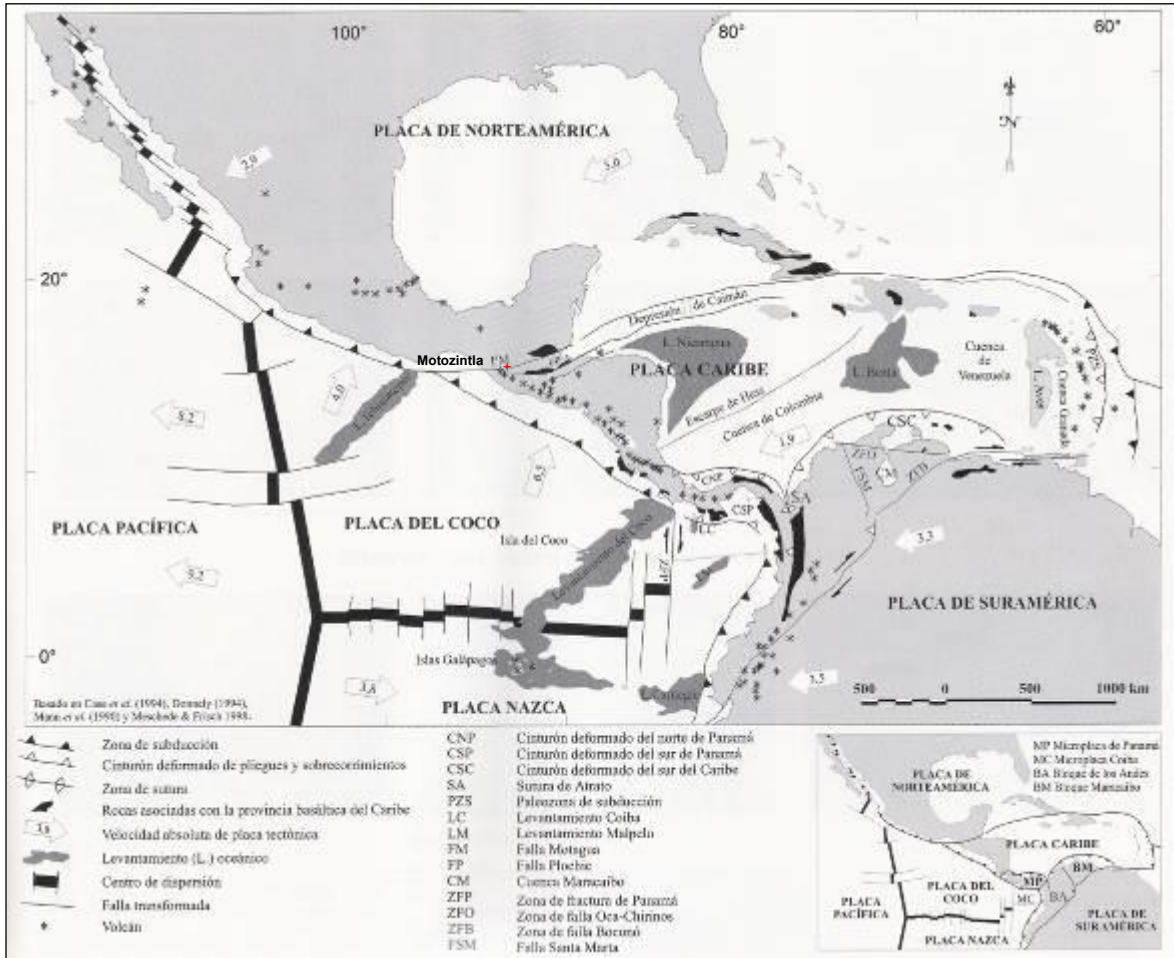


Figura 12. Marco tectónico regional del Pacífico Sur y Caribe Mexicano. El relieve, los procesos y el tipo de roca de la zona de estudio (cuenca alta del río Motozintla-Mazapa), tienen un vínculo estrecho con los movimientos de las placas Norteamericana, Caribe y Cocos (Denyer *et al.*, 2003).

Existen dos grupos disyuntivos más que se ubican al N y NW de la zona de estudio, reciben el nombre de Fallas Laterales del Sur de México y Fallas Inversas del Sur de México. Al momento que se intersectan con el sistema Polochic-Motagua (al NE de la ciudad de Motozintla) definen un nudo estructural que se conoce con el nombre de *punto triple* (Burkart, 1978; Guzmán-Speziale *et al.*,

1989; Guzmán-Speziale y Meneses-Rocha, 2001; Lyon-Caen *et al.*, 2006) (Fig. 13). Este aspecto revela la importancia que tienen los procesos endógenos en la expresión del relieve y su dinámica en la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa.

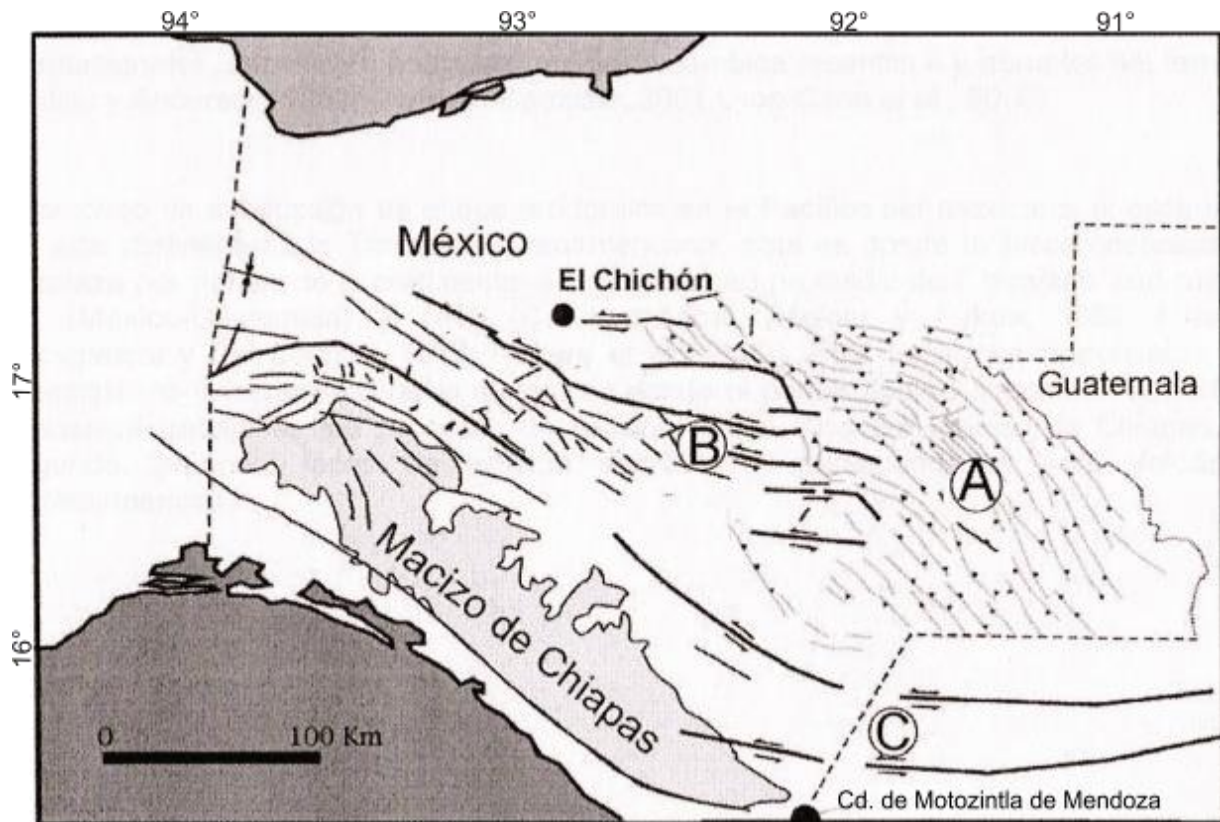


Figura 13. El *punto triple* está integrado por los siguientes sistemas estructurales: A) Fallas Inversas del Sur de México; B) Fallas Laterales Izquierdas del Sur de México; y C) Polochic-Motagua (García-Palomo *et al.*, 2004).

La relación entre las placas Norteamérica y Cocos tiene reflejo en el emplazamiento del Macizo de Chiapas; intrusivo dispuesto de forma paralela a la costa suroeste del estado, su orientación es NW-SE y ocupa una área de 20 000 km² (Molina-Garza *et al* 1992; Weber *et al.*, 2008). El origen de esta estructura se asocia a la dinámica de subducción y de su expresión morfológica son responsables los procesos de denudación (Molina-Garza *et al.*, 1992; Weber *et al.*, 2002; Mendoza-Margain, 2010).

2.2 Marco tectónico y geológico local

El sistema de fallas Polochic-Motagua tiene influencia directa en la cuenca de estudio, está se observa en la existencia de movimientos del terreno heterogéneos a lo largo de todo el conjunto disyuntivo; en particular, en las cercanías de la ciudad de Motozintla (con un valor mínimo de 9 mm/año). De ahí se explica la constante sismicidad que afecta esta zona y por tanto una relación estrecha con la existencia de procesos gravitacionales en todo este territorio.

El movimiento del sistema Polochi-Motagua tiene un componente lateral siniestro que se ha estimado en ca. 132 km (Burkart., 1978) y quedan expuestas litologías contrastantes en cada flanco de la falla (este a oeste); en el sector de Motozintla, en una distancia muy corta, afloran rocas del Pérmico y el Jurásico (Batolito de Chiapas y Formación Todos Santos).

Con respecto a la morfología del relieve que se asocia con el sistema Polochic-Motagua sobresalen los cambios de curso de los ríos Xelajú Grande, Motozintla-Mazapa y Chimalapa (en ángulo cercano a los 90°), el control en la dirección del río principal (sectores rectos), así como en algunos meandros (encajonados) y valles profundos con laderas escarpadas. Como respuesta a los movimientos principales, se desarrollaron fallas secundarias con rumbo N30°W. A ellas se les atribuye la existencia de laderas escalonadas que en conjunto conforman bloques (Sánchez *et al.*, 2012).

El análisis de la geología local se hace a partir del trabajo de Sánchez *et al.*, (2012), en el se da a conocer la columna geológico-estratigráfica actualizada de la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa (Fig. 14 y 15). La secuencia litoestratigráfica inicia en el Precámbrico, termina en el Cuaternario, más no afloran de manera continua todas la unidades que componen este periodo.

Los datos geológicos en el marco del análisis geomorfológico son relevantes, porque a través de ellos se conoce el tipo de roca, su origen e inclusive su edad (relativa o absoluta). Esta es la única posibilidad de entender la relación entre la litología y los agentes de modelado; por tanto, la dinámica del relieve.

A continuación se analiza la litología a partir de Formaciones Geológicas establecidas en las fuentes consultadas y se inicia de lo más antiguo a lo más reciente.

Complejo Metamórfico Prebatolítico (Pe)

Es la roca más antigua de la zona y su edad es asignada en el Precámbrico Tardío, por asociación con un afloramiento localizado en el estado de Oaxaca que está vinculado con la *Orogenia Grenvilliana* (Carfantan, 1977). Está constituido por gneis, esquistos de biotita, muscovita y anfibolita. Todas ellas, producto de un metamorfismo regional causado por intrusivos granitoides que se conocen como el Batolito de Chiapas (Schaaf *et al.*, 2002).

El espesor del complejo se desconoce, solo existen escasos afloramientos a lo largo del río Motozintla quien los ha dejado expuestos (zapa-proceso gravitacional), removido y depositado en la llanura de inundación. Hay que mencionar que las rocas metamórficas del complejo, son más antiguas que el Batolito de Chiapas. Por esta razón son consideradas como el basamento de esta región (Schaaf *et al.*, 2002, y Weber *et al.*, 2005).

Batolito de Chiapas (P-Tr)

Se constituye por rocas graníticas que presentan coloraciones rosa y gris, la textura es fanerítica de feldespato potásico, cuarzo y óxidos. La mayoría de los granitoides, presentan foliaciones, están deformados y metamorfizados de manera intensa (Schaaf *et al.*, 2002; Pompa-Mera, 2009).

Este cuerpo intrusivo ha sido datado por Damon *et al.* (1981) a partir de *K-Ar* y el resultado fue de 290 – 271 Ma. Por el mismo método Mujica-Mondragón (1987), lo situa en 271 – 222 Ma y 165 – 154 Ma, estos datos se explican a partir de la existencia dos eventos magmáticos. Por otro lado Schaaf *et al.*, (2002), mediante dataciones de *Rb-Sr* reporta una edad de 244 - 214 Ma; dato que pone en evidencia periodos de enfriamiento que se relacionan con la deformación tectonotermal producida en las rocas del basamento Prebatolítico.

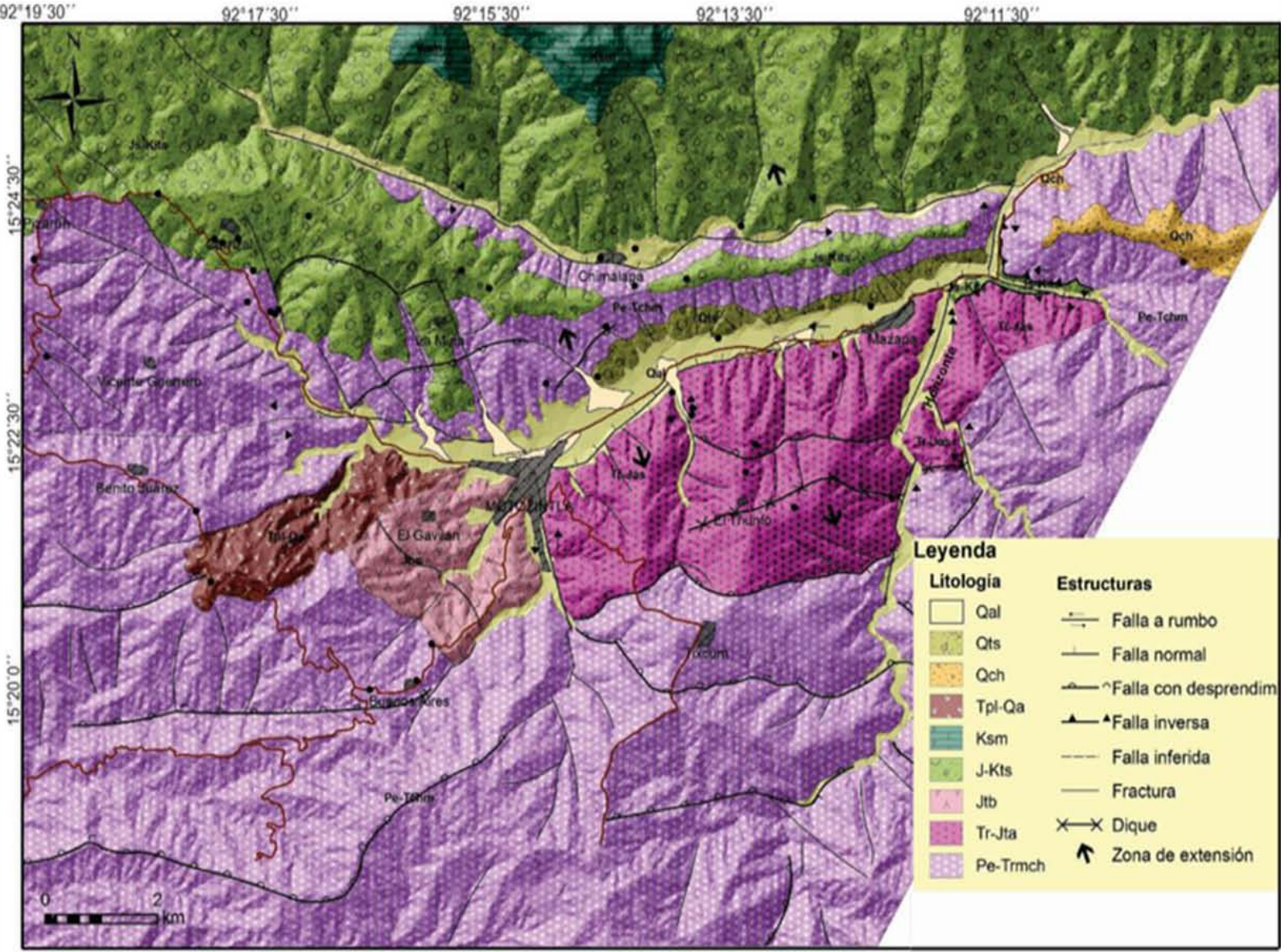
Tronco Amatenango de la Frontera (Tr-JI)

Esta unidad la constituye un plutón leucogranítico porfídico de color rosa claro, muy deformado, su edad está establecida en el Triásico Tardío – Jurásico Temprano (Múgica-Mondragón., 1987; Caballero., 2002). Se localiza al sur de Amatenango de la Frontera, los principales afloramientos se observan sobre la carretera que une esta población con Motozintla. También es posible reconocerlos sobre la vertiente sur del río hasta la unidad habitacional Nuevo Milenio.

Tronco Buenos Aires (JS)

Este cuerpo intrusivo se conforma por leucogranito de muscovita, presenta una intensa deformación y en las zonas menos afectadas por el metamorfismo se observa una roca masiva compuesta de feldespatos, fenocristales de cuarzo y cristales de muscovita. La edad que se le asigna a este sustrato es del Jurásico Tardío (Múgica-Mondragón, 1987). Se distribuye en la porción suroeste de Motozintla, desde la comunidad de Xelajú Chico, Campanas y en las inmediaciones de Buenos Aires. La unidad está limitada por las vertientes del arroyo Xelajú Grande y Allende.

Figura 14. Mapa geológico de la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa (Sánchez et al., 2012).



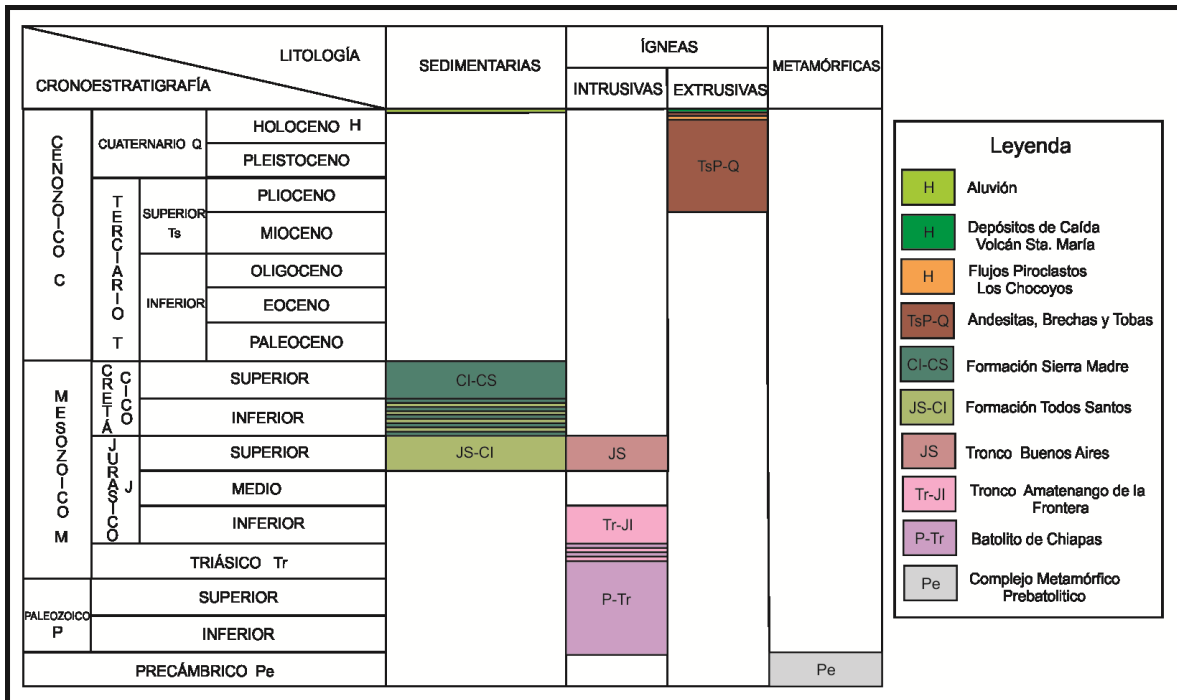


Figura 15. Columna estratigráfica de la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa, esta versión tuvo como punto de partida las cartas Geológicas de INEGI (1984), y del Servicio Geológico Mexicano (2006). Está información fue modificada y actualizada por Sánchez (2012).

Formación Todos Santos (JS-CI)

Está representada por una serie de conglomerados, areniscas de grano fino a grueso y limolitas a las que se les denomina *Lechos Rojos* por la coloración que presentan, se les asigna una temporalidad que va del Jurásico Tardío al Cretácico Temprano (Blair, 1981). Este sustrato se correlaciona con las rocas continentales de la Serie Metapán en El Salvador; así como, con la Formación Salina en el sureste de México. Se distribuye al norte del poblado de Motozintla y descansa en discordancia sobre el Batolito de Chiapas e infrayace a la Formación Sierra Madre (Blair, 1981).

Formación Sierra Madre (CI-CS)

La formación Sierra Madre se caracteriza por estar constituida de sustratos sedimentarios marinos, divididos en dos miembros calcáreos. El primero se constituye por estratos de dolomías (Cretácico Inferior) y el otro, de calizas (Cretácico Superior). En ambos casos las texturas son cristalinas y las coloraciones similares (pardo claro), a diferencia del segundo que presenta un color verde. El espesor máximo está estimado en 1900 m (Salazar, 2008; Caballero, 2002 y García-Palomo *et al.*, 1987). Esta unidad aflora al norte de la zona de estudio y cubre de forma discordante a la Formación Todos Santos.

Andesitas, Brechas y Tobas (TsP-Q)

Las andesitas afloran de manera masiva con coloraciones que varían del gris claro al verde oscuro. Las tobas en realidad son flujos piroclásticos bien consolidados que a su interior presentan fragmentos andésíticos. También se reconocen feldespatos alterados y minerales arcillosos producto del intemperismo. La edad de este grupo está asignada por Carfantan (1977), en el Plio-Cuaternario. Se localiza al suroeste del área de estudio en las cercanías de San Felipe y El Gavilán. En este sector sobreyacen de manera discordante con el Batolito de Chiapas.

Flujos Piroclásticos (Los Chocoyos) (H)

Se constituye en su gran mayoría por fragmentos de pómez, al interior del depósito, existen fragmentos líticos de granitos y esquistos (Caballero, 2002). Se localizan en la porción cumbral de las sierras que se ubican en el extremo E de la zona de estudio. Hay que mencionar que su acomodo estratigráfico es discordante al Batolito de Chiapas. También estos depósitos se han observado sobre la carretera que comunica los poblados de Motozintla y Amatenango de la Frontera (Salazar, 2008). El origen de estos flujos se asocian con el Arco

Volcánico de Centro América, que inicio su actividad hace 40 925 a.P. Walker *et al*, (2006), Rose *et al*, (2006), Gates y Ritchie., (2007)

Depósitos de Caída (Volcán Santa María) (H)

Están representados por mantos de arenas de poco espesor con texturas que varían de medias a finas. Se asocian con una erupción de tipo pliniana del volcán Santa María en Guatemala, este evento ocurrió en 1902 y generó una columna eruptiva de 28 km de altura. La distribución de los piroclastos cubrió una área estimada en 1.2 millones de km² y llego hasta la ciudad de Oaxaca. Este depósito mantea toda la columna estratigráfica descrita (Williams, y Self, 1983; Walker *et al.*, 2006).

Aluvión (H)

Son detritos producto del acarreo fluvial que constituyen la mayor parte de la llanura de inundación del río Motozintla-Mazapa. Tambien son el principal componente de los abanicos aluviales y terrazas que se localizan en ambos flancos de la llanura de inundación.

Por último hay que mencionar que la litología de la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa, es resultado de una compleja interacción entre la tectónica regional ocasionada por el Punto Triple (Cocos-Norteamericana-Caribe) y la presencia de fallas activas pertenecientes al sistema Polochic-Motagua.

El análisis geológico permitió conocer la distribución espacial de la litología, composición y arreglo tectónico (deformaciones y disyunciones), además de la columna estratigráfica, temporalidad y secuencia de los distintos sustratos que existen en este territorio. Está información es indispensable para entender el origen del relieve ya que permite conocer y comprender la distinta resistencia de

los materiales a la dinámica erosiva. De esta manera se facilita entender el vínculo entre la litología, los procesos de ladera y la influencia de la tectónica.

Capítulo 3. Análisis morfométrico

La morfometría permite analizar de manera cuantitativa las particularidades y elementos del relieve, a partir de parámetros métricos. En este método se hacen diversas mediciones sobre una base topográfica (curvas de nivel), para analizar la superficie terrestre y comprender la dinámica exógena que la modela (Lugo., 1988).

El análisis morfométrico es parte del análisis geomorfológico, permite entender la relación que existe entre la morfología, la litología y la dinámica de los agentes erosivos que modelan el relieve. En este estudio se aplicaron seis métodos morfométricos, por cada uno de ellos se obtuvo un mapa y son los siguientes: altimetría, inclinación del terreno, energía del relieve, densidad y profundidad de la disección. Con los resultados obtenidos se hace una interpretación en conjunto, de ella se obtiene una primera zonificación de procesos exógenos (inundaciones y procesos de ladera).

3.1 Altimetría

El mapa altimétrico muestra a detalle las principales pisos altitudinales del territorio de estudio y de manera indirecta proporciona información relacionada con la génesis de amplias superficies. Con estos elementos se hace posible definir las unidades mayores del relieve. Con ellas es posible entender la influencia de la tectónica y la espacialidad de los procesos exógenos

El método de elaboración de este documento se tomó de Lugo (1988) y de Simonov (en Zamorano 1990) y la secuencia fue la siguiente:

- a) Se obtuvo el valor de la altitud a partir de una malla que equivalía a 1 km² a escala 1 : 50 000. De esta manera se obtuvieron 413 índices

de las cartas topográficas Escuintla y Motozintla de Mendoza (INEGI, 2002).

- b) Con la ayuda de un SIG (ArcGis 10.2) se analizó la información utilizando el método *Natural Neightbor*. De esta manera se obtuvieron ocho mapas altimétricos, cada uno de ellos representaba rangos altitudinales distintos.
- c) Se determinó que el mapa con 9 rangos altitudinales era el que mejor representaba el relieve y reflejaba de manera indirecta la dinámica exógena del territorio de estudio. Este análisis permitió definir de manera precisa las unidades mayores del relieve: I) Llanura aluvial; II) Premontaña y III) Montaña.

El mapa que se analiza no solamente muestra las variaciones altitudinales de la región, al mismo tiempo es posible visualizar que la Zona de Montaña (III) se localiza al norte y al sur de la cuenca de estudio. La región definida como Premontaña (II) se distribuye en la periferia de las dos zonas mencionadas; por último, la Llanura Aluvial (I) que ocupa la porción central y representa al mismo tiempo la superficie con menor altitud.

Para la correcta interpretación de los valores altimétricos, fue necesario hacer uso de un modelo de elevación del terreno (MDT), de esta manera se pudo tomar en cuenta la inclinación del terreno en la definición de las unidades mayores. Las unidades se hallan representadas en la Figura 16, y la interpretación es la siguiente:

I. Llanura Aluvial

La llanura aluvial (Fig. 19), es una superficie subhorizontal constituida de material de acarreo fluvial (aluviones). A su interior se pueden observar pequeñas ondulaciones que en algunas ocasiones definen bancos a manera de isletas,

terrazas escalonadas y diques, todas estas formas son resultados de la dinámica del río Motozintla-Mazapa.

Lugo (2011) define la llanura aluvial como una superficie amplia a manera de una secuencia de terrazas, en donde cada una define una dinámica fluvial diferente (zona de inundación estacional, extraordinaria y excepcional).

La planicie del río Motozintla-Mazapa tiene un origen exógeno fluvial-acumulativo, en donde la depositación es el proceso más importante. En esta unidad es posible observar el control estructural que ejerce el sistema de fallas Polochic-Motagua (orientación de la llanura, cambio de dirección en ángulos cercanos a 90°, límites rectos orientados al noreste).

El área de esta superficie es de 8 192 km² y ocupa un rango altitudinal que varía entre 950 y 1 420 msnm, la diferencia entre ambas cotas no supera los 500 m (amplitud del relieve), este hecho favorece la sedimentación. La inclinación de toda esta unidad, no supera los 15°.

La llanura de inundación desarrolla a su interior terrazas, abanicos aluviales (proluviones), rampas de detritos (coluviones), canales abandonados, diques y bancos de material. El patrón de drenaje que tiene desarrollo sobre esta superficie es trezado, donde existen numerosos canales. Se dispone al centro de la zona de estudio y es el territorio donde confluyen los ríos Xelajú, La Mina, Allende, Chiamalapa, todos afluentes del Grijalva.

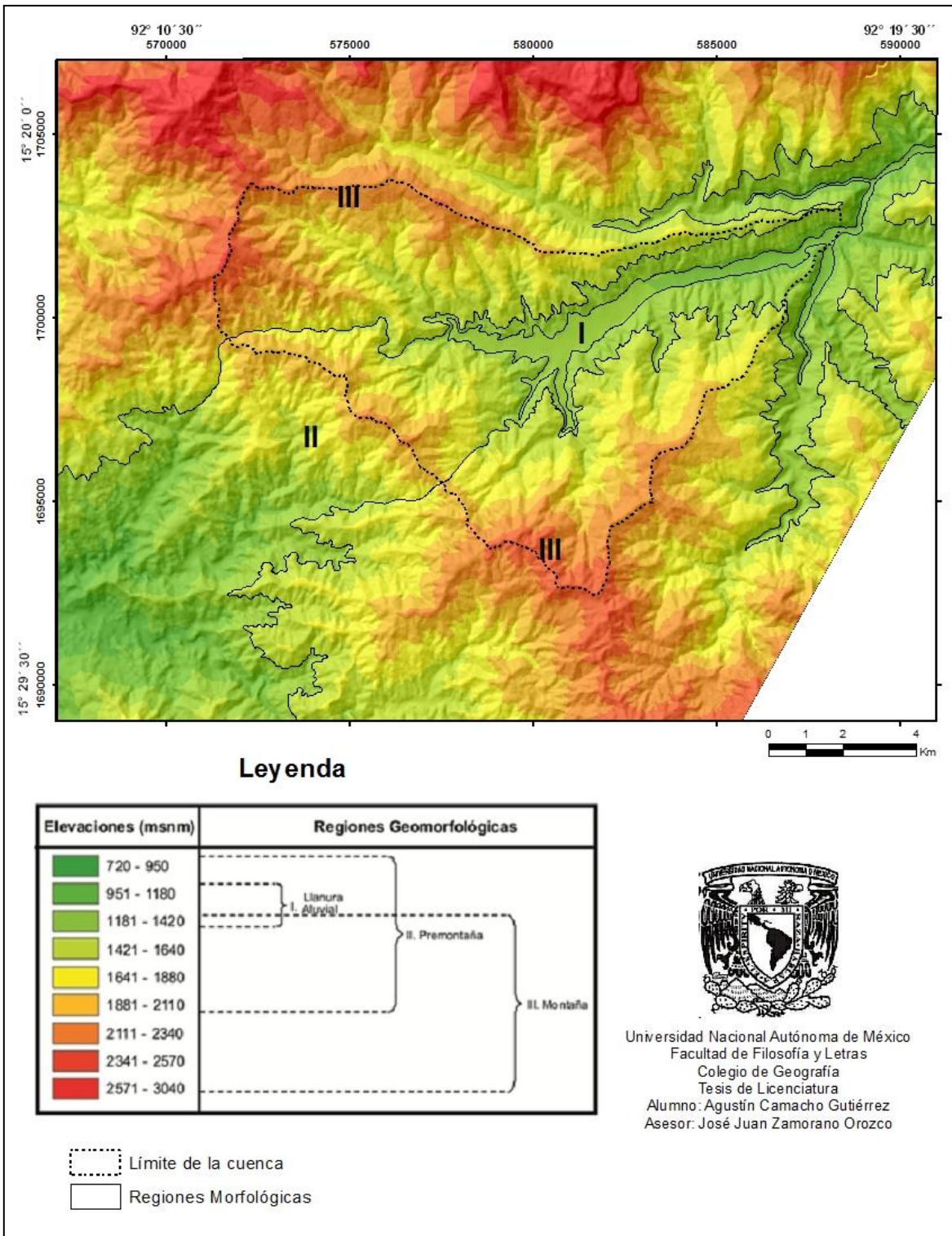


Figura 16. Mapa altimétrico, se muestran las unidades mayores del relieve y sus rangos altitudinales.

II. Premontaña

La Premontaña (Fig. 19), en la zona de estudio ocupa el sector SW, es considerada como un territorio de transición entre los terrenos agrestes y de mayor altitud y la planicie fluvial que representa los terrenos más bajos. El área que ocupa es de 118 100 km², la altitud promedio es de 720 msnm y presenta un máximo de 2 110 msnm. La amplitud altitudinal es de 1 390 m, valor que explica la existencia de una dinámica fluvial intensa y de igual manera la importancia que tiene la tectónica sobre esta superficie.

La Premontaña está modelada por la acción fluvial que define un diseño dendrítico y subdendrítico desarrollado, no obstante pocos son los escurrimientos que llegan a definir barrancos y valles profundos. La dinámica de los ríos se ve favorecida por una inclinación del terreno heterogénea, que varía entre 6° y 30°.

III. Montaña

El territorio montañoso tiene un origen complejo que se vincula con la tectónica regional de subducción característica del sureste mexicano. La morfología de este territorio es de contrastes altitudinales marcados en distancias cortas, así mismo existen una heterogeneidad en cuanto a inclinación y orientación de las laderas que integran este conjunto. La importancia de estos aspectos sumado a un sustrato sensible a la erosión, condiciona la existencia de procesos exógenos de gran magnitud.

La zona de Montaña (Fig. 19) se localiza al S-SE y W-NW, estos dos sectores son parte de la Sierra Madre de Chiapas, está estructura es parte del parteaguas continental que define la vertiente Pacífica y Atlántica (Golfo de México).

La superficie que ocupa el territorio montañoso en conjunto es de 281 500 km²; el límite altitudinal máximo es de 3 040 msnm (sector NW) y la amplitud del relieve

es de 1 859 m. Este valor pone de manifiesto una intensa influencia tectónica en la región, que tiene reflejo en la existencia de valles profundos y laderas escalonadas que adoptan una morfología en gradería. La inclinación del terreno varía entre 15° a $> 30^\circ$, hecho que condiciona la existencia de un drenaje dendrítico bien integrado y que fluye en valles profundos.

La figura 17 muestra en un perfil con dirección S-NE-W, las tres regiones morfológicas que se obtuvieron del análisis altimétrico. En este esquema se observan todos los elementos que definen una fosa tectónica y por lo tanto un territorio de distensión, hay que mencionar que esta expresión se vincula de manera estrecha con el sistema disyuntivo Polochic-Motagua.

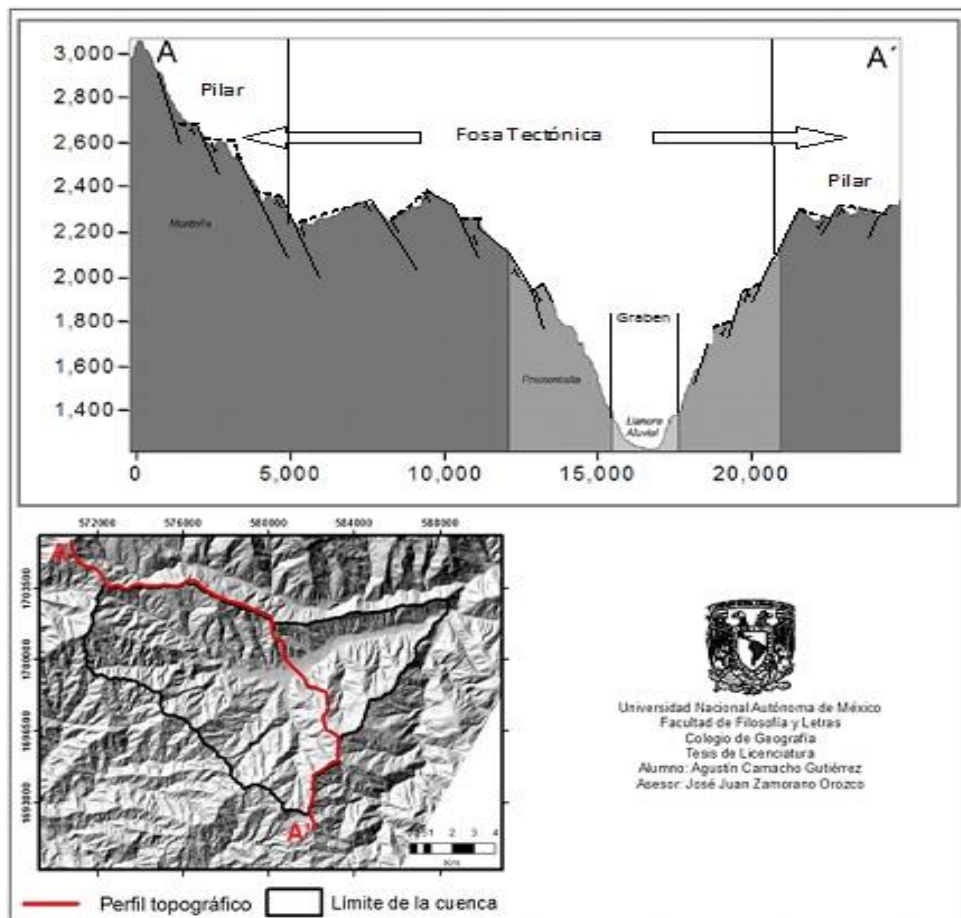


Figura 17. Perfil topográfico donde se muestran las unidades mayores del relieve (Montaña, Premontaña y Planicie). En conjunto definen una morfología de fosa tectónica que se asocia al sistema de fallas Polochic-Motagua.

Las unidades morfológicas que se obtuvieron del análisis altimétrico representan el punto de partida en la zonificación de la dinámica exógena que puede representar un peligro para la población.

3.2 Inclinación del Terreno

El mapa de pendientes tiene como fin representar la inclinación del terreno en un plano, lo que permite clasificar y definir zonas con inclinaciones homogéneas. De esta manera, es posible visualizar morfologías específicas escarpes y cañones y evidenciar procesos potenciales en la evolución del relieve (procesos de remoción en masa, inundación y sedimentación)

Para la elaboración de este mapa se transformaron los valores altitudinales obtenidos en el mapa topográfico a valores de pendiente (en grados), mediante el uso de la función trigonométrica de la tangente:

$$I = \text{tang}^{-1} (DV/DH)$$

Donde:

I = pendiente

DV = distancia vertical

DH = distancia horizontal

Las cartas topográficas utilizadas en este método presentan curvas de nivel auxiliares con una equidistancia de veinte metros. Estos valores se analizaron a través de un SIG (ArcView 10.2: Slope), se hicieron varios mapas de prueba, cada uno de ellos con rangos de inclinación diferente a partir del histograma de valores, para llegar al que mejor representa las características y necesidades requeridas para esta investigación. El análisis de estos documentos nos llevo a seleccionar el mapa en donde las inclinaciones se concentraban en 5 rangos. Esta decisión se fundamenta en el arreglo que refleja el relieve de manera clara y congruente con las regiones que se obtuvieron de la aplicación del mapa anterior. Los rangos que se tomaron en cuenta son los siguientes:

< 3°
3° - 6°
6° - 15°
15° - 30°
> 30°

Los rangos de inclinación del terreno se representaron en un mapa (Fig. 18); para después compararlos y sobreponer con la cartografía hipsométrica-regiones geomorfológicas. De esta manera fue posible detectar el vínculo estrecho entre estos dos documentos en cuanto a morfología, límites estructurales y existencia de pisos altitudinales.

El análisis del mapa de inclinación del terreno se realiza tomando en cuenta las unidades mayores del relieve y es el siguiente:

I) Llanura Aluvial: Presenta una morfología sub horizontal en donde la inclinación es de <3° a 15°. Las formas de relieve que la definen son de carácter deposicional; en este marco, son frecuentes los bancos de detritos, las terrazas, abanicos; los dos últimos, presentan una inclinación que no sobrepasa los 15° y distintos pisos altitudinales que se asocian con la dinámica de esta superficie plana, el más importante por el área que ocupa se conoce como llanura de inundación estacional (<3° y 6°), la extraordinaria y la excepcional son más reducidas y no son continuas a lo largo del sector que se estudia. Respecto a los relieves erosivos destacan el lecho, los canales abandonados y algunas laderas con efecto de zapa.

Con respecto a la Premontaña (II) y Montaña (III) no existe una diferencia de inclinación, ambas regiones en apariencia forman una unidad, más la diferencia entre ellas es la altitud. La primera, se dispone entre 720 a 2110 msnm y a manera de cuña bordea, por sus dos vertientes, a la Planicie Aluvial (I).

La región de montaña está dividida en dos porciones, por la premontaña y la planicie aluvial; la primera ocupa el sector norte de la zona de estudio y la segunda el sur, en ambos casos las altitudes van de los 1181 a 3040 msnm

II) Premontaña: presenta una morfología abrupta en donde los procesos de modelado han definido valles profundos y amplios, por donde son acarreados importantes volúmenes de detritos. Este aspecto es resultado de la práctica agrícola que tiene desarrollo sobre estos terrenos y que favorecen el acarreo del suelo al quedar a merced de los diferentes procesos de erosión.

La región de premontaña desde el punto de vista dinámico se considera una zona de transición entre la parte plana (llanura aluvial) y el sector propiamente montañoso. Estos terrenos dentro del área de interés, se presentan como superficies degradadas en donde es común observar numerosos saltos de cabecera en constante avance hacia las cimas (erosión remontante), de esta manera llegan a definir cumbres agudas y parteaguas sinuosos.

Las pendiente en la zona de premontaña es heterogénea, varía de los 6° a >30°, con este rango tan amplio se puede explicar su alteración, debido a que es una zona de constante ocupación y degradación (agricultura, ganadería, asentamientos humanos, caminos, etc); en otras palabras, es el territorio que presenta menos dificultades de acceso que la zona de montaña.

III) Montaña: se puede caracterizar como un territorio heterogéneo en cuanto a morfología, en el son frecuentes los cambios de altitud y de inclinación del terreno en distancias cortas. En este sector los desniveles más representativos se asocian a profundos valles, entre ellos se distinguen los de los ríos Xelajú, La Mina, Allende, Chimalapa y Agua Caliente. En estas formas de erosión el contacto entre rocas con diferente competencia a la erosión y la presencia de fallas favorece la acción de los escurrimientos.

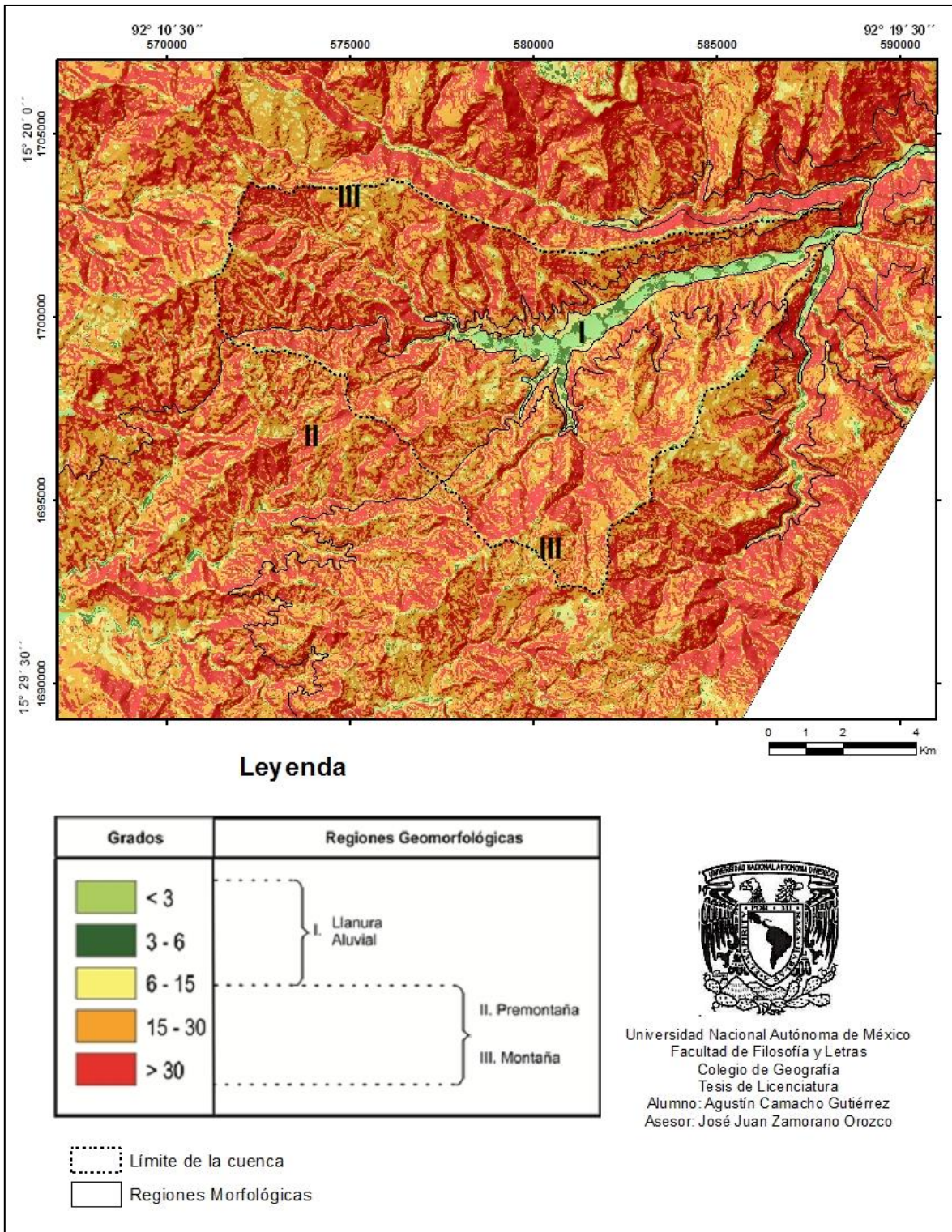


Figura 18. Mapa de Inclínación del relieve. Destaca la Planicie aluvial (I) como una superficie sub horizontal (centro-noreste) que concentra los escurrimientos de las laderas fuertemente inclinadas que integran la Montaña (III) y Premontaña (II).

La acción erosiva en este territorio es intensa y en este proceso el tipo de roca existente (esquistos), favorece esta dinámica. A esta característica se suma una inclinación del terreno heterogénea ($>30^\circ$), que magnifica la acción erosiva de los ríos e incluso de los procesos gravitacionales; no obstante, existen algunos sectores de la montaña en donde los saltos de cabecera no han alcanzado las cimas. Por lo cual, los interfluvios presentan geometrías convexas o planas que en la mayoría de los casos se ocupan para la agricultura o ganadería.

El mapa de inclinación del terreno permitió reconocer los sectores del terreno en donde la dinámica exógena es más susceptible. A partir de esta información es posible establecer zonas de ocurrencia a procesos geomorfológicos tan específicos como la remoción en masa o las inundaciones.

3.3 Densidad de la Disección

La densidad de la disección indica la predisposición del relieve al desarrollo y concentración de cauces fluviales, por tanto tiene relación con la acción erosiva. Se calcula midiendo la concentración de cauces en un área específica, en este caso se realizó en 1km^2 (Lugo, 1988).

En este método se considera que en la mayor densidad de la disección, el terreno es más susceptible a la erosión; de esta manera, se hacen evidentes superficies que favorecen el escurrimiento sobre la filtración y además, de forma indirecta, se conoce el tipo de roca que está involucrada en este proceso.

El método de elaboración de esta cartografía se tomó de Lugo (1988) y Simonov (Zamorano, 1990). Este procedimiento inicia con el trazo de la red fluvial completa, sobre el mapa base de la zona de estudio (topografía). Una vez terminado el proceso anterior, se procedió a medir la longitud de los cauces fluviales con un curvómetro. Para ello se tomó en cuenta una malla de muestreo en donde cada recuadro representa una superficie de 1 km^2 a escala 1 : 50 000. Hay que

mencionar que la medición se hizo tres veces con el fin de obtener un promedio del cálculo.

Los datos obtenidos en la medición, fueron capturados en una hoja de cálculo de *EXCEL (2007)*, de manera posterior se abre el archivo en el programa ArcGis 10.2 para realizar una interpolación por el método *Natural Neighbor*. Con esta información se elaboraron ocho mapas, cada uno de ellos con distintos rangos de densidad que se elegían con el histograma de valores, el análisis de estos documentos determino que el más representativo era en el que los agrupaba en tres categorías. Esta cartografía permite relacionar por un lado, la espacialidad de la geología (permeabilidad), la inclinación del terreno (potencialidad erosiva) y la morfología (geometrías cóncavas, convexas y rectas).

Los valores quedaron agrupados de la siguiente manera:

1 – 3 km / km² : bajos

3 – 6 km / km² : medios

> 6 km / km² : altos

Los rangos establecidos muestran una clara relación con la litología, en particular con granitoides. Cabe señalar que el intemperismo en un clima cálido y húmedo, presenta una mayor eficacia al actuar sobre las rocas (arenización), el sustrato se hace inestable (incluso con una inclinación poco pronunciada) y aumenta su competencia a la erosión. Estas características son las que controlan la amplia distribución de los valores que se consideran como medios (3 – 6 km / km²); en otras palabras, este índice refleja una litología homogénea (Fig. 19).

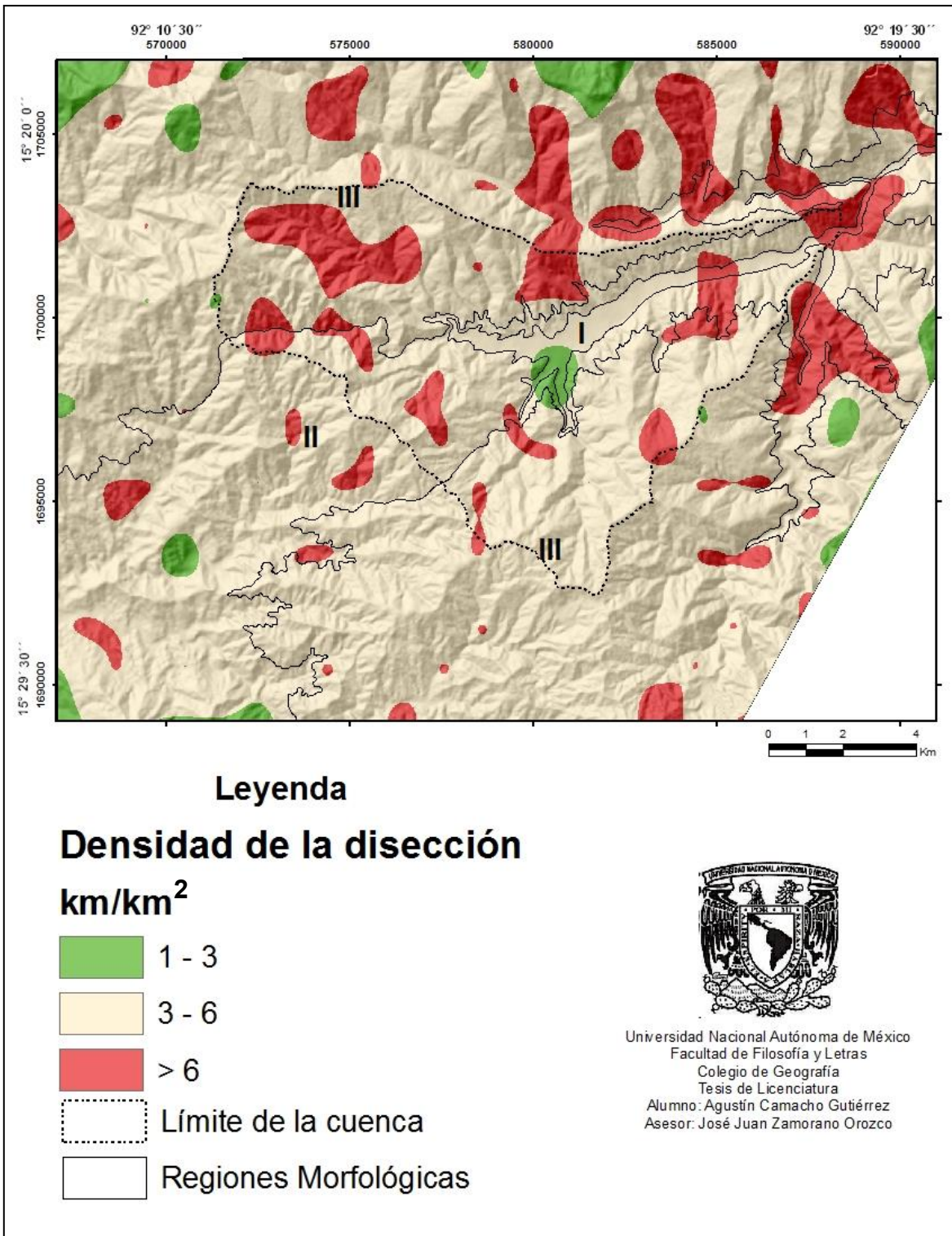


Figura 19. El mapa de densidad de la disección da a conocer (de manera indirecta) la permeabilidad del sustrato y por tanto la capacidad de desarrollar formas erosivas fluviales, responsables principales de la dinámica y evolución de esta zona.

Los factores que condicionan la existencia de los escurrimientos son reflejados de manera indirecta en el mapa de densidad de la disección; entre ellos, hay que considerar la permeabilidad de las rocas. Si el sustrato es impermeable favorece el escurrimiento-erosión y por tanto la presencia de ríos (surcos, cárcavas, barrancos y valles). Esta condición no existe, cuando se trata de coladas de lava recientes o de calizas, debido a la porosidad que están presentes en este tipo de rocas; en ambos casos, la permeabilidad o filtración no favorece el desarrollo de formas erosivas fluviales.

Los contactos litológicos y geomorfológicos, también se hacen evidentes en el mapa de densidad de la disección, ya que al ser zonas de debilidad la acción erosivo-fluvial encuentra las condiciones necesarias para establecer un surco, barranco o incluso un valle.

La inclinación del terreno es otro factor que se puede determinar en este tipo de cartografía; para ello se toman en cuenta los patrones o diseños del drenaje. Si la inclinación es heterogénea en longitud, orientación y geometría, se favorece el desarrollo de sistemas dendríticos y subdendríticos. Por el contrario, si la pendiente es homogénea y gradual, el diseño fluvial será subparalelo o paralelo.

También puede deducirse la competencia de las rocas a la erosión fluvial, factor que depende de numerosas condicionantes que están relacionadas con la consolidación de partículas que integran el sustrato (masivo-detrítico).

También se debe mencionar que la presencia de amplios e integrados sistemas fluviales se vincula con la existencia de condiciones climáticas favorables para su desarrollo y evolución; entre ellos, la precipitación y los fenómenos hidrometeorológicos extraordinarios (ciclones).

A) Valores bajos $1 - 3 \text{ km/km}^2$: son representativos de los terrenos cumbrales en donde las superficies presentan una morfología subhorizontal ($<15^\circ$). En conjunto

se localizan en los terrenos interfluviales. Cuando se localizan en el fondo de los valles también adoptan una morfología subhorizontal ($<3^\circ$), en conjunto definen las planicies fluviales-acumulativas.

B) Valores medios 3 – 6 km/km²: es el rango más representativo, su espacialidad está condicionada por afloramientos de rocas granitoides, que como ya se menciona en condiciones cálidas y húmedas se acelera e intensifica el intemperismo (arenización). Esta característica ha favorecido la existencia de amplios y potentes mantos de alteración, esta capa detrítica ha condicionado el desarrollo de una amplia red de drenaje por la cual importantes volúmenes de material son acarreados y depositados la llanura aluvial.

C) Valores altos > 6 km/km²: su distribución en apariencia no sigue ningún arreglo; no obstante, su ubicación coincide en algunos casos sobre terrenos con presencia de fracturas vinculadas al sistema de fallas Polochic-Motagua, Chimalapa y Horizonte. También se observó que tienen relación con superficies en donde las cortezas de intemperismo alcanzan un espesor mayor a 1m. Por último hay que mencionar que algunas de las laderas con mayor inclinación presentan este tipo de índice.

La litología y su competencia a la erosión, es otra posibilidad de explicar la espacialidad de los valores altos. Al norte de la zona de estudio se disponen sobre conglomerados y areniscas de la Formación Todos Santos (en ambos casos sustratos detríticos). En la porción central su presencia es soportada por los granitos del Tronco de Amatenango y Buenos Aires; ambas estructuras inyectadas en la corteza terrestre en el Mesozoico (Triásico y Jurásico de manera respectiva).

Este mapa refleja las condiciones morfológicas y atributos geológicos que condicionan el desarrollo de causas. La edad también se hace evidente en este tipo de cartografía; es decir, una densa integración fluvial refleja una mayor edad relativa.

3.4 Profundidad de la Disección

Tiene como finalidad mostrar el trabajo de la erosión fluvial en la vertical; para ello se mide la distancia entre el talweg y la ruptura de pendiente más representativa y próxima a la ladera inferior del valle (Simonov en Zamorano, 1990).

La profundidad de la disección tiende a ser mayor en los sitios donde las rocas presentan menor resistencia al proceso erosivo; en esto tiene que ver la inclinación del perfil longitudinal, el carácter abrasivo de la carga o que el escurrimiento se disponga sobre una falla, contacto litológico o geomorfológico.

El procedimiento para elaborar este mapa inicia midiendo y calculando la profundidad del río en áreas de 1 km² (escala 1 : 50 000). Está malla de captura es la que se usa en los mapas morfométricos que se presentan en este capítulo.

Los rangos que se obtuvieron están en pares de decenas, esto se debe a que las curvas de nivel van cada veinte metros. Por esta razón los valles cuyas profundidades son menores al valor de la cota quedan incluidos en el rango mínimo (<20 m); en contra parte, los valles más profundos presentan 80 m en la vertical.

Los valores obtenidos se ingresaron en una hoja de cálculo de EXCEL (2007), para después realizar la interpolación por el método *Natural Neighbor* en ArcGis 10.2 y obtener el mapa correspondiente (Fig. 20). Los rangos de profundidad de la disección se agruparon en tres categorías:

- < 20 bajos
- 20 – 60 medios
- > 60 altos

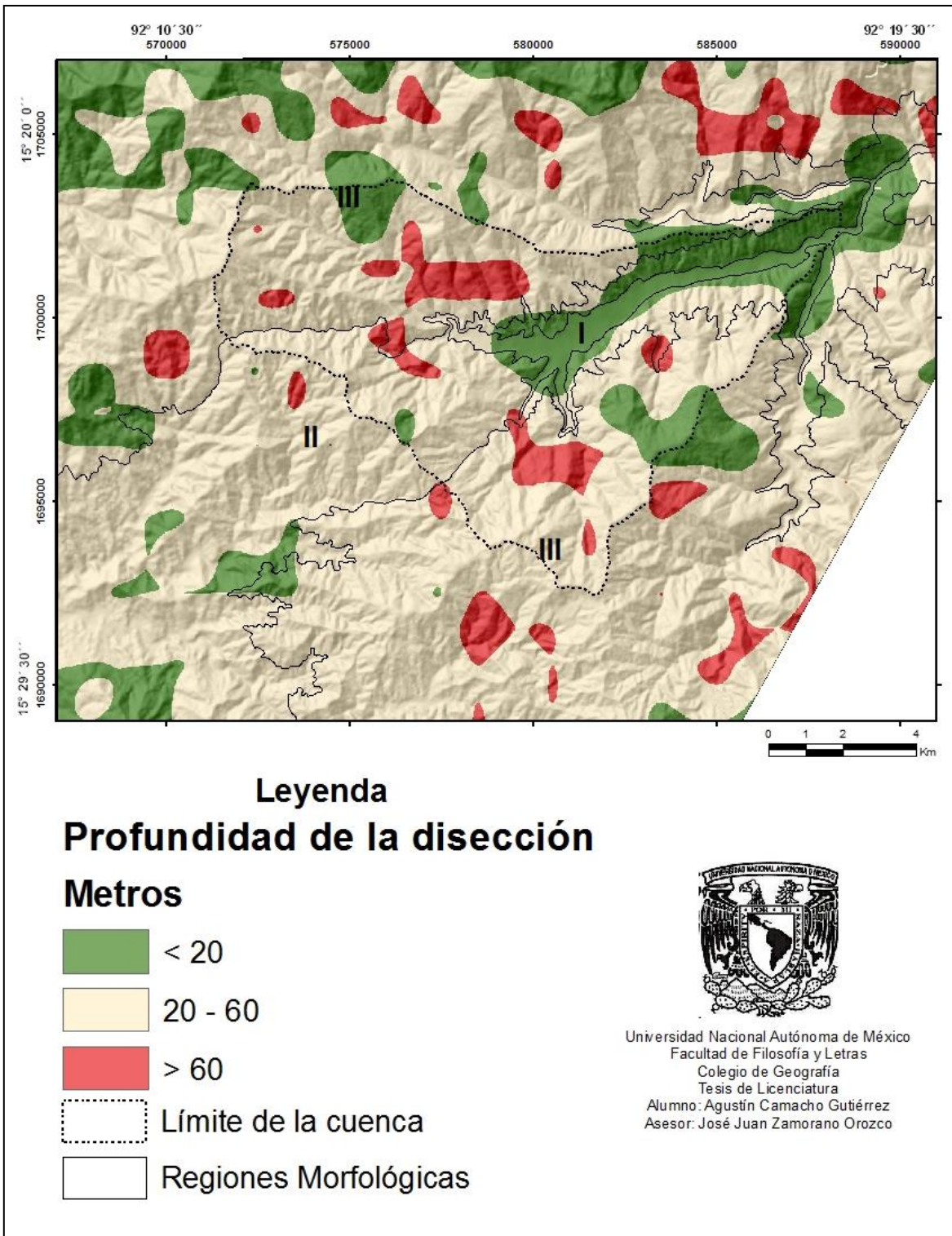


Figura 20. Mapa de profundidad de la disección. Los ríos más profundos se localizan en la zona de montaña y siguen las principales estructuras disyuntivas. Los valles con profundidades entre 20 y 30 m tienen una mayor distribución, debido a que se disponen sobre una litología homogénea. Los menos profundos se localizan en las cimas interfluviales y en las llanuras de inundación de los principales ríos de la región.

A) Valores bajos < 20 m. Se presentan en la planicie aluvial del río Motozintla-Mazapa, en las superficies cumbres y en las laderas de la Sierra Madre de Chiapas. Se distribuyen a manera de polígonos irregulares. En el sector norte se presentan en rocas sedimentarias del Mesozoico de las Formaciones Todos Santos y Sierra Madre. En correspondencia con las rocas graníticas del Batolito de Chiapas del Paleozoico, en la porción central y sur, los valores decrecen debido a la resistencia que presenta el sustrato a ser erosionado.

La inclinación del terreno es otro factor que condiciona la profundidad de la disección, por ejemplo en la llanura aluvial al ser un terreno poco inclinado (<3° a 6°), la sedimentación es el proceso que domina. Condiciones similares en morfología e inclinación también se encuentran en las superficies interfluviales, es decir, los conjuntos montañosos de la zona de estudio presentan una morfología plana y no se desarrollan valles profundos.

C) Valores altos > 60 m. Son característicos de la zona de montaña, este tipo de valles se han desarrollado sobre rocas sedimentarias del Mesozoico. Las fallas han acelerado el proceso de erosión, hecho que se observa en la orientación de los ovalos que caracterizan estos valores (NE-SW y E-O). Existe un fenómeno anómalo en cuanto a la presencia de estos índices, al disponerse en la periferia y en las llanuras de inundación de los ríos Xelajú y Allende (sector central); en esto tiene que ver, el sustrato (granitoides) y una densa malla de fallas que ha favorecido la incisión vertical.

3.5 Energía del Relieve

La amplitud del relieve pone de manifiesto la influencia de la actividad endógena en la configuración del territorio; este aspecto, tiene un vínculo estrecho por el desarrollo de procesos exógenos. Los valores altos de energía, se asocian con una dinámica acelerada y cambios notorios en la expresión del relieve; caso

contrario, los mínimos se vinculan con territorios de aparente estabilidad (Lugo, 1988).

Este mapa hace visibles áreas potenciales y susceptibles a procesos erosivos, que a su vez están condicionados por diferencia altitudinal en una área determinada, estructura geológica, estructuras disyuntivas, tipo de roca, pendiente, intensidad de procesos erosivos y geometría del terreno (Alvarado-González, 2003).

En la elaboración de la cartografía, se respetaron los parámetros utilizados en los mapas anteriores (malla de 1 km² y carta topográfica : 1:50 000). El procedimiento consistió en restar el valor altitudinal más bajo al más alto, tomando en cuenta un área de 1 km². Los valores obtenidos se ingresaron a una hoja de cálculo de EXCEL (2007), se realizó una interpolación por el método *Natural Neighbor* en ArcGis 10.2 y se obtuvo el mapa definitivo, en este documento todos los datos se agrupan en 9 intervalos (Fig. 21)

Para la interpretación de esta información se establecieron tres niveles categóricos de análisis que son los siguientes:

100 – 300 m : bajos

300 – 600 m : medios

> 600 m : altos

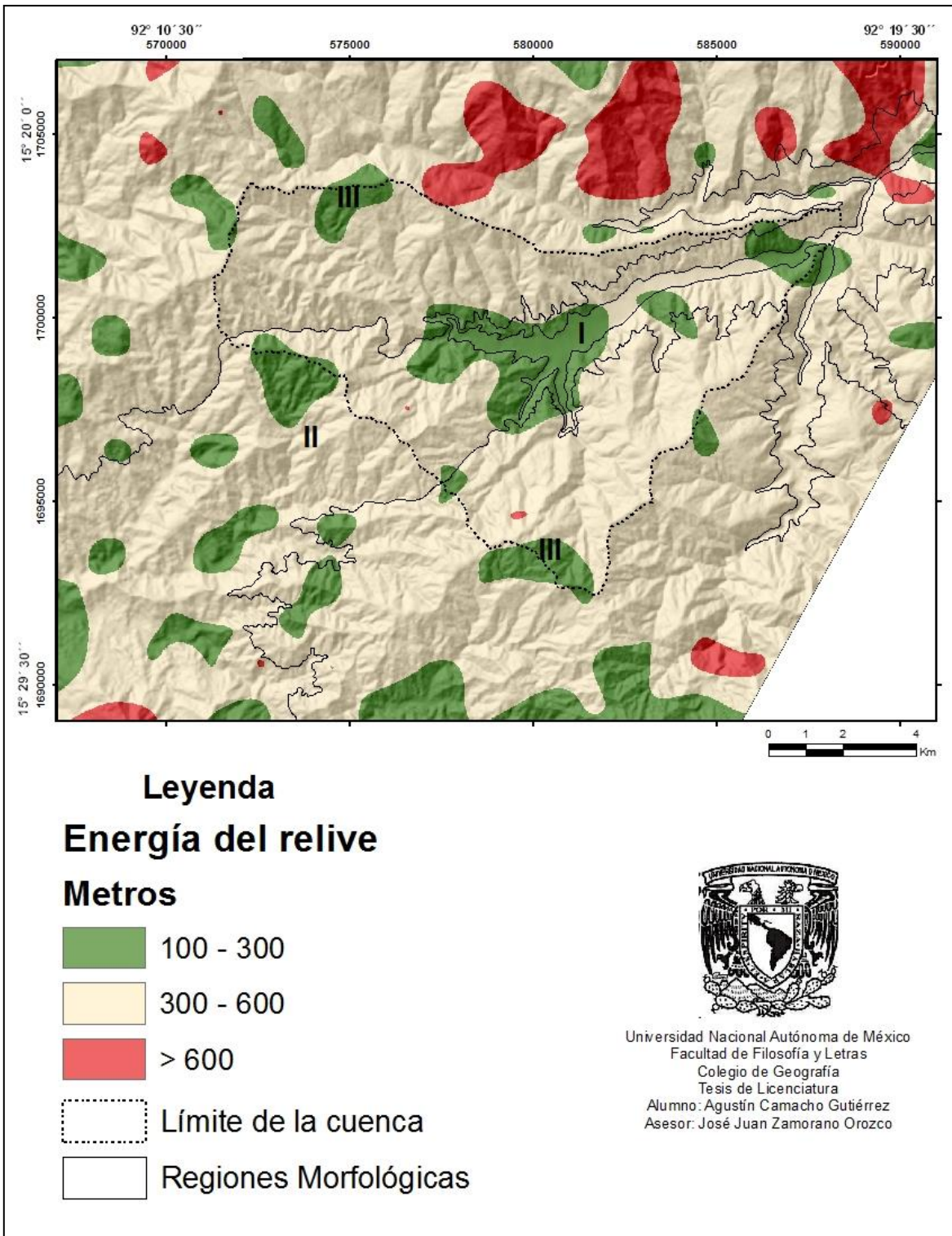


Figura 21. El mapa de energía del relieve pone de manifiesto la influencia de la actividad endógena en la configuración del territorio

A) Valores mínimos 100 – 300 m. Se distribuyen de manera irregular y en ovalos pequeños, no presentan ningún arreglo aparente con la litología, la existencia de fallas o la inclinación del terreno. No obstante concuerdan en el territorio donde confluyen los ríos Xelajú y Allende (sector central), en esta zona se localiza la ciudad de Motozintla de Mendoza. Hay que mencionar que la energía del relieve, no tiene relación directa con la deposición y los acarreos detríticos (bancos arenosos), localizados en la periferia de la ciudad. Las inundaciones son un fenómeno frecuente y están vinculadas a las lluvias extraordinarias que tienen un origen ciclónico.

B) Valores medios 300 – 600 m. Presentan una mayor distribución, hecho que se relaciona con la existencia de un sustrato compuesto por rocas graníticas y una alta densidad de fallas. Estas características hacen que en este territorio se favorezca una intensa actividad fluvial y gravitacional. Estos procesos son la fuente de detritos que serán acarreados y depositados por los ríos en las principales llanuras de inundación.

C) Valores altos > 600 m. Los valores altos están presentes en las cimas de las montañas (sector NE) y evidencian la existencia de circos de erosión activos. Estas formas de relieve son parte de las cuencas de captación de numerosos afluentes. Estos anfiteatros representan una fuente importante de sedimentos para el acarreo fluvial; ya que a su interior, son comunes los desprendimientos y los deslizamientos (erosión remontante).

3.6 Zonificación de procesos de remoción en masa e inundaciones, con base en valores morfométricos.

El mapa de zonificación integra todos los índices morfométricos en uno solo y se considera una primera zonificación de la dinámica exógena, en particular de los procesos gravitacionales y las inundaciones.

Esta cartografía se obtiene de la sobreposición de los valores numéricos máximos y mínimos, de cada mapa: energía del relieve, densidad y profundidad de la disección (Fig. 22). En el análisis de estos documentos se considero la altimetría y la inclinación del terreno, este proceso se realizo mediante la herramienta *UNION* en ArcGis10.2.



Figura 22. El diagrama representa el procedimiento que utilice para obtener la zonificación; en este proceso, se sobrepusieron los valores morfométricos que se obtuvieron en los mapas de energía del relieve, densidad y profundidad de la disección utilizados en esta investigación.

Las cartas topográficas de Huixtla y Motozintla escala 1 : 50 000 (INEGI, 2002), fue el punto de partida del análisis morfométrico integral, de esta manera se revisó cada área obtenida del procesamiento digital. Con el fin de lograr resultados más cercanos a la realidad, se integró información geológica y geomorfológica (morfogénesis). Esta última se consiguió de la interpretación de imágenes de satélite y fotografías aéreas. El resultado fue una nueva versión del mapa de Zonificación por procesos morfométricos, esto hizo posible asociar territorios susceptibles a procesos de ladera ó inundaciones (Fig. 26).

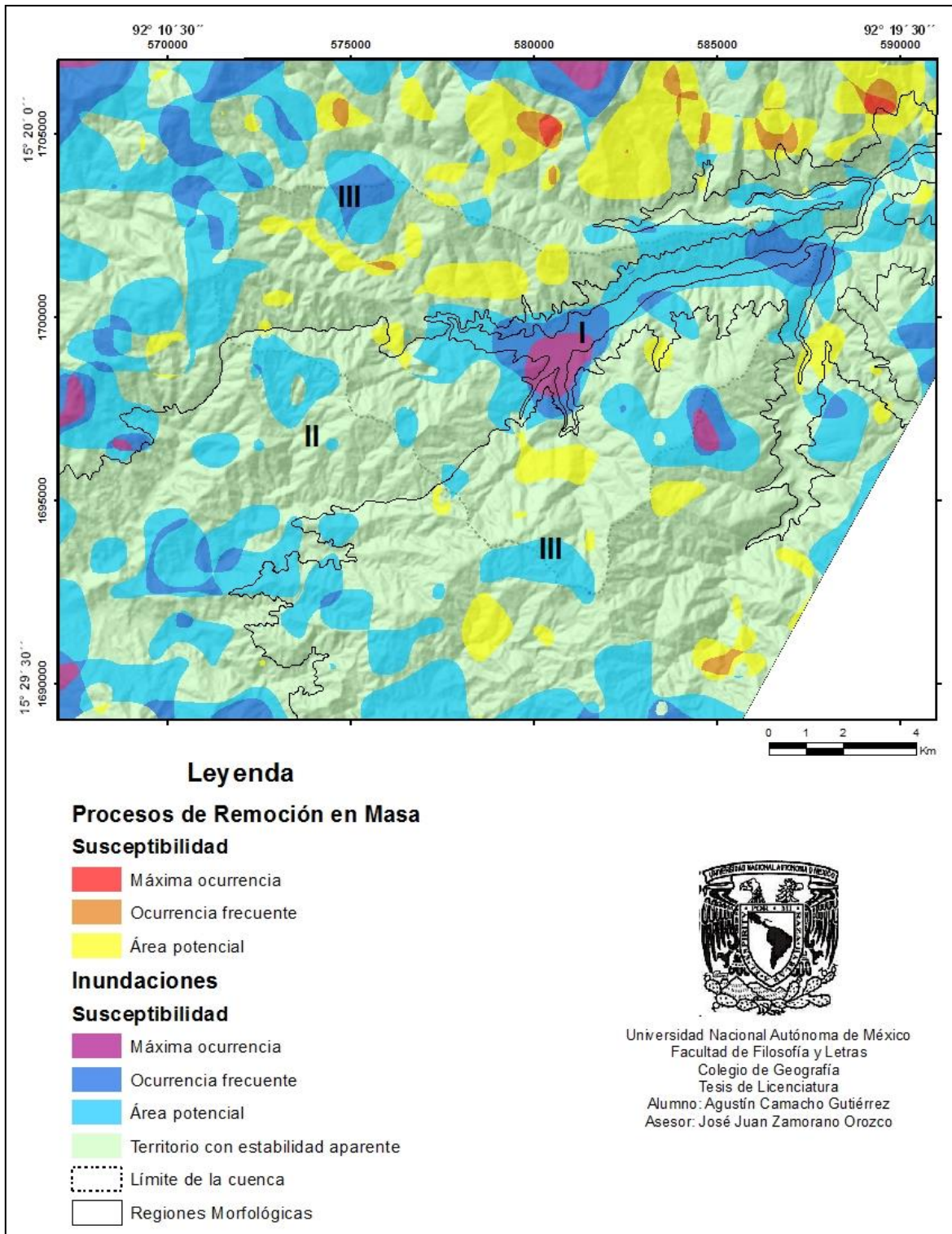


Figura 23. Mapa de Zonificación de procesos de remoción en masa e inundaciones, la realización de esta cartografía tiene como base los valores morfométricos obtenidos en los mapas de Energía del Relieve, Profundidad y Densidad de la Disección. Este documento representa la primera aproximación a zonificar procesos de peligro por métodos indirectos: inundaciones y procesos de remoción en masa.

3.6.1 Asociación con Procesos de Remoción en Masa.

De acuerdo a los parámetros morfométricos, los procesos de remoción en masa presentan una zonalidad desarticulada; es decir en alveolos que en apariencia no tienen ninguna relación espacial, pero si un vínculo con relieves tan específicos como serían laderas con fuerte inclinación, circos de erosión y algunos bordes interfluviales.

Las zonas de **máxima ocurrencia y ocurrencia frecuente**, presentan un arreglo concéntrico, hay que mencionar que estas superficies no son representativas en área porque coinciden con relieves muy puntuales como serían las cabeceras de los ríos en las montañas (cuencas de captación), en laderas de valles muy inclinadas (cañones) y en la periferia de las superficies interfluviales (escarpes de falla o contactos litológicos). A estas condiciones se suma (valido para las dos regiones) la competencia del material a ser movido (sustratos granitoides muy alterados), la presencia de fallas activas y sismicidad (sistema Polochic-Motagua), la inclinación del relieve y la influencia de la precipitación, sobre todo en periodos extraordinarios (Fig. 26). Todos ellos favorecen la presencia de los procesos gravitacionales.

Las **áreas potenciales** a presentar procesos de remoción presentan una espacialidad dispersa y se localizan en el sector NE y SE. En apariencia no reflejan un vínculo particular, más existen los siguientes factores que podrían explicar su distribución y ocurrencia.

El primero de ellos es la litología, el mapa (Fig. 23) muestra un vínculo estrecho con los afloramientos de rocas sedimentarias de la Formación Todos los Santos en el sector NE. Del mismo modo, con rocas ígneas del Batolito de Chiapas y Tronco de Amatenango, en el sector SE. De manera puntual con la esquistosidad y la permeabilidad de los sustratos mencionados.

Otros factores que pueden estar involucrados con la existencia de los procesos de remoción en masa son la erosión fluvial (zapa), la presencia de fallas y la falta de vegetación (por incendios ó sequías). Como una característica particular de la zona potencial, es la existencia de un agente detonador que inicie el proceso como sería la precipitación (intensa y extraordinaria) y actividad sísmica.

3.6.2 Asociación con Inundaciones

El relieve asociado con esta dinámica, son morfologías subhorizontales, ligeramente onduladas y de poca inclinación. Estas características corresponden con la llanura de inundación del río Motozintla-Mazapa y de sus afluentes principales.

En la temporada de lluvias extraordinarias, las aguas fluviales ocupan toda la llanura aluvial; sin embargo, en la zona en donde confluyen los ríos Xelajú, La Mina y Allende con el Motozintla-Mazapa la llanura de inundación se angosta, ya que en este punto rampas y abanicos aluviales invaden el lecho de inundación. A lo anterior se suman las construcciones de la ciudad de Motozintla de Mendoza, que invaden la llanura aluvial lo que reduce y bloquea aún más el paso fluvial, para favorecer la inundación. Por estas condiciones este territorio forma parte del sector de **máxima ocurrencia**.

Las áreas con **ocurrencia frecuente** se presentan a manera de anillos periféricos a la zona de máxima ocurrencia. Las inundaciones de este tipo se ven favorecidas por una serie de obstáculos que provocan que el agua fluvial retarde su flujo y ocupe los valles (llanuras menores) de los principales afluentes (Xelajú, La Mina y Allende), que se conectan a la llanura principal. La existencia de canales de rectificación, diques de contención y construcciones dentro de la llanura aluvial, favorecen este tipo de dinámicas.

Esta zonificación también aparece de manera discontinua en valles fluviales montañosos; en este caso, las inundaciones se asocian a los procesos gravitacionales que han provocado represamientos temporales.

El **área potencial** es característica de las llanuras de inundación e incluyendo terrazas (nivel uno, dos y tres, rampas y la porción distal de abanicos aluviales y conos de deyección), todas estas formas asociadas a la planicie aluvial. La potencialidad está reflejada en la morfología de las formas de relieve mencionadas, todas ellas tienden a ser subhorizontales, ligeramente onduladas o de poca inclinación. En temporada de lluvias extraordinarias, el agua no tiene problema en ocupar estos territorios.

Los territorios con **estabilidad aparente** no son representativos, esta afirmación la hacemos con base en la fotointerpretación a detalle que se realizó en la zona de estudio, en este proceso nos dimos cuenta que existen muchos territorios que presentan las condiciones para ser inundados o bien que tienen una dinámica gravitacional activa. Un factor común de estos procesos identificados en la foto aérea son sus dimensiones, son menores a 20 m; al respecto hay que decir, que la medición morfométrica se realizó en un mapa escala 1 : 50 000 en donde las equidistancias entre curvas de nivel es de veinte metros, lo que significa que rasgos morfológicos y procesos asociados no son detectados por este método. El mapa de zonificación es un documento muy valioso y cuando se interpreta con información geomorfológica, se logra un mapa de peligros cercano a la realidad.

El análisis morfométrico está integrado por diversas variables; para esta investigación se utilizaron: altimetría, inclinación del terreno, energía del relieve, profundidad y densidad de la disección. Los datos obtenidos en cada mapa aportaron elementos que permitieron zonificar la dinámica exógena a partir de características morfológicas y genéticas del relieve.

La morfometría es un método indirecto que tiene limitaciones; en este sentido el mapa base puede ser una de ellas debido a que las lecturas se obtiene de este documento, por tal motivo es necesario interpretar este tipo de información con la cartografía geomorfológica con el fin de lograr una interpretación morfodinámica del área de estudio que permita obtener un mapa de peligros cercano a la realidad. Este aspecto es el objetivo principal del siguiente capítulo.

Capítulo 4. Análisis geomorfológico

La cartografía geomorfológica proporciona información básica acerca de la distribución, configuración espacial y dinámica de las formas y elementos formadores del relieve. Para la elaboración del mapa geomorfológico de la cuenca del río Motozintla-Mazapa, se emplearon los criterios de representación propuestos por Bashenina (1977). En la clasificación del relieve (morfogénesis) se utilizó el sistema taxonómico de Simonov (1985).

La clasificación morfogenética se compone de los siguientes grupos principales; endógeno, endógeno modelado y exógeno, todas las formas identificadas fueron agrupadas en estos tres grandes rubros. De esta manera fue posible identificar la génesis, la morfología, la dinámica, la edad relativa e incluso conocer la evolución del relieve.

El mapa geomorfológico es un inventario de formas de relieve, también es un acercamiento preciso en la entendimiento de la dinámica de construcción y destrucción de cualquier territorio de la superficie terrestre; así mismo, permite identificar procesos peligrosos al hombre y a su infraestructura.

4.1 Mapa Geomorfológico de la Cuenca alta del Río Motozintla-Mazapa (Mapa anexo 1)

El territorio de la cuenca del río Motozintla-Mazapa se representa en un mapa escala 1:20 000 (Anexo 1), su explicación sigue el orden jerárquico de su leyenda que se presenta a continuación y será explicada de manera amplia en este apartado.

I. RELIEVE ENDÓGENO MODELADO

Sierra Madre de Chiapas

1.1 Laderas de montaña modeladas por la acción fluvial y gravitacional. Constituidas en su mayor parte por rocas granitoides, sedimentarias y metasedimentarias

1.1.1 Laderas de montaña con aparente estabilidad

a) Con cubierta vegetal

b) Sin cubierta vegetal

1.1.2 Laderas de montaña inestables

1.2 Superficies interfluviales

II RELIEVE EXÓGENO

A. Erosivo fluvial

2.1 Valles fluviales:

a) > 20 m de profundidad

b) < 20 m de profundidad

2.2 Circo fluvial

B. Acumulativo fluvial

2.3 Llanura aluvial del río Motozintla-Mazapa

a) De inundación estacional (T_1)

b) De inundación extraordinaria (T_2)

c) De inundación excepcional (T_3)

2.4 Abanicos aluviales activos

- a) Recientes y en desarrollo
- b) Con frente escarpado
- c) Con frente tendido
- d) Abanico terraza

C. EROSIVO AREAL

- a) En laderas rectas-cóncavas
- b) En superficies convexas
- c) En cimas y laderas altas

D. EROSIVO GRAVITACIONAL

2.5 Deslizamientos rotacionales

Corona

Superficie de resbalamiento

- a) Reciente
- b) Antigua

2.6 Desprendimientos

Escarpe de desprendimiento

Superficie de caída

- a) Reciente
- b) Antigua

2.7 Corredor de escombros

E) Acumulativo Gravitacional

2.8 Depósitos asociados a deslizamientos rotacionales

- a) Reciente
- b) Antiguo

2.9 Cono coluvial

2.10 Manto coluvial

2.11 Manto o rampa proluvial

F. MOVIMIENTOS COMPLEJOS

2.12 Flujos de lodo

- a) Cuenca de aporte
- b) Depósito

G. ANTRÓPICO

3.1 Mina a cielo abierto

Símbolos complementarios

Talweg

Escarpes

Líneas de flujo

Líneas de flujo en abanicos

Dirección de flujo regional

Posición relativa entre formas de relieve (una respecto a otra)

I RELIEVE ENDÓGENO MODELADO

En este rubro se analizan formas de relieve con un origen mixto o de transición, la génesis inicial de este tipo de relieve es endógena (procesos magmáticos intrusivos, tectónicos y volcánicos), pero han perdido sus rasgos primarios por la acción exógena; es decir, el modelado a cambiado su morfología. En esta categoría se considera la Sierra Madre de Chiapas (SMCh) y a través del análisis de su litología y su acomodo, fue posible entender que movimientos tectónicos permitieron el ascenso de cuerpos intrusivos (granitos) y el metamorfismo de contacto de grandes territorios. Por otro lado los procesos exógenos al exhumar estos cuerpos fueron definiendo la morfología de esta región y determinaron los procesos actuales de modelado. La SMCh constituye una cadena montañosa que tiene una orientación general NW-SE es paralela a la costa del Pacífico.

1.1 Laderas de montaña modeladas por la acción fluvial y gravitacional. Constituidas en su mayor parte por rocas granitoides, sedimentarias y metasedimentarias.

Las laderas presentan heterogeneidad en orientación, longitud, geometría e inclinación (de 15° a 30°). La altitud de este conjunto montañoso varía de los 800 a los 2800 msnm; por lo tanto, los contrastes en el nivel topográfico están relacionados con la dinámica de subducción y esfuerzos estructurales disyuntivos. La erosión fluvial es la responsable del modelado de este territorio, hecho que se reconoce por la existencia de redes fluviales muy densas (3 – 6 km/km²) y profundas (20 - 60 m), que definen un patrón dendrítico bien integrado y que alcanza su máximo desarrollo en sustratos cristalinos, hecho que responde a las condiciones climáticas de la región.

Además de la precipitación, existen otras condicionantes que incrementan la susceptibilidad de las laderas a moverse como: la alteración del terreno (cortezas

de intemperismo), la falta de una cubierta vegetal debido a la actividad agrícola y ganadera. Del mismo modo, el terraceo o nivelación de superficies con fines de construcción de viviendas o infraestructura (vías de comunicación, muros de contención y puentes). De manera más puntual, las vertientes presentan las siguientes características:

1.1.1 Laderas de montaña con aparente estabilidad

a) Con cubierta vegetal

Este relieve está constituido de vertientes graníticas muy inclinadas ($> 35^\circ$), en condiciones de fitoestabilidad; es decir conservan la vegetación original, con todos sus estratos (arbóreo, arbustos y herbáceo). Este hecho hace que los procesos de erosión (fluviales y gravitacionales) no existan o sean incipientes. Es característico del NE, del S y del extremo W de la zona de estudio.

b) Sin cubierta vegetal

Se trata de laderas en donde la vegetación no existe o presenta varios grados de alteración debido al desmonte (agricultura), la tala, los incendios o introducción de pastos. En este proceso la superficie y la dinámica natural del relieve (procesos de modelado) han sido modificadas. Si bien la erosión fluvial y los procesos gravitacionales, presentes en este territorio no son de importancia en la actualidad, es factible que generen dinámicas adversas debido a que existen condiciones naturales para ello. En este sentido, hay que mencionar que son frecuentes las vertientes muy inclinadas, así como fracturas y fallas (en los granitos), disposición de estratos a favor de la pendiente (sustratos sedimentarios) y las modificaciones al terreno (terraceo y nivelación). Estos aspectos le dan el carácter potencial al peligro a estas regiones. Estas laderas montañosas se presentan dispersas en la zona de estudio, siendo las más significativas por el área que ocupan la del NE de Motozintla y la del extremo-E del mapa (Anexo 1).

1.1.2 Laderas de montaña inestables

En este apartado se consideran laderas con una inclinación $> 30^\circ$, de geometría convexa y recta (o combinación entre ambas). Las rocas que las constituyen son granitos y metasedimentarias, este sustrato está cubierto por un manto detrítico de espesor variable (cortezas de intemperismo), en la mayoría de los casos está expuesto a los procesos de erosión, debido a que no existe una cubierta vegetal que lo proteja y por tanto presenta una intensa erosión.

La erosión áreal es el proceso inicial y el que predomina sobre estas superficies, también se conoce con el nombre de arrollada, se vincula con la acción pluvial, está dinámica afecta la parte más exterior de la superficie. De manera gradual y en dirección de la inclinación de la ladera se convierte en un mecanismo lineal. La remoción de materiales se lleva a cabo a través de surcos, en donde el agua de lluvia remueve todos los detritos.

En la movilización de materiales hay que mencionar que al realizar la fotointerpretación, no se observa un plano de deslizamiento o desprendimiento definido, el movimiento inicia a partir de microterrazas (reptación) que se mueven ladera abajo hasta desprenderse. En conjunto es un proceso áreal de preparación de material, muy común en laderas convexas y a favor de la pendiente va aportando material a los escurrimientos a partir de corredores de escombros. Esta forma de relieve es de gran importancia ya que es la manera de proveer de sedimentos a las llanuras fluviales intermontanas. En esta acción la competencia del material al transporte fluvial y a la gravedad juega un papel determinante (cortezas de intemperismo).

La existencia de este tipo de laderas está condicionada por la litología, de manera particular con las rocas sedimentarias y granitoides que afloran en la mitad occidental de la zona de estudio. Este tipo de vertientes ocupan una posición

intermedia entre las que están en contacto con las llanuras fluviales y las que se disponen en la periferia de las cimas.

1.2 Superficies interfluviales

Corresponden a los terrenos cumbrales de geometría convexa ó subhorizontal, también se conocen con el nombre de interfluvios y el parteaguas es parte de este territorio. El proceso erosivo más significativo de este sector es el laminar (por erosión pluvial) y tiene desarrollo sobre la superficie; en los flancos, la dinámica es de tipo erosivo-gravitacional y es la responsable que el área de estos territorios se reduzca y adopten una expresión sinuosa (vista en planta).

En la zona de estudio estas formas de relieve ocupan el sector occidental, se trata de interfluvios angostos asociados a estribaciones montañosas que se disponen al interior de la cuenca alta del río Motozintla. Su amplitud decrece cuando saltos de cabecera, circos de desprendimiento o las pequeñas pero numerosas cuencas de captación de los corredores de escombros, afectan las áreas cumbrales y disminuyen la superficie de este tipo de morfologías por acción de la erosión remontante.

II RELIEVE EXÓGENO

Los procesos exógenos son los responsables de la existencia de relieves erosivos y acumulativos. La fuente energética de esta dinámica proviene de la radiación solar, la fuerza de gravedad y la actividad de los organismos. En la creación de este tipo de relieve intervienen de manera directa tres aspectos; el intemperismo, consiste en la destrucción *in situ* de las rocas. La erosión (o transporte), es la remoción de partículas y la acumulación, la deposición del material transportado (Lugo, 2011).

La intensidad de los procesos exógenos es variable ya que está condicionada por el clima (temperatura y humedad), latitud, altitud, orientación del relieve, morfología y la distancia que tiene el territorio al mar. Estas condiciones se reflejan en el relieve y permiten reconocer secuencias de evolución. De esta manera fue posible identificar las que corresponden a la dinámica fluvial y gravitacional, cada uno de ellos integrados por una variante erosiva y acumulativa.

A. Erosivo fluvial

En este apartado se analizan formas de relieve asociadas con la destrucción mecánica de las rocas por la fuerza de las corrientes fluviales, que dan como resultado la formación de valles (Lugo, 2011). La profundidad, anchura y longitud de estas estructuras la condiciona el clima (precipitación) y la litología (inclinación del terreno, presencia de estructuras disyuntivas y morfología).

2.1 Valles fluviales

Los valles son formas negativas del relieve, al ser de geometría cóncava, concentran la escorrentía en una línea de flujo que se mueve a favor de la inclinación del terreno; de esta manera erosiona y transporta el material en su recorrido (De Pedraza, 1996).

Los ríos de la zona son parte del sistema fluvial Motozintla-Mazapa con tres afluentes principales: Xelajú, Allende y La Mina. Los escurrimientos en conjunto definen dos patrones de drenaje, con base en la clasificación que recomienda Guerra-Peña (1980), son dendríticos y paralelos; los cuales reflejan las condiciones del terreno en donde se desarrollan.

El arreglo dendrítico pone en evidencia sustratos homogéneos en composición, inclinación y competencia (o baja resistencia a la erosión). Al establecerse este tipo de patrón se asegura un rápido desgaste, acumulación de los materiales al

final de los canales y un continuo desmantelamiento de las divisorias; debido a no encontrar obstáculos durante el desarrollo de corrientes tributarias o afluentes y se extiendan por toda la superficie.

Se realizó una jerarquización en función de la profundidad que adquieren los valles fluviales en el territorio:

a) > 20 m de profundidad

Estos escurrimientos presentan un orden jerárquico de corriente entre segundo y sexto orden; todos ellos se integran al río principal. Los de segundo y tercero, se vinculan con procesos erosivos intensos, ya que su dinámica está controlada por la inclinación del terreno y la litología.

Los cauces de tercer orden en adelante, se relacionan con un control estructural; es decir, su disposición responde a una traza disyuntiva existente y que se refleja en la existencia de valles profundos, trayectos rectilíneos y en ángulos agudos.

Las morfologías que predominan en los valles > 20 m (en perfil transversal), son en *V* y *U*. La primera refleja una incisión eficiente que desarrolla vertientes estrechas, inclinadas y profundas; características que favorecen la presencia de procesos gravitacionales: caídas. Los factores que condicionan las características mencionadas, son la existencia de una litología competente, estructuras disyuntivas, contactos litológicos y levantamientos tectónicos (asociados al sistema Polochic-Motagua).

Las morfologías en *U* indican que el potencial erosivo está en sentido horizontal, lo que favorece la amplitud de los valles. En este proceso la remoción en masa (deslizamientos) y la zapa (erosión de la margen inferior de la ladera por la acción fluvial: cavitación), ambos procesos favorecen el desprendimiento en las laderas y por tanto morfologías en *U* y de fondo plano.

b) < 20 m de profundidad

Este tipo de cauces se localizan muy cerca de las zonas interfluviales, en ellos la erosión remontante es el proceso que predomina, favorece el desarrollo de saltos de cabecera a lo largo del talweg, se consideran cauces muy erosivos con valles en V y la jerarquía es de primer orden. Son característicos de la zona de montaña en donde las laderas tienen una inclinación $> 30^\circ$, particularidad que incrementa su potencial erosivo. Esta característica sumada a la morfología del terreno (laderas heterogéneas en longitud, orientación e inclinación), favorece el desarrollo de numerosos cauces.

2.2 Circo fluvial

La morfología de este relieve es cóncava a manera de anfiteatro con laderas muy inclinadas y convergentes, forman parte de la cabecera fluvial o cuenca de captación. El desarrollo de estas formas está ligado a la competencia del material (granitos muy alterados) y a la orientación (retención de humedad-insolación) de las vertientes que los soportan. A esto se suma la presencia de estructuras disyuntivas que favorecen su desarrollo; en cuanto a la cubierta vegetal, se puede decir que su existencia ralentiza o frena el avance de los circos de erosión. La dinámica, en general, se vincula con la acción de los procesos gravitacionales y el acarreo fluvial.

Los circos característicos en la zona de estudio son los inactivos, lo que indica estabilidad (fitoestabilidad); hecho que se relaciona con la existencia de una inclinación moderada de las laderas (perfil de equilibrio), que inhibe la erosión remontante y los procesos gravitacionales. Otro factor que es determinante en la existencia de estas formas de relieve, es la existencia de una cubierta vegetal bien desarrollada en toda el área del anfiteatro.

La concentración principal de circos erosivos inactivos se localiza en el sector NE y el más representativo presenta un eje mayor de 400 m (debido a que tiene desarrollo sobre una falla), mientras su eje menor alcanza los 230 m. Estas formas de relieve no son representativas en la zona de estudio, aspecto que llama la atención porque existen las condiciones litológicas, morfológicas y climáticas que propiciarían su desarrollo. Probablemente la precipitación en un pasado no muy lejano era de menor intensidad con respecto a la actual ó bien la vegetación en concordancia con un clima cálido y húmedo no permitió el desarrollo de este tipo de relieves negativos.

B) Acumulativo fluvial

Las corrientes fluviales al alcanzar su nivel base (local o general), pierden energía y capacidad de carga; por lo cual, deposita los sedimentos y construye nuevos relieves acumulativos. La variedad y dimensiones de las formas resultantes, dependen de la intensidad del proceso erosivo inicial y del volumen de material movilizado. De esta manera se origina una secuencia de formas deposicionales vinculadas con la llanura aluvial del río Motozintla-Mazapa, entre las más importantes destacan las siguientes:

2.3 Llanura aluvial del río Motozintla-Mazapa

Se trata de una superficie subhorizontal, ligeramente inclinada con algunos sectores en lomeríos. Este es el terreno más deprimido de la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa y al mismo tiempo es el colector fluvial de todos los afluentes que drenan la zona de montaña. Esta área se constituye por depósitos aluviales que pueden desarrollar secuencias de terrazas, estas estructuras separan límites dinámicos; es decir, áreas con distintos tipos de inundación (estacional, extraordinaria y excepcional).

El rasgo más significativo de la llanura aluvial es el desarrollo de un patrón de drenaje trenzado, que se caracteriza por la existencia de numerosos canales que se intersecan; entre ellos, existen bancos de arena de diferente altura y espesor que los separan, la competencia de estos materiales hace de este territorio una zona de constantes cambios morfológicos.

El cauce del río Motozintla-Mazapa fue modificado a la altura de la ciudad con el mismo nombre; debido al crecimiento fue necesario hacer este tipo de obras para ganar espacios en donde se pudiera construir infraestructura urbana. Entre los cambios más significativos se tiene la rectificación del canal a partir de bordos que no solamente corrigen la dirección del río, también tienen la función de proteger los asentamientos humanos, los cultivos y las vías de comunicación del efecto de las inundaciones.

En esta superficie el proceso dominante es la acumulación y representa la zona de influencia actual o funcional del cauce; dentro de ella, no existe diferencia altitudinal y la pendiente no es significativa ($<6^\circ$). Los detritos aluviales que la integran, adoptan diversas morfologías, las más significativas son abanicos aluviales (dentro de la planicie), terrazas (marginales, centrales, longitudinales, transversales y diagonales), bancos arenosos y diques naturales. Todas estas formas integran una llanura aluvial orientada de W-E, de 21 km de longitud, una amplitud promedio de 1.5 km y un área de 4,030 km².

En la llanura aluvial del río Motozintla-Mazapa fue posible distinguir tres niveles de inundación. Cada una resalta diferentes etapas de crecida, que afectan a la llanura y dependen de la intensidad y cantidad de lluvia (estacional y ciclónica). A continuación se explican las morfologías asociadas a cada uno de las características mencionadas.

a) De inundación estacional (T_1)

La dinámica de estas morfologías se encuentra condicionada por la precipitación de la región; se localizan a lo largo y ancho de la planicie; su permanencia es efímera, debido a cambios constantes provocados por el incremento del caudal, hecho que favorece cambios morfológicos significativos en cada temporada de lluvias, las terrazas de este rubro pueden llegar a cambiar su expresión por completo cada año.

Un aspecto a destacar sobre esta unidad, es la heterogeneidad de formas y dimensiones que se presentan como consecuencia de una reducción en la amplitud de la planicie. Este hecho se vincula con el emplazamiento de un abanico aluvial de grandes dimensiones que atraviesa la planicie principal en dirección NNO-SSE. El origen de esta estructura es el río Cañada del Mango, localizado al E del río Allende (mapa anexo 1). Esta forma de relieve retarda el flujo fluvial y por tanto se deposita la carga y se favorece el depósito (río arriba), de esta manera, las terrazas denominadas como T_1 crecen en la horizontal y en la vertical y por tanto son las más extensas (1 a 2 km de largo, 250 a 400 m de ancho y un área que varía de 170 km² a 400 km²).

El abanico en cuestión funciona como un *cuello de botella*, en donde el escurrimiento gana velocidad y aumenta su poder erosivo. De esta manera, todas las terrazas T_1 localizadas al E del cono aluvial, son destruidas por la fuerza fluvial y se presentan a manera de manchones con dimensiones y áreas heterogéneas. Esto hace evidente una dinámica fluvial de alta energía vinculada a un patrón de drenaje trenzado. En la medida que la velocidad del río decrece, las terrazas incrementan su área y su continuidad como se observa en el extremo NE.

b) De inundación extraordinaria (T_2)

Son superficies con mayor estabilidad a las T_1 y están bajo la influencia de la temporada de lluvias ciclónicas, que al generar precipitaciones atípicas favorecen el desbordamiento de los cauces y con ello inundaciones de mayor impacto. Estructuras de este tipo son características de la porción centro-oeste de la llanura aluvial del río Xelajú. También son comunes en los flancos de abanicos aluviales que se emplazan en las márgenes de la llanura principal (Motozintla-Mazapa). En comparación con las T_1 ; las T_2 son de menor dimensión, no rebasan los 800 m de largo, presentan 150 m de ancho y su área promedio es de .2 km². Las T_2 son el límite máximo que pueden alcanzar las inundaciones vinculadas con las lluvias ciclónicas.

C) De inundación excepcional (T_3)

Estas estructuras representan el nivel de inundación excepcional que se asocia a eventos poco frecuentes como sería la combinación entre por lo menos dos de los siguientes fenómenos: lluvia extraordinaria, ciclón y frente frío. Estas superficies al encontrarse en una posición altitudinal mayor, las hacen más estables y seguras, por lo que son utilizadas para asentamientos humanos y agricultura.

Las estructuras más representativas se localizan al centro de la zona de estudio y se vinculan con la llanura principal (Motozintla-Mazapa); de igual forma, están presentes en el extremo NE y sobre ella se emplaza el poblado de Mazapa de Madero. Esta estructura es la más importante por el área que ocupa (.12 km²), su longitud (990 m) y su amplitud (183 m).

Las terrazas T_2 y T_3 son indicadores del potencial o magnitud con la que pueden presentarse los agentes modeladores del relieve exógenos, a pesar de estar en un nivel altitudinal más elevado que las T_1 , no están exentas de la ocurrencia de procesos geomorfológicos de peligro (inundaciones).

2.4 Abanicos aluviales activos

Son formas acumulativas asociadas a los afluentes que drenan hacia la llanura de inundación del río Motozintla-Mazapa; al desembocar la corriente en un relieve de menor pendiente, provoca que la carga se deposite. La morfología característica de los abanicos es de un medio cono, ligeramente inclinado (3° - 15°), con un perfil longitudinal convexo (Lugo, 2011; De Pedraza, 1996).

Este tipo de morfologías representan un relieve de transición entre la zona de premontaña y la llanura de inundación del río Motozintla-Mazapa. Se han identificado varias unidades de acuerdo con sus dimensiones y se dividen en:

a) Recientes y en desarrollo

Se forman por un continuo acarreo de detritos que tienen su origen en los procesos gravitacionales presentes en las laderas de los valles fluviales, así como en la cuenca alta. Estos materiales al ser acarreados río abajo, mantienen el desarrollo continuo de estas estructuras. Se reconocieron tres estructuras con estas características y se localizan en el sector centro-este y dos más en el extremo NE (mapa anexo 1).

En la actualidad estas formas de relieve han sido modificadas por la actividad agrícola y urbana, año con año este uso está en peligro debido a la dinámica activa (sedimentación), presente en este tipo de relieve.

b) Con frente escarpado

Este tipo de abanicos se disponen sobre la llanura de inundación principal, por lo que se ve expuesto a la erosión fluvial en la temporada de lluvias estacionales y extraordinarias. En estos periodos la parte distal del abanico es *cortada* y le imprime una morfología de terraza con bordes sinuosos, esta última característica

está vinculada con la zapa. Esta morfología se ve favorecida por el material poco consolidado del depósito.

c) Con frente tendido

Estas estructuras conservan la morfología original de un abanico, característica que han mantenido por haberse emplazado sobre una terraza amplia, que por su altura esta fuera de la dinámica fluvial de la llanura de inundación. La porción distal de este tipo de abanicos se funde con la terraza y los ejemplos más representativos son los que se vinculan con los ríos La Mina y Allende, hay que mencionar que en la coalescencia de ambos se localiza la ciudad de Motozintla de Mendoza.

En la actualidad la dinámica de los abanicos mencionados ha sido alterada por la presencia de la ciudad, no obstante los ríos que los drenan (La Mina y Allende), continúan arrastrando materiales y parte de ellos son depositados en la misma ciudad.

c) Abanico terraza

Son superficies relictos de un abanico temprano que fue abandonado en la vertical a manera de terraza (debido a un cambio en el régimen fluvial o a movimientos tectónicos). Esta forma relicto, sugiere que la mayor parte de la antigua estructura fue desmantelada por la acción fluvial y la remoción de los sedimentos generó un nuevo cono, cuyo ápice se emplazó en la porción central de la forma primigenia.

C. EROSIVO ÁREAL

En esta categoría se analizan las morfologías asociadas con la erosión laminar, proceso que consiste en la remoción de detritos no consolidados o suelos, por efecto de la arrollada o escorrentía difusa. Este proceso tiene como característica remover el sustrato superficial a partir de números hilillos de agua centimétricos,

inestables y sinuosos que pueden transformarse en un manto o lamina de agua, en dirección de la pendiente diferencial. Este fenómeno se magnifica en superficies de geometría convexa y desprovista de vegetación y se considera el antecedente de la erosión lineal. Las estructuras que se han identificado se explican a continuación:

a) En laderas rectas-cóncavas

Corresponde a un tipo de erosión áreal-difusa que se asocia a bordes de surcos y canales estacionales, todos ellos tributarios de barrancos profundos (> 20 m). Estas superficies presentan una geometría recta que alterna con sectores ligeramente cóncavos. Sobre estos terrenos la remoción de detritos se lleva a cabo por efecto de la gravedad y a través de los corredores de escombros. Este proceso prevalece en la temporada de estiaje, periodo en el cual los materiales (diluviones) quedan *atorados* en los efímeros talwegs y en espera de ser acarreados por la acción fluvial río abajo.

Este tipo de morfología es común en el sector W y se desarrolla sobre sustratos metasedimentarios y granitoides muy alterados, en donde la inclinación de la superficie es > 30°, el área de afectación de este proceso se ha calculado en 5 524.91 km².

b) En superficies convexas

Estas superficies se vinculan con la erosión áreal-difusa y está presente en terrenos de geometría convexa. Se presenta a manera de alveolos erosivos con superficies que varían de 1 a 10 m², si bien en área no son importantes, en densidad sí, no presentan un arreglo aparente y también reciben el nombre de *terrenos leprosos*.

Sobre estas superficies se mueven grandes volúmenes de detritos o suelos; en ambos casos, poco consolidados. El movimiento de las partículas se lleva a cabo por efecto de la arrollada, proceso que se asocia con los corredores de escombros en la parte media y baja de las laderas, o bien en la cercanía de las cabeceras de barrancos profundos. Hay que mencionar que no se observa un escarpe definido que indique el límite de las zonas de afectación, pero es claro que en el momento que la carpeta vegetal aparece, está dinámica se retarda o se *desvanece*. La superficie afectada se calcula en 2 625.96 km² y es características del sector W.

c) En cimas y laderas altas

En estos terrenos se presenta un grado de afectación severo; en otras palabras, corresponde al grado de evolución máximo que alcanzan los procesos ya explicados en los dos incisos anteriores (a. laderas rectas-cóncavas y b. superficies convexas).

La expresión morfológica de este proceso corresponde al de un manto detrítico a manera de diluviones, este material sobrepuesto cubre las cimas y se extiende sobre la porción alta de las laderas. Es importante mencionar que el grado de afectación es tan intenso que no es posible determinar el área fuente, en este caso todo el terreno afectado tiene esa función.

Este tipo de dinámicas se presenta en terrenos cuya inclinación es $> 30^\circ$ y en donde los materiales involucrados son rocas metasedimentarias y granitoides muy alterados. El área de afectación por este proceso es de 10 616.41 km² y está presente en toda el área de estudio.

D. EROSIVO GRAVITACIONAL

En este apartado se analizan las morfologías que evidencian movilización de masas de roca y detritos que fueron desplazados ladera abajo. Los fenómenos hidrometeorológicos (lluvia estacional, huracanes y frentes fríos), que afectan cada año a la cuenca, aunados a una litología poco consolidada y una tectónica activa, favorecen la ocurrencia de procesos gravitacionales. Los movimientos que se han identificado en la zona de estudio son: deslizamientos rotacionales, caídas o desprendimientos, corredores de escombros y flujos de lodo. A continuación se analiza cada uno:

2.5 Deslizamientos rotacionales

Son movimientos de suelo, detritos o rocas que resbalan sobre una superficie reconocible de forma escalonada y continúa. Al interior de la masa movilizada se reconocen grietas transversales que se localizan en la zona cercana al escarpe principal y que son perpendiculares a la dirección de la pendiente y del movimiento del material. La superficie de ruptura define el tipo de deslizamiento, por lo que geometrías curvas, cóncavas o en forma de cuchara se asocian a deslizamientos rotacionales (Alcántara-Ayala, 2000).

Las morfologías que se reconocieron en los deslizamientos de tierra son dos, la primera se caracteriza por conservar los rasgos primarios de esta forma de relieve gravitacional; es decir, los límites de la corona de desprendimiento son claros y bien definidos, en la superficie de resbalamiento no se observa ningún rasgo erosivo y se presenta como una superficie sin resaltes topográficos, que se inclina entre 20° y 25°. El depósito conserva las crestas de compresión bien marcadas y sobre esta superficie, ligeramente ondulada, no ha tenido desarrollo ningún rasgo erosivo asociado con los procesos fluviales. Estas características se asociaron con una edad reciente de la estructura. En cuanto a sus dimensiones el eje mayor medido desde el borde de la corona hasta el pie del deslizamiento en promedio

alcanza los 280 m de largo, la amplitud es de 246 m y el volumen se acerca a los .04 km². Las unidades más representativas se localizan al SW de la ciudad de Motozintla de Mendoza.

El los deslizamientos de tierra que integran el segundo grupo, presentan rasgos primarios modificados por la presencia de saltos de cabecera en las coronas; lo que provoca que pierdan su forma de media luna y se desarrolle un límite sinuoso. En cuanto a las superficies de resbalamiento y el depósito, presentan un grado de erosión fluvial que se puede reconocer por la presencia de canales y surcos fluviales, estas formas de relieve se han considerado como antiguas. Las dimensiones del eje mayor varían de 100 m a 1.2 km, la amplitud se presenta de 45 m a 740 m y las áreas van de los .05 km² a a 1 km². Este grupo se localiza al E y W de la ciudad de Motozintla.

Corona

Se define como un escarpe poco álgido y de perímetro bien definido. Está morfología señala el inicio del movimiento y desprendimiento del material, por lo tanto, es la zona de ruptura donde se origina la dinámica de movilización (Alcántara-Ayala, 2000). El intemperismo, espesor del suelo, la inclinación del terreno y el acomodo de los materiales, desempeñan un papel importante para su formación. Su expresión en la cartografía es un elemento lineal y en el mapa topográfico se puede reconocer por que la configuración de las curvas de nivel en forma de U en dirección contraria a las pendiente.

Superficie de resbalamiento

Es el área sobre la cual ocurre el deslizamiento de los materiales, también se conoce como plano de deslizamiento. Para la zona de estudio, esta estructura presenta una fuerte cohesión de los materiales que la definen y mayor resistencia

al desplazamiento. Sus dimensiones son variables y dependen del volumen y distancia que alcanza el material removido (Alcántara-Ayala, 2000).

a) Reciente

Su génesis se vincula con dos aspectos, el primero los movimientos neotectónicos asociados con el Tronco granítico de Buenos Aires y la actividad en el sistema disyuntivo Polochic-Motagua; el segundo con las lluvias extraordinarias en mayor medida. Estas formas de relieve son de menor dimensión, en comparación con las que hemos denominado antiguas. Sin embargo no se descarta la posibilidad de una reactivación del fenómeno y la presencia de un área de impacto mayor. Hay que mencionar que la falta de vegetación en toda la estructura, favorece que el agua de lluvia tenga una mayor influencia sobre los detritos y por lo tanto la potencialidad de ocurrencia de un nuevo movimiento.

b) Antigua

En cuanto a su génesis, se cree que estas estructuras tuvieron influencia de la neotectónica que afectó al Batolito de Chiapas. También tuvo que ver la competencia de los materiales a ser afectados por los procesos gravitacionales, en particular, con las calizas de la formación Sierra Madre que se disponen en todo el sector norte de la zona de estudio.

2.6 Desprendimientos

Se trata de movimientos en caída libre que se originan por el desprendimiento de material (rocas, detritos y suelos), desde una superficie inclinada. En este proceso los materiales involucrados pueden rebotar, rodar, deslizarse o fluir ladera abajo (Alcántara-Ayala, 2000).

En la interpretación de fotografías aéreas (INEGI, 1998, 2006; INEGI SINFA, 1996 Y DETENAL, 1973), se pudo diferenciar desprendimientos antiguos y recientes tomando en cuenta la existencia de una carpeta vegetal (no necesariamente bien desarrollada en los primeros). Los más jóvenes sobre su superficie no soportan ningún tipo de vegetación. Los tempranos presentan una longitud que varía entre 60 m y 400 m, la amplitud es de 134 m a 583 m y el área es de .084 km² a 0.8 km². Los tardíos mantienen una longitud menor que los primeros, en este caso los valores son de 88 m a 265 m, la amplitud de los depósitos va de 60 m a 600 m y el área mínima se calculó en .036 km² y la máxima en 0.1 km².

En la zona de estudio este tipo gravitacional está relacionado con la actividad de las fallas, por esta razón su espacialidad muestra dos claros lineamientos que atraviesan de SE-NW y NE-SW (arreglo ortogonal), la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa.

Escarpe de desprendimiento

Se trata de una superficie cercana a los 90° de inclinación, esta limitada por un escalón en su porción superior (< 1m), se dispone en la parte alta de las laderas o en terrenos muy cercanos a la cima, en cualquiera de los dos casos su arreglo es paralelo al valle fluvial y adopta una geometría recta-sinuosa. La morfología en conjunto tiende a ser triangular-trapezoidal. Los factores que están involucrados en el desarrollo de esta forma de relieve es el intemperismo (espesor del suelo), la disposición de los materiales (en dirección a la pendiente regional), la presencia de fallas (activas) y la sismicidad.

Superficie de caída

Corresponden al área de tránsito de los materiales en caída libre, la inclinación de estas superficies varía entre 35° y los 90°. La geometría se caracteriza por ser recta, ligeramente cóncava o en *gradería invertida*.

Estas superficies se disponen en los transectos donde los escurrimientos presentan cambios en su trayectoria (sinuosidades o curvaturas), esta particularidad favorece la presencia de la *zapa* y la eminente caída de la ladera superior por falta de soporte.

a) Reciente

Los desprendimientos tardíos tienen la característica de presentar superficies *limpias*; es decir, sin evidencias erosivo-fluviales (canales o surcos), sus límites están bien definidos, no soportan ningún tipo de vegetación y no se descarta que presenten algún tipo de movimiento gravitacional.

b) Antigua

La presencia de surcos, canales y cárcavas sobre las superficies antiguas, son su característica principal. Los límites no son claros, debido a la existencia de numerosos saltos de cabecera en las fronteras; por tanto, la erosión remontante es la responsable de cambiar los límites rectilíneos a sinuosos o bien disimularlos. Hay que mencionar que algunos de ellos presentan relativa estabilidad; pero son los menos, hecho que se debe a la existencia de una carpeta vegetal que retarda o no permite la actividad erosiva (fluvial-gravitacional).

2.7 Corredor de escombros

Son canales alargados y estrechos en las vertientes, el proceso que da origen a estas formas de relieve es la fuerza de gravedad y la acción fluvial; ocasiona que bloques de distinto tamaño se desplacen ladera abajo. En la temporada de lluvia la dinámica de estos surcos es modificada o se intensifica. Su disposición en la cuenca tiene mayor concentración en el sector W de la zona de estudio y en promedio presentan longitudes que van de los 40 m a los 220 m. Estas estructuras tienen relación con superficies de desprendimientos complejos en laderas de valle

(de bloques y detritos), debido a que en el depósito hay una reactivación de los materiales que fueron movilizados, siendo esta la zona de aporte.

E) Acumulativo Gravitacional

En este inciso se explica la morfología de los depósitos asociados a deslizamientos y caídas. Los primeros, se caracterizan por tener una disposición perpendicular a la corona y en planta adoptan formas de flujo, triángulo o manto. A su interior desarrollan líneas de compresión, que se asocian con una hidratación y un movimiento posterior a su emplazamiento. La densidad de cauces sobre estas superficies, permitió diferenciarlos en recientes y antiguos (edad relativa). Por otro lado, los materiales asociados a las caídas, tienen una disposición paralela al escarpe que les dio origen y no presentan una morfología definida.

2.8 Depósitos asociados a deslizamientos rotacionales

a) Recientes

Se distinguen por su morfología original, escalones, crestas de compresión y de flujo. Sobre estas superficies no hay desarrollo de cauces, estas características ponen en evidencia su reciente ocurrencia. La morfología en gradería sobre el depósito, indica el tipo de movimiento que les dio origen (rotacional).

Hay que mencionar que los depósitos de este tipo están vinculados con terrenos en donde no había antecedentes de procesos gravitacionales; es decir, no son reactivaciones. El desplazamiento de los materiales no es de importancia, este hecho se observa en la longitud y amplitud promedio de la acumulación, en ambos casos es de 222 m. El área total de todas estas formas de relieve, suman 0.182 km² y todas ellas se localizan al SW de la Ciudad de Motozintla.

b) Antiguos

La morfología original de estos depósitos ya no se reconoce, en esto tiene que ver la competencia del material que favorece la existencia de cárcavas y barrancos (>20 m). Otro factor que se suma a su transformación, es la continua hidratación que los reactiva y favorece su avance ladera abajo.

Las dimensiones de este tipo de depósitos son mayores que en el caso anterior, el promedio de longitud es de 781 m, la amplitud de 514 m y el área total es de 3.65 km². Se presentan asociados al río principal y a los afluentes más importantes, la mayor densidad de este tipo de formas de relieve se localiza en el sector oriental de la zona de estudio, esta disposición está estrechamente relacionada con la litología (granitoides alterados).

2.9 Cono coluvial

Se trata de un depósito con morfología de medio cono inclinado, que se localiza a la salida de un corredor de escombros muy activo, que forma parte de la ladera del valle principal del río Xelajú. Este tipo de relieve no es característico de la zona de estudio, solo existe una unidad, hecho se explica por el material con el que está constituido, detritos sobrepuestos que se integran con facilidad a la carga fluvial de cualquier cauce. Por esta razón se deduce, que la estructura identificada es de edad muy reciente, su inclinación es $> 30^\circ$, presenta una longitud de 148 m, su amplitud es de 114 m y su área de 0.007 km².

2.10 Manto coluvial

Estas superficies se generan a partir de la coalescencia de conos coluviales en un espacio reducido, de esta manera la forma original de cono se pierde y se obtiene un manto detrítico con inclinación $>30^\circ$. Este tipo de superficies son escasas debido a que están constituidas de detritos sobrepuestos que fácilmente son

transportados por los escurrimientos estacionales o extraordinarios. Todos ellos se asocian con el río Xelajú (sector W). En promedio la longitud que alcanzan estos mantos es de 275 m, su amplitud de 128 m y el área total de todos ellos suma 0.109 km².

2.11 Manto o rampa proluvial

Estas superficies resultan de la sobreposición de abanicos aluviales, en el proceso se pierde la morfología individual e integran una rampa o manto en donde la inclinación es $< 15^\circ$. La morfología de estas superficies es regular, en la mayoría de los casos se pueden definir como terrenos subhorizontales ligeramente inclinados. El drenaje que tiene desarrollo sobre estos terrenos generalmente indica el antiguo límite entre abanicos, que formaron la estructura. Son frecuentes en el valle del río Motozintla-Mazapa y en los afluentes que alimentan el escurrimiento principal. La longitud promedio es de 650 m, la amplitud de 264 m y la suma del área de todas ellas es de 0.873 km².

F. MOVIMIENTOS COMPLEJOS

Se consideran dinámicas complejas cuando se combinan por lo menos, dos tipos de procesos gravitacionales; en nuestro caso, depósitos asociados a deslizamientos, desprendimientos y su evolución a flujos de lodo. Esta dinámica involucra un continuo reacomodo de materiales, a tal grado que en ocasiones es difícil determinar la zona de aporte o de desprendimiento del lóbulo.

En esta categoría se analizan formas de relieve complejas; donde se vinculan dos procesos en apariencia opuestos (acumulativos y erosivos). De manera particular nos referimos a depósitos asociados a diferentes procesos gravitacionales (deslizamientos o desprendimientos), que han sido *retrabajados* por la acción fluvial, en la temporada de lluvias, ciclones tropicales y frentes fríos.

2.13 Flujos de lodo

En este tipo de remoción, la superficie de cizalla se encuentra muy próxima al depósito, por lo tanto tienen poca duración, haciendo difícil su observación. El movimiento de los flujos es muy parecido al de un flujo viscoso, razón por la que la distribución de velocidades no es homogénea y origina la formación de lóbulos que involucran todo tipo de materiales disponibles (Alcántara-Ayala, 2000).

La particularidad de los flujos de lodo que existen en la zona de estudio, es el vínculo entre los depósitos asociados a desprendimientos y los deslizamientos. De manera particular con la inclinación del terreno, el tipo de materiales y su rehidratación a partir de lluvias extraordinarias o presencia de un aporte permanente de agua (manantiales). Este tipo de *corrientes detríticas* tiende a desplazarse por valles fluviales *río abajo*.

a) Cuenca de aporte

Se trata de superficies de aporte de detritos, su área mínima está representada por la zona de afectación de un deslizamiento de tierra (corona, superficie de desplazamiento); y la máxima, involucra un área más grande que por lo general corresponde a la cuenca alta de un sistema fluvial. Este territorio por encontrarse cerca de las divisorias, presentan inclinaciones del terreno abruptas que propician numerosos procesos gravitacionales (deslizamientos de tierra y desprendimientos) y por consiguiente abunda el material fragmentado (detritos), que más tarde será removido ladera abajo en una mezcla de detritos y agua. Su longitud es de 290 m, la amplitud promedio es de 211 m y el área de .04 km².

b) Depósito

La morfología del depósito asociado a los flujos de lodo es de lóbulo o lengua, sobre su superficie es posible reconocer crestas de compresión que están

orientadas de acuerdo a la dirección general de la pendiente. Este tipo de estructuras ocupan el fondo de los valles y en algunas ocasiones el escurrimiento es dividido en dos; es decir, funcionan como interfluvios. El flujo más representativo se ubica al SW de la ciudad de Motozintla y tiene 660 m de longitud, 167 m de amplitud y una superficie de 0.05 km². La mayoría de los flujos de lodo se localizan al W y NW de la zona de estudio.

G. ANTRÓPICO

El relieve antrópico son modificaciones que el hombre hace al relieve, estos cambios se vinculan a la extracción de recursos y construcción de carreteras, presas y áreas urbanas. A partir de esta actividad es común reconocer tajos, laderas en gradería, desviaciones de cauces, etc. En la zona de estudio este tipo de relieve es reducido y está vinculado con una mina a cielo abierto que se localiza al N de la ciudad de Motozintla.

3.1 Mina a cielo abierto

La morfología de este territorio es de geometría cóncava y de gran amplitud, creada a partir de la extracción de materiales para la construcción. En la actualidad, ya no funciona y a su interior ha comenzado un proceso de urbanización; este cambio en el uso del suelo, no es el adecuado para este tipo de terrenos, debido a que favorecen la concentración de agua pluvial y por tanto la inundación. Otro aspecto de peligro, es la existencia de laderas de fuerte inclinación en todo el perímetro de la creciente zona habitacional (>60°). Sobre estas vertientes se presentan caídas y deslizamientos que representan una amenaza para los habitantes de esta zona.

Símbolos complementarios

Talweg

Representa la porción más deprimida del valle, es visible en la época de estiaje porque concentra el escurrimiento en este sector, en el río Motozintla-Mazapa no existe un solo talweg. Al tratarse de una llanura de inundación, la pendiente es mínima y el río en su búsqueda de la máxima inclinación para fluir, crea varios canales, de esta manera surge el patrón de drenaje trenzado.

Escarpes

Los escarpes son cambios abruptos en la inclinación del terreno, cada uno de ellos se asocia a una ruptura de pendiente y su origen es exógeno o endógeno. En el primer caso se vincula con una actividad erosiva y en el segundo con procesos tectónicos, de ahí la diversidad de este tipo de forma de relieve.

En la zona de estudio están asociados a circos de erosión, terrazas, abanicos, rampas, rampas detríticas, saltos de cabecera, etc. De la misma forma se asocian a la actividad endógena, en particular al movimiento de las fallas.

Líneas de flujo

Indican la dirección de desplazamiento de los depósitos asociados a deslizamientos, caídas y flujos de lodo.

Líneas de flujo en abanicos

Indican la dirección y distribución de los depósitos desde el ápice hacia el sector distal.

Dirección de flujo regional

Muestran la dirección preferencial del desplazamiento.

Posición relativa entre formas de relieve

Indican la altura relativa entre formas de relieve (una respecto a otra).

El mapa geomorfológico y su análisis permitió explicar la formación y dinámica del relieve, para ello fue necesario integrar información litológica, tectónica y climática. Con el fin de entender las causas y procesos que originan las inundaciones y los procesos de ladera. La cartografía está acompañada de una clasificación genética del relieve que está dividida en endógeno modelado y exógeno. Estos dos aspectos fueron el punto de partida para elaborar la leyenda que se explica en este capítulo. De esta manera se logró una cartografía detallada, coherente, estructurada, con límites precisos y bien definidos, que permiten entender las condiciones naturales de la zona de estudio.

A partir de la cartografía geomorfológica es posible visualizar la heterogeneidad genética del relieve, espacialidad, morfología y su vínculo con la tectónica a partir de procesos geomorfológicos tan concretos como son los procesos gravitacionales.

Capítulo 5. Peligros geomorfológicos en la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa: remoción en masa e inundaciones (*Mapa Anexo 2*)

La remoción en masa y las inundaciones son procesos geomorfológicos que representan peligro para la población; su magnitud e impacto, dependen de las características físicas del lugar (litología, morfología y clima). Sin embargo, hay fenómenos exógenos que actúan como agentes catalizadores o bien pueden magnificarlos (lluvias estacionales y extraordinarias, obstrucción natural del canal fluvial, pérdida de la carpeta vegetal por incendios o la combinación de ellos). La actividad antrópica favorece este tipo de dinámicas a partir de la ocupación de terrenos no aptos para la construcción de viviendas, el desvío de cursos fluviales, la minería a cielo abierto y la deforestación, entre los más comunes.

Dentro de la cuenca están asentadas las ciudades de Motozintla de Mendoza y Mazapa de Madero, además de 46 localidades que suman un total de 21 935 habitantes aproximadamente. La red vial presenta 200 km lineales de carreteras divididos en 42 km federales, 20 km estatales y 139 km de terracerías, además hay viviendas, infraestructura y terrenos dedicados a la agricultura que pueden ser o han sido afectados por procesos gravitacionales o inundaciones.

En los últimos quince años, cinco eventos hidrometeorológicos (Fenómeno del Niño y Tormenta Tropical *Earl* en 1998, huracán *Stan* en 2005, tormenta tropical *Agatha* y depresión tropical 11E en 2010), ocasionaron severos daños por el impacto que tuvieron en la zona de estudio, por la ocurrencia de procesos gravitacionales e inundaciones; a pesar de esta situación, no se cuenta con un inventario en el cual se tenga el registro de la fecha, la ubicación exacta y las características de los eventos.

Con base en lo anterior, en este capítulo se tiene como objetivo la identificación y caracterización de la dinámica geomorfológica de peligro. Del mismo modo se analizan los factores y causas que intervienen en su génesis. En este contexto se

elaboró el mapa de peligros por procesos de remoción en masa e inundaciones en la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa (Anexo 2). Este documento está sustentado en la integración del análisis morfométrico, geomorfológico información litológica y climática y se explica a continuación.

5.1 Terrenos susceptibles a procesos de remoción en masa

En este inciso se explican las condiciones de afectación real y potencial que existen en terrenos susceptibles a presentar procesos de remoción en masa. Para ello se han establecido tres categorías cuya representación espacial se puede ver en el mapa anexo 2 y se identifican con el color rojo una máxima y amarillo una baja ocurrencia; el color anaranjado representa áreas potenciales. Cada uno de ellos se explica a continuación.

Máxima ocurrencia

Esta categoría comprende dos zonas; una continua (NW) y una dispersa, fragmentada en tres sectores (W, Centro-Sur y NE). Los procesos que tienen relación con la primera, es la intensa erosión laminar y desprendimientos en cárcavas y barrancos. El peligro relacionado con esta dinámica se vincula con el aumento de detritos movilizados en la temporada de lluvias estacionales y extraordinarias, situación que activa abanicos aluviales o bien la colmatación de la llanura del río Motozintla-Mazapa, lo que favorece las inundaciones. Esta situación refleja el desequilibrio que existe entre los interfluvios y las laderas de montaña, trayendo como consecuencia la degradación del suelo, una discontinuidad de la carpeta vegetal natural, desarrollo de saltos de cabecera (erosión remontante) y un progresivo aumento de los barrancos en amplitud y profundidad. Estos fenómenos se ven potenciados por la competencia de sustratos sedimentarios marinos, del Cretácico Inferior-Superior y la integración de estos terrenos a la agricultura-ganadería.

Es importante mencionar que esta zona funciona como un catalizador de procesos gravitacionales de mayor impacto (deslizamientos o flujos de lodo), este es el principal peligro. Vínculo que se observa de manera clara en la correlación de fronteras entre circos de deslizamiento o corrientes de lodo y las zonas de máxima afectación por erosión laminar-desprendimientos.

La espacialidad de las zonas discontinuas se explica a través de los afloramientos de rocas graníticas paleozoicas que han desarrollado potentes cortezas de intemperismo. Estos detritos son el principal aporte en la dinámica laminar-desprendimientos y la característica de catalizador de procesos gravitacionales de mayor impacto se mantiene en estos tres sectores.

Baja ocurrencia

Las condiciones que caracterizan esta categoría se presentan de manera discontinua y se reconocen tres sectores: el N vinculado con laderas de montaña; W-S en interfluvios-laderas de montaña y el S-E en laderas de montaña y lomeríos detríticos.

El sector N se caracteriza por presentar un decremento en la intensidad de la erosión laminar y en los desprendimientos, debido a que estos procesos están cerca de encontrar una estabilidad relativa. La pendiente presenta una inclinación que no favorece el movimiento de los materiales; por otro lado, las cortezas de intemperismo, principal aporte de detritos, han disminuido en espesor (centimétricas), o bien han dejado de existir exponiendo *roca fresca* en superficies que es menos competente a los procesos erosivos mencionados.

Hay que mencionar que la temporada de lluvias estacionales o extraordinarias podría comprometer la estabilidad y propiciar la ocurrencia de procesos gravitacionales, debido a que han quedado expuestas juntas de estratificación a favor de la pendiente, que al lubricarse favorecen la remoción en masa. La falta de

una carpeta vegetal y el cambio de uso del suelo de forestal a agricultura-ganadería son factores que podrían desencadenar dinámicas geomorfológicas peligrosas.

Para el segundo sector (W-S), la dinámica erosión laminar-desprendimiento está en su fase de inicio en laderas rectas y convexas, donde las cortezas de intemperismo son amplias y profundas, resultado de un proceso de meteorización intensa sobre rocas granitoides. El peligro de esta dinámica se manifiesta en la movilización de los mantos detríticos; con ello, se empobrece el suelo de nutrientes y afecta la continuidad de la carpeta vegetal para favorecer el desarrollo de canales, surcos y cárcavas. Hay que mencionar que los desprendimientos se vinculan de manera estrecha con los valles.

El último caso se localiza al S-E, involucra un sector de laderas de montaña constituidas de rocas granitoides del Precámbrico. En este territorio también predomina una morfología de lomeríos ligeramente inclinados, asociados a depósitos de deslizamiento y flujos de lodo.

El rasgo que distingue a esta región es la disminución en la inclinación del terreno en comparación con las zonas anteriores (6° a 15°). Si bien estos terrenos se han catalogado como superficies de baja susceptibilidad de ocurrencia a procesos gravitacionales (deslizamientos y desprendimientos); existe la posibilidad, que sea un territorio favorable para la formación de flujos de lodo. En este sentido, los materiales juegan un papel de suma importancia debido a su competencia a ser transportados en el momento que son hidratados, la lluvia estacional y extraordinaria es el agente catalizador.

Si bien estas superficies han sido clasificadas de baja susceptibilidad de ocurrencia hay que mencionar que su dinámica se magnifica en el momento que las lluvias estacionales y extraordinarias inciden en ellas. Como ejemplo se tienen los siguientes eventos:

Deslizamientos de tierra ocurrieron sobre estos territorios el 9 de agosto del 2010 asociados a lluvias estacionales intensas, que afectaron la carretera estatal en el tramo Las Cruces-El Porvenir a la altura de la comunidad Los Laureles, al NW de la ciudad de Motozintla. Estos procesos continuaron por veinte días más.

Desprendimientos de tierra y grietas afectaron el barrio de Zaragoza el 7 de octubre del 2010, fenómenos que estuvieron asociados a intensas lluvias. La comunidad atribuyó estos eventos a la construcción de una carretera que en la actualidad está inconclusa. Las grietas sobre los terrenos adyacentes al barrio mencionado generaron gran número de especulaciones; de todas ellas, destaca la sensibilidad del terreno a desencadenar nuevos procesos gravitacionales ahora vinculados a sismos. Este argumento tiene sentido en el entendido que en este territorio existen sistemas disyuntivos activos (Polochic-Motagua).

Por último, hay que mencionar que la zona S-E soporta una modificación constante debido a la incorporación de estas superficies a zonas habitacionales y a la agricultura-ganadería, actividades que podrían catalizar una dinámica adversa.

Área potencial

Estas superficies tienen una distribución dispersa a manera de pequeños alveolos que corresponden a coronas de desprendimiento (deslizamientos), por esta razón definen áreas en media luna (vistas en planta). La mayoría de estas estructuras tuvieron desarrollo en 1998 como consecuencia de lluvias torrenciales vinculadas al *Fenómeno del Niño* y a la Tormenta Tropical *Earl*.

Este tipo de formas de relieve son más comunes en sustratos granitoides debido a una alta densidad de grietas que favorecen el desarrollo de coronas. En este sentido las condiciones de la litología, la existencia de laderas con inclinaciones pronunciadas ($> 30^\circ$), y la influencia de la precipitación (estacional o

extraordinaria), son factores que pueden favorecer la reactivación de los planos de deslizamiento o generar desprendimientos.

Estabilidad Aparente

Esta categoría comprende una zona discontinua localizada al NW y otra más integrada que ocupa el Centro-Este de la zona de estudio. En ambos casos la dinámica erosiva pluvial-fluvial y gravitacional, no es relevante sobre estos terrenos.

Estas condiciones se presentan tanto en terrenos con cubierta vegetal natural y en otros que carecen de ella; no obstante, la estabilidad aparente se mantiene. Cuando existe vegetación se interpreta que hay condiciones de fitoestabilidad; es decir, los procesos exógenos erosivos-acumulativos están en equilibrio, lo que favorece el desarrollo de la vegetación; cuando la carpeta vegetal no está presente o es discontinua, ocurre que las laderas han alcanzado condiciones morfológicas estables con pendientes moderadas y homogéneas o afloran sustratos más resistentes a la erosión.

5.2 Terrenos susceptibles a inundaciones

Estos fenómenos se limitan a la parte más baja y plana que corresponde a la llanura del río Motozintla-Mazapa. En este sector la inclinación es poco significativa y predomina una morfología subhorizontal. Estas características favorecen las inundaciones, proceso que se magnifica cuando formas de relieve características de estas superficies planas obstaculizan o retardan el flujo de agua (crecimiento de abanicos aluviales hacia el centro del cauce, depósitos asociados a deslizamientos en afluentes). Los fenómenos más significativos en los últimos 12 años son: Fenómeno del *Niño*, 1998; Tormenta Tropical *Earl*, 1998; Ciclón *Stan*, 2005; Tormenta Tropical *Agatha*, 2010 y Depresión Tropical *11E*, 2010. El área de

afectación de esta dinámica, es menor en comparación con los procesos gravitacionales.

Ocurrencia frecuente

Se presenta en la llanura de inundación del río Motozintla-Mazapa, en donde se distinguen dos tipos morfológicos, dispuestos de manera alternada a lo largo del Centro-Norte-NE de la zona de estudio. La primera de ellas, se caracteriza por presentar escalonamientos, arreglo que se conoce como de artesa múltiple (De Pedraza, 1996).

La segunda es de tipo artesa sencilla; es decir, corresponde a un valle simple excavado sobre la misma llanura (De Pedraza, 1996). En ambos casos la superficies están constituidas de materiales aluviales (bloques, cantos, gravas, gravillas y arenas), que se depositaron con una inclinación entre 3° y 6°, todas estas condiciones en general definen un terreno subhorizontal ligeramente inclinado en dirección al nivel de base (NE), y favorecen una dinámica de inundación en la temporada de lluvias estacionales.

La zona de ocurrencia frecuente representa el nivel altitudinal más bajo, lo que favorece que todo este terreno se cubra de agua en el momento en que se presente una lluvia estacional intensa. Esta dinámica se magnifica cuando la lluvia es extraordinaria (nortes y ciclones), como ejemplo se tienen las inundaciones asociadas al Fenómeno del *Niño* de septiembre de 1998. Este fenómeno provocó una precipitación de 205 mm a lo largo de dos días, este dato es importante cuando se sabe que la media mensual es de 158.2 mm. Esta situación provocó el anegamiento y la sedimentación de potentes bancos de detritos en la zona urbana de la ciudad de Motozintla. Este hecho afectó a 7 000 habitantes, cobró la vida de 214 personas y dejó múltiples daños a la infraestructura.

En 2005, la situación para los habitantes de la zona de estudio fue muy difícil, el 30 de septiembre las autoridades comenzaron a dar aviso a la población, a través de *spots* radiofónicos, para ser evacuados debido al impacto del huracán *Stan* en México. El 11 de octubre se informa que el 70 % de la población había sido afectada por el desbordamiento de los ríos; principalmente del Xelajú. Las condiciones que generó la entrada del huracán provocaron 17 200 damnificados, más de 1 000 viviendas destruidas y 15 personas perdieron la vida entre las ciudades de Motozintla de Mendoza y Mazapa de Madero. El desastre ocurrido en este año, fue mayor en comparación con el de 1998, la precipitación que dejó el paso de *Stan* en casi 4 días de lluvia fue de 1 300 mm. Los daños en la infraestructura por la afectación a zonas de cultivo, colapso de puentes y obstrucción o ruptura en vías de comunicación por deslizamientos provocó que la cuenca se encontrara aislada e incomunicada.

Área potencial

Se dispone sobre las llanuras de los ríos Xelajú y Motozintla-Mazapa, las características morfológicas en artesa múltiple, los depósitos aluviales y la inclinación (3° a 6°), siguen conservándose en este sector ubicado al Norte-Centro de la cuenca. Los factores que propician las inundaciones sobre estas superficies, difieren con el punto anterior; en este marco, el área potencial presenta un ligero incremento altitudinal con relación a la zona de ocurrencia frecuente; este hecho, provoca que las condiciones para que los ríos se salgan de su cauce deban ser más extremas e interactúen lluvias estacionales, atípicas (asociadas al Fenómeno del *Niño*), ciclones y nortes.

La interacción de por lo menos dos de los fenómenos mencionados provoca inundaciones de gran impacto. Eventos que han presentado estas condiciones son los ocurridos en 1998, a principios del mes de septiembre asociados el *Fenómeno del Niño* y la Tormenta Tropical *Earl*. Las lluvias atípicas provocaron el desbordamiento de los ríos Xelajú, La Mina y Allende. Este hecho agravo la

situación de contingencia que ya existía. El total de damnificados fue de 8 000, de víctimas mortales 242 y 35 desaparecidos.

El factor humano jugó un papel importante en el estancamiento de agua fluvial y sedimentos en la zona urbana de Motozintla, debido a la construcción de obras de contención y reducción del cauce en el río Allende (10 m de ancho y 5 m de profundidad). En el río La Mina las viviendas construidas sobre el lecho causaron el mismo fenómeno.

Baja ocurrencia

Este sector pertenece a la llanura de inundación del río Xelajú, definen valles angostos cercanos a la cabecera y se localizan al NW de la cuenca. Las características morfológicas son distintas en comparación con los dos puntos anteriores. En esta sección los rasgos que la definen son semejantes a los de un barranco fluvial simple con geometría en *U* y con dinámica esporádica excepcional o violenta. El incremento en el rango altitudinal (860 msnm) y en la pendiente (6° a 15°), son factores que juegan un papel determinante para que este sector se considere una área libre de afectación por inundaciones; pero provocan que el escurrimiento fluya con mayor velocidad y el peligro sea latente aguas abajo.

En la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa se presentan procesos gravitacionales e inundaciones; los primeros no tienen una focalización, debido a que el relieve, el tipo de sustratos, los sismos, la lluvia y el cambio en el uso de suelo (urbano, agricultura-ganadería), permiten su ocurrencia sobre todas las vertientes de la zona de estudio.

Con respecto a la segunda dinámica de peligro; las inundaciones, han afectado de manera recurrente a la ciudad de Motozintla de Mendoza, debido a su ubicación en la zona más deprimida dentro de la llanura de inundación. Aunado a esto la precipitación, las modificaciones hidráulicas al río Allende y la ocupación de

terrenos no aptos para la vivienda, han provocado que estos eventos se magnifiquen y las consecuencias sean desastrosas para la población y la infraestructura.

Los registros más antiguos de afectación por inundación corresponden a 1932, en dónde el barrio Las Canoas ubicado al sur de la ciudad de Motozintla, se vio afectado por el desbordamiento del río Allende. En 1940, el río La Mina inundo la cabecera municipal de la ciudad; en ambos eventos, el caudal iba acompañado de material sólido (rocas, lodo, vegetación). Los daños que han ocasionado las dinámicas geomorfológicas van desde víctimas mortales, desaparecidos, miles de damnificados y daños en la infraestructura urbana. El peligro se magnifica cuando interactúan lluvias estacionales, atípicas (asociadas al Fenómeno del *Niño*), ciclónicas, nortes, procesos gravitacionales e inundaciones.

Conclusiones

El análisis de los aspectos geográficos: clima, hidrografía, suelos, vegetación, en relación con la dinámica exógena presente en la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa, fue determinante para conocer el arreglo complejo de los factores que la caracterizan y como su interacción provoca las condiciones para la ocurrencia de peligros geomorfológicos; en particular, la remoción en masa y las inundaciones. En este sentido la precipitación favorece estos procesos y se magnifican al estar presentes por lo menos dos tipos de eventos hidrometeorológicos: lluvias estacionales, atípicas (asociadas al Fenómeno del *Niño*), *nortes* y ciclónicas.

El conocimiento de eventos hidrometeorológicos que han tenido impacto directo o indirecto sobre la zona de estudio y desencadenado dinámicas geomorfológicas; permitió, constatar que la cuenca está en peligro constante por la afectación de este tipo de riesgos que provocan víctimas mortales, desaparecidos, miles de damnificados; así como, cuantiosas pérdidas económicas, daños en la infraestructura urbana y rural.

El análisis geológico permitió determinar que la litología en la cuenca alta del río Motozintla-Mazapa, es resultado de la interacción de la tectónica regional como consecuencia de la dinámica entre las placas Cocos-Norteamericana-Caribe, conocido como *Punto Triple*. Otro factor a destacar, son las deformaciones causadas por los movimientos relativos en la vertical y en la horizontal que se vinculan al Sistema de Fallas Polochic-Motagua; así como, su impacto sobre los sustratos que conforman la zona de estudio. En este marco, fue indispensable conocer estos aspectos con el fin de determinar la columna estratigráfica, su temporalidad y secuencia de los materiales que componen el territorio; esta información, fue determinante para entender la dinámica del relieve, la resistencia de los materiales a la acción erosiva y de esta manera analizar el vínculo entre los estratos y su relación para el desarrollo de procesos de ladera.

El análisis morfométrico y su representación cartográfica de los mapas de: altimetría, inclinación del terreno, energía del relieve, profundidad y densidad de la disección, permitieron obtener información numérica valiosa que permitió interpretar la acción erosiva, su relación con la resistencia del material y su morfología.

Los datos obtenidos en cada uno de los mapas morfométricos, permitió entender la espacialidad de la erosión tomando en cuenta la inclinación del terreno, los contrastes altitudinales y la acción fluvial, tanto en la vertical como en la horizontal. Con lo anterior se establecieron las siguientes unidades geomorfológicas: Llanura (I), Premontaña (II) y Montaña (III). Esta zonificación facilito entender y explicar la presencia de los procesos gravitacionales y las inundaciones a nivel regional (zona de estudio).

El análisis integral de los datos morfométricos y las unidades geomorfológicas, permitió identificar aquellos terrenos que por sus características morfométricas, morfológicas y litológicas eran más propensos a la remoción en masa y a la retención del agua fluvial (inundaciones).

El análisis geomorfológico aporoto una cartografía especializada en donde el relieve se clasifico en endógeno modelado y exógeno. Estos aspectos permitieron determinar el origen y establecer la evolución del relieve, su heterogeneidad, espacialidad, la sucesión entre formas antiguas y recientes; así como, entender las condiciones naturales y el desarrollo de dinámicas peligrosas, a través de un mapa cercano a la realidad, detallado, coherente, estructurado y con límites precisos; este documento, representa un aporte de esta investigación.

El mapa de peligros es el segundo aporte de esta tesis, en este documento se identifican zonas que son propensas a presentar dinámicas de peligro, en particular procesos gravitacionales e inundaciones. Por esta razón la información que se ofrece en este mapa será útil en la prevención y la mitigación de

fenómenos naturales relacionados con las lluvias intensas o extraordinarias y su vínculo con las características morfológicas del relieve. De igual forma, este documento es útil en la planeación de políticas territoriales, uso del suelo y en la toma de decisiones encaminadas a la protección civil.

Los estudios que pueden desarrollarse sobre un tema y zona en específico es variada, esta característica permite que se analicen el contenido y los resultados con la finalidad de enriquecer la información, generar nuevos temas de interés u ofrecer nuevas alternativas. En este sentido, la realización de este tipo de investigaciones debe tener la finalidad de continuar explotando el potencial que cada uno ofrece. Como ejemplo de lo anterior esta tesis podría complementarse con los trabajos publicados por Novelo-Casanova y Rodriguez-Vangort en 2015 sobre la evaluación de riesgos de inundación y cuantificación del riesgo asociado al peligro de inundación; que para ambos casos, la zona de estudio es la ciudad de Motozintla; o bien, con los de otros autores.

Bibliografía

- Alcántara-Ayala, I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Núm. 41, UNAM. México. 7 – 25
- Alvarado-González, R., 2003. Cartografía geomorfológica del complejo volcánico Sierra de San Juan, Nayarit, México. Tesis Profesional. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. 139 p
- Ayala-Carcedo, F. y Olcina Cantos, J., 2002. Riesgos naturales. Ariel Ciencia. Barcelona. 1512 pp
- Bashenina, B. (1977). Cartografía Geomorfológica. Ed. Educación Superior, Moscú, URSS. (en ruso). 375 pp
- Blair, T., 1981. Aluvial fans deposit of Todos Santos Formation, Central Chiapas, México. The University of Texas at Arlington, USA. (Inédito). 84 pp
- Borja-Baeza, R.C. (2003). Análisis de susceptibilidad y riesgos asociados a procesos de remoción en masa en Zacapoaxtla, Puebla. Tesis Profesional. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México, D.F. 154 p
- Briones Gamboa, F., 2010. Inundados, reubicados y olvidados: Traslado de riesgo de desastres en Motozintla, Chiapas. *Revista de Ingeniería 31*, Rev. Ing. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. 132 – 144
- Burkart, B., 1978. Offset across the Polochic fault of Guatemala and Chiapas México. *Geology 6*, 328 - 332
- Caballero, G., 2002. Los flujos de escombros de Motozintla, Chiapas ocurridos en septiembre de 1998. Estratigrafía, granulometría y mecanismos de emplazamiento. Tesis profesional. IPN, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Ticomán, Ciencias de la Tierra. 95 pp
- Caballero, L., Macías, J., García-Palomo, A., Saucedo, G., Borselli, L., Sarochi, D., Sánchez, J., 2006. The September 8-9, 1998 Rain-Triggered Flood Events at Motozintla, Chiapas, Mexico. *Natural Hazards*, 39. 103 – 126
- Carfentan, J., 1977. La cobijadura de Motozintla. Un paleoarco volcánico en Chiapas. Instituto de geología, *Revista del Instituto*, 1. UNAM. 133 – 137
- CENAPRED., 2007. Inundaciones. Serie Fascículos. Secretaría de Gobernación. México. 56 pp
- Challenger, A., Soberón, J., 2008. Los ecosistemas terrestres. Capital Natural de México vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO. México. 87 - 108

- Cruden, D. y Varnes, D., 1996. Landslides types and processes. In Turner, A. A. K and Schuster Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, Special Report. National Academy Press Washington, DC. 36 – 75
- Cruz Burguete, J., Nazar Beutelspacher, A., 2009. Sociedad y desigualdad en Chiapas. Una mirada reciente. El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. 246 pp
- Damon, E., Shafiqullah, M., Clark, K., 1981. Age trends of igneous activity in relation to metallogenesis in the southern Cordillera. In Dickinson, W. y Payne, W., eds., Relations of tectonics to ore deposits in the southern Cordillera. *Geological Society, Digest* 14. Arizona. 137 – 153
- De Pedraza, Gilsanz, J. (1996). Geomorfología: Principios, Metodos y Aplicaciones. Editorial Rueda, Madrid, España. 414 pp
- Denyer, P., Montero, W. y Alvarado, G., 2003. Atlas tectónico de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica, Serie Reportes Técnicos. San José, Costa Rica. 71
- EPOCH (European Community Programme), (1993). Temporal occurrence and forecasting of landslides in the European Community. Flageolit. J. C. (ed.). 3 volúmenes. Contract no. 90 0025.
- García-Palomo, A., 1987. Interpretación tectónica estructural del valle de Uzpanapa, Veracruz. México. Tesis de licenciatura. IPN, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. 83 pp
- García-Palomo, A., Macías, J., Espíndola, J., 2004. Strike-slip faults and K-alkaline volcanism at El Chichón volcano, southeastern México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 136. 247 – 268
- Gates, A., Ritchie, D., 2007. Encyclopedia of earthquakes and volcanoes. Third edition. Facts on File Science Library. 229 pp
- Guerra-Peña, F. (1980). Fotogeología. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. México, D.F., 337 pp
- Gutiérrez Elorza, M., 2008. *Geomorfología*. PEARSON, Prentice Hall. Madrid, España. 898 pp
- Guzmán-Speziale, M., Pennington, W.D., Matumoto, T., 1989. The triple junction of the North America, Cocos and Caribbean plates. *Tectonics* 8. 981- 997
- Guzmán-Speziale, M., Meneses-Rocha, J., 2001. The North America-Caribbean plate boundary west of the Motagua-Polochic fault system: a fault jog in Southeastern México. *Journal of South American Earth Sciences*, 13. 459-468

- H. Ayuntamiento Municipal Constitucional de Motozintla de Mendoza., 2008. Plan de desarrollo municipal 2008-2010. Motozintla de Mendoza, Chiapas, México. 197 pp
- Hernández Cerda, M., Azpra Romero, E., Carrasco Anaya, G., Delgado Delgado, O., Villicaña Cruz, F., 2001. Los ciclones tropicales de México. I. Textos Monográficos: 6. Medio Ambiente. *Temas Selectos de Geografía de México*, Instituto de Geografía, UNAM. México. 120 pp
- Hinojosa-Corona, A., Rodríguez-Moreno, V., Munguía-Orozco, L. y Meillón-Menchaca, O., 2011. El deslizamiento de ladera de noviembre 2007 y generación de una presa natural en el río Grijalva, Chiapas, México. Boletín de la sociedad Geológica Mexicana, Vol 63, Núm. 1. 15 – 38.
- Huggett, R. 2007. *Fundamentals of Geomorphology*. Routledge, Second Edition. London. 469 pp
- Hutchinson, J. N., (1988). General report, morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to Geology and Hydrogeology in Bonnard. Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides. Rotterdam, Netherlands. Vol. 1. 3 – 35.
- Instituto de Protección Civil para el Manejo Integral del Riesgo de Desastres, 2010. Plan de Contingencia para la Temporada de Lluvias y Ciclones Tropicales. Chiapas Gobierno del Estado, Chiapas, México. 108 pp
- Lugo Hubp, J. I., 1988. Elementos de geomorfología aplicada (Métodos Cartográficos). Instituto de Geografía, UNAM. México. 129 pp
- Lugo Hubp, J. I., 2011. Diccionario Geomorfológico. Instituto de Geografía, UNAM. México. 479 pp
- Lyon-Caen, H., Barrier, E., Lasserre, C., Franco, A., Arzu, I., Chiquin, L., Chiquin, M., Duquesnoy, T., Flores, O., Galicia, O., Luna, J., Molina, E., Porras, O., Requena, J., Robles, V., Romero, J., Wolf, R., 2006. Kinematics of the North American-Caribbean-Cocos plates in Central America from GPS measurements across the Polochic-Motagua fault system. *Geophysical Research Letters*, 33. 1 – 5
- Mendoza-Margain, C., 2010 Cartografía Geomorfológica del Complejo Volcánico Tacaná, México-Guatemala. Tesis Profesional. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México, D.F. 116 pp
- Meneses-Rocha, J., 2001. Tectonic Evolution of the Ixtapan-Graben, an Example of a Strike-slip Basin of Southern Mexico: Implications for Regional Petroleum Systems. AAPG Memoir 75. 183-216

- Molina-Garza, R., Van der Voo, R. y Urrutia-Fucugauchi., 1992. Paleomagnetism of the Chiapas Massif, southern Mexico: Evidence for rotation of the Maya Block and implications for the opening of the Gulf of Mexico. *GSA Bulletin*, 104. 1156 – 1168
- Morgan, C. W., 1966. Thunderstorms. Texas Wat. Dev. Bd. Rept. 33. 31 – 44
- Muehlberger, W., Ritchie, A. W., 1975. Caribbean-Americas plate boundary in Guatemala and southern Mexico as seen on Skylab IV orbital photography. *Geology* 3. 232-235
- Mujica-Mondragón, R., 1987. Estudio petrogenético de las rocas ígneas y metamórficas del Macizo de Chiapas. Proyecto C-2009. *Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración, México*. 96 pp
- Müllerried, F. K. G., 1957. Geología de Chiapas. Gobierno constitucional del Estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez. 180 pp
- Novelo-Casanova, David y Rodríguez Van Gort, Mary Frances Teresa., 2015. Flood risk assessment. Case of study: Motozintla de Mendoza, Chiapas, Mexico. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. Journal Homepage. Taylor and Francis Online. UK. 19 pp
- Panizza, M. (1991). *Geomorphology and seismic risk*. Elsevier Earth Science Reviews. Elsevier. 31. 11 – 20
- Pompa-Mera, V., 2009. Geoquímica y geocronología de los complejos intrusivos en el sureste de Chiapas, México. Tesis Profesional Maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra. UNAM. México, D.F. 160 pp
- Reyes-Hernández, D., 2006. Por la promoción a una cultura de protección civil aplicada al municipio de Tapachula de Córdova y Ordóñez, Chiapas. Caso huracán Stan de Octubre 2005. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades. Universidad de las Américas. Cholula, Puebla, México. 110 pp
- Rodríguez Van Gort, Mary Frances Teresa., 2015. Cuantificación del riesgo asociado al peligro de inundación en Motozintla Mendoza, Chiapas, México. Tesis Profesional Doctorado. Posgrado en Ciencias de la Tierra. UNAM. D.F. 130 pp
- Rose., Bluth., Carr., Ewert., Patino., Vallance., 2006. Volcanic hazards in Central America. *The Geological Society of America*. Special paper. 412. Colorado, EE.UU. 60 pp

- Rzedowski, J., 1978. *Vegetación de México*. LIMUSA. México. 432 pp
- Rzedowski, J., 2006. *Vegetación de México*. 1ra Edición Digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- Salazar Juárez, J., 2008. Geología, petrología y geoquímica del Macizo de Chiapas, área de Motozintla de Mendoza. Tesis profesional, Facultad de Ingeniería, División de Ciencias de la Tierra. UNAM. 68 pp
- Sánchez, J., Gómez Viquez, H., García Palomo, A., Sesma Espinoza., Mota Martínez., 2000. Riesgo geológico y caracterización del deterioro ambiental provocado por las inundaciones ocurridas en Motozintla, Chiapas. *Seminario Iberoamericano Prospectiva Sobre Medio Ambiente y Desarrollo*, IPN, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios Sobre Medio Ambiente y Desarrollo. 1998. México, D.F. 223 – 235
- Sánchez Núñez, J., Macías, J., Zamorano Orozco, J., Saucedo, R., Torres, J., Novelo, D., 2012. Mass movement processes at the Motozintla Basin, Chiapas, Southern Mexico. *Geofísica Internacional*, 51 – 2. 169 – 184.
- Schaaf, P., Weber, B., Weis, P., Gross, A., Ortega-Gutierrez, F., Köhler, H., 2002. The Chiapas Massif (Mexico) revised: New geologic and isotopic data and basement characteristics. *Contributions to Latin-American Geology*. N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 225. 1 - 23
- Simonov, Y. 1985. Análisis morfométrico. Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov. Moscú. URSS. (en ruso)
- Stralher, A., 2011. *Introducing Physical Geography*. Fifth Edition, Wiley. USA. 632 pp
- Suárez-Díaz, J. 2006. Análisis de los problemas de erosión y deslaves. Carretera Huixtla-Motozintla, Chiapas. *Instituto de Erosión y Deslizamientos – Bucaramanga-Colombia* 17 pp
- Tarbutck E.J., Lutgens F.K. y Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Edit. Prentice Hall. Madrid, España. 686 pp
- USGS. (2008). *The landslide Handbook – A Guide To Understanding Landslides*. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. Virginia, USA. 129 pp

- Varnes, D. J., (1978). Slope movements, types and processes. Landslides: Analysis and control, transportation research board. Spec. National Academy of Science, Washington. Rep. 176. 11 – 33.
- Vidal Zepeda, R., 2005. Las regiones climáticas de México. *Instituto de Geografía*. UNAM, México. 213 pp
- Walker, J., Templeton, S., Cameron, B., 2006. The Chemistry of spring waters and fumarolic gases encircling Santa Maria Volcano, Guatemala: Insights into regional hydrothermal activity and implications for volcano monitoring. *Geological Society of America*. Special Paper 412. 59 – 83
- Ward. R. 1978. Floods. A geographical perspective. The Macmillan Press LTD. London. 244 pp
- Weber, B., Gruner, B., Hecht L., Molina-Garza, R., Köhler, H., 2002. El descubrimiento del basamento metasedimentario en el macizo de Chiapas: La “Unidad la Sepultura”. *GEOS*, 22. No. 1, 2 – 11
- Weber, B., Cameron, K., Osorio, M., Schaaf, P., 2005. A Late Permian Tectonothermal Event in Grenville Crust of the Southern Maya Terrane: U-Pb Zircon Ages from the Chiapas Massif, Southeastern Mexico. *International Geology Review*. 47. 509-529
- Weber, B., Valencia, V., Schaaf, P., Pompa-Mera, V., Ruiz, J., 2008. Significance of provenance ages from the Chiapas Massif complex (SE Mexico): Redefining the Paleozoic basement of the Maya block and its evolution in a peri-Gondwanan entourage. *Journal of geology*. 116. 619 – 639
- Williams, S., Self, S., 1983. The October 1902 plinian eruption of Santa Maria volcano, Guatemala. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 16. 16 – 56.
- Zamorano-Orozco, J.J., 1990. Análisis Ingeniero-Geomorfológico de la cuenca de México (en Ruso). Tesis para Optar por el Título de Doctor en Geografía. Universidad Estatal de Moscú, M.V. Lomonosov. 225 pp

Hemerografía

EL UNIVERSAL, Distrito Federal, México., Viernes 17 de Septiembre de 1999, Año 82.

Cartografía consultada

INEGI., (1984 a). Huixtla. Clima, esc. 1 : 250 000

INEGI., (1984 b). Huixtla. Edafología, esc. 1 : 250 000

INEGI., (1984 c). Huixtla. Efectos climáticos regionales Noviembre-Abril, esc. 1 : 250 000

INEGI., (1984 d). Huixtla. Efectos climáticos regionales Mayo-October, esc. 1 : 250 000

INEGI., (1984 e). Huixtla. Temperatura, esc. 1 : 250 000

INEGI., 1984. Huixtla. Geología, esc 1 : 250 000

INEGI., (1985 f). Huixtla. Uso de Suelo y Vegetación, esc. 1 : 250 000

INEGI, (2002). Carta topográfica Huixtla, esc. 1 : 50 000

INEGI, (2002). Carta topográfica Motozintla, esc. 1 : 50 000

SGM. (2008). Chiapas y tabasco. Carta geológico minera, esc. 1 : 500 000

Páginas de internet

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

<http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration

<http://csc.noaa.gov/hurricanes/> (última actualización 11 de Abril 2012)

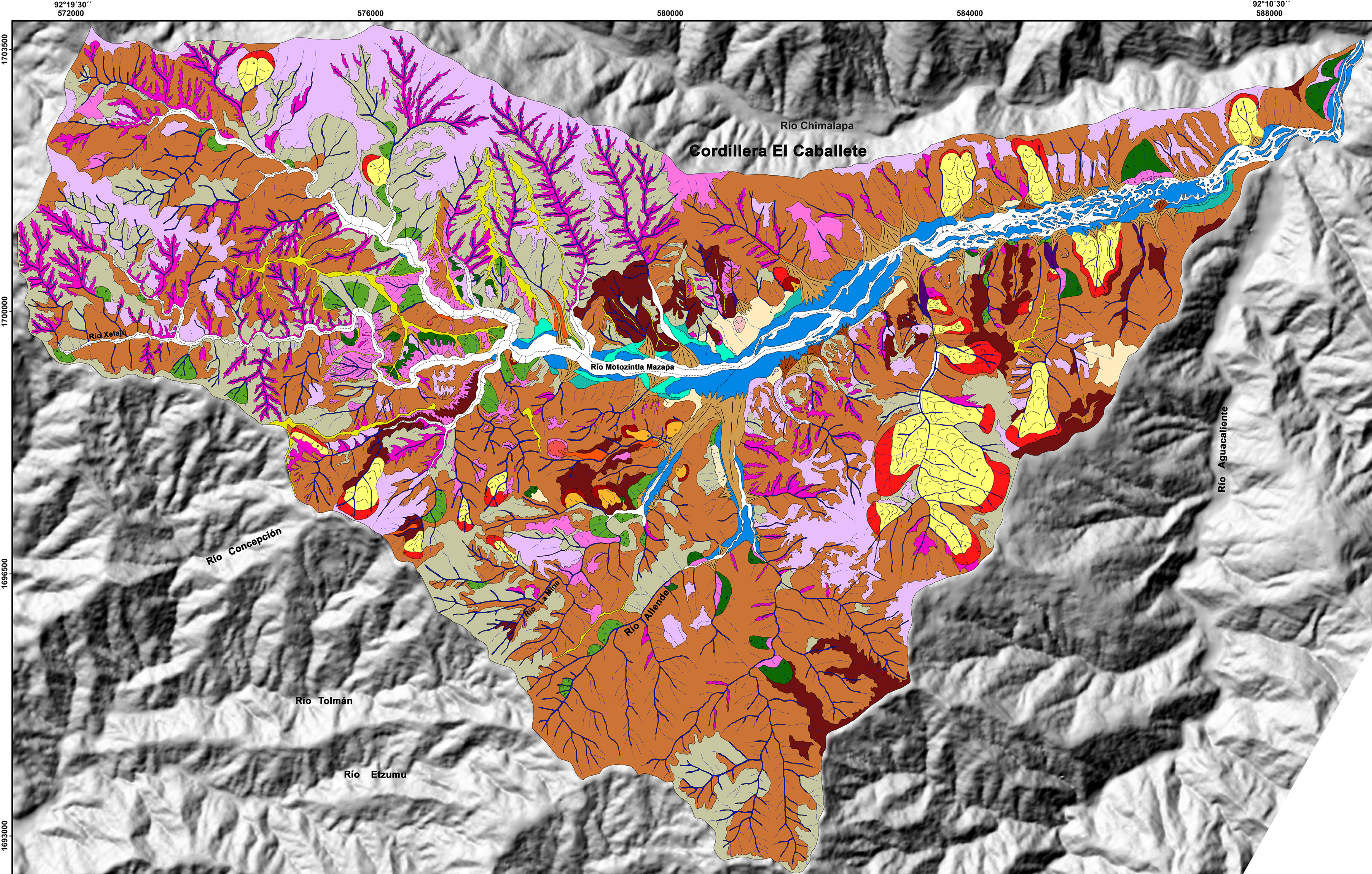
El Orbe, Deslaves en Motozintla, Chiapas (30 de Mayo 2010)

<http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/chiapas/municipios/07057a.html>

<http://elorbe.com> (última actualización 11 de abril de 2012)

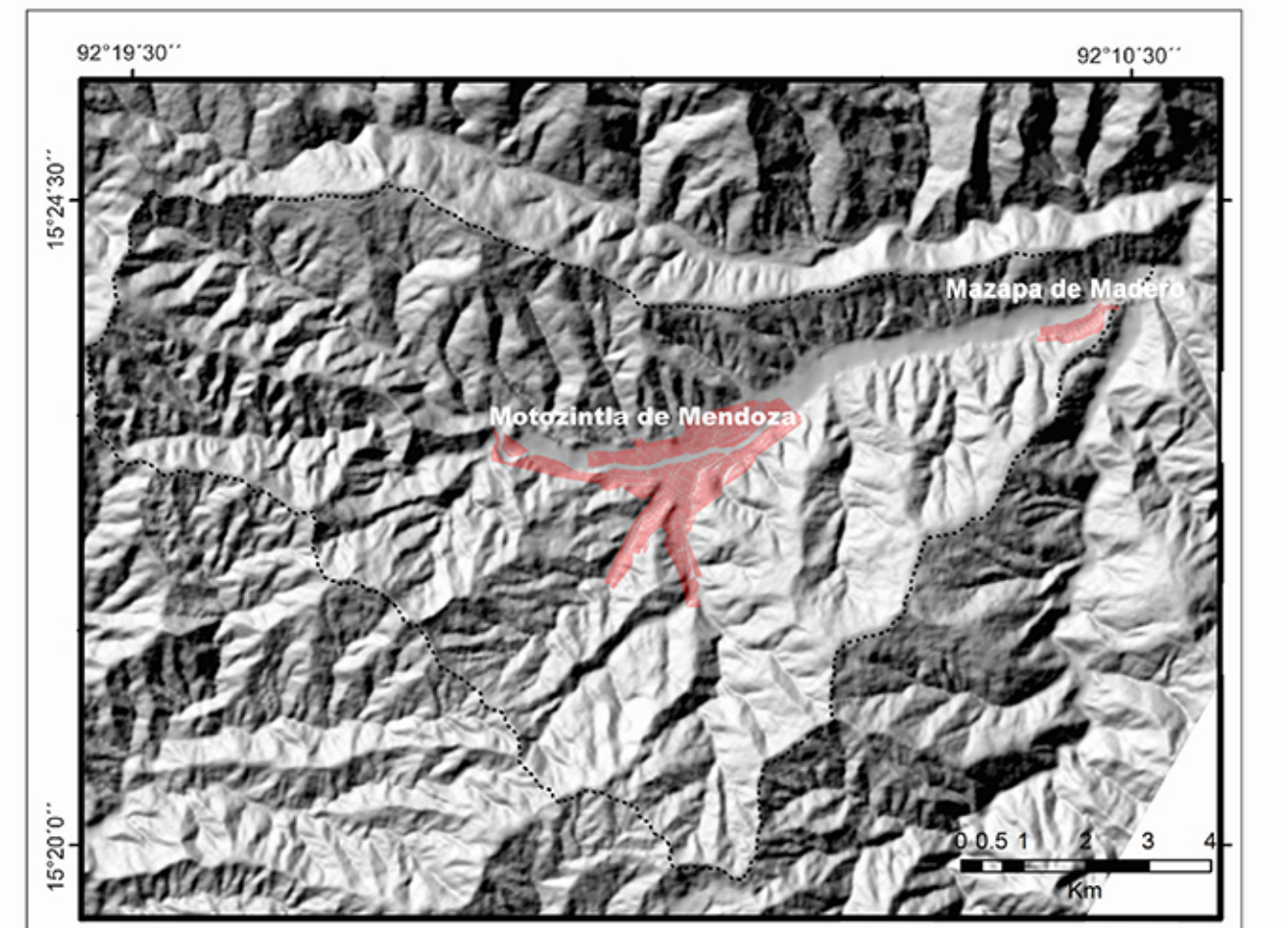
Fotografías Aéreas:

- INEGI. (1998). Inundaciones Chiapas, 11 de sept. Motozintla. Vuelo Especial. Escala 1:8 000. Línea 1, Nos. 154 – 161.
- INEGI. (1998). Inundaciones Chiapas, 11 de sept. Motozintla. Vuelo Especial. Escala 1:8 000. Línea 2, Nos. 001 – 019.
- INEGI. (2006). Cuenca río Huixtla II, Chiapas. Vuelo Especial. Escala 1:15 000. Línea 3, Nos. 112 – 115 y 119 – 120.
- INEGI. (2006). Cuenca río Huixtla II, Chiapas. Vuelo Especial. Escala 1:18 000. Línea 4, Nos. 102 – 109.
- INEGI. (2006). Cuenca río Huixtla II, Chiapas. Vuelo Especial. Escala 1:18 000. Línea 5, Nos. 126 - 131.
- INEGI. (2006). Cuenca río Huixtla II, Chiapas. Vuelo Especial. Escala 1:18 000. Línea 8, Nos. 192 – 194.
- INEGI. (2006). Cuenca río Huixtla II, Chiapas. Vuelo Especial. Escala 1:20 000. Línea 2, Nos. 165 – 168.
- INEGI. (2006). Cuenca río Huixtla II, Chiapas. Vuelo Especial. Escala 1:20 000. Línea 6, Nos. 148 – 156.
- INEGI. (2006). Cuenca río Huixtla II, Chiapas. Vuelo Especial. Escala 1:20 000. Línea 7, Nos. 139 – 145.
- INEGI SINFA. (1996). Zona D15 – B32. Escala 1:37 500. Línea 450, Nos. 004 – 009.
- INEGI SINFA. (1996). Zona D15 – B32. Escala 1:37 500. Línea 451, Nos. 004 – 012.
- INEGI SINFA. (1996). Zona D15 – B32. Escala 1:37 500. Línea 452, Nos. 006 – 013.
- INEGI SINFA. (1996). Zona D15 – B32. Escala 1:37 500. Línea 453, Nos. 010 – 013.
- INEGI SINFA. (1996). Zona D15 – B32. Escala 1:37 500. Línea 454, Nos. 006 – 008.
- DETENAL. (1973). Zona 38 – A. Escala 1:50 000. Línea 13. Nos. 019 – 024.
- DETENAL. (1973). Zona 38 – A. Escala 1:50 000. Línea 14. Nos. 003 – 006.



Mapa Geomorfológico de la Cuenca alta del río Motozintla-Mazapa

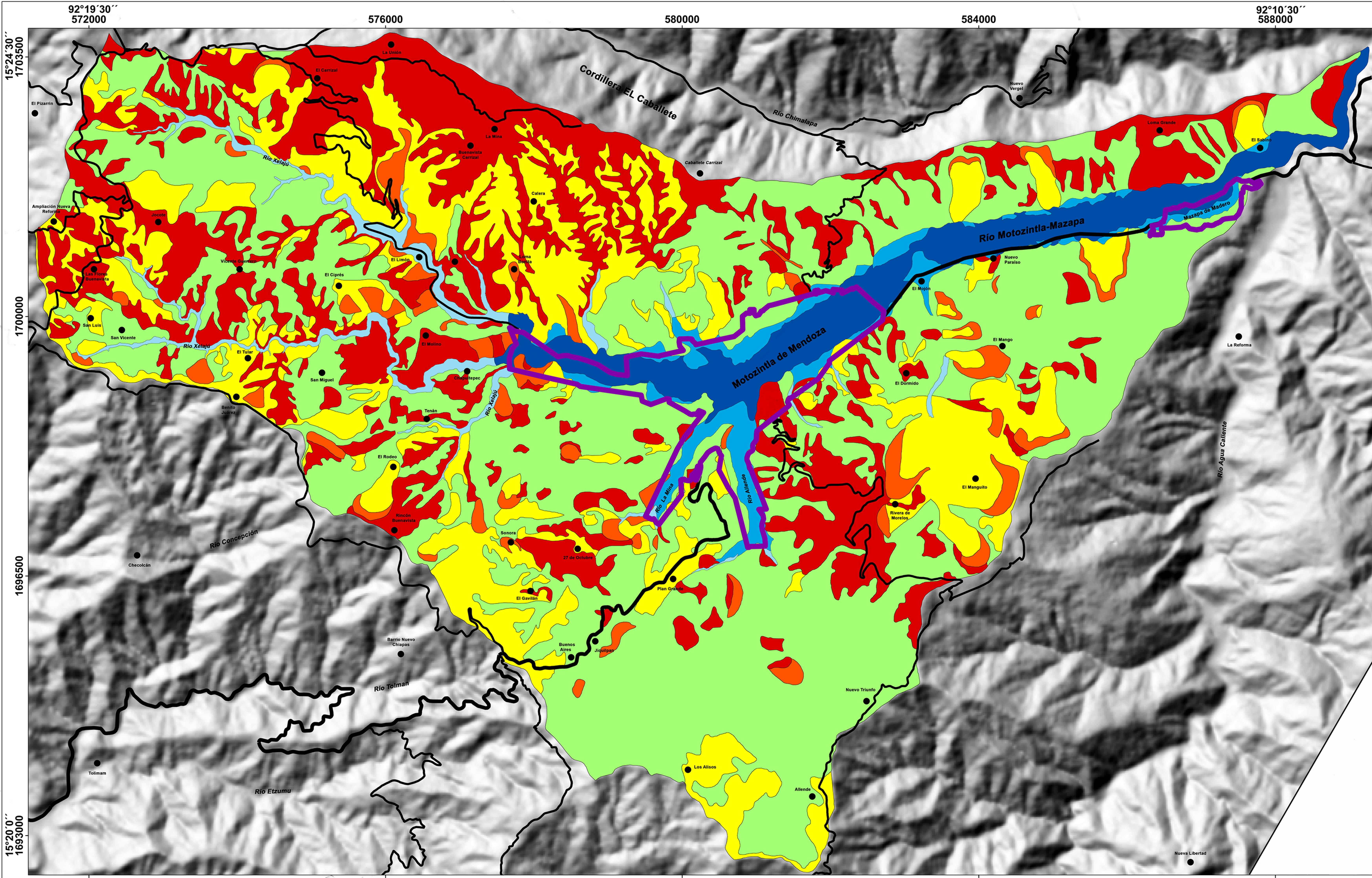
- I. RELIEVE ENDÓGENO MODELADO**
- Sierra Madre de Chiapas**
- 1.1 Laderas de montaña modeladas por la acción fluvial y gravitacional. Constituidas en su mayor parte por rocas granitoides, sedimentarias y metasedimentarias.
- 1.1.1 Laderas de montaña con aparente estabilidad
- a) Con cubierta vegetal
 - b) Sin cubierta vegetal
- 1.1.2 Laderas de montaña inestables
- 1.2 Superficies interfuviales
- II RELIEVE EXÓGENO**
- A. Erosivo Fluvial**
- 2.1 Valles fluviales
- a) > 20 m de profundidad
 - b) < 20 m de profundidad
- 2.2 Circo fluvial
- 2.3 Llanura aluvial del río Motozintla-Mazapa
- a) De inundación estacional (T₁)
 - b) De inundación extraordinaria (T₂)
 - c) De inundación excepcional (T₃)
- 2.4 Abanicos aluviales activos
- a) Recientes y en desarrollo
 - b) Con frente escarpado
 - c) Con frente tendido
 - d) Abanico-Terraza
- B. Acumulativo Fluvial**
- 2.5 Deslizamientos rotacionales
- Corona
 - Superficie de resbalamiento
- 2.6 Desprendimientos
- Escarpe de desprendimiento
 - Superficie de caída
- 2.7 Corredor de escombros
- C. Erosivo Areal**
- a) En laderas rectas-cóncavas
 - b) En superficies convexas
 - c) En cimas y laderas altas
- D. Erosivo Gravitacional**
- a) Reciente
 - b) Antiguo
- 2.8 Depósitos asociados a deslizamientos
- a) Reciente
 - b) Antiguo
- 2.9 Cono coluvial
- 2.10 Manto coluvial
- 2.11 Manto o rampa proluvial
- E. Acumulativo Gravitacional**
- 2.12 Flujos de lodo
- a) Cuenca de aporte
 - b) Depósito
- F. Movimientos Complejos**
- 3.1 Mina a cielo abierto
- G. Antrópico**
- Símbolos complementarios**
- Talweg
 - Escarpes
 - Líneas de flujo
 - Líneas de flujo en abanicos
 - Dirección de flujo regional
 - Posición relativa entre formas de relieve (una respecto a otra)



Universidad Nacional Autónoma de México
 Facultad de Filosofía y Letras
 Colegio de Geografía
 Tesis de Licenciatura

Autor: Agustín Camacho Gutiérrez
 Asesor: Dr. José Juan Zamorano Orozco





Mapa de Peligros Geomorfológicos de la Cuenca alta del río Motozintla-Mazapa: Remoción en Masa e Inundaciones

I. Terrenos susceptibles a Procesos de Remoción en Masa

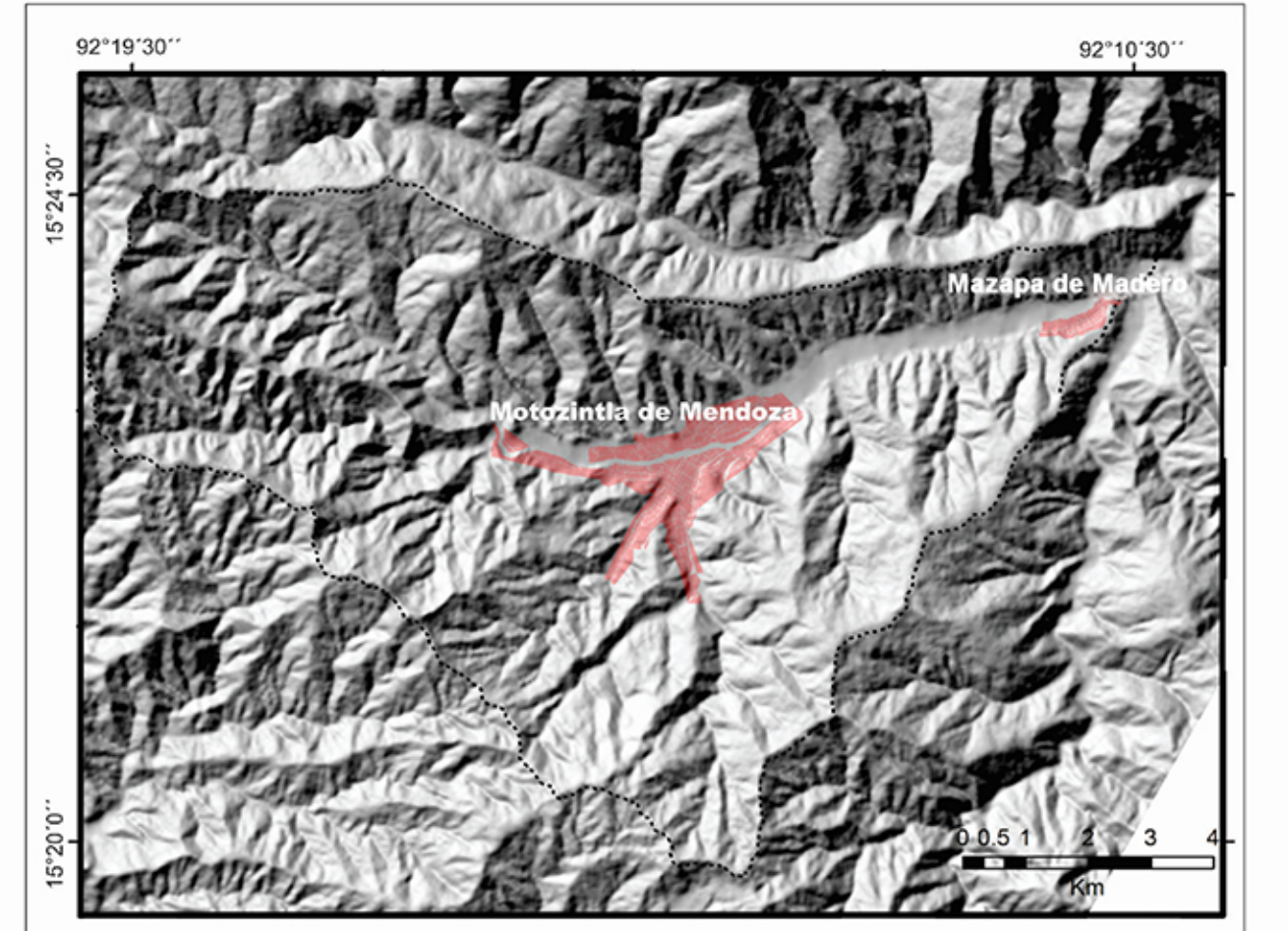
- Máxima ocurrencia.** En este territorio, el proceso gravitacional más significativo son los desprendimientos, estos fenómenos se desarrollan en laderas con inclinación >30° asociados a cárcavas y barrancos. Los materiales desprendidos ocupan el lecho y funcionan como corredores de escombros en la época de estiaje. En temporada de lluvias estos detritos pasan a formar parte de los ríos y de esta manera llegan a la llanura de inundación del río Motozintla-Mazapa, formando bancos de material que retardan la evacuación de las aguas fluviales. La erosión laminar es otra dinámica que forma parte de esta categoría, se presenta en terrenos con geometría convexa y subhorizontal, estas superficies corresponden al relieve interfluvial. El peligro real radica en ser zonas de aporte de detritos, producto de una intensa erosión, hecho que genera un desequilibrio en todo el sector de montaña. Esta zona tiene 24.32 km², representa 24% del total de la cuenca.
- Baja Ocurrencia.** En estas superficies la actividad de los desprendimientos y la erosión laminar decrece, hecho que se asocia a un aparente equilibrio resultado de la reducción en la inclinación del terreno, la exposición de un sustrato más fresco (menor intertemperado y más resistente) como consecuencia de la exhumación de las cortezas de intertemperado que los cubren y la aparición de una incipiente carpeta vegetal. El peligro sobre estos territorios se manifiesta en la temporada de lluvias (estacionales, extraordinarias o atípicas, nortes o asociadas al Fenómeno del Niño) cuando juntas de estratificación y grietas se lubrican y con ello se favorece la remoción en masa. Por otro lado, estos territorios son sensibles al desarrollo de canales, surcos y cárcavas, formas de relieve que se asocian con una intensa erosión en las laderas y azolves en las partes bajas. La superficie de esta zona es de 19.90 km², representa el 19.70% del área total.
- Área potencial.** El peligro en esta categoría tiene relación con una alta densidad de fracturas en sustratos graníticos con inclinaciones >30°, en donde la influencia de la precipitación puede reactivar los planos de deslizamiento a partir de la lubricación de grietas asociadas a las coronas. La superficie es de 3.66 km² y representa el 3.60% del total.
- Estabilidad Aparente.** Se presenta en terrenos con o sin cubierta vegetal natural, en ambos casos no es relevante la dinámica gravitacional y erosiva-accumulativa de origen fluvial, por lo tanto, existe un equilibrio aparente. En el primer caso las condiciones son de fiabilidad, es decir, los procesos exógenos (erosivos-accumulativos) no tienen impacto significativo sobre estos terrenos. Por otro lado, las áreas sin cobertura arbórea exhiben sustratos menos competentes a la erosión. La superficie que ocupa es de 43.57 km² y es la más representativa en área, 43%.

II. Terrenos susceptibles a Inundaciones

- Ocurrencia Frecuente.** Se presenta en el sector altitudinal más bajo (1150 msnm) y corresponde a la llanura de inundación del río Motozintla-Mazapa. Este terreno presenta una morfología subhorizontal que se inclina entre 3° a 6°, característica que favorece el anegamiento y la sedimentación. En la temporada de lluvias intensas (junio-agosto), esta superficie se cubre en su totalidad por las aguas fluviales. Cuando la precipitación es extraordinaria (junio-noviembre) o atípica (diciembre-marzo), la duración de este tipo de inundaciones es prolongada y con efectos devastadores para la población asentada en este sector. El área que ocupa este territorio es de 5.48 km² y representa el 5.40% del total.
- Esta superficie ha sufrido severas transformaciones a consecuencia del crecimiento de la ciudad de Motozintla.** Por otro lado, las numerosas obras de rectificación del cauce han tenido un efecto contrario, provocan retardo en la evacuación del agua fluvial e incrementan el nivel del caudal. Lo que representa un peligro para las poblaciones asentadas al interior y en los bordes de este sector de la llanura fluvial.
- Área Potencial.** La altitud promedio de esta superficie es de 1430 msnm y de 240 m de altura con respecto a la unidad anterior. Esta característica hace que las inundaciones presentes sobre estas superficies, necesiten para su ocurrencia la interacción de por lo menos dos eventos hidrometeorológicos; entre ellos, lluvias estacionales, atípicas (nortes o asociadas al Fenómeno del Niño) y ciclónicas. Cuando esta condición se cumple, las inundaciones son de larga duración a consecuencia de un retardo en la evacuación de las aguas fluviales río abajo, en las inmediaciones de la ciudad de Motozintla.
- Este tipo de fenómenos incide sobre terrenos agrícolas, carreteras y caminos.** La escasa densidad de población hace que en este territorio los daños a viviendas y a la pérdida de vidas, se reduzca de manera considerable. Su área es de 2.52 km² y representa el 2.50% del total.
- Baja Ocurrencia.** Corresponden a valles fluviales cuyos lechos se localizan a una altitud promedio de 1650 msnm, la pendiente en estas superficies varía de 6° a 15°, estas características, permiten que el agua fluvial circule y no favorezca la inundación. No obstante, de manera excepcional podría inundarse, de presentarse esta situación de contingencia, su impacto sería hacia la infraestructura y los terrenos agrícolas. En este sector no existen núcleos de población, están localizados en las laderas bajas de las montañas. Esta región es la de menor extensión, 1.78 km², representa el 1.8% del total.

Simbolos Complementarios

- Polígono Urbano
- Carretera Federal
- Carretera Estatal
- Comunidades



Universidad Nacional Autónoma de México
 Facultad de Filosofía y Letras
 Colegio de Geografía
 Tesis de Licenciatura
 Autor: Agustín Camacho Gutiérrez
 Asesor: Dr. José Juan Zamorano Orozco

